



EEMKON 2015

**ELEKTRİK ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ**

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ SEMPOZYUMU

BİLDİRİLER KİTABI

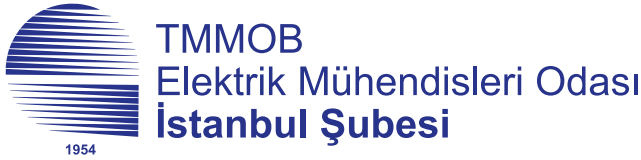


TMMOB
Elektrik Mühendisleri Odası
İstanbul Şubesi

EEMKON 2015

Elektrik Elektronik Mühendisliği Kongresi

Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı



Adres: Ergenekon Mah. Cumhuriyet Cad. Adlı Han No:173/3
Harbiye - İstanbul

Tel: 0212 259 11 50

Faks: 0212 258 36 55

Web: <http://istanbul.emo.org.tr>

E-Posta: istanbul@emo.org.tr

EMO Yayın No: SK/2016/569

ISBN: 978-605-01-0922-1

Yayın Tarihi: Kasım 2016 (1000 Adet)

Baskı

Golden Medya Matbaacılık ve Tic. A.Ş.

Adres: 100. Yıl Mah. Mas-Sit 1. Cad. No:88 Bağcılar - İstanbul

Tel: 0212 629 00 24

SEMPOZYUM YÜRÜTME KURULU

Hakkı Kaya Ocakaçan (Başkan)

A. Hamit Serbest

Adnan Kaypmaz

Ahmet Tarık Uzunkaya

B. Levent Akcasu

Belgin Emre Türkay

Berker Özağaç

Beyza Metin

Cemil Kocatepe

Cemil Ünal

Dağıstan Bekiroğlu

Erdal Apaçık

Erdener Ildız

Erhan Denizeri

Erhan Karaçay

Erol Celepsoy

Ersin Kaya

F. Kemal Özoğuz

Fatih Mehmet Nuroğlu

Galip Cansever

Gazi İpek

Hakan Ali Çırpan

Hasan Ece

Hayri Kartopu

Huriye Alacakaptan

Hüseyin Ergun Doğru

M. Galip Demircan

M. Timur Aydemir

Mehmet Bozkırılıoğlu

Mustafa Bulut

Nihal Türüt

Nur Güleç

Özcan Kalenderli

Özcan Özay

Sabri Günaydın

Seda Biçer

Selçuk Esen

Selçuk Paker

Serdar Özoğuz

Suat Kaş

Tanju Akleman

Tarık Öden

Tayfun İşbilen

SEMPOZYUM DÜZENLEME KURULU

Hakkı Kaya Ocakaçan
(Başkan)

A. Hamit Serbest

A. Levent Ceylan

A. Turan Aydemir

Abdullah Büyükişıklar

Abdullah Çakmak

Adnan Kaypmaz

Ahmet Altuncu

Ahmet Can Kutlu

Ahmet Çelebi

Ahmet Dervişoğlu

Ahmet Nuri Karaoğlu

Ahmet Tarık Uzunkaya

Ali Akgün

Arif Nacaroglu

Avni Can Okur

Aydoğan Özdemir

Ayşe Şenay

Ayten Kuntman

Aziz Yücetürk

B. Koray Tunçalp

B. Levent Akçasu

Bahadır Acar

Barış Çoruh

Behice Gül Torun Öztürk

Belgin Emre Türkay

Berker Özağaç

Beyza Metin

Bilgehan Kandil

Birol Arifoğlu

Bora Erserin

Bülent Pala

Bülent Yılmaz

Cem H. Bektaş

Cem Kükey

Cemal Zafer Ergin

Cemil Kocatepe

Cemil Ünal

Cengiz Göltaş

Cüneyt Güzeliş

Çiğdem Işıkyürek

Dağıstan Bekiroğlu

Deniz Ülker

Derya Olpak Kadeş

Devrim Sarı

Dilek Tükel

Duran Leblebici

Emine Ayaz
Emre Ertok
Emre Metin
Ercüment Yıldızlerler
Erdal Apaçık
Erdem Çavuşoğlu
Erdem Taylanlı
Erdener Ildız
Ergül Akçakaya
Erhan Denizeri
Erhan Karaçay
Erkan Solmaz
Erol Celepsoy
Ersin Kaya
Ertan Öztürk
Ertuğrul Eriş
F. Mehmet Nuroğlu
Faik Kemal Özoğuz
Faruk Telemcioğlu
Fatih Kaymakçioğlu
Fatma Zerrin Aşkan
Ferhat Çıra
Fevzi Yıldırım
Figen Özen
Filiz Sarı
Fuat Küçük
Galip Cansever
Gazi İpek
Giyasi Güngör
Gökhan Aydın
Gökhan Serdar Özcanlar
Gökhan Sezer
H. Ali Yiğit
H.İbrahim Okumuş
H.Zeynep Sözmen
Hacer Uğurlu
Hakan Aktay
Hakan Ali Çırpan
Hakan Hocaoglu
Hakan Kuntman
Halit Pastacı
Hamza Koç
Hasan Dinçer
Hasan Ece
Hasan Zorlu
Hasbi İsmailoğlu
Hasret Genç
Haşim Aydıncağ
Hayrettin Köymen
Hilmi Akdoğan

Huriye Alacakaptan
Hüseyin Ergun Doğru
Hüseyin Orman
İbrahim Aksöz
İbrahim Güner
İbrahim Saral
İhsaner Alkım
İlhan Kocaarslan
İlker Ceylan
İlyas Dolaş
İpek Erdoğan
İrfan Dinçay
İrfan Karagöz
İrfan Şenlik
İrfan Tufan
İsa Güngör
İsa İlisu
İsmail Hakkı Altaş
Kemal Leblebicioğlu
Kubilay Çelik
Kubilay Çetiner
Kubilay Eker
Kurthan Gençel
Lütfü Sarıbulut
M. Tahir Güneşer
M. Timur Aydemir
M. Nail Türker
Mahir Ulutaş
Mahmut Galip Demircan
Mehmet Bayrak
Mehmet Bozkırlıoğlu
Mehmet Mak
Mehmet Mazmanoğlu
Mehmet Tahir Özden
Mehmet Turgut
Mehmet Üstündağ
Melis Saltier Değerli
Mesut Dargut
Metin Gökaşan
Mithat İdemen
Murat Görmemiş
Musa Aydın
Mustafa Akçakaya
Mustafa Bulut
Mustafa Demirören
Mustafa Özyazar
Mustafa Şekkeli
Mustafa Tokhan
Mutlu Güner
Münir Büyükyazıcı

N. Sedat Gülşen
Namık Cibaroğlu
Nazife İlhan
Nejat Tuncay
Nevin Dargut
Nevzat Çelteç
Nihal Türüt
Nur Güleç
Nusret Gerçek
Nüvit Demircan
Ogün Gökpinar
Okan Hakverdi
Onur Koçak
Orhan Örucü
Oruç Bilgiç
Osman Bahadır
Osman Eroğul
Ömer Usta
Özcan Kalenderli
Özcan Özay
Özgür Erçetin
Özgür Gürbüz
Özkan Mucuk
Pınar Hocaogulları
Remzi Çınar
Rengin Ünver
S. Abdullah Aytekin
Sabri Günaydın
Salman Kurtulan
Seda Biçer
Seda Deniz Acar
Selçuk Esen
Selçuk Parker
Selim Baktir
Selim Şeker
Selim Yetkin
Selma Erat
Semahat Demir
Serap Kırılmaz
Serdar Özoğuz
Serdar Parker
Serhat Erküçük
Serhat Şeker
Serkan Kılıç
Sermin Onaygil
Seyit Çankaya
Seyit Gazi Bal
Sezer Erkli
Sıddık Yarman
Sıdıka Ödel

Sinan Karamahmut
Sırdaş Karaboğa
Suat Kaş
Sultan Tepe
Şanver Ünsal
Şule Emre
Şükrü Özen
Tanay Sıdkı Uyar
Tanju Akleman
Tarık Öden
Tarık Reyhan

Tayfun Akgül
Tayfun İşbilen
Temel Kayıkçioğlu
Tuğçe Kartalkanat
Tuğçe Özcan
Tuncay Atman
Uğur Çini
Uğur Töreyn
Uran Tiryakioğlu
Ülker Dağcı
Ümit Berkup

V. Tuncer Özekli
Vasfi Seber
Veysel Baysal
Yağmur Hacıaliefendioğlu
Yakup Yıldız
Yalçın İşler
Yıldırım Söylemez
Yılmaz Gündoğan
Zafer Arabul
Zeliha Aziret

SEMPOZYUMU ÇALIŞMA GRUBU

Prof. Dr. Galip Cansever (Grup Başkanı)
F. Kemal Özoğuz (Sözcü-Raportör)
Yrd. Doç. Dr. M. Timur Aydemir
Dr. Erdener Ildız
Nihal Türüt
Sabri Günaydın
Erhan Denizeri

İÇİNDEKİLER

SUNUŞ	1
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU-I	3
Oturum Yöneticisi: Öğr. Gör. Dr. Onur Koçak (Başkent Üniversitesi).....	3
Sentetik MR Cihazları ve "MAGIC" Sekansı / Yüksek Çözünürlüklü Volümetrik	
Tarayıcı ve Teşhiste Dual Enerji / PET.CT Sistemlerinde Yüksek Sensitivite	
Yeni Nesil Kristaller ve Kazanımlar	
<i>Dinçer Diren (GE Healthcare Sağlık).....</i>	3
Panel: BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ EĞİTİMİ, SEKTÖRÜN İHTİYAÇLARI VE İSTİHDAM	13
Panel Yöneticisi: Orhan Örucü (EMO).....	13
<i>Prof. Dr. Yekta Ülgen (Boğaziçi Üniversitesi).....</i>	15
<i>Prof. Dr. Ata Akın (Acıbadem Üniversitesi).....</i>	17
<i>Hakan Evsine (Acıbadem Sağlık Grubu).....</i>	22
<i>Barış Ünlü (Etkin Tıbbi Cihazlar).....</i>	25
TIP BİLİMCİLER AÇISINDAN BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİNİN ÖNEMİ	37
Oturum Yöneticisi: Prof. Dr. Aydın Akan (İstanbul Üniversitesi).....	37
Tıp Bilimlerinde Biyomedikal ve Klinik Mühendisliği Hizmetlerinin	
Yapılanması ve Önemi	
<i>Prof. Dr. Aydın Akan (İstanbul Üniversitesi).....</i>	37
TDCS (Transkranyal Doğru Akım Uyarımı) Yeni Uygulama Yöntemleri	
ve Klinik Kullanımı	
<i>Prof. Dr. Sacit Karamürsel (İstanbul Üniversitesi).....</i>	40
Farklı Beyin Bölgeleri Arasındaki Etkileşimlerin Elektrofizyolojik Yöntemlerle	
İncelenmesi	
<i>Prof. Dr. Cüneyt Göksoy (GATA).....</i>	47
Motor Ünite Potansiyeline Farklı Bir Bakış: Taramalı EMG	
<i>Prof. Dr. Barış Baslo (İstanbul Üniversitesi).....</i>	54
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU-II	65
Oturum Yöneticisi: Prof. Dr. Cüneyt Göksoy (GATA).....	65
Difüzyon MR	
<i>Yrd. Doç. Dr. Hale Pınar Zengingönül (Namık Kemal Üniversitesi).....</i>	65
Kırpma Eşikleri: İşaret ve Gürültüyü Ayırmada Yeni Bir Yöntem ve Biyomedikal İşaret	
İşlemede Uygulaması	
<i>Yrd. Doç. Dr. Murat Okatan (Cumhuriyet Üniversitesi).....</i>	70
Farklı Dikkat Durumlarının Uyarılmış Potansiyeller ile Analizi	
<i>Doç. Dr. Ayşegül Güven (Erciyes Üniversitesi).....</i>	80

Panel: BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ VE SEKTÖRÜN GELECEĞİ	87
Panel Yöneticisi: Fikret Küçükdeveci (Kardiosis Ltd Şti.).....	87
<i>Prof. Dr. Osman Eroğul (TOBB ETU).....</i>	88
<i>Yrd. Doç. Dr. Gökhan Ertaş (Yeditepe Üniversitesi).....</i>	91
<i>Dr. Onur Koçak (Başkent Üniversitesi).....</i>	92
<i>Kayhan Kayan (EE Müh. Metsis Ltd. Şti.).....</i>	96
<i>İşbara Alp Sezen (Sağlık Bakanlığı Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Birimi).....</i>	99
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU-IV	109
Oturum Yöneticisi: Prof. Dr. Osman Eroğul (TOBB ETU).....	109
Beyin Araştırmalarında Mühendislik Yaklaşımları	
<i>Doç. Dr. Rifat Koray Çiftçi (Namık Kemal Üniversitesi).....</i>	109
Kişiyi Özel İmplantasyon ve Doku Mühendisliği	
<i>Prof. Dr. Osman Eroğul (TOBB ETU).....</i>	117
Biyobenzetim Yoluyla Doğala Benzer Malzeme Üretimi	
<i>Yrd. Doç. Dr. Feride Şermin Utku (Yeditepe Üniversitesi).....</i>	127
Kanser Dinamiği, Optimum İlaç Miktarının Belirlenmesi	
<i>Prof. Dr. Metin Salamcı (Gazi Üniversitesi).....</i>	130
Deneysel Stereotaksik Cerrahi Yöntemleri	
<i>Doç. Dr. Serdar Demirtaş (GATA).....</i>	138
Panel: BİYOMEDİKAL İŞARET VE GÖRÜNTÜ İŞLEME	145
Panel Yöneticisi: Prof Dr. Nizamettin Aydın (YTÜ).....	145
<i>Prof. Dr. Ergin Atalar (Bilkent Üniversitesi).....</i>	146
<i>Prof. Dr. Cengizhan Öztürk (Boğaziçi Üniversitesi).....</i>	150
<i>Prof. Dr. Aydın Akan (İstanbul Üniversitesi).....</i>	156
<i>Yrd. Doç. Dr. İsa Yıldırım (İTÜ).....</i>	158
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU-III	167
Oturum Yöneticisi: Öğr. Gör. Dr. Onur Koçak (Başkent Üniversitesi).....	167
ECG Sinyallerinde Kaotik Gürültüyü Giderebilmek İçin Dalgacık	
Paket Dönüşümünün Kullanılması	
<i>Yrd. Doç. Dr. Mehmet Üstündağ, Yrd. Doç. Dr. Ahmet Güner (Bingöl Üniversitesi).....</i>	168
Biyolojilama Uygulamaları ve Nano-Biyosensörler	
<i>Aytaç Onur, Semih Korkmaz, Doç. Dr. Mustafa Türkmen,</i>	
<i>Yrd. Doç. Dr. Sabri Kaya (Erciyes Üniversitesi).....</i>	172
Bilgisayar Kontrollü Damar Yolu Bulma Cihazı Tasarımı ve İmalat	
<i>Büşra Özgöde, Ulaş Umut Tarhan, Deniz Cengiz, Öğr. Gör. Dr. Onur Koçak</i>	
<i>Öğr. Gör. Arif Koçoğlu (Başkent Üniversitesi), Barış Çoruh (İBÜTEM).....</i>	179
Üç Osilatörlü Kalp Sistem Modeli Kullanarak EKG İşaretlerinin Üretilmesi	
<i>Prof. Dr. Mahmut Ün (Yeni Yüzyıl Üniversitesi), Manolya Ün (Medical University Of Pleven). 183</i>	

SUNUŞ

19-20-21 Kasım 2015 tarihlerinde İstanbul Harbiye Askeri Müze Kültür Sitesi'nde (EEMKON2015) "Elektrik Elektronik Mühendisliği Kongresi" düzenledik. Yoğun bir katılımı ile gerçekleştirdiğimiz Kongre, sadece elektrik mühendislerine değil, elektronik, kontrol ve biyomedikal mühendislerine de yönelik bir dizi etkinliğin gerçekleştiği, üniversitelerin ve meslek alanımızdaki diğer kurum ve kuruluşların desteğini alan başarılı bir çalışma oldu.

Yedi ayrı sempozyumdan oluşan kongreye; TESİD, ENOSAD, İPYD, EMSAD, ETMD, ATMK gibi pek çok sektör derneği ve kuruluşu ile birlikte TSE, BTK, EÜAŞ gibi kamu kuruluşları ve aralarında İTÜ, İstanbul Üniversitesi, Boğaziçi Üniversitesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sabancı Üniversitesi, Işık Üniversitesi, Galatasaray Üniversitesi, Bingöl Üniversitesi, Hacettepe Üniversitesi ve Bilkent Üniversitesi olan 38 üniversite destek verdi. Üç günde 525 delege, 770 öğrenci ve 820 kayıtlı izleyici ve ayrıca sergi ziyaretçileri ve kayıtsız izleyicilerle birlikte 3000'ü aşkın katılımcının izlediği kongrede; 12 panel, 45 oturum düzenlendi ve dokuzu yurtdışından olmak üzere 245 konuşmacı sunum yaptı.

Kongrenin yedi sempozyumundan biri olan Biyomedikal Sempozyumu kongrenin en yoğun katılıma sahne olan ilgi çekici sempozyumu oldu. Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumunda dört bildiriler oturumu ve dört panel ayrıca altı davetli konuşmacı yer aldı. Sempozyum boyunca; 45 akademisyen, dokuz meslek odası ve sektör temsilcisi, gerek bildiriler oturumlarında gerekse panellerde çalışmalarını ve deneyimlerini izleyiciler ile paylaştılar.

Odamız meslek alanları içinde yer alan biyomedikal mühendisliği uygulamalarında farklı mühendislik ve tıp bilimleri disiplinleri iç içe geçmiş durumdadır. Ancak mühendislik ayağında konunun gerçek muhatabı olan biyomedikal mühendislerinin; dünyada ve ülkemizde tanı ve tedavideki cihazlara ilişkin gelişen ve geliştirilmekte olan teknolojiler, tıbbi ve sağlık malzemelerinin üretim, işletme ve arz konularındaki rolünün, sorunlarının ve beklentilerin ele alındığı sempozyum, bir sonraki sempozyum için de önemli alt yapıyı ve katkıyı oluşturmuştur.

- Biyomedikal mühendislerinin mesleğe dair teknik bilgi ve deneyim paylaşımının ve eğitimsel faaliyetlerinin örgütlenebilmesi;
- Ülkemizde Biyomedikal Mühendisliği alanının gelişimine katkı konulması;
- Biyomedikal mühendislerinin yetki ve sorumluluklarının etkin kılınması;
- Biyomedikal mühendisi üyelerin özlük ve sosyal haklarının korunması;
- Özellikle üniversitelerin biyomedikal mühendisliği bölümünde eğitim gören öğrencilerin mesleğe hazırlanması;
- Sektörel buluşmaların sağlanarak mesleki gelişim ve ihtiyaçlara katkı sunulması önem taşımaktadır.

Bu sempozyumun ortaya koyduğu en önemli verilerden biri de, Biyomedikal Mühendisliği alanının Tıp alanından ayrı düşünülmemesi ve bundan sonra yapılacak etkinliklerde bu özelliğin göz önünde tutulması gerektiği yönünde olmuştur.

EEMKON 2015 Düzenleme Kurulu

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU - I

Oturum Başkanı: Dr. Onur Koçak (Başkent Üniversitesi)

Dr. Onur Koçak- Değerli katılımcılar; hoş geldiniz.

Bu oturumda, GE Healthcare'den Sayın Dinçer Diren “Sentetik MR Cihazları ve ‘MAGIC’ Sekansı” başlıklı sunumunu yapacak, buyurun Dinçer bey.

Sentetik MR Cihazları ve ‘MAGIC’ Sekansı

Dinçer Diren (GE Healthcare Sağlık)- Öncelikle, bu fırsatı bize sunmuş olduğunuz için çok teşekkür ediyorum. Sempozyuma General Elektrik, yani GE firmasını temsilen katılıyorum. Burada olmak benim için müthiş keyif verici bir duygu.

Sizlere üç ana konu başlığı altında kısa bir sunum yapmaya çalışacağım, amacım, olabildiğince geçmişten ziyade bugünü ve mümkünse biraz da geleceği anlatmak olacak.

Eğer izniniz olursa ve bu konuda bana destek olursanız çok sevineceğim, bu sunumu sizlerle beraber yapmak istiyorum. Dolayısıyla birkaç sorum olabilir sizlere arada. Bu tacizimden dolayı şimdiden özür diliyorum.

Hastanede bugüne kadar MR çektiren var mı? El kaldırır mısınız lütfen? Çok teşekkür ediyorum.

Hastane ya da radyoloji veya görüntüleme kliniği dediğimiz zaman aklımıza ekipman adı geliyor mu?

Evet, bir hastanede makine denildiği zaman aklınıza gelen cihazlar hangileridir?

Salondan- Ultrason, tomografi, MR, mamografi de olabilir, kemik tarama...

Dinçer Diren- Teşekkür ediyorum.

Bütün sistemi kurabilirsiniz şu anda.

Pekâlâ, MR, hepimizin bildiği bir şey. Televizyonu açtığınız zaman, birkaç defa “MR, MR, MR” diye duyarsınız. “Futbolcunun dizi sakatlandı, MR’a soktular, MR’ı temiz çıktı” vesaire diye sık duyduğumuz bir şey. Bugün konuşacağımız konu MR değil, sentetik MR diye bir şeyden bahsedeceğim size.

Her popülasyonda ve her ortamda –mikro veya makro bakabilirsiniz bu konuya- kendimiz için devrim olarak atfedebileceğimiz şeyler oluyor dünyada. Bir karınca yuvasında da bunu devrimsel bir şey oldu diye adlandırabilir kraliçe karınca veya bir ülkenin yöneticisi değişebilir, buna da devrim denebilir. İşte bizim tam da biyomedikal dediğimiz alan içerisinde, MR görüntüleme teknolojileri için devrim niteliğinde olduğunu iddia ettiğimiz bir gelişmeye tanıklık edeceğiz tam da burada.

Önce, birkaç eski dosttan birkaç kelam hatırlatmak istiyorum.

Huzur içinde yatsın, Steve Jobs demiş ki, “Dünyayı değiştirebileceğini iddia eden çılgınlar aslında dünyayı değiştirenlerdir.” Dünyayı değiştirmek, bir teknolojiye çok büyük bir devrim yapmaktır aynı zamanda arkadaşlar.

Başka bir eski dost demiş ki, “Eğer yapılabilecek bir yol varsa, onu yap.” Kim demiş? Thomas Edison.

Thomas Edison neyi buldu arkadaşlar? Ampulü.

Thomas Edison'un GE'nin kurucusu olduğunu bilen kaç kişi var burada? Hatırlamanızı isterim.

Einstein demiş ki, "Bir şeyi eğer basit anlatamıyorsam, bilgimden şüphelenirim."

İlk bölümde sentetik MR teknolojisine girmeden önce, öncelikle bu MR nasıl çalışıyor, ona değinmek istiyorum.

Adamlar bir makine yapmış, içine giriyorsun, seni dilim dilim kesiyorlar, dokularının enteresan görüntüleri çıkıyor. Bu iş nasıl oluyor?

Çok basit anlamıyla arkadaşlar; MR dediğimiz sistem, gördüğümüzde hepimizin artık tanıyabileceği bir gantry ve masa tertibatından oluşan bir magnet'tir. Magnet'i, bildiğimiz mıknatıs gibi düşünebilirsiniz. Daha basite indirgeyerek her şeyi anlatacağım. Vücudumuzda en fazla bulunan şey nedir arkadaşlar? Su. Suyun içinde en fazla ne var? Hidrojen. Hidrojenin fazla olması ne işe yarar? Sample oranının en fazla olduğu kitle. Yani görüntüyü almak için bir şey kullanacaksak, hidrojenden bol bir şey yok vücutta. Haydi hidrojene dağılalım o zaman.

Ne yapıyor bu alet? İçeriye girdiği zaman vücudumuzdaki hidrojen atomlarını kuzey ve güney yönünde magnetin içerisinde diziyor. Yani normalde serbest spin atan hidrojen atomlarımız magnetin içerisinde (diyelim) kuzey ve güney yönünde diziliyorlar. Ama hepsi bunu yapıp başaramıyor, arada bazı tutarsız, kararsız hidrojenler var; "Ne yapayım, nereye gideyim?" diye kalıyorlar ortada. İşte biz bu atomlara diyoruz ki, "Madem ortada kaldın, al sana RF pulsu yolluyorum ben." Niye? "Sen sus, bir bildiğim var" diyorum. Arada kalan bu yeşil tutarsız hidrojenlere gönderdiğim puls ters yönde spin attırmaya başlıyor bu hidrojenlere. Yani MR çekimi yapılırken sizin vücudunuzda bunlar oluyor arkadaşlarım. Ters yönde spin atan o hidrojen atomlarına daha sonra vermiş olduğumuz o puls kesiyoruz birdenbire. Ne güzel, iyiydi böyle; puls derken, hidrojen atomu, bu sefer spini stabil, eski haline dönmekte bir eğilim gösteriyor ve bu eğilim esnasında bir enerji salıyor dışarıya. İşte o salınan enerjiyi de sistem belli duyargalarla toplayıp sinyalleri görüntü formatına çeviriyor.

Nasıl? Şimdi birazcık daha detaya girip sizin canınızı sıkacağım.

Key space diye bir şey var arkadaşlar. Key space, MR'da kullandığımız tabiri ile söyleyeceğim, bir galaksi olarak düşünelim bunu, galaksinin içindeki yıldızlar da işte o her hidrojen atomundan salınan enerjinin toplanma hususi frekans oranı. Parlaklık dereceleri, o enerji salınım esnasında her bir elektronun kendine has münferit bir farklı enerji salınım noktası var ve bu da bir ray tonlaması yapıyor ve sistem bilgisayarda bunu bir matematik algoritması ile kodlayıp görüntüye çevirirken, bu algoritmayı key space üzerinde kullanıyor. Sonunda da elde ettiğimiz şey, yani toplanan data karmaşık galaksiye benzeyen bir mat yüzey.

Biraz daha detay. Söz veriyorum, daha detaya girmeyeceğim.

Mesleğimizde fotoğraf makinelerinin mantığından sık sık yararlanıyoruz. Aslında biz birer fotoğraf makinesi üretiyoruz arkadaşlar. Bir nevi fotoğraf makinesi bunlar da. Shutter speed, beyaz denge ayarı, diyafram ayarı, lens ayarı gibi bir sürü şey var. Niye? Görüntünün farklı formatlarla görsele dönüştürülebilmesi için bu ayarları yapıyoruz bildiğiniz gibi...

Fotoğrafçılıkla uğraşan var mı aramızda? Teşekkür ediyorum. Size bir sorum olacak efendim biraz sonra.

MR'da işte diyafram, beyaz ayarı, beyaz dengesi, shutter speed'i vesairesi gibi şeylerden bahsedecek olursak, bunun için; inversion time, eko time ve repetetion time diye yabancı dilde tanımlanan ifadeler kullanılıyor. Bu nedir? O verilen pulsun tatbik süresi, arasında bırakılan süre, enerjinin geri emisyon süresi gibi anlamlar taşıyan ölçekler. Bu ölçeklerle doktorlarımız ve teknisyenlerimiz oynayarak bazı protokollar yazıyorlar. Arkadaşlar, MR'da yapılan şey şu: Başım ağrıyor diye doktora gittiniz. Siz, "MR'im çekildi" dediğinizde doktor önüne gelen bir tek görüntüye bakmıyor. Az önce bahsettiğim üç parametreyi farklı farklı kodlarla konumlandırarak ve farklı zamanlarda tatbik ederek, aynı görüntünün farklı kontrastlarını alıyor. Bunlara isim de veriliyor, işte T1 görüntü, T2 ağırlıklı

görüntü, flair görüntüsü, stear, foton density vb. gibi bir sürü şey. Niye? Double check, triple check, quarter check, yani göremediğim bir şeyi, “Bak, burada bunu vermiş, öbüründe de bu tepkiyi veriyor; evet, bu ur” diyebilmek adına bunu yapıyoruz. Sorun şu arkadaşlar: Fotoğraf makinesinde akşam çektiğiniz bir görüntüyü, gündüze çevirebilir misiniz?

Sayın hocam, nasıl çevirebilirsiniz?

Salondan- Tabii ki yazılım kullanarak.

Dinçer Diren- Hangi formattaki görüntüyü?

Salondan- Raw data.

Dinçer Diren- Bravo.

Arkadaşlar; maalesef, bu MR’da mümkün değildi. MR’da aldığınız bir görüntüyü belirli bir TI, TE ve TR değerleri ile değiştirip aplike ettiğinizde alacağınız görüntüler bellidir, daha sonra değiştiremezsiniz. Ne aldysanız odur. Daha sonra bir tetkik esnasında, “Keşke şunun T1 aralığını biraz daha fazla alsaymışım, T2’yi biraz daha fazla alsaymışım da, bu hemoraj mıymış, yoksa kontrast akıntısı mıymış ayırt edebilseymişim ya da böbrek analizi yaparken aradığım o -port of interest diyorlar işte- bulabileceğim şeyi net olarak görebilseymişim” diye pişmanlık duyulabiliyor.

GE Healthcare’in ve bunun arkasında, GE Healthcare’in içinde ve dışında yüzlerce bilim adamının yıllardır çalıştığı bir algoritma, şu anda MR stentlerinde kullanılabilir hale geldi. Nedir o? Geceyi gündüz yapabilme imkânı. Yani baştan set ettiğiniz protokollarla aldığınız görüntüleri hasta gittikten sonra, görüntü üzerinde tamamen farklı bir kontrast tarzına çevirebilme imkânı. Nasıl? Az önce bahsettim; doktorumuz, T1, T2, stear, T1 flair, T2 flair, foton densitiy gibi farklı kontrastlara baktığı bir sekansı şu anda üretilen sistemler tek bir sekansta, ardışık olarak alınmaksızın toplu halde raw data şeklinde elde edebiliyor.

Sentetik MR’ın kıymeti harbiyesi şu: Bu aldığınız raw datayı daha sonrasında aynı fotoğrafı “Yahu, şunun bir beyaz dengesini değiştireyim de gündüz gibi olsun” dermişçesine farklı kontrast renklerine artık alabiliyorsunuz ve sonsuz olarak da bunu yapabiliyorsunuz. Sonsuz TI, TE ve TR değerinde çekimden sonra oynanabilmesinden bahsediyorum.

Arkadaşlar; biraz daha kantitatif hale getireyim bu mevzuyu. Bu, bir zaman ve bilgi toplayabilme kabiliyeti meselesi. Bu bahsettiğim konvansiyonel yöntemlerle çekilen MR’larda alınan veriler ardışık çekiliyor dedim size. Aşağı yukarı 3 dakika, 4 dakika, 5 dakika ardışık çekimlerle...

Kaç dakika sürdü arkadaşım MR çekiminiz?

Salondan- Benim MR’ım biraz yavaş çekildi, 20 dakikadan fazla sürdü.

Dinçer Diren- 20 dakikadan fazla sürdü demek. Ben biraz daha iyimserim; teknoloji geliyor işte. Ardışık çekilen bu sekanslar yerine 5 dakikanın daha altında bir sürede veya 5 dakika ortalamada – hastanın kütle endeksine de biraz bağlıdır bu- bütün datanın tamamını sigmajlar halinde değil, sonsuz kontrast aralıklarını da kapsayacak şekilde alabilme imkânına sahibiz artık sentetik MR cihazlarında. Bunun sağlayabileceği diyagnostik kabiliyetin ne olduğunu tasavvur etmenizi istiyorum. Bu çok kritik bir konudur. MR devrimi dediğimiz şey bu. Mikro bir devrim belki, ama bu camia için çok önemli bir devrimdi bu. Çok mutluluk duyduğum bir konu var ki sizinle paylaşmak istiyorum: Dünyada bu sentetik MR’ların ilk serisi, ilki tam da yanı başımızda, İstanbul’da kuruldu.

MR teknolojisi, tabii, her zaman biraz daha kayırılıyor diğer cihazlarımıza göre. Ama aslında her cihazın, bulunması olmazsa olmaz olan ve muhteviyatının zorunlu olduğu unsurları var. Tomografi cihazı da bunların bir diğer tarafı. Elmanın ikinci yarısı diyelim. Tomografi cihazı, biliyorsunuz, MR’dan çok daha seri ve hızlı çekim yapabilen bir cihaz ve çok değerli. Bu konuda sektörde bulunan lokomotif firmaların harika sunumları var. Bunu markalar bazına indirgemek istemem. Bu arada, kendimi daha önce tanıtmadığım için özür diliyorum sizlerden. Yaklaşık 13 yıldır bu işi yapıyorum ve bu alanda farklı firmalarda görev aldım. Şunu size çok net olarak söyleyeceğim: Ben bugün buraya

bir firma tanıtımı yapmaya gelmedim. Bunun bir teknik konuşma olmasını arzu ediyorum. Buradan çıktığımızda aklımızda bazı konseptlerin kalmasıdır temel amacım. Çünkü zaten gün içerisinde çok fazla marka tanıtımı yapıyoruz. Burada göstereceğim ve anlattığım şeyler mecburiyetten. Tabii ki daha hâkim olduğumuz güncel, şu an temsil ettiğim markanın çıkartmış olduğu ürünler. Ama her firmanın sizler için var olduğunu ve sizler için iyi bir şey yapmaya çalıştığını ve iyi şeyler yapıyor olduğunu biliniz. Dünyada iyi bir tek marka yoktur, hepsi iyidir.

Tomografi cihazı ile ilgili bizim konseptimiz biraz daha farklı. Aslında tüm firmalarınki farklı. Tomografide bir cihazın kalsifikasyonu dendiği zaman... Biraz daha artık komplike bir şey soruyorum, tomografi ile eğer bir münasebetiniz olduysa; bir tomografi klasmanını ne belli eder? Yani iyi tomografi, kötü tomografi diye bir şey yoktur; ama düşük seviye, orta veya üst seviye tomografi kastedildiğinde aklınıza gelen bir parametre var mıdır arkadaşlar?

Salondan- Kesit sayıları.

Dinçer Diren- Çok teşekkür ederim. Harika bir izleyici topluluğu var burada. Bu, normalde herkesin, bu sektörün içinde olmayan insanların bilebileceği bir husus değil.

Evet, kesit sayıları arkadaşlar. 2000 yılının başından itibaren tek kesit tomografiler yıllarca gelmeye devam etti; birdenbire uyandık ki –ben de sektöre yeni girmişim o zaman, tam böyle sersem sersem geziyor gibiydim, affedersiniz- 2 kesit tomografi diye bir şey duyuruldu, “Multi-slice”... Bu da ne demek, nasıl oluyor bu? dedik. İki detektörü var. Tek turdan bir kesit almıyor da, vücuttan iki kesit alıyor. Eh, o zaman geri turda bitirecektir tabii tarayacağı yeri. Demek ki daha hızlı çekecektir. Biz tam onu öğrenmeye çalışırken, 4 kesit tomografi diye bir şey çıktı bu sefer 1 sene sonra. Allah Allah! Durun falan derken 16, 32, 64, vb diye sanki yok mu artıran gibisinden hızla gelişen bu mevzuda, 128-kesit klasmanından sonra bir şeyler değişti. Firmaların konuya bakış konseptlerinde çok rijit, dramatik bir ayırım oldu. Üç hatta dört ana üreticinin “superior teknoloji” olarak tanımladığı unsurlardaki yönelimlerinde çok dramatik, farklı tasarımlar gördük. Neydi onlar?

Biraz anatomisini inceleyelim tomografinin. Nedir tomografi çok basit anlamda; içerisinde bir detektörü, üzerinde bir tüpü olan –gantry’si içerisinde- hasta etrafında spin atan bir sistem. Hastanın üzerinden axiel formatta –biftek dilimi gibi düşünelim bunları– kesit alan bir makine. O kesitleri daha sonra alt alta, üst üste dizip -multiplaner rekonstrüksiyon diyoruz-, MPR; sagittal, axial, coronal yani yandan, önden, yine axe deal 3D formatında rekonstrükte edebilen makine demek.

Peki, bu sistemde uç teknolojiden bahsediyorsak, şunlara bakmamız gerekir;

*Temporal çözünürlük: Canı acıyan insanların ağzından bu örnekleri yazdım arkadaşlar. “Zamanı durdurmak istiyorum; hareket, hareket, hareketten kurtulmak istiyorum” diyordu hocamız. Ne demek o? Temporal rezolüsyon bir işe yarar arkadaşlar; hızlı bir şeyi, organı çekiyorsan, hareketli bir organı... Bizim en sıkıntı çektiğimiz şey harekettir hastada. Hasta hareket ederken görüp çekmeye kalkarsanız, görüntüde rotasyon olur. Tıpkı nede olduğu gibi hocam; gece fotoğraf makinesinde shutter speed’iniz yavaşsa, çektiğiniz görüntünün dağınık bir şekilde çıkması gibi. Hızlı bir shutter speed olursa makinenin –ki biz burada rotasyon olarak bunu atfediyoruz- o zaman hareketli ortamdaki hareketli kısma denk gelme ihtimalimizi düşürür, zamanı durdurabilecek kadar kristal berraklığında görüntü alabiliriz.

*Uzaysal çözünürlük: Yani rezolüsyon, yani baktığın şeyin görüntü kalitesi. Arkadaşlar; makinenin hızlı olması, az doz vermesi çok önemli ve kritik şeylerdir, hızlı çekmesi de aynı şekilde. Ama bizim önceliğimiz, belki hayatımızda bir veya üç defa gireceğimiz bir makinede, o girdiğimiz turda teşhisi koydurabilecek kadar görüntü alabilmemizdir, en önemli konu budur. Bir makine eğer bu alanda maksimum çözünürlüğü sağlayabiliyorsa, o makine birinci amacına hizmet ediyor demektir. Bunun bir ölçüm metodu var: Lice-pair / milimetre. Tarak fantom denilen bir şey var arkadaşlar, çizgi çizgi bir şeydir. Sistemin içine koyduğunuzda, taraklar arasındaki çizgiler birbirine yaklaştıkça görüntülenmesi zorlaşacağı için, ne kadar daha ince tarak çiftlerini görebilir hale geliyor; bunun ölçüğü budur. Bu, izdüşüm olarak tomografide 1-2 milimetrelik damarın içerisini görebilmek adına

önemli bir göstergedir, o cihazın çözünürlük kabiliyetini gösterebilmek adına.

*Volume kapsamı: Bakınız, çok distinct, ayrı bir konseptten bahsedeceğim şimdi size. Marka bağımsız konuşuyorum. Bir firma dedi ki “Ben detektörümü büyüteceğim, büyüteceğim, büyüteceğim, tek turda kocaman kocaman yerleri çekeceğim.” Bir başka firma dedi ki, “Ben temporal rezolüsyonu artırmak suretiyle hareketli masa içerisinde çok daha hızlı olarak görüntülemeyi yapacağım.” Bunun için de çift-tüp mesela çok güzel teknolojidir kullanılan. Bir başkası da “Ben detektör kalınlığından önce rezolüsyona oynayacağım” dedi. Bu anlamda kardiyak çözünürlükte high-definition görüntülemeyi nasıl yapabilirimin peşine düştü. Birazdan şimdi anlatacağımda göreceksiniz bunu.

Sonuç itibarıyla, mükemmel teknolojiler farklı yollarda yürümeye devam etti. Hepsi sanat eseri, teknoloji harikası aygıtlar olmasına rağmen, önem skalası kullanıcısına ve hastasına göre değişen şeylerdir tabii ki bunlar.

*Dual enerji konsepti: Bir dördüncü konsept ise bugünkü konumuz olan, mutlak değer dual enerji.

MR-sentetik ile MR farkından bahsederken bir şeyin altını çizmiştim. Burada da dual enerjiyi ara ara duyabiliriz, ama mutlak değer dual enerji kelimesini buradan çıktığınızda hatırlarsanız çok mutlu edersiniz beni. Nedir o?

Sırayla gidelim.

Öncelikle yüksek çözünürlük konsepti nedir tomografide? Sistemlerimizde kullanmakta olduğumuz materyal, detektör materyali aldığı X ışınının vücuttan soğrulduktan sonra detektör tarafından emit edilebilme kabiliyetiyle ölçülecek arkadaşlar. Dolayısıyla burada bizim sistem üzerine kullandığımız GE'ye yönelik uygulama suni elmas detektör kullanır. Suni elmas detektör, kullanım tertibatı içeriğindeki kristalin yapısı gereği tepki alabilme kabiliyeti çok daha yüksek olan bir materyaldir. Bunun tabii ki kabiliyetlerini görüntüleyemezdik; rezolüsyon farkları ile kullanıcıların beğenisine ve hastalarımızın şifa bulabilmesi için uygulamalarına sunuyoruz. Rakamlarla çok fazla oynamak istemiyorum, detaylara girmek dışında; çünkü bir şeylerden bahsedeceğim burada. Asıl bahsetmek istediğim konu, eğer böyle bir materyal kullanırsanız, sadece maksimum görüntü kalitesini elde etmiyorsunuz. Elmas detektör “gem stone” diye geçer GE'nin tabirlerinin içerisinde. Bu aynı zamanda mutlak değer dual enerjinin kapılarını açan bir materyal olarak önümüze çıktı. Bakın, size az önce anlattığım çözünürlük ve rezolüsyon değerleri, line-pair/santimetre. Eğer tepkimesi, görüntüleme, viewing, sampling rate'i artarsa bir materyalin, aldığınız X ışınıyla, bir taşta iki kuş değil, beş kuş, yedi kuş vurmanızı sağlar. Bu da aldığınız datayı daha fazla görebilme, daha fazla içeriğine, derinliğine bakabilme imkânı sağlar. Bu da işte daha önce bahsettiğim, amacımız olan “Kalbim sıkıştı” diyen hastamızın ana aortlarına değil de, distinct dümen uçlarının içerisinde senoz var mı, yok mu, onu ayırt edebilecek kadar ince görüntü yapabilmenizi sağlayacak olan teknolojidir.

Peki, neyin kapısını açtı demiştik; mutlak değer dual enerjinin. Biz buna “spektral görüntüleme” diyoruz, gem stone spectral imaging, GSI kısa adıyla. Konsept şu: Aynı MR'da sekans farkları gibi tomografi cihazlarımızda da tatbik ettiğiniz doz miliamper cinsinden ve tatbik edilen süre olan saniye cinsinden, mass cinsinden ölçülen bir değerdir. Burada enerji kotasyonunu ayarlayan kilovoltaj değerini farklı değerlerde ayarlayarak vücuda verirken vücutun görüntü olarak geri verdiği tepkime de farklı kontrastlarda oluyor.

Bunu şunun için yapıyoruz arkadaşlar. Bir; görüntü kalitesini artırmak için. Tamam o herkesin birinci amacı, bunu sağlıyor, evet. Ama iki; doku karakterizasyonu yapmanızı sağlayan bir unsur da bu. Yani gri skaladan bakıp da, “Evet, bu kan, bu iyodin olabilir, bu kontrast madde olabilir” değil, “Bu kontrast maddedir, bu iyodindir, bu kontrasttır” diyebiliriz. Niye? Bakın, atom değeri var çünkü üzerinde, kantitatif. Bunları yapmanızı sağlayan bir teknolojiye bahsedeceğim şimdi size.

Arkadaşlar; tarama yapılan bir sistemde 80-140 kilovoltu, birim zaman içerisinde 8.000 projeksiyon üzerinde aynı anda, aynı kesitin üzerinde yarımşar dozlarla tatbik edebilen bir tertibat yaptı GE. Bunu yapmaktaki amacı şuydu: Birim zaman içerisinde hakikaten aynı kontrast ve aynı kesitin üzerine iki enerji düzeyini tatbik edebilirsiniz, işte o zaman alabileceğiniz veri ve kontrast farklarından

oluşturabileceğiniz ayırac çok daha geniş ve derin olabiliyor.

Eğer, dual enerjiyi sistemlerinizin üzerinde kullanabilir hale gelerseniz; pumual embolizmaların tariflenmesinde, hemoraj veya metal artefaktlarının giderilmesinde doku karakterizasyonunun yanında bu radiation ve buna bağlı metal artefaktlarının pırlıltılarını ortadan kaldıracak supriksiyon metodolojileri kullanılabilir.

Yine hemoraj kist taramasında olduğu gibi, bu bir kan mıdır, yoksa iyodin midir, bunun farkına varacak bir kantitatif değeri görmenizi sağlıyor dual enerji uygulama yöntemleri.

Peki, dönüp dolaşıp işin yine kalbine gidiyoruz. Kalp, tomografide en zor çekilen organ. Hızlı çünkü, durmuyor, sürekli hareket halinde. Neyi sevmiyorduk biz; hareketi sevmiyorduk. Kalpte dual enerjiyi yapabilir hale gelerseniz, miyokardiyak perfüzyonun kapıları açılıyor. Ne demek o? “Kalbin fonksiyonel hızıyla beraber kalpteki kas yorgunluğunun olduğu veya kalsiyumla tıkanmış olan bir yer veya stent tarafından içerisi görüntüleme blur’u olan yer dar mı, değil mi?” sorularının cevaplarını verebilmenizi sağlayacak olan tekniklere kapı açıyor, bu da.

Uygulanabilirlik alanı: İlk çıktığı zamanlar daha dar olmakla birlikte, şu anda çok daha geniş bir anatomik kitle üzerinde uygulamalarına izin verdi bize dual enerji, bahsettiğim konsept içerisinde. Genel bir fikir olması açısından şunu da ekleyim. Marka bağımsız olarak diyorum; herkesin çok güzel cihazları var, az önce belirttiğim gibi, ama konsept farklarını görmek gerekiyor. Eski nesil, daha evvel üretilen cihazlarda kullanılan dual enerji mekanizması neydi? Hastayı bir kere tarıyorduk, sonra bir daha tarıyorduk. Ama nasıl? Birini 80 kilovoltta, birini atıyorum 120, 130, 140 kilovoltta. İki farklı enerji geliyordu elimize, süperpoze edemiyorduk. Niye? Hastanın yeri değişmiş oluyordu vesaire ve iki defa doz veriyorduk hastaya bunu yaparken. Doz, biliyorsunuz, en nefret ettiğimiz şey.

Bir soru: Tomografi çekiminde aldığınız dozun ne kadar olduğunu veya neye denk olduğunu biliyor musunuz? Sample var elinizde.

Daha zor bir soru soracağım, cevap veremeyin diye.

Arkadaşlar; bir uluslararası uçak yolculuğu yaptığımızda aldığımız doz kardiyak tomografi, bugünün kardiyak tomografi çekimleri ile denktir aşağı yukarı, yani çok düşüktür. İnsan sağlığına ne kadar doz zarar verir? Bu, doğru bir soru ve bunun doğru bir cevabı olamaz belki, ama eski nesil tomografi cihazlarında yılda 20’nin üzerinde çekim yapılan bir çocukta 4 yıl, 5 yıl sonra radyasyon alımına bağlı olan kanser vakalarının teşhislerinden çok fazla örnekler var. Bu sebeple, doz çok önemli. Kesit savaşları bitti arkadaşlar, artık doz ve görsel kalite savaşları var.

Bizim üzerinde durduğumuz konu da diyagnostik kaliteyi artıracak aplikasyonlardır. Bunlardan biri de dual enerji.

Dual enerjideki atomik değerden, daha doğrusu kantitatif dual enerjiden kastettiğimiz şey şudur: Periyodik bir cetveldeki 101 tane atom elementini, bir tomografi cihazı, dual enerji tatbik ederek hangi element olduğunu anlatabilir ve siz tomografi çekiminden sonra, “Bana şu materyali göster” diyerek temiz bir stent, ayıklanmış bir stent, sadece kontrast, kontrastsız görüntüleme veya iki doku arasında arada kaldığınız bir şeyin hangi dokuya ait olduğu, doku mu, yoksa harici bir malzeme mi olduğunu anlayabilir hale geliyorsunuz. Net ve ölçülebilir olarak, gri skala renklerinden değil. Fark bu.

Biz neden tek tüpü seviyoruz, neden çift tüp kullanmadık?

Arkadaşlar; kontrast madde, vücutta hem harici hem de sevilmeyen bir şey. Alerjisi var, yararlı değil ve vücuda yabancı bir madde. Kontrast madde ile yapılabilecek uygulamaları özellikle kontrastsız olarak yapabilme yönteminiz varsa –ki var- bunu dual enerji konsepti ile beraber yapabilmeniz mümkün olabiliyor. Kontrastsız -renal anjiyografi olarak düşünebilirsiniz- single kontrast veya kontrast kullanmaksızın sanal kontrastlanmış görüntülerin alınabilmesi gibi. Bu dual enerji uygulaması, vücutta iki farklı enerji yine kontrast düzeyinin farkını kontrast madde varmış gibi bir ayırac yaparak anatomik taramalarınızı yapabilmenize imkân sağlayan bir diğer metodoloji oluyor.

Son kısma geçiyorum arkadaşlar.

Nükleer tıp diye bir camiamız da var biliyorsunuz, görüntüleme alanında çok distinct'tir. Bu direkt kanser ve moleküler görüntüleme alanında kanser teşhisi hususlarında araştırma yapan ve bunun akabinde onkolojik anlamda terapilere yön veren bir birim. Çok önemli ve kritik bir birim, hayat alanı veren bir birim. Burada da özellikle en çok kullanılan ekipmanlardan bir tanesi PET ya da bugün artık kullandığımız PET-CT. Yani tomografi cihazları ile beraber PET cihazlarının kombine olarak kullanıldığı cihaz konseptleri.

Bugün anlatacağım konuların içeriği bu sistemlerde kullanılan kristaller. Cihazların üzerinde detektör niyetine kristal adını verdiğimiz emitörler var. Yalnız, şöyle bir farkla; MR'daki, tomografideki konseptlerin dışında bir şeyler anlatacağım şimdi size. Tomografide ne yapıyorduk? X ışınını yolluyoruz, hastanın vücudundan geçiyor, kemikten geçemiyor veya daha yavaşlayarak, soğurarak geçiyor, belirli hızlarda vücudu geçebilen elektronlar detektöre saplanarak, X ışınları elektronlara saplanarak, farklı gri skala tonları elde edip, size bir axial görüntü veriyordu. PET'de ne yapıyoruz? PET'de vücuda radyasyonu direkt veriyoruz arkadaşlar, damardan. Verdiğiniz radyasyonu sistem daha sonra şöyle bir kontrol ederek, kanserli hücre var mı yok mu, onu tarıyor.

Kanserli hücre şeker tutar. Vücuda verdiğimiz radyasyonlu materyal aslında glikoz özütü bir materyaldir ve vücuttaki glikozun olduğu, daha doğrusu glikoz tutan urların olduğu bölgelere yapışır ve tutunur. Kristal de tutunulan bölgelerdeki görüntüyü emit eder ve size der ki, "Bak, burası kanserli hücre!" Hastanızı ameliyat veya radyoterapi gibi uygulamalarla şifa bulsun diye onkoloji birimine sevk edersiniz.

Bu kristaller çok önemli arkadaşlar. Kristal dediğimiz zaman ya da detektör dediğimiz PET-CT sistemlerle ilgili, bunlardaki en önemli husus, sensitivitesi. Ne kadar hassas bir şekilde görüntüyü alıp, inceleyip, değerlendirebilmenizi sağlıyor? Bunun da bir ölçüm birimi var; kilobekerel. Counts per second/kilobekerel diye bir ölçüm şekli var bunun. Birim zamanda ne kadar algılayabildiği, o saçılımı, emilimi görebilmemizi sağlayan bir değer. Bu belki şu anda bir anlam ifade etmeyebilir sizin için; ama 22 kilobekerel tarama ve tespit yapabilen sensitivitedeki detektörler artık keşfedildi ve icat edildi. Şu anda da dünyada sunulabilir hale geldi bunlar. Eski nesil sistemlerde veya daha önceki jenerasyondaki sistemlerde bu değerlerin 5,6,7, 8'in altındaki rakamlar olduğunu hatırlatmak isterim ki bu üç katına varan sensitivitedeki detektörler bir işe yarıyor arkadaşlar. Aslında birkaç işe yarıyor. FDG dediğimiz malzemeyi, vücutta daha az, daha düşük dozda kullanmanızı sağlıyor.

Bununla ilgili iki konu var arkadaşlar. FDG'nin bir işletmeci tarafı var; çünkü bunlar pahalı malzemeler aynı zamanda. Türkiye'mizde maalesef hasta insan çok ve bunun sadece diyagnostik şifa dağıtma kısmı gibi elit ve etik olan kısmının dışında bir de sürdürülebilir olması gerekiyor. Sürdürülebilir bir şeyin maliyetleri önemlidir ve maliyetleri eğer azaltılabilecek bir teknoloji varsa, işte o da mühendisliktir. Bahsettiğimiz konu da bu. Hastayı korumak, iyileştirmek mümkün; ama bir de FDG maliyetini düşürebiliyorsanız böyle bir teknolojiyle, o sürdürülebilir kılıyor bunu. Daha kısa tetkik süreleri; yani içeride 20 dakika, 40 dakika kalan hastalar yerine, artık 5 dakikada tüm vücudu PET tetkikinden geçmiş insanlar görüyoruz böylelikle. Daha yüksek çözünürlükte görüntü kaydı yapabiliyorsunuz ki bu aynı zamanda erken teşhistir arkadaşlar. Bir şey görebiliriz veya göremeyiz. Göremediğin şey 2 yıl sonra senin önüne ur olarak geri gelir. Ama erken, mikro modundayken yakalarsanız, o hastalık hiç ortaya çıkmadan ortadan kaldırılabilir. Bu sadece bir insan yaşamını etkilemez, aynı zamanda on binlerce, yüz binlerce lira veya doları korumak anlamına gelir ve bunu daha iyi alanlara zerk edebilmek anlamına gelir. Sağlık sektörü bu yüzden çok önemlidir.

Bütün bu anlattıklarımın sonunda arkadaşlar, bütün firmalar ve meslektaşlarım adına şunu söyleyebilirim. Hepimiz burada bir şey için varız. Öncelikle mikro anlamda radyolojiyi insancıllaştırmak için, ulaşılabilir kılmak için. Korku salan bir şey değil, şifa veren, zevkle kucaklayabileceğiniz hale getirmek için. Ama burada daha kritik ve önemli bir şey var.

Önce eski dosttan (Edison) bir şey daha dinleyelim. Diyor ki "Ben başaramadım değil, ben şanslıydım. Ben bir şeyin nasıl yapılamayacağını on bin tane yolunu biliyorum; çünkü denedim."

Bunu söylemesinin sebebi şu: Ampülü bulduktan sonra bunu söylüyor. O ampülü belki on bin defa deneyip bulamadı, ama sonunda bulduğu bir şey var işte arkadaşlar.

Huzurlarınızda, tek tek hepinize, bu meslek dalını ve bu alanı seçtiğiniz için çok teşekkür ediyorum. Çünkü ben burada bugün size bunları anlatabiliyorsam, bunlar sizin sayenizde olan şeyler. Sizin yarın bulacağınız şeyler yüzünden olacak bu ve on bin defa değil yüz bin defa denemekten lütfen yılmayın.

Çok teşekkür ediyorum arkadaşlar.

Dr. Onur Koçak - Teşekkür ederiz. Sayın Diren'e sorusu olan var mı?

Eren Erdem- PET'de kanserli hücrenin şekeri tuttuğundan bahsettiniz. Diyabetli hastalarda PET-CT çekimi nasıl olur, yani diyabetli olan ile olmayan arasında bir fark var mı?

Dinçer Diren- Aslına bakarsanız çok yüksek, akıl dolu bir soru. İlk defa karşıma geliyor, ben de bir taraftan düşünüyorum ne cevap versem acaba diye. Ama şunu söyleyebilirim bu konuyla ilgili olarak; iletişim bilgilerinizi de mutlaka alacağım cevap verebilmek adına. Bildiğim kısmını anlatayım sizlere.

Sadece FDG ya da şeker özütü bir malzeme kullanılmıyor PET-CT uygulamalarında, biliyorsunuz. Bunun alternatifleri var; karbon, oksijen bazlı vesaire. Tahmin ediyorum, bunlardan bir tanesinin gerekçesi de bu çeşitlendirmede anatomik farklılık olan bölgelerde tespiti yapmak ve bilhassa bu da bir alternatiftir. Diyabetik bir hastaya glikoz özütü olan bir FDG ajanı vermek yerine karbon veya oksijen özütünden elde edilmiş bir ajanı verme amacı yan veya temel amaç olarak kullanılıyor olabilir. Çok bilgi sahibi olduğum bir alan değil, bunun için iletişim bilgilerinizi özellikle almak istiyorum efendim, daha detaylı bilgi vermek adına. Ama temelde diyabetik hastaların da PET-CT'den faydalandığını biliyorum. Arka planda olanakları olduğunu biliyorum dolayısıyla.

Haluk Yıldırım- Merhaba, Karadeniz Teknik Üniversitesi Biyokimya Mühendisliği bölümünde okuyorum.

Radyasyonun insan sağlığına zararı olduğunu biliyoruz, siz de belirttiniz. Hangi dozajın ne kadarı, belirli bir standardı yok. Bunu kontrol eden bir devlet kuruluşu var mı veya uluslararası bir standart var mı? Merak ettiğim ilk soru buydu.

İkincisi de, PET-CT'de belirtmiştiniz, ağır radyoaktif madde veriyorsunuz insanlara. Kanserli bir hastaya verdiğiniz radyoaktif malzemenin bir ölçüsü, standardı var mı, neye göre belirleniyor?

Dinçer Diren- Arkadaşlar; doz kontrolü dünyada farklı. Dünya çapında farklı organizasyonlar tarafından geçmiştekinden çok fazla dikkate alınmış bir husus. Özellikle son 3 yıl içerisinde bu anlamda Massachusetts Institute tarafından yerleştirilmiş çok distinctive, kararlı mekanizmalar var ve dünya çapında giderek yaygınlaşıyor. Ülkemizde de bu anlamda bilhassa yine İstanbul'da –tabii, çok fazla hasta olduğu için- pilot uygulamalar alanında bazı doz kontrol mekanizmaları devreye sokuldu. Bunda sadece cihazlardan verilen dozun azaltılması yeterli değil tabii. Bu konuda örnek gösterebileceğim Prof. Dr. Muammer Hakkı Karakaş önderliğinde yapılan bir uygulama var mesela. Bu, bütün Türkiye'de daha akabinde yaygın olarak kullanılmaya başlanacak olan bir şey. Doz uygulaması arkadaşlar, sadece cihazın teknolojisini artırarak yapılabilecek bir şey değil çünkü, biliyorsunuz. Hastanın yattığı şekli, pozisyonlaması, kullandığınız protokol veya tatbik ettiğiniz protokolün içeriğindeki miliamper veya kilovoltaj oranlarına varıncaya kadar veya çekeceğiniz atacağınız kesit sayısından helezonlar demiştik ya, o helezonlardaki sıklık veya genişlik farkına kadar, doz uygulamasında bir sürü yöntem var. Amaç tabii ki, Alara mantığı. Alara'yı duydunuz mu daha önce?

Salondan- Evet.

Dinçer Diren- Çok teşekkür ediyorum. “Olabilirdi az dozda, ama görmek istediğini mutlaka

gör.” Bizim anlayabileceğimiz şekilde çeviriyorum. Görebileceğin şeyi görmek zorundasın, ama olabildiğince minimum dozda. Mantık bu, amaç bu, yönelim de bu ve bunu ölçek altına alabilmeniz için takip etmeniz gerekiyor öncelikle. Takibe başladı Türkiye şu anda bütün bunları. 1.5 yıllık bir veri var elimizde ve takip altına aldığınız anda ve birinci personelin kim olduğunu tespit edebildiğiniz anda insanlar bundan artık sorumluluk duymaya başlıyorlar. “Ne olacak çekeyim, gönderiyim?” diyemiyorlar artık. Çünkü anında istatistiksel verisinde peak yaptığı, bir hastaya fazla doz veren bir teknisyen veya gereksiz bir çekim emri veren bir doktorun adı bile çıkabilir hale geldi bu dediğimiz pilot kurumlarda ve bu Türkiye çapında genelleşecek. Evet, öyle bir mekanizma oluşuyor. Her zamankinden daha fazla ve sona yakın bir hale gelmiş durumda. Önümüzdeki 3 yıl içerisinde Türkiye’nin tamamının ve bütün sağlık kurumlarının hastaya verdiği doz ne kadar, her hastanın yaşamı boyunca aldığı doz ne kadarı takip edinceye kadar kontrol altına alınmış ve raporlanabiliyor hale gelmiş olacak, onu söyleyebilirim.

Salondan- Radyoaktif maddeyle ilgili bir şey sormuştum.

Dr. Onur Koçak- (Dinçer Diren’e) Hocam; çok özür diliyorum. Arkadaşımızın bir sorusu daha vardı, ona cevap vereceğim.

1990 yılı, böyle bir kongredeydim, konuşmacı bir Amerikalıydı. Verdiği bilgiye göre, bugüne kadar dünyada açığa çıkan en yüksek radyasyon Japonya’da patlayan atom bombası. Dolayısıyla bu şiddetteki bir patlamadan bugüne kadar gelen çeşitli hastalıklar, hâlâ belki onun devamı genetik bozukluklar hepsi açıkta. Dolayısıyla alınabilecek en kuvvetli referans atom bombasının yarattığı etkiler. Bu bir.

İkincisi, sizin (salona) sorunuza cevap olarak, radyasyon bilmiyorum nasıl canlanıyor kafanızda, ama bir şey değil. Yani o anda atış yapan proton tabancası gibi ve saçılan radyasyon önemli orada bulunan insanlar için.

Doz çok önemli. Avrupa’da doz yönetimi diye bir zorunluluk var. Bütün X ışını cihazların doz belgeleri üzerinde yazılı. Türkiye’de mecburi değil. Bu ölçümler yapılmıyor, bu belgeler yapıştirilmiyor. İleride inşallah bu mecburi hale gelecek.

Bana sorarsanız, veri kartı şeklinde bir kart olmalı. Her girdiğinizde oraya kaydolmalı ve sizin yaşam boyu aldığınız doz orada toplanarak birikmeli. Yarın öbür gün gerektiğinde ona göre de toplanan bilgi hastalıklarla ilişkilendirilmeli diye düşünüyorum.

Dinçer Diren- (Dr. Onur Koçak’a) Sayın hocam; çok teşekkür ediyorum öngörünüz için. Çok doğru bir noktayı tespit ettiniz. Söylediğinize paralel ve belki mutlu edebilecek olan bir şeydir, şunu söyleyeyim: Karta dahi gerek olmaksızın vatandaşlık numaranızla aslında bu anlamda şu anda bu verileri toplanabilir hale getirdik Türkiye’deki belirli pilotlarda. Dediğinizin, tam birebir öngördüğünüz şeyin konsepti aslında uygulamaya konmak üzere. İstanbul’da şu anda aslında başladı. Belirli başlı bölgesel kamu hastaneleri birlikleri dahilinde. Vatandaşlık numaranızı girdiğinizde oraya, kayıt altına alınıyorsunuz. Bir röntgenden aldığınız dozdan, tomografide aldığınız doza kadar her şey şu anda kayıtlı. Siz bundan -Allah göstermesin hiç muhtaç olmayın ama- 10 yıl, 20 yıl sonra gittiğinizde de bugün çekilen, alınan dozunuz orada karnenizde çıkıyor olacak.

Dr. Onur Koçak- Pardon, bir şey daha ekleyeceğim. O da senin (salona) kafanda soru gibi duruyor, öyle geldi bana. Gelen radyasyonun ilk sıkılma enerjisi çok önemlidir. Düşük enerji, yüksek enerji. Mamografide enerji çok düşük, çoğu yutuluyor. Onun için kadınların taramasında, meme taramasında, kanser taramasında doz çok daha önemli. Neden? Çünkü yumuşak dokuda büyük bir kısmı yutuluyor ve kanser riskini artırıyor. Artıkça enerjisi delip geçiyor. Yani, enerji aralığı çok önemli gelen ışınların. Onu da öyle düşünmen lazım. Bu da röntgen cihazına veya tomografi KDP ile geçiyor. KDP arttığı zaman doz enerjisi artıyor.

Buyurun.

Sinan Akşar (ASELSAN)- Özellikle düşük dozlarla tespit yapmaya yönelik birkaç sorum olacak...

Hibrit sistemlere yönelik farklı sistem tasarımlarınız, geliştirme aşamalarınız var mı? Mesela, daha

düşük süreli MRP görüntüleme gibi çalışmalarınız var mı?

Bir de gelecekle ilgili öngörüleriniz ne? Özellikle ikisinin üretim süreleri çok uzun. Bir ay gibi çok uzun sürelerde kristaller üretilabiliyor. Türkiye’de bununla ilgili bir yatırım veya devletle ilgili bir çalışma yapıyor musunuz?

Dinçer Diren- Ultrason üretimi ile ilgili, bilgim dahilinde, firmamın bir planlaması yok, Türkiye’de üretim yapması anlamında. Ama burada önemli olan bir konu var ki, kristallerin uzun üretim sürelerinin bir diğer sebebi de nadir metal, ender element kullanılıyor olması. Bunun, maalesef, bildiğimiz bazı ülkelerde monopolik kontrolleri var ve aslında bunun tedarikinde sıkıntılar olduğu için üretim süresi biraz uzun. Yani üretiminden ziyade bunun tedarikleri biraz uzun sürdüğü için bu sıkıntıları yaşıyoruz. Hammaddesi zor elde edilen bir şeyin Türkiye’de üretilmesi çok fizibl olmayabiliyor. Ama şunu söyleyebilirim, en azından firmam adına bunu konuşabilirim: Türkiye’ye zaten çok büyük oranda, ciddi anlamda üretim tesisleri kurmuş olan bir şirket bu. Şu anda transportasyon enerji alanında etkinliği daha fazla ama sağlık alanında da projeksiyonları dahilinde. Bunu gizlemekte bir sakınca görmüyorum; son 2-3 yıldır birçok makalede, ana sayfa ve gazete haberlerinde de birinci derece yöneticilerimiz açıkladılar bu niyetlerinin olduğunu. Türkiye’ye yapılacak olan yaklaşık 1 milyar dolarlık yatırım söz konusu bu alanda; eminim, sağlık da bundan payını alacaktır. Ben de bunun bayrağını taşıyacağım elbette, tabii ki hep birlikte sizlerle.

Not: Kerem Osman Akgün ve Evrim Ece Şenol'un (SIEMENS Healthcare Sağlık) sunumları kendi isteği üzerine konuşması buraya alınmadı.)

PANEL: BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ EĞİTİMİ, SEKTÖRÜN İHTİYAÇLARI VE İSTİHDAM

Panel Yöneticisi: Orhan Örücü (EMO)

Orhan Örücü (Panel Yöneticisi)- Hoş geldiniz.

“Biyomedikal Mühendisliği Eğitimi, Sektörün İhtiyaçları ve İstihdam” konulu panelimize hoş geldiniz.

Hemen size arkadaşlarımızı takdim edeyim.

Prof. Dr. Yekta Ülgen, Prof. Dr. Ata Akın, Barış Ünlü, Ali Levent Kurtoglu ve Hakan Evsine.

Arkadaşlarımızla görüştük, şöyle bir uygulama yapacağız: Eğitimle ilgili çok kısa bir bilgilendirmenin dışında, bu panelimiz, ağırlıklı, sanayi, istihdam ve Ar-Ge üzerine olacak. Eğitim sorunlarının çözüldüğü anlamına gelmiyor bu. Biz, Elektrik Mühendisleri Odası olarak, her şeyin A’dan Z’ye bozuk olduğunu söylüyoruz, ama bozuk olması, bir şeyler yapılmaması anlamına da gelmiyor. Aynı zamanda, biz, yıllardan beri, Elektrik Mühendisleri Odası olarak, meslek, meslektaş ve ülke sorunlarından hareketle bir sürü iş yapmaya çalışıyoruz. Bu etkinlik de bunların bir parçası. Her koşul altında yapılacak şeyler var, yapılıyor da; bunu anlatmaya çalışacağız.

Eğitim konusunda çok kısa bir bilgi verirsek;

Türkiye’de biyomedikal mühendisliği eğitimi, yüksek lisans düzeyinde Boğaziçi Üniversitesi ve ODTÜ’de başladı. Daha sonra Başkent Üniversitesi 2002’de lisans eğitimine başladı. Günümüzde bu üniversitelerin sayısı arttı. Bu sene yayınlanan ÖSYM istatistiklerine baktığımız zaman, biyomedikal mühendisliği bölümlerinin 1.310 kontenjanı var. Kontenjanın 1.100’ü yerleşmiş. Şu anda bölümlerde aşağı yukarı 5.000-6.000 biyomedikal mühendisi okuyor. Şimdilik sadece Başkent Üniversitesi mezun verdiği için sayıları az. Bunlar bizim Elektrik Mühendisleri Odasına üye oluyorlar. Biyomedikal mühendislerinin durumu bu.

Başkent Üniversitesi ile beraber mezun olan biyomedikal mühendislerinin hangi odaya kayıt olacağı bilinmediği için, bu konuyu tartıştık ve bir genel kurul kararıyla biyomedikal mühendisleri Elektrik Mühendisleri Odasına kayıt oldular. Biz bu konuda ne oluyor, ne bitiyor diye, 2007 yılında bir etkinlik yaptık. Onu da derli toplu bir yayın haline getirerek yayınladık. Gerçi elimizde kalmadı, ama elektronik ortamda Odamız sayfasında var. İlk derli toplu metin bu oldu. Türkiye’de klinik mühendislik konusunda ilk çalışmayı Ankara Yüksek İhtisas Hastanesinde yapan Dr. Kemal Beyazıt hocamızdan, uzmanlara, akademisyenlere, çalışanlara kadar pek çok arkadaşın katıldığı bir etkinlik oldu bu. Sadece bu etkinlikleri yapmadı Elektrik Mühendisleri Odası. BİYOMUT adı altında süren bir etkinlik var, o da bu sene bir iki toplantı yaptı. Yani iki-üç tane etkinlik var. Bunun dışında, Bahçeşehir Üniversitesi de bir etkinlik yaptı. O da bir ilk galiba.

Biyomedikal mühendisliğinin diğer meslek dallarına göre şöyle bir şansı var: 1982 yılında 300’e yakın biyomedikal mühendisinin kadrolu istihdamı sağlayacak bir yönetmelik yayınlandı ve halen yürürlükte.. Ama her şeyde olduğu gibi, bunun da uygulaması yok. Bizler de Elektrik Mühendisleri Odası ve diğer meslek örgütleri olarak, yasaların ve kanun koyucunun yasa ve mevzuatı uygulamamasıyla takibimiz oldu ama bir sonuç alınamadı. Bu hâlâ böyle devam ediyor. Yeni bir durum var. Tıp mühendisliği bölümü açıldı, mühendislik tıp oldu. İkisinin içiçe girdiği bir yapı oldu. Neticede hayat boşluk kabul etmediği için, kimse de biyomedikal mühendisi var diye, o tıbbi medikal

alanı veya medikal elektronik alanı boş bırakmadı. Bu alan da elektrik mühendisleri, elektronik mühendisleri, fizik mühendisleri ve hatta makine mühendislerinin yer bulduğu bir alan oldu ve hâlâ devam ediyor bu.

Bunun dışında, bizim Makine Mühendisleri Odamızın Samsun Şubesinin yürüttüğü bir (Ulusal Tıbbi Cihazlar İmalat Sanayi Kongresi) TİSKON var. Samsun'da bu sene beşincisi düzenlenecek kongre, genellikle malzeme ve imalat üzerine yapılıyor. Samsun'da bu tip komponentleri vesaireleri yapanlar herhalde biraz çok olduğu için orada yapılıyor. Eğitimlere doktorlar da katılıyor. Yani Anadolu'da da üç-dört tane etkinlik var.

Konuşmacılar, kendi alanlarının dışında, kesişen noktalarda eğitime değinecekler; ama genel olarak kendi alanlarıyla ilgili konuşacaklar. Sanayi, sanayi-üniversite işbirliği, biyomedikal mühendisliği istihdamı konularına ağırlık verilecek. Bu konularla ilgili en son yaşadığımız şey de şu: Boğaziçi Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Enstitüsünden Mehmet Özkan hocam bir şey söylemiş. Onu buradan okuyayım.

“Tıbbi cihaz ve sarf malzemelerine harcadığımız para 15-20 milyar dolarlarla ifade ediliyor.”

2007 yılında bu rakam 4 milyar dolar diye ifade edilmişti, Bu benim değil, arkadaşlarımızın söylediği. Yani 8 senede dört misli artan bir para var.

“Tıp uygulamaları ülkemizde çok gelişmiş olmakla birlikte, modern, ileri tetkik, tanı ve tedavi cihazlarının hiçbiri ülkemizde üretilmemektedir. Milyon dolar maliyetten oluşan MR görüntü cihazlarını bile, akademik kadrolarımız, gerekli sanayi katkılarını alamadığı için bunları bir araya getirememiş durumda. Cihazın kullanılabilir hale gelmesi sekiz yılı buluyor zira. Bu da akreditasyonun çok önemli hale geldiğini gösteriyor.”

Yine İsmail Tuğra arkadaşımızın bir lafı var, bu da yeni:

“Günümüzde hastanelerde yaklaşık 20 bin farklı tür tıbbi cihaz ve sistem kullanılmakta olup, ülkemizde kullanılan biyomedikal cihaz ve sistem sayısı son 20 yılda yediye katlanmıştır” diyor.

Bunların, büyük ölçüde, yüzde 90-95'i de ithal malzemeler.

Yine bizim Biyomedikal Çalıştayında ortaya çıkan bir durum vardı. Amerika Birleşik Devletleri, biliyorsunuz Ar-Ge'ye, inovasyona çok para yatırıyor. Uzay ve silah sanayine yatırılan Ar-Ge yüzde 4, biyomedikale ayrılan para yüzde 11.

Elektrik Mühendisleri Odası olarak biz de diyoruz ki, 100 sene önce olmuş bitmiş içten yanmalı motorlu otomobil yapacak babayiğit aranacağına, bu babayiğitleri bu sektörde çalışmaya çağırıyoruz.

Bir de farklılık var. Biz, Elektrik Mühendisleri Odası olarak anlayamadık bunu. “Tıp Mühendisliği” adıyla bir bölüm açıldı Karabük Üniversitesinde. Çok büyük para harcadılar bunun için. 80 olan öğrenci sayısı 15'e düşmüş. Acıbadem Üniversitesi de kurduğu ilk fakültede tıp mühendisliği bölümünü kurmuş. Prof. Dr. Ata Akın hocam bize bunu anlatacak. Tabii, Karabük'ten giderek yapmak yanlış belki... Bir ürolog ya da cerrahın bölüm başkanı olarak atandığı bir mühendislik bölümüydü burası. Ama şimdi baktığımda, bir elektronik mühendisi için başında, bir de makineci var. Bölüm olarak aşağı yukarı olabilecek bir şeyi yapmışlar, ama kontenjan bir tuhaf olmuş.

Panel uygulamamız şöyle olacak: İlk başta Yekta hocamdan başlayacağız. Yekta hocamız eğitimi anlatacak. Ata hocam tıp mühendisliğini anlatacak. Sonra sırayla gideceğiz. Süreniz 10'ar dakika.

Arkadaşlarımız kısa bir şekilde kendilerini tanıtacaklar.

Önce kendimden başlayayım.

Ben, Orhan Örucü; elektrik mühendisiyim, 1975 İTÜ mezunuyum. Hayatım şantiyelerde geçti. Profesyonel mühendislikle alakalı çalışıp hayatımı kazanıyorum. Hâlâ danışmanlık yaparak mesleğimi sürdürüyorum. Öğrenciliğimden bu yana Oda çalışmalarının içindeyim. Odanın her türlü işine koşturdum. Şu anda Meslek İçi Sürekli Eğitim Merkezi (MİSEM) Komisyonunun Başkanayım. Odaca yayınlanan EMO Bilimsel Dergisi'nin teknik editörüyüm, 454. sayıya ulaşan Elektrik

Mühendisleri Dergisinin Yayın Kurulu üyesiyim. Aynı zamanda, MÜDEK dediğimiz “Mühendislik Eğitim Programları Değerlendirme ve Akreditasyon Kurulu”nun kurucu üyelerindenim. Şu anda Denetleme Kurulunda görev yapıyorum. Eğitim işleri bizim için biraz merak konusu, ondan dolayı ilgiliyim; yoksa akademisyen değilim.

Evet hocam; buyurun, sizden başlayalım.

Prof. Dr. Yekta Ülgen (Boğaziçi Üniversitesi)- Çok teşekkür ederim.

Çok kısa kendimi tanıtayım.

1974 yılı Boğaziçi Üniversitesi Elektronik Mühendisliği mezunuyum. Daha sonra 1976-1978 yılları arasında mastır ve doktora derecelerimi İngiltere’nin Stanford Üniversitesinden aldım. 1978 sonlarında Teknik Üniversitede bir yıl kadar çalıştım. Uzun süreli yedek subay askerliğim var. Tekrar Teknik Üniversitede bir dönem çalıştım ve daha sonra Boğaziçi Üniversitesi Elektronik Bölümüne geçtim. O sıralarda bir projeye başladık, beş yıllık bu UNESCO projesi, Türkiye’de beş pilot hastanede biyomedikal merkezinin kurulmasıydı. Bu proje kapsamında da, o demin bahsettiğiniz, bakanlığın bünyesinde biyomedikal mühendislerinin alınması, istihdam edilmesi kavramı, bizim kurucu hocamız Prof. Necmi Tanyolaç tarafından sağlanmıştı, ama hakikaten boş kaldı. Yetişmiş eleman olmadığından kadrolara atanacak kimse bulamadık.

Benim biyomedikal ile ilk buluşmam, tanışmam 1984’de oldu. Bu proje kapsamında, Amerika’dan, bugün dünyada -tıbbi cihazlar konusunda- en geniş veri tabanına sahip bir kurumla işbirliği yaptık. Dolayısıyla bu beş yıl içinde oradan arkadaşlar buraya geldi, biz oraya gittik, etkileşim ve birlikte çalışmaları bir arada yürüterek, bu hastanelere bir yıl süreyle biz biyomedikal mühendisliğini aşılamaya çalıştık. Tabii, o yıllarda, bundan 30 sene kadar önce, tamirci gözüyle bakılıyordu sana. Biraz efor, biraz zahmet, ne dersiniz deyin, ben üç sene kalabildim. Diğer arkadaşlar birinci yıl sonunda bıraktı. Benim hastanelerim de Şişli Etfal ve Taksim İlkyardım hastaneleriydi. Sonra baktım, kâbus gibi yerler. Ne yapsan gözükmüyor, belli olmuyor. İyi bir iş yaptığın zaman, iyi bir yerde o işi yapmak lazım. Bu çok önemli. Ne yaptığınız kadar, nerede yaptığınız da çok önemli.

Bu arada kurallar değişti, hastanelere akreditasyon mecburiyetleri geldi. Türkiye’nin kendi ulusal akreditasyon sistemi yoktu hastanelerde. Amerika’dan GFCL Kurumu geldi, denetimlere başladı. Ben, ilk 1999 yılında, Amerikan Hastanesi bünyesinde biyomedikal mühendisliği birimini kurdum. Ertesi yıl Nightingale Grubu hastanelerinde biyomedikal mühendisliği birimini kurdum. Alman Hastanelerinde biyomedikal mühendisliği birimini kurdum. Hacettepe Üniversitesinde Biyomedikal Mühendisliği birimini Mehmet hoca ile birlikte kurduk. Kızılay’a danışmanlık yaptım. Bütün Türkiye Kızılayı kapsamında biyomedikal hizmetlerinin kurulmasına önayak oldum ve bu kuruluşların bir kısmıyla hâlâ danışman olarak çalışmaya devam ediyorum.

O arada, masanın biraz öbür tarafına geçeyim dedim. Masanın öbür tarafına yani üreticiler tarafına... Üreticilere eğitim ve danışmanlık vermeye başladım, şu son günlerde zamanımı daha çok buna ayırıyorum.

Bizim enstitümüzün (Boğaziçi Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Enstitüsü) eğitim programını özetleyecek olursam;

Bizim lisans eğitimimiz yok. Biz başlarken lisansüstü olarak düşündük ve hâlâ o şekilde devam ediyoruz. Kimleri alıyoruz? Hemen hemen herkesi alıyoruz. Yani belki bir işletmeci dahi gelebilir diye düşünüyorum. Çünkü sağlık yönetimi diye bir kavramı var. Öğrencileri ALES ve TOEFL puanları ile alıyoruz. Eğitimimiz İngilizce. Mezuniyet derecesinin 4 üzerinden 2.5 olması lazım. Son üç yıldır programımızı biraz daha esnek hale getirdik ve zenginleştirdik. Her öğrenci ayrı bir değer. Herkesin ayrı bir kabiliyeti, merakı, becerisi, bilgisi var. Bütün mesele, bunu ortaya çıkartmak. Bu ortaya çıktığında, o kişi daha verimli ve performansı daha yüksek oluyor, daha zevkle yapıyor her şeyi. Yedi yol, imkân oluşturduk, opsiyon oluşturduk diyelim. Bunlar; biyomekanik, biyomalzeme, biyofotomi, klinik mühendisliği, biyoenstrümantasyon, nöro mühendislik, yani sinir mühendisliği, bir de tıbbi

görüntüleme. Test ve kalibrasyon, klinik mühendisliğinin altında. Yediye böldük, dersleri ona göre gruplandırdık ki öğrenciler geldiğinde, bu gruplara göre arzu ederse derslerini seçsin. Ama hiçbir grubu da beğenmeyebilir, kendisi ayrı bir grup oluşturabilir kafasında, ona göre dersleri seçebilir. Yani çok esnek bir programımız var. Bir de bunun üzerine doktora programlarımız var.

Orhan Örücü- O kadar çok bölüm açılmasına ne diyorsunuz hocam?

Prof. Dr. Yekta Ülgen- Oralara değinmeyeceğim. Onu diğer arkadaşlara bırakıyorum.

TÜBİTAK projelerine hakemlik yaptım. 43 projede hakemlik yapmışım. Biliyorsunuz, TÜBİTAK projeleri, prototip geliştirme, Ar-Ge türü projeler. Dolayısıyla, sorunları yakından biliyorum, görüyorum, hissediyorum. İzleyici olarak gittiğim bir sürü projede de danışman gibi olmaya başlıyorum ister istemez, müdahale etmek istiyorum, yardımcı olmak istiyorum. Ama belki bazen dozunu kaçırıyorum. Onlar ondan memnun tabii; ama o çizgi, çok hassas bir çizgi.

Ben burada sözümü tamamlayayım. Eğitim konusunda diğer arkadaşlara söz vereyim. Tekrar sıra gelirse yine konuşuruz.

Orhan Örücü- İşin sanayi tarafına biraz değinin isterseniz, beş dakika az oldu.

Prof. Dr. Yekta Ülgen- Bakın, her şeyin esası eğitim. Yani bütün bu hastane, biyomedikal dediğim zaman, benim en çok önem verdiğim konudur eğitim. Kimleri eğitmeyi düşündüm o zaman? Hemşireleri. Yoğun bakım ve ameliyathane hemşirelerinin eğitimi çok önemli. Çünkü bu bahsettiğimiz cihazları kullananların büyük bir kısmı teknisyen ve hemşireler. Doktorlar genelde pek cihaza elini sürmez. Bu eğitimler çok önemli. Hatta hastane açılmadan, yeni alınan hemşireleri topluca eğitimlere soktuk. Biyomedikal eğitimleri, bunlar da çok önemli. Yönetici eğitimleri yaptık. Hastane yöneticilerine teknoloji yönetimi konusunda, risk yönetimi konusunda eğitimler verdik. Bu eğitimler sonucunda bu projeler ortaya çıktı. “Hocam” dediler, “Anlattınız, güzel. Şimdi haydi gelin, beraber bu işi yapalım. Bir de bunun mutfağı var. Anlatmak kolay da, yapması da gerekiyor.” Hakikaten onları birlikte de yaptık.

Şu son zamanlarda da eğitim kadar, üretim çok önem kazanmaya başladı. Demin de dediğiniz gibi, aşağı yukarı tıbbi cihazların yüzde 90’ı yurtdışından ithal. Ne üretiyoruz? Gazlı bez, pamuk, şırınga, EKG. Bir firma galiba defibratör cihazı üretmeye başlamış, geçenlerde onun haberini aldım. Aspiratör, hasta yatağı... Yani böyle şeyler. Önemli olan, küçük ama pahada kıymetli şeyler olması lazım. Yani bir ton pamuğu taşımak isterseniz, kaç tane tır gerekir. Oysa bir kalp pili yapsanız, düşünsenize, ne kadar çok daha yararlı ve etkisi çok daha fazla.

Neden üretim yapılamadığını tartışabiliriz. Çok çeşitli nedenleri var. Eğitim yine çok önemli. Bakın; telefon eden biri diyor ki, “Hocam ben iplik üretiyorum. Bugünden itibaren ameliyat ipi üretmeye karar verdim. Ne yapmam lazım?” Ben de anlattım. Sonunda dedi ki, “Ben vazgeçtim.” Neden? Çünkü uyulması gereken çok çeşitli standartlar var. İnsan vücuduna girecek bir ürün, tıbbi cihaz olduğu andan itibaren, çok sıkı denetim altındadır. O gözle bakılması lazım ve bu bir ekip işi. Dolayısıyla bu kişilere destek verilmesi lazım, bu konularda destek verilmesi lazım. O tür projeler var kafamızda. Yani bir yer olsun, teknopark gibi diye düşündük, kişi ampulle, fikirle gelsin, öbür taraftan elinde ürünle çıksın. İçeride her türlü sorunu çözülsün. Ama bu da zor bir şey, hayali bir kavram gibi geliyor bana. Teknopark da mall gibi, alışveriş mall’ı gibi; bir tarafta eğitim var, öbür tarafta optik, öbür tarafta standartlaşma vesaire. Bana hayal gibi geliyor. Belki ileride öyle bir şey yapılabilir. Fakat gerçekten tıbbi cihaz üretmek çok zor bir süreç; meşakkatli, yatırım gerektiren ve sıkıntılı bir süreç.

Salondan- Bir cihazın kullanılabilir hale gelmesi ortalama sekiz sene alıyor...

Prof. Dr. Yekta Ülgen- Çünkü bunun ardından bir de insan deneyleri var, hayvan deneyleri var, klinik deneyleri var, verifikasyon, navigasyon var... Bunların hepsi zaman alan, süreç alan kavramlar. Yani gerçekten çok vakit alır.

Ben sözü arkadaşlara vereyim. Tekrar devam ederim.

Orhan Örücü- Bu, bizim Odamızın dergisinde çıkan bir yazı. Son sayı galiba. Fikir hırsızlığı ya da fikir ticareti üzerine, patentler üzerine yazı. Burada hocamın anlatmaya çalıştığı şeyler var. Bir de yeni çıkan, Selçuk Şirin'in, "Türkiye Yol Ayırımında" diye bir kitabı var. Nasıl oluyor bu işler diye anlatan bir kitap. Bunları da okumakta fayda var. Bu işleri de yapmak isteyen arkadaşların faydalanacağı yazılar var. Bir de, "Sanayileşmenin Gizli Tarihi" diye, bu işlere nasıl engel olunduğuna dair dünya çapında hikâyeler var.

Ata hocamla devam ediyoruz. Ata hocam, bize, "Tıp mühendisliği" diye yeni bir şeyden bahsedecek. Buyurun hocam.

Prof. Dr. Ata Akın (Acıbadem Üniversitesi)- Merhabalar.

Ben İTÜ Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünü bitirdim, 3 bin sene evvel! "Estağfurullah hocam" falan diyen hiç yok, gördüğünüz gibi.

Daha sonra yine İTÜ'de biyomedikal mühendisliği üzerine mastırımı yaptım. Sonra Amerika'da doktoramı yaptım. 3 sene orada hoca olarak çalıştıktan sonra Boğaziçi Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Enstitüsüne döndüm. 2002'den 2013'e kadar Yekta hocamla beraber orada çalıştım. Çok keyifli günlerim oldu, çok güzel çalışmalar yaptığımıza inanıyorum. Şirketlerle de olsun, öğrencilerimle de olsun, çok güzel günler yaşadık ve Yekta hocamın da önderliğinde Kandilli Rasathanesinde yepyeni bir binaya kavuştuk.

Hocam; mazur görün, bir benzetme yapacağım. Biz kare blokta açık hava helasındaydık. Yani öyle bir yere geçtik ki, uzay üssü gibi bir yere geçtik. İnşallah bir gün hepiniz gider görürsünüz Biyomedikal Mühendisliğini. Ben nerede olursam olayım orayı evim gibi görüyorum, hâlâ. Orada başladığım için çok da önümü açtılar. Oradaki birikimle ben önce Bilgi Üniversitesinde ve şu anda da Acıbadem Üniversitesinde Mühendislik Fakültesi Dekanı olarak çalışıyorum.

Acıbadem Üniversitesine geçtiğimde, tıp mühendisliği denilen bir kavramla karşılaştım.

Şimdi ben size, izin verirsiniz, bu kavram nedir, neden değerlidir, biyomedikal mühendisliği ile nerede örtüşüyor, nerede kesişiyor, onları anlatmak istiyorum.

Öncelikle, bana bu fırsatı verdiği için Orhan beye ve Kemal beye teşekkürlerimi sunmak istiyorum.

Hem biyomedikal mühendisliğinin, hem tıp mühendisliğinin çeşitli tanımları var. Bunlardan benim çok hoşuma gideni şu:

Yaşam ve mühendislik bilimlerini gerçekleştiren gelişmelerin ortaklaşa olarak insan ve çevre sağlığındaki kullanımı. Bu ne demek? Bizler esasında aldığımız eğitimlerle, tıbbi aygıtlar geliştirebiliriz. İlaç keşifleri yapanlar var aramızda, yazılımlar geliştirenler var, tıbbi bilişim sistemleri denen. Yapay organlar var. Diyorsunuz ki, bunların bir kısmı biyoloji. Evet, ama bunların arkasında bayağı bir ciddi alet, edevat ve tasarım var. Dolayısıyla bu tür bir tanım bence yaşam ve mühendislik bilimlerinde ortak çalışmak bence biyomedikal mühendisliğinin özünde var.

Bunun dışında, beni de çok heyecanlandıran, bizim bu alanlardaki gelişmelerin karşılıklı olarak birbirinde kullanımı var. Bu da ne demek; 'biyo esinlenmeli mikroişlemci tasarımı' denilen bir şey çıktı. Yani adamlar bakıyorlar, bir insan nasıl düşünür, ona göre bir çip tasarlıyorlar. 'Yapay sinir ağları' dedikleri böyle bir yaklaşımla ortaya çıkmıştır. Retina tasarımı var -yapay retina, bununla şu anda Boston Dynamics denilen bir şirket sinek gözü şeklinde gören bir robot yaptı. Neden sinek gözü yaptı da normal kamera yapmadı? Bir nedeni var. Çünkü bu gerçekten iyi yürüyor, iyi görüyor. Aynı şekilde, DNA bilgisayarlar denilen laflar çıkmaya başladı. Yani biyolojideki keşiflerin icada dönüştüğü bir dönem de var. Bu da esasında biyomedikal mühendisliğinin içerisinde bir alan oluyor.

Şimdi, "Nereden çıktı bu kavram?" diyorlar. Ben de ilk geldiğimde Acıbadem Üniversitesine, "Yahu, bu da ne?" falan dedim. Sonra ödevimi yaptım. Önce bir sustum. Öyle hemen langır lungur bağırıyorsunuz.

Arkadaşlar; 1940'larda, hastanelerde elektronik alet kullanımı çok arttığında Amerika'daki Elektrik

Mühendisleri Odası, IEE, diyor ki, “Biz bir alt branş kuralım. Buna da medikal elektronik adını verelim.” Biyomedikal değil, medikal elektronik. İlk çıktığında adı bu. Aradan 10 sene geçiyor, 10 sene sonra Amerika’daki çeşitli üniversiteler -ilk 6 üniversite ile başlamıştır- medikal ve biyoloji mühendisliği diye mastır, doktora programları açıyor. Hâlâ biyomedikal lafı yok. Ne zaman çıkıyor bu laf? 1960’larda. “Bu endly, mendli isimler olmasın” diyorlar, biyolojinin ‘biyo’sunu kesiyorlar, medikal’in başına oturtuyorlar. Arayı da tireyle yazıyorlar. Yani hâlâ biyoloji ve medikal mühendisliği diye. Biyomedikal mühendisliği daha sonra o aradaki tireyi atmıştır, 1960’lardan sonra lisans eğitimine doğru dönmüştür. Şu anda biyomedikal mühendisliği dediğimizin esası nereden çıkmış demek ki; esası tıp mühendisliği kavramından çıkmıştır. Esasında o özgün, ilk laf tıp mühendisliği diye doğuyor. Neden çıkıyor bu? Tek amaçla: Hastanelerde, klinikte çeşitli teknolojilere ihtiyaç var. Bunları biz mühendisler düşünemeyiz. Bunları doktorlar söylüyorlar. Kalp pili nasıl ortaya çıkıyor, neden içe konulan bir kalp pili çıkıyor? Çünkü 1950 yılında Oklahoma City’de herkesin kalp pili esasında elektriğe bağlı iken, birden elektrikler kesiliyor, 7 saat içinde sekiz hastanın altısı ölüyor. Doktor karşıya koşuyor, orada bir tane adamcağız var, Earl Back diye. Bilmiyorum hocam, hiç duydunuz mu? Earl Back. Earl Back’ın bir dükkânı var, alet tamir ediyor; elektronik mühendisi. “Öldü, hastalarım öldü. Vay halime! Bana yardım et. Ne yapacağız? Elektrik kesilince böyle bir durum oluyor.” “Yahu, dur bakayım, Hoby dergisinde, Hoby Electronic dergisinde böyle kesintilere karşı bir sistem var” diyor. Bir bakıyor, adam aküyle çalışan, dolan, ama kesildiği anda da devreye giren ilk aleti yapıyor. Böylelikle hastalar bir aletle bir kere dolanabiliyorlar hastanenin içinde. Şirket kuruyor. Şirketin ismi Medtronic. 10 sene sonra bu Medtronic bu pilleri özel üreten bir şirketi satın alıyor. Şu anda Medtronic dünyanın en büyük kalp pili üreticisi ve bilmem ne. Nasıl başladı iş? Doktor karşıya koştu, “Yardım et bana” dedi. İşte tıp mühendisliğinin özünde, esasında çıkış noktası, doktorların hayalleri ile uğraşan bir meslektir.

Daha sonra, daha ilginç, 1970’lerde “biyomühendislik” diye bir kavram çıkıyor. Bu, hücre ve DNA analizleri ve onlar üzerine manipülasyonlar ile hem ölçüm, hem tedavi teknikleridir. İşte bugün hamilelik testi dediğimiz, kalp ölçümleri dediğimiz, hepsinin altında biyomühendislik ve biyoteknolojik uygulamalar var.

2000’lere geldiğimiz zaman, bu mühendisler, bizler yani, tıptan o kadar kopuyoruz ki, kendi içimizde bilmem nenin, dıdının dıdısı daha iyi iyileştirir mi diye oynaşmaya başlıyoruz. Bunun üzerine, tıptan bu kadar koptuğunu gören bir grup insan –bunun içinde Harvard ve MIT de var, İngiltere’de Queen’s Üniversitesi gibi yerler, Hong Kong Üniversitesi var- “Yahu, biz bunu niçin kurmuştuk; hastanelere ve kliniğe hizmet etmek için, onların ihtiyaçlarını görmek için” diyor. “O zaman bunun gerçek ismi neydi; tıp mühendisliği idi. Biz o zaman bu adla bölüm açalım” diyorlar. MIT’nin yüksek lisans, doktora programına bakın, biyomedikal yazmaz, Institute of Medical Science and Engineering’dir. Harvard ile ortaklaşa ürettiği programının ismi Health Science and Technology’dır, biyomedikal değildir. Çünkü biyomedikal dediğiniz anda -ki kötülemiyorum, bu benim mesleğim, ben biyomedikalciyim- kim kimin altında, kim kimin üstünde belli değil. Yani biyomedikalci mi biyomühendisi kapsamalı, biyomühendis mi biyomedikalciyi kapsamalı, kim klinik mühendisi... Yahu kardeşim, bunlara gerek yok. Biz hepimiz tıp mühendisi olarak ortaya çıktık.

Bu kapsamda, ben size hızlıca tıp mühendisliği kavramını benim anladığım ve yaymaya çalıştığımız kavramla anlatmak istiyorum.

Arkadaşlar; bu kavram, üç alan; tıp, mühendislik ve temel bilim üzerine oturur. Biyomedikal mühendisliği şu ikisinin kesişimindeyken, biyomühendislik ise bu ikisinin kesişimindedir. Bizim amacımız bunu yapmak; hepsinin en kuvvetli yanlarını almak ve bunu tıp mühendisliği çatısı altında ve tıbbıya yakın oluşturmak. Medical engineering, yani tıp mühendisliği kavramını öne çıkartmaya çalışan üniversitelere baktığımızda, hepsinin çok kuvvetli tıp fakülteleri olduğunu görüyorsunuz ve işbirliğini zorluyorlar. Nitekim, Illinois Üniversitesi yeni bir program açmış. Öyle bir tıp eğitimi veriyor ki, içinde mühendislik olan. Hani bu MD PHD değil. Sen tıp doktoru olacak çocuğu alıyorsun, yanında sağlam bir mühendislik eğitimi de vermeye başlıyorsun. Dolayısıyla, bu yine doktor oluyor, ama mühendisliği çok iyi bilen doktor oluyor. Neden? Da Vinci robotu var yahu. Da

Vinci robotunu anlayan, bilen ve onun nasıl çalıştığını, eksiklerini anlayan bir doktor o kadar faydalı ki biz mühendisler için.

Dolayısıyla bir amacımız var. Nedir? Doktorların ve sağlık çalışanlarının hayallerini gerçekleştirecek teknolojiler üretmek. Bu, bizim hayalimiz. İkincisi ise, bu teknolojilerin en doğru ve verimli kullanımını sağlayacak yönetici mühendisleri yetiştirmek. Bu ilki biyomedikal lisans eğitiminin kapsamı içindedir esasında. Bizim ise ortaya çıkartmak istediğimiz ve tıp mühendisliğinin esas vurucu noktası, bu ikisini birleştiren bir alandır. Yani çoğu biyomedikal mühendisliği lisans eğitimine baktığımız zaman, şu kısım bir veya iki derste atlatılır. Biz hem Acıbadem Sağlık Kurumunun desteğiyle, hem de yeni alacağımız hocalarla bu alanda da bu konuyu iyi bilen, iyi staj yapmış adamlar, mezunlar yetiştirmek istiyoruz. İnsanlar yetiştirmek istiyoruz, adamlar değil, mezunlar yetiştirmek istiyoruz.

Orhan Örücü- “Adamlar” derken, cinsiyetçi anlamda kullanmadınız.

Prof. Dr. Ata Akın- Evet, onun için özür dilerim. Kişiler demek istedim.

Bir, vizyon. Bunlar çok standart laflar arkadaşlar. Nasıl yapacağız? Ben bunu Hakan (Evsine) beye gösterdim, başkalarına gösterdim, hocalarıma gösterdim. Yekta hocama da gösteriyorum. Benim amacım burada, 'Yahu hoca, saçmalama, öyle olmaz' diye bir şey duyabilmek.

Biz buradan bir mezun yetiştireceğiz. Bu mezunun bir kere sektörün ihtiyacına uygun bir şekilde yetiştirilmesi lazım. Yani ben kafama göre bana fizik, kimya, matematik... Yaparım, ne olacak?! Peki, bu çocuk işe yarayacak mı? Ben, özellikle Hakan beye çok borçluyum bu konuyu.

Şöyle bir durum var: Çocuklar mezun oluyorlar, iş başvurusuna gidiyorlar. Benim arkadaşlarım var, masanın öbür tarafında. 'Yahu Ata' diyorlar, 'Bunlar hiçbir şey bilmiyor'.

'Nasıl yahu?! 4 sene, biz 40 tane ders vermişiz bu çocuklara. Ne demek hiçbir şey bilmiyorlar.' 'Yahu Ata, bilmem neyi sorduk, bilmiyorlar.' 'Yahu baba' diyorum, 'O şimdi...'

'Benim işim değil'e getiriyorum.

Dolayısıyla, bizim bir kere sektörün ihtiyacı nedir, onu iyi anlayıp, bunu müfredata yedirebilir miyiz, onu öğrenmemiz gerekiyordu. Sağ olsun, hem Acıbadem'deki Hakan (Evsine) bey, hem başka insanlar, hep akıl danıştıklarım bana bu konuda çok yardımcı oldu. Yetmez, bunu yapabilecek de bir ortam lazım. Bu çocukların evde yani bizim üniversitenin içerisinde staj yapacakları bir yer yaratmaya karar verdik ve bu da onaylandı. Bütçesi ayarlandı, şu anda yeri de tamamlanıyor. Böyle bir laboratuvar açmaya niyetliyiz ve amacımız sektörle içi içe çalışmak. Bunu birazdan bir daha anlatacağım.

Bir de prestije oynadığımız lisansüstü programlar vardır. Ben burada çok şanslıyım; hem şu anki üniversitem, hem eski üniversitem bu konuda birbirine çok destek olmaya hazır. Burada artık benim programım, benim öğrencim falan yok. Burada elbirliği ile Türkiye'nin ve dünyanın ihtiyacı olan çözümleri üretecek doktoralı, mastırlı insan yetiştirmemiz lazım. Onun için bu programlar mükemmeliyete oynadığımız yer.

Müfredatta temel mühendislik eğitimi zaten ilk 2 sene neredeyse aynıdır. Biz 4 tane -Tabii, 20 senelik bir tecrübe ve biyomedikalden aldığım, Boğaziçi'nden aldığım terbiye ile de 4 alan belirledik. Bir tanesi MIT, yani Medical Informatics and Technology dediğimiz. Bu standart biyomedikal mühendisliğinin alanlarıdır. Ama biyomedikal mühendisliği çok gelişmiştir, biyomalzeme ve doku mühendisliği girmiştir. Biz işin daha mühendislik kısmında kalmak istiyoruz. Yani oturup da laboratuvar da doku üreten değil; hayır, o dokuyu üretecekleri, scaffold'u, yani iskeleyi, biyoreaktörü tasarlayacak hocayı ben almak istiyorum. Bir implant yapacaksak, o implant'ı tasarlayacak hocayı almak istiyorum, onu gidip de çakacak hocayı değil.

Biyosensörler çok önemli bir alan. Biyomekanik denilen bir alan vardır. Burada bizim Acıbadem'in de çok büyük bir atılımı olmuş, özellikle Sporcu Sağlığı Merkezi ile ilgili. Ortopedi çok önemlidir Acıbadem'de ve bu insanlar ciddi ciddi böyle implantlar yapıyorlar. Şimdi kişisel implant yapma olayı var. Dolayısıyla, bu ayağı oluşturduk. Bir de tabii ki klinik mühendisliği. Burada, dediğim gibi, Hakan beyden çok destek aldık.

Bunun dışında, ilginçtir, Tıp Fakültesi ile ortak dersler açmaya niyetliyiz. Şimdi yeni yeni başladı katılmaya doktorlar.

Aranızda doktor var mı? Tamam, konuşuyorum o zaman. Kimseye söylemeyin ama.

Doktorların müthiş bir egosu var, Hocam söyledi, bizi teknisyen olarak görüyorlar. Adam neşteri almış orada, aorta dalacak; 'Sen kimsin?' diyor. Alet orada çalışmıyor, koter çalışmıyor. 'Çağırın biyomedikalı' diyor. Biyomedikalı teknisyen yapıyor. O modtan şu moda geçmemiz lazım. 'Yahu, bu koter çalışırken frekansında bir problem var Ata hocam, bunu nasıl düzeltebiliriz?' O moda geçirmem lazım. Bu da bu yaştaki, bizim yaşımızdaki, yaşlı hocalarla olmuyor. Çekirdekten, ben o çocuğu alacağım, benim mühendisimle beraber ortak proje yaptıracağım. Benim mühendisimin çektiği acıyı, aynı şekilde doktorun çektiği acıyı iki taraf da görecek. Dolayısıyla, elbirliği ile bunu yapacaklar. Gördüğünüz gibi, Chicago Üniversitesi falan da bunları yapmaya çalışıyor.

IMS'yi hızlıca bir anlatayım.

Bu bir fikir ve tasarım atölyesi olarak ortaya atıldı. Amaç da özellikle şirketlerin burada hayal projelerini gerçekleştirmelerine yardımcı olmak. Para konuşulmayacak burada. Normalde bir üniversiteye geldiğiniz zaman bir şirket olarak, 'Hocam bizim bir problemimiz var' diye, hemen önümüze gizlilik anlaşmaları, teknoloji transferleri olsun bilmem ne falan böyle, şu kadar para, o kadar para... İlk başta, 'Allah'ım, ne oluyor yahu?' diyorum. Üniversitenin görevi bence bilgi üretmek. Biz zaten paramızı kazanıyoruz. Öğrenciden, kendi projelerimizden zaten kazanıyoruz. Şirketleri yollamanın âlemi yok bu konuda diye düşünüyorum. Ve bu açıdan da baktığımızda, onların hayal projelerini yapmak istiyorum. 'Biz lazer güdümlü füze yapacağız, onun güdümün güdüsünü gütmek için sana geldim, yap bunu hocam.' Öyle proje olmaz. Öğrencilere zaten öyle proje yaptıramazsınız, lisans öğrencisine. Amaç burada, mentörlük yaparak sektöre hazırlanmalarını sağlamak. Neden? Çünkü 2 sene, 3 sene sonra bu çocuk mezun olduğu zaman Hakan beyin kapısına gelecek, Levent beyin, Barış beyin kapısına gelecek. Ve geldiği zaman da şu çıkacak ortaya: 'Oğlum senin not ortalaman kaç?' diye hiç kimsenin soracağını sanmıyorum. Öyle bir şey yok artık. 'Sen ne yaptın? Hı, o projeyi mi yaptın? Ne yaptın onu?' 'Zırt ettim.' 'Falan şeyi biliyor musun, gel bakalım.' Yoksa bütün karneler aynı, transcript'ler aynı. ABC Üniversitesi de. Artık çoğu adı çıkmış üniversitelerden de adam almak istemiyorlar. Onların da ayrı bir tarzı var. Üniversite, patates baskısı gibi öğrenciyi şekillendiriyor çünkü. Dolayısıyla, bizim istediğimiz o şekillenme olmadan, şirketle beraber şekillensin ve şirket öğrenciyi istediği gibi yoğurabilsin ve mezun olduğu zaman da hazır bir insan olarak alabilsin. Aksi takdirde bir mezunu reformat etmek, tekrar düzenlemek çok pahalı. Bir şeyler öğrettikten sonra bunlar kaçıp gidebiliyorlar. Hemen yan şirkete geçiyorlar. Dolayısıyla, erkenden bunlarla işbirliği yaparlarsa hem öğrenci Newton profiline bunu yazabilecek, hem şirket 3-4 tane öğrenciden hangisini beğendi, onu söyleyebilecek.

Benim için daha önemlisi ne biliyor musunuz; burada geçirecekleri süre. Bu süre içerisinde bir feedback loop var. O da şu: Şirketleri belirli aralıklarla davet edeceğiz ve öğrenciler –becerebilirsek- diyecek ki, 'Ağabey, böyle bir problemim çıktı. Abla, şöyle bir problemim çıktı. Nasıl yaptık?' 'Sen onu şöyle çözeceksin evladım. Oğlum, böyle bir kod yazacaksın, bu analizi de şöyle yapacaksın.' O sırada ben bu şirketteki elemanı çağıracağım. 'Yahu Mehmetçiğim; nasıl bizim çocuklar?' 'Hocam; iyiler de, şu konuları zayıf.' Bitti ağabey, benim için bulunmaz bir fırsat bu, o feedback'i alabilmek. Bu şekilde bu sistemi katabilmek istiyorum ben ve bir sonraki cycle'da, bir sonraki öğrencide bilmem ne dersinde hocama rica ederim, 'Aman hocam, şu konular, gözünüzü seveyim.'

Orhan Örücü- Hocaya kalsa bir şey yapamaz.

Prof. Dr. Ata Akın- Dolayısıyla, becerebilirsek, hayalden fikre, tasarıma ve belki de buradan bir ürüne gidecek bir alan olacak.

Bütün bunları becerebilirsek, bu tıp mühendisliği kavramını hak ettiği yerine, orijinine geri koyabileceğiz. Bunu yaparken cazip bir program da olması lazım, ki öğrenciler 'Ha, ben bunu ne yapacağımı anladım' diyebilsinler.

Bu programı oluştururken sektöre yakın olmak çok önemli. Sektöre yakın olduğunuz zaman cazip mezun çıkartabiliyorsunuz. Cazip mezun da üniversitenin saygınlığını artırıyor. Bu da IMS zarı olur diye düşündük.

Peki, ne aşmadayız? Müfredatı bitirmek üzereyiz. Ben bunu daha senatoya sunmadan, değer verdiğim, çok saydığım hocalarımla ve meslektaşlarımla paylaşacağım. Lab'ları planladık, inşallah bitecek. Bir tane mastır ve doktora programımız var, adı "Medikal Biyoteknoloji". Biz ekip olarak onun içinde yer alıyoruz şu anda. Bu kavramı ve bölümü tanıtmaya çabası içindeyiz. Çünkü hak ettiği yerine gelmesi lazım diye düşünüyoruz. Dolayısıyla desteğe ve akla ihtiyacım var.

Dinlediğiniz için çok teşekkür ederim.

Orhan Örucü- Belki ileriki bölümlerde Karabük Üniversitesinde bunun nasıl bir fiyasko olduğunu anlatırsanız...

Prof. Dr. Ata Akın- Tabii.

Orhan Örucü- YÖK, oraya 300 kontenjan vermiş. Ben onu 80 diye biliyordum. 300'müş kontenjanı, 15'e düşmüş. Ürolog ve cerrahla başlamış ve Türkiye'de kötü bir unvanı var. Sizin kontenjanınız az, eğer anlatırsanız...

Prof. Dr. Ata Akın- Evet. Çok teşekkür ederim fırsat verdiğiniz için.

Benim bildiğim hikâye şöyle: İlk başta tıp mühendisliği kavramını ortaya atan, çıkartan Karabük Üniversitesi. Tebrik ediyorum meslektaşlarımı. Daha sonra dolmaya başlıyor, 'A! Çok iyi, biyomedikali de açalım' diyorlar. Biyomedikali açıyorlar. Hem Türkçe, hem İngilizce, hem de gece programını da açıyorlar. Full çekiyor, tıp mühendisliği boş. YÖK'e yazı yazıyorlar; 'Biz yanlışlık yaptık. Biz esasında tıp mühendisliğini doldurmak istiyorduk. Biyomedikal mühendisliği çok doldu, biz biyomedikali kapatmak istiyoruz' diye. YÖK, 'Saçmalamayın' diyor. 'Esas tıp mühendisliği güdük kalmış, siz onu kapatın' diyor. Kapatıyorlar.

Tabii, bunlar kalıyorlar ortada. Bizimkiler de daha bu aşamalardaiken 'Tıp mühendisliğini biz de açalım' diyorlar, güzel bir kavram diye. Dolayısıyla bizimki açıldı, onlarınki de açıldı, sonra bunlar kapatma kararı verdiler. Bir anda küt diye kapatamadılar galiba, öyle bir durum oldu. Şimdi bütün bunlar olurken bir sorun vardı. O sorun da şu: Sağlık Bakanlığının yayınladığı düzenlemede, hastanelerde istihdam edilebilecek mühendisler kapsamında sadece biyomedikal mühendisliği lafı vardı. 26 Hazirandaki yeni düzeltmede, bu tür hastanelerde, kalibrasyon merkezlerinde sadece biyomedikal mühendisi değil 'veya tıp mühendisi' kavramı da oturdu. Dolayısıyla, bizim mezunumuz diplomayı aldığı zaman bu kadrolara da başvurabilecek artık. Dolayısıyla, artık Sağlık Bakanlığının nezdinde de tanınır bir noktaya geldi.

Karabük'teki meslektaşlarımla hiç görüşme fırsatım olmadı. O benim hatam; inşallah bir gün onlarla da görüşürüm.

Orhan Örucü- Hocamın söylediği önemli bir nokta var; temel bilimler, bu işin aslı. Ama ne yazık ki bölümlerde temel bilimler eğitimi yerlerde sürünüyor. Bölümler kapatılıyor; tüccar mantığıyla, 'Müşteri yok, dükkânı kapatalım' deniliyor. Bu işlerin yürümediğine dair geri beslemelerin bir yerden gelmesi lazım. 'Türkiye'deki eğitim kötü' diyoruz, ama ben her zaman her yerde şunu söylüyorum: İlkokula başladığınız 3 senede eğitim Türkiye'de güzel; çarpım cetvelini öğreniyoruz, okuma yazma öğreniyoruz. İlk 3 senedeki eğitim süper. Ama sonrası felaket. Yani bir de bunu devamı için yatırım yapmak gerekliliği var.

Aziz Sancar, DNA'nın kendini nasıl tamir ettiğini ortaya koyan çalışmasıyla kimya alanında Nobel aldı. Yatırımcılar, bu mekanizmanın nasıl işleyeceğine dair bir şeyler yapıp, bunu, bu bilimsel bilgiyi pratik bilgi haline getiriyorlar. Bizim bunu yapma şansımız var mı? Keşke olsa. Biz hâlâ ne yapmaya çalışıyoruz; 100-150 senelik içten yanmalı motorları... Bunu yapsanız, işte o zaman tıp mühendisliği, biyomedikal, elektronik bir yere gelir. Onu biz yapamayacağız anlaşılan, başkaları

yapacak. Yani zihniyetimizin bu olması lazım. Tamam, şeyler güzel, heyecan da güzel, inşallah olur; ama Türkiye’de, tıp mühendisliği için demiyorum, ama mücevherat mühendisliği bölümleri falan açılıyor. Ne yapacak, bilmiyorum. Yani buranın bir şansı var bence. Üniversite, hastane yakın; ama bu üniversite ne olacak, mezun olunca insanlar nereye gidecek, orası sorun. Daha sonra soru-cevap bölümünde hocama döneriz.

Devam edelim isterseniz.

Sunum sırası Sayın Hakan Evsine de.

Buyurun.

Hakan Evsine (Acıbadem Sağlık Grubu)- Merhabalar.

Ege Üniversitesinde elektronik eğitiminden sonra Kamu Yönetimi Bölümünü, sonrasında da Kocaeli Üniversitesi Biyomedikal Yüksek Mühendisliği bölümlerinde okudum. Sağlık sektörüne 1994’de Ankara Sevgi Hastanesinde başladım. 2002 yılından itibaren de Acıbadem Sağlık Grubunda çalışmaktayım. Sevgi Hastanesinde ağırlıklı olarak klinik mühendisliği yönetiminde yer aldım. Son 15 yıldır Acıbadem Sağlık Grubunda çalışıyorum. Acıbadem Sağlık Grubunda satınalma, Lojistik ve Biyomedikal Hizmetler Direktörüym. Direktörlüğümüzde 200 kişi ile çalışmaktayız. Bu ekibin 55 kişilik kısmı biyomedikal hizmetlerde görev yapmaktadır. Ekip içerisinde yaklaşık 12 mühendis arkadaşımız bulunmaktadır.

Yapılanmamız şöyle: Her hastanemizde biyomedikal ekipleri bulunuyor, ekipler içerisinde biyomedikal mühendisi arkadaşlarımız, biyomedikal teknikeri arkadaşlarımız yer almaktadır. Hastanelerimizdeki tüm medikal cihazlarımızdan bu ekiplerimiz sorumludur. Hastane grubu olduğumuz için biz 11 kişilik uzmanlaşmış bir ekip merkezi kalibrasyon laboratuvarı kurduk. Ekipte bir de fizik mühendisimiz var. Bu ekip, 18 hastanemizde yer alan medikal cihazların kalibrasyonlarını yıllık bir plan dahilinde gerçekleştiriyorlar. Ayrıca bir elektronik kart onarım atölyemiz var. Bu atölyede kart onarımı için ciddi bir teknik donanım bulunuyor, kendi bünyemizde medikal cihazların elektronik kartlarının onarımlarını sağlayarak onarım bütçesine de katkı sağlamış oluyoruz. Yine merkez ekibimizde biyomedikal satınalma birimimiz yer almaktadır.

Bugün sizlerle, hastanelerde biyomedikalın, klinik mühendisliğinin genel durumunu konuşmak istiyorum.

Biyomedikal mühendisi arkadaşlarımız, sağlık sektöründe, üniversite hastanelerinde, devlet hastanelerinde, özel sektör hastanelerinde, bunun dışında medikal cihaz satışı yapan, Türkiye’de distribütör olan firmalarda çalışıyorlar.

Önce, hastanelerde ne işler yapıyorlar, bir bakalım:

Biyomedikal mühendisleri, tanı- tedavi amacıyla kullanılan medikal cihazların tüm teknik işletmelerinden, bakım-onarımından sorumludurlar. Hızlı gelişen tıbbi teknolojilerin hastanelere aktarılmasından, tıbbi cihazların seçiminden, kullanıcıların eğitimlerinden sorumludurlar. Hastanedeki en büyük duran varlık olan 'medikal cihazların' verimli ve etkin bir şekilde kullanımlarını sağlarlar. Cihazların bakımlarını, kalibrasyonlarını, elektriksel güvenlik testlerini yerine getirirler. Medikal cihazlarla ilgili emniyet önlemlerinin alınmasından sorumludurlar.

Bildiğiniz gibi, günümüzde tıp teknolojisi çok ilerledi. Hastanelerimizde bundan 20 yıl önce bir röntgen, bir EKG gibi cihazlar varken, şimdi her klinikte, her bölümde sayısız, farklı türde medikal cihazlar bulunmaktadır. Bu kadar medikal cihazın olduğu ortamda ülkemizde de biyomedikal mühendisleri için istihdam ile ilgili bazı uygulamalar da bulunmaktadır. Bunlardan kısaca bahsetmek istiyorum.

Ülkemizde, gerek devlet gerek özel ve gerekse üniversite hastanelerinde biyomedikal teknikeri, biyomedikal mühendisi bulundurmamak aslında yasal bir zorunluluktur. Burada çok detaya girmeyeceğim

ama Resmi Gazete’de yayınlanmış olan yasalar gereği, 200 yatak ve üzeri Sağlık Bakanlığına bağlı hastanelerde, 100 yatak ve üzeri yatak kapasitesine sahip özel hastanelerde birer tane biyomedikal mühendisi istihdam edilmek zorundadır. Yine Bakanlar Kurulunun 2005 yılında almış olduğu bir kararla, yataklı tedavi kurumları bünyesinde biyomedikal hizmeti ve kalibrasyon birimi kurulması veya bu hizmetin dışarıdan başka bir kurumdan satın alınması şart olarak getirilmiştir.

Biyomedikal mühendisi arkadaşlarımız firmalarda ne işler yapıyorlar? Eğer medikal firma, üretim yapıyorsa, bu arkadaşlarımız üretim kısmında üretim mühendisi olarak; ya da medikal cihaz tasarımlarında Ar-Ge mühendisi olarak, veya üretilmiş cihazların test edilmesi sırasında kalite kontrol mühendisi olarak çalışabiliyorlar. Son dönemde medikal sektörde gelişmeye devam eden yazılım tarafı da önem arz etmektedir. Özellikle ameliyathanedeki ve yoğun bakımdaki hastaların takiplerini yapan, hastaların tanı ve tedavilerinde kullanılan karar destek sistemlerinde, bilgisayarlara entegre edilmiş yazılımlar bulunmaktadır. Bu firmaların bünyesinde de yazılıma gönül vermiş biyomedikal mühendisi arkadaşlarımız çalışmaktadır. Bunların dışında biyomedikal mühendisleri Türkiye’de satış yapan ya da distribütör olan medikal firmalarda satış mühendisi, satış sonrası eğitimden sorumlu aplikasyon mühendisi ve yine satış sonrası bakım-onarımdan sorumlu teknik servis mühendisi olarak da görev yapıyorlar. Tabii, bir diğer seçenek de akademik yol. Bunu tercih eden arkadaşlarımız için, yüksek lisans ve doktora seçenekleri hem Türkiye’de, hem de yurtdışındaki birçok üniversitede bulunmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri’nde 2008-2018 yıllarını kapsayan bir çalışma yapılmış ve bu çalışmada iş bulma imkânlarının en çok artacağı mühendislik dalının, yüzde 72 artış hızıyla biyomedikal mühendisliği olduğu raporlanmıştır. Ülkemizin bilim ve teknoloji politikaları kapsamında TÜBİTAK tarafından rapor edilen Vizyon 2023’e göre biyoteknoloji ve biyomedikal alanların hızla gelişeceği işaret edilmiştir.

Türkiye’de biyomedikal mühendisliğine baktığımızda, aslında her yıl daha fazla mezun veriyoruz, her yıl okul sayısı, bölüm sayısı artıyor. Tabii, sektöre şöyle bakmak lazım: Hem mühendislik, hem de teknikerlik öğrencileri var. Klinik mühendislik tarafında birçok öğrenciyle iş görüşmeleri yapıyoruz, burada fark ettiğim şeyler şunlardır: Birincisi, eğitimde çok net bir şekilde farklılıklar göze çarpıyor. Yani burada üniversite adı tabii ki telaffuz etmeyeceğim ama bazı üniversitenin eğitimleri noktasında maalesef olumsuz izlenimlerim var... Yani bir EKG cihazını görmeden mezun olan arkadaşlarımız var. Eğitimleri tamamen akademik tarafta kalmış arkadaşlarımızı görüyoruz. Biraz önce Ata Akın hocamız da söyledi, matematikte türevi çok iyi öğreniyor öğrenciler ama medikal cihazı gördüğünde maalesef onu tanıyamıyor. Sinyal işlemeyi çok iyi öğreniyorlar ama MR cihazını gördüğünde onu yadırgıyorlar.

Medikal cihazların ülkemizde Ar-Ge ve üretim çalışmalarına baktığımızda; kullanılan teknikler maalesef çok yüksek sermayeyi gerektirdiği için ancak çok basit ürünler ve daha az karmaşık cihazlar üretildiğini görüyoruz. Daha az teknoloji gerektiren hasta yatakları, ameliyat lambası, ameliyat masası gibi donanımları üretiyoruz ama yüksek teknolojik ürünleri üretmiyoruz.

Diğer tarafta da ciddi bir medikal malzeme sektörü var. Biyomedikal mühendisleri için medikal malzeme sektöründe de önemli bir istihdam imkânı bulunuyor. Burada, küresel pazardan pay alacak ürünleri geliştirmek gerekiyor. İşte bu noktada biyomedikalın birçok alt branşları var... Üniversitelerde eğitim konusunu konuştuk. Doku mühendisliği olsun, biyo-teknoloji olsun, nano-teknoloji olsun, bu alanlarda birçok çalışmalar yapılabilir. Bu tip ürünlerin üretimine yönelmek çok katma değerli bir konudur. Elbette başlangıçta ileri teknoloji ürünlerden ziyade, en azından kendi ülkemizde yüzde 90’ını dışarıdan ithal ettiğimiz temel medikal ürünlerin bir kısmını ülkemizde üretebiliriz. Böylece hem ülkemizde istihdam alanları yaratacağız hem de ekonomiye büyük ölçekte katkı sağlayacağız. Mesela özellikle protez ürünleri; bu ürünlerin fiyatları çok pahalıdır ve geri ödemelerinde sorunlar bulunmaktadır. Bu hem hastalar, hem hasta yakınları için ciddi problem oluşturuyor. Aslında çok da yapabileceğimiz işlerdir. Maalesef Türkiye’de çok fazla sayıda yerli üretim bulunmuyor. Olanları da nedense Türk hekimler tercih etmiyorlar. Böyle de sorunlarımız var...

Her yıl sayıları artan biyomedikal mühendisliği mezunlarımızı, ülkemizin yeni açılacak olan hastanelerinin istihdam edebilmesi mümkün gözükmemektedir. Türkiye'deki sağlık sektöründeki medikal firmalara baktığımızda, onların da sayısında büyük bir artış yoktur. Çünkü Türkiye'de devamlı yeni medikal şirketler kurulup, yeni istihdamlar yaratılamıyor. O yüzden yeni iş alanları açmak zorundayız. Bunun da yolu üretimden geçiyor. Mutlaka medikal cihaz, mutlaka medikal malzeme tarafında üretime yönelmeliyiz. Fakat burada bir girişimcinin tek başına çıkıp 'Ben bunu üreteceğim' demesi maalesef yeterli olmuyor. Ciddi bir şekilde üniversite, medikal sektör ve hastaneler arasında işbirliği gerekiyor. Ürünlerle ilgili klinik çalışmalar yapılması gerekiyor. Hocam, hayvan ve insan deneylerinden bahsetti. Bunların tamamlanması için bu üç sac-ayağının mutlaka birlikte çalışması gerekiyor. Ata hocam da değindi, maalesef girişimci başka beklentiler içerisinde, akademisyen başka beklentiler içerisinde. Biz bunları yıllardır bir araya getiremedik. Ne olacak? Eğitim konusunda gerçekten ciddi sıkıntılarımız var. Eğitim dengesi farklı mezunlar veriliyor ülkede. Okulu bitiren öğrencilerimiz birçok şeyi öğrenemeden mezun oluyorlar. Benim karşılaştığım en önemli problem klinik mühendisliği tarafındadır. Yeni mezun arkadaşlarımız deyim yerinde ise tornavida tutmak istemiyor, özellikle bayan mühendis arkadaşlarımız. Bir başka deyişle hastane klinik mühendislik alanında çalışmak istemiyorlar. Bazı bayan arkadaşlarımız 'Biz yaparız, başlayalım' dediler ama maalesef üç ay kadar sonra pes ettiler. Evet, klinik mühendisliği teknik bir iştir ve biraz zorlayıcı, beden/emek yoğun bir iştir. Biraz önce hocalarımızın örnek verdiği gibi, ameliyathanede yeri gelir hekimlerden azar işitirsiniz, gerekirse bir arızalı hasta yatağının altına yatar, motorunu değiştirirsiniz. Ama bu da gereklidir, bizler mühendisiz, yani bunu böyle de kabul etmeliyiz, klinik mühendislik bunu gerektirmektedir. Tabii ki masa başı işler veya akademisyenlik yapmak istiyorsak bunlar da bir seçenektir... Yeni mezun arkadaşlarımız 'Masam, bilgisayarım vb.' diye bakıyor konuya. Benim organizasyonum içerisinde 4 tane bayan mühendis arkadaşımız var. Maalesef hepsi biyomedikal satınalma departmanında çalışıyor. Klinik mühendislikte çalışmak isteyen bayan arkadaşlar bulamıyoruz. Bulduklarımız da, dediğim gibi, bir süre sonra sürdüremeyeceklerini belirtiyorlar. Erkek arkadaşlarımızda da, yavaş yavaş teknik servis hizmetinden uzaklaşan bir eğilim var.

Özetle şunu ifade etmek istiyorum: Biyomedikal mühendisleri ağırlıklı olarak yöneticilik yapmak istiyor ve biyomedikalın klinik mühendislik tarafını biyomedikal teknikerlerine bırakmış durumdalar. Bunun doğru olmadığını düşünüyorum. Üniversite eğitimlerinde bunların mutlaka öğrenci arkadaşlarımıza anlatılması, mesleğin bu yönlerinin sevdinilmesi, teşvik edilmesi gerektiğine inanıyorum. Tabii ki yöneticiler de lazım; akademik çalışmalar da yapılmalı, üretim ve endüstri ile de çalışan arkadaşlarımız gerekli ama bu tarafta da böyle bir gerçek ve ihtiyaç var. Klinik mühendislik sevdalısı mühendislerimizi kucaklamak üzere sektörde bekliyoruz.

Beni dinlediğiniz için teşekkür ederim.

Orhan Örucü- Arkadaşlar; her sene aşağı yukarı Türkiye'de 30-35 bin mühendislik, mimarlık öğrencisi mezun oluyor. Bizim Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği bünyesinde olanları söylüyorum. Şu anda bizim elektrik mühendisliği alanında 54.000 öğrenci okuyor. Odanın üye sayısı ise 50.000. Yani böyle bir yoğunluk var. Bu açıdan, yeni arkadaşlar şöyle bir düşünceye kapılmasınlar: Bu piyasada şu anda herkese iş var veya hiç birimize iş yok. Türkiye'de işsizlik sorununu yaşayan bir tek meslek var; harita mühendisleri. Onun dışında herkese iş var. Yani klinik mühendisliğini istemez ise satınalmada çalışıyorlar, yatırımda çalışıyorlar. Yani bu iş bütünlüklü bir iş. Ama neticede bir işe başımı sokarım. Azeri Petrol Şirketi SOCAR'ın Türkiye CEO'su Kenan Yavuz'un Temmuz ayında bir açıklaması vardı: İşe yeni girmek isteyen arkadaşlara 'ne yapacaksın' deyince, 'ben ne zaman müdür olacağım?' diyormuş. Ama tabii, büyük çabalar gösteriyorsunuz, zorla liseler bitiyor, zorla da üniversiteye giriyorsunuz, hakikaten emek sarf etmek lazım. Çünkü emek sarf edilmeden hiçbir şey olmuyor. Eskiden biz işe alıyorduk insanları, şimdi insan kaynakları bilmem ne, böyle tuhaf tuhaf meslekler var. Ama mühim olan, herkesin kendi ihtiyacını bilip ona göre davranması lazım.

Ben şantiyelerden geldim. 40 yıllık şantiye hayatımda bir tane Boğaziçi Üniversitesi ya da Bilkent Üniversitesi mezunu elektrik mühendisi görmedim. Ama müracaat edip gelseydi de içeri almazdım.

Tabii, alınan arkadaşlar var. Anladığım kadarıyla Türkiye'deki ithal sistemiyle, bu sektörler bakım işlerini aldığı için, belki hastanelerin de kolayına gelmiş, eleman istihdam etmiyor. Acaba durumlar öyle mi? Sektörden arkadaşları sırayla dinleyelim şimdi.

Buyurun.

Barış Ünlü (Etkin Tıbbi Cihazlar)- Merhaba arkadaşlar.

Başkent Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği mezunuyum.

Şu anda İzmir Katip Çelebi Üniversitesinde Biyomedikal Teknolojiler üzerine yüksek lisansımı yapıyorum. Bunun dışında, ailemden kaynaklı, doğduğumdan beri sektörün içindeyim.

Geçmişte neler yaptık? Ben üniversiteye başladığımda biyomedikal yoktu. Biyomedikal mühendisliğinde Başkent Üniversitesi benim ikinci üniversitem. Ancak, öncesinde çeşitli deneyimlerim oldu... Ailemde, benim amcam, babam protez-ortez ustasıdır. Dolayısıyla hastalarla ve protez-ortez sanayisinde çeşitli kesimlerle iç içeyim. Öğrenciliğimde yaz tatillerimi hep atölyelerde geçirdim. Hakan beyin dediği gibi tornavida tutma kısmında, tornavidasıyla, alçısıyla, çekiciyle hep beraberdim. Dolayısıyla, sektörün içinde de belirli bir deneyimim vardı.

2001-2002 yıllarında Türk Standartları Enstitüsü Tıbbi Cihazlar Özel Daimi Komitesinde raportördüm. Daha sonra Sağlık Bakanlığında sektörel bir dernek için üç yıl kadar danışmanlık yaptım. 2003-2006 yıllarında itibaren Ankara'da bir firmada 2.5 yıl kadar biraz işin biyomedikal metroloji uygulamaları (test, kontrol, kalibrasyon, vb.) ile uğraştım. Daha sonrasında yine sürecin içerisinde kalite yönetimi konusuna biraz bulaştım. Belgelendirme çalışmaya başladım. Daha sonra, üniversiteden mezun olunca, önce askere gittim. Sıhhiye İkmal Bakım Merkez Komutanlığında teknik şartname hazırlama (yedek) subayı olarak görev yaptıktan sonra terhis oldum ve memleketim İzmir'e döndüm. Akabinde bir süre yine danışmanlık yaptıktan sonra Etkin Tıbbi Cihazlar firmasında Ar-Ge mühendisi olarak çalışmaya başladım. 2009 yılında ilk Ar-Ge projesini TÜBİTAK'a onaylattık ve ameliyat lambası üretimi çalışmalarına başlandı. 2012 yılında ürün piyasaya çıktı. Şu anda da Etkin Tıbbi Cihazlar firmasında Kurumsal Gelişim Direktörü olarak çalışmaktayım. Onun dışında, dijital hastane çalışmaları için sorumlu koordinatörüm. Ayrıca, yine özel sektörün çeşitli alanlardaki firmalarına özellikle ürün geliştirmeye yönelik danışmanlık yapıyorum.

Hocalarım olsun, Hakan bey olsun çok güzel konulara değindiler. Ben de bazı notlar aldım, kısaca onları gireceğim.

Türkiye'de maalesef tıbbi ürünler konusunda çok büyük oranda yurtdışına bağılıyız ve bunu aşmak önemli bir sorun. Ama gerçekten, mesela bir MR'ı üretmek mi gerekiyor? Bence gerekmiyor. Bir sanayici gözüyle konuşuyorum. Yüksek katma değeri olan ürünler de önemli; ama tüketimi yüksek olan, gideri yüksek olan ürünler de bence çok önemli, bir sanayici gözüyle baktığımda. Neden? Çok basit bir örnek verelim, yaşanmış bir örnek, şu anda Türkiye'de olan bir örnek. SGK'nın geri ödeme sistemindeki bir ürün. SGK'nın yaptığı geri ödeme yaklaşık 4.000 lira. Bunu ithal eden firmanın ithalat maliyeti, özerk olarak satışı, hastaneye satışı 2.500 lira. Bununla ilgili bir bilgi gelmişti, çalışmasını yaptık. Üretim maliyeti, belgelendirmesi dahil satış rakamı 100 lira olarak çıktı ve şu anda üretimine başlanacak. Çok çok basit bir ürün ve tamamen ithal. Bunun gibi o kadar çok ürün var ki, aklınız hayaliniz durur. Binlerce üründen bahsediyorum. Ortopedide çok kullanılan bir üründü bu. Gerçekten yüksek teknoloji gerekiyor; ama bunları da bir kenara atmamak gerekiyor bence.

Bunun dışında, Ata hocam biyomedikal mühendisleri olarak bizim sektörel beklentilerimiz konusunda çok güzel bir sunum yaptı aslında. Bunun yanında, stratejik planlama, risk yönetimi, süreç geliştirme ve iyileştirme çalışmaları; bunlar da çok önemli. Mesela, Etkin Tıbbi Cihazlar, İzmir'de kendi bünyesinde biyomedikal mühendisi çalışan belki tek firma. Başka firma hatırlayamıyorum. Üniversitelerde çeşitli arkadaşlar var. Benim asistanım olsun, pazarlama birimindeki arkadaşımız olsun, yine kalibrasyon biriminde, test birimindeki bir arkadaşımız olsun, biyomedikal mühendislerimiz var ve Ar-Ge'yi yürüten bir arkadaşım var. Çoğunluğu da stajlarda benim yetiştirdiğim arkadaşlar. Çünkü okullardan

çıkıp, gerçekten de nitelikli olarak piyasaya maalesef gelemiyorsunuz. Piyasadaki ihtiyaçlar çok daha farklı. Okullar da çok fazla akademik, sektör ihtiyaçlarına çok uzak. Sektörün ihtiyaçlarını karşılayabilecek mezunlar çıkmıyor. Bunları nasıl yetiştirebiliriz; bunlar tartışma konusu.

Hekimlerin yerli markalara karşı bazı önyargıları çok fazla. Hekimlerle uğraşmak gerçekten zor. Aşırı bir 'Ben bilirim' tavrı, kibri var hekimlerde... Hekimlerle çok kavga ettiğim için bunu rahat rahat söylüyorum. Hekimden daha iyi o işi bilmeniz lazım ki, elinizdeki cihazı ona kabul ettirebilesiniz. Sadece hekim değil, aynı zamanda oradaki riski üstlenen kişi o, hekimi ikna ettiğiniz takdirde üstlenen kişi de siz oluyorsunuz. Çünkü hekim, 'Ben sana güvendim, bunu yaptım' diye cevap verir bir sorun olduğunda.

Yoğun bakım konusunda da bizim şirkette bazı çalışmalarımız var. İthal ettiğimiz bir ürünümüz var. Hatta bu ithal edilenlerden bir tanesinin yerleştirme çalışmasını da yapıyoruz. Hekim, ithal markaya güveniyor. Çünkü gerçekten birçok test aşamasından geçiyor, tasarımı için çok değişik klinik çalışmalar yapılıyor, dünyanın her yerinde büyük araştırmalar yapılıyor. Ama bunlarla ilgili maalesef üniversitelerde, sektör ihtiyaçlarının nasıl karşılanacağına yönelik büyük bir eksik var.

Şirketimiz, 60 kişilik. Herhalde bu sene, sanırım 65'i buldu staj yapan öğrenci sayısı. 60 kişilik bir firmada 65 stajyerden bahsediyoruz. Dünyada en iyi firmalarda bile bu kadar stajyer yok. Gelenlerin hepsiyle de mümkün olduğunca birebir ilgilenmeye çalışılıyor. Ama şu var: Bizde talaşlı imalat var, elektronik üretim, montaj, test, bu işin yönetim kısmı da var. Stajyerleri mümkün olduğunca bunların hepsine sokmaya çalışıyoruz. Yani torna başına geçmeyen, mekanik tezgâh başına geçmeyen, gidip havya tutmayan stajyer benim için stajını tam olarak yapamamıştır. Bir de, sürekli, mümkün olduğunca ödevlerle, ekstra çalışmalarla desteklemeye çalışıyoruz. Bunun dışında da, ilişkileri nasıl geliştirebilirler; nerede, kiminle, nasıl görüşebilirler, bunlara yönelik bilgilendirmeler yapıyoruz.

Bitirme projeleri çok önemli bir sanayici için. Çünkü biraz önce Ata hocam güzel değindi o konuya da: 'Ne yaptın sen?' Bir sanayici olarak benim için not ortalamasının hiçbir değeri yok. Ben şu gözle bakarım: Yani birçok sanayici ile beraber bir araya geldiğimizde de gözlemlemiştir, onlar da öyle bakıyorlar: Bu adam akademisyen olmak için çaba gösteriyor, onun için notunu yükseltiyordur, ya sınır dışıdır, çok üstündür ya da sadece ezberlemiştir. Sadece ezberleyerek gitmiştir. Buna karşılık, mesela benim baktığım en önemli noktalardan bir tanesi, sosyal aktiviteleridir. Sosyal aktivitelerde neler yapıyor? Mesela tiyatro ile arası nasıl, iletişim becerisi ne durumda? Çünkü takım çalışması içindeyiz biz. Hekimle çalışacaksın, makine mühendisiyle çalışacaksın, elektronik mühendisiyle çalışacaksın; gideceksin bir yerde mevzuat konusunda hukukçuyla çalışacaksın, işletmeciyile çalışacaksın, finans işine bulaşacaksın. Her alanda işbirliği yapacaksın. Bunlar hakkında da bilgisi olması lazım. Bunlarla ikili ilişkiler kurabiliyor olması lazım. Yoksa bir elektronik kart tasarımını düşünürsek, hiçbir sanayici, oturup bir elektronik kartı dört dörtlük tasarlamasını beklemez biyomedikalciden. Niye beklemez? Çünkü zaten onu çok daha iyi yapacak elektronik mühendisi var. Ama o elektronik mühendisi hangi standartlardan, hangi kriterlerden, hangi aşamalardan geçecek, hangi malzemeleri nasıl kullanacağını söyleyerek ona destek olacak, onunla ekip olarak çalışacak bir eleman ister. Bu çok önemlidir tabii ki.

Aynı şekilde, teknik hizmetten, teknik servisten bir örnek vereyim. Yaşanmış bir olay. Bir hastanede bir hasta başı monitörü arızalanıyor. Bunun için firmalardan teklif alıyorlar, ama hastane teklifleri beğenmiyor, yüksek geliyor. Sonra arızalı hasta başı monitörünü bir televizyon tamircisine götürüp, veriyorlar. Ve tamirci, hasta başı monitörünü çalışır durumda hastaneye teslim ediyor. Bu, taşrada bir hastanede gerçekten yaşanmış ve bir kişinin ölümüne sebep olmuş bir olaydır.

Ben aynı zamanda adli bilirkişilik yapıyorum, inceledim o dosyayı da. Hasta ölüyor. Hastanın yakınları dava açıyor. Gerçekten işin elektronik kısmını iyi bilen bir arkadaşla beraber inceledik dosyayı. Kaçak akıma karşı kullanılması gereken bir eleman yerine, başka bir çözüm geliştirmiş TV tamircisi, ancak bu çözüm EKG elektrotu üzerinden hastaya akım vermiş. Bunu tespit ettik. Biyomedikal mühendisinin görevi işte burada, ölüm ile kalım arasındaki noktada. Eğer o hastanede görevli bir biyomedikal mühendisi veya bilinçli bir kişi de olabilir; "Bunu böyle yapmayın, aslında

bu böyle olmaz, bunun kuralları ile ölçülüp, yapılması gerekiyor” diyebilen birisi olsa, bu olay yaşanmayacaktı. Biyomedikal mühendislerinin o yüzden çok ciddi sorunları ve sorumlulukları var.

Kendinizi çok iyi geliştirmelisiniz ve her alanda geliştirmelisiniz. Çok mükemmel olmak gerekmiyor, ama çözüm üretebilen ve bilgili, donanımlı olmak gerekiyor. Yani en azından standartları, yönetmelikleri bilmek gerekiyor. İşin Ar-Ge boyutuna girecekseniz, o süreçlerin nasıl işletildiği, hangi test aşamaları ile olacak vesaire, bunları bilmek gerekiyor. Bu ekip çalışmasındaki yerinizi çok iyi koruyun bir kere. Bunu bilerek hareket etmeniz gerekiyor.

Başlangıç için, ekonomik getirisi açısından baktığımızda, katma değeri düşük ürünlerle başlanabilir. Ama daha sonra ekonomik getiri ile beraber firmalar doğal olarak daha yüksek katma değerli ürünlere kayıyorlar. Dediğim gibi, biz, Etkin Tıbbi Cihazlar olarak, ameliyat lambası ile başladık. Şu an yoğun bakım cihazları için bir çalışma yapıyoruz; uluslararası bir proje. Daha sonrası için, daha gelişmiş bir ürün için de şu anda bir projemiz kabul edildi. O da radyoloji alanında. Onunla ilgili çalışmaya başladık, üniversite-sanayi işbirliği olarak.

Üniversite sanayi-işbirliği de burada kötü durumda. Başlangıçta çok fazla firmaları önemsemiyorlardı, ama daha sonrasında işler büyüdükçe, teknolojisi daha yüksek ürünlere doğru kaymaya başladıkça bu sefer kişisel ilişkileriniz, network’ünüz, akademisyenlerle olan ilişkileriniz, bunların hepsi gündeme geliyor. Sizlerden de yeni yeni akademisyenler çıktı. Mesela Onur bey benim sınıf arkadaşım aynı zamanda. Kaç tane doktoralı biyomedikal mühendisi var şu anda? Bir. Bir tek sen misin doktorasını almış? Başka yok henüz, ama zamanla olacak. Ata hocamın bahsettiği gibi, bu sanayi-üniversite-hekim; bu takım çalışmasını kurabilmek için kendinizi her yönüyle ilgili geliştirmeniz lazım. Herkesle beraber çalışabilecek altyapıya sahip olmanız lazım. Herkesin dilinden anlıyor olmanız lazım.

Bilmiyorum sürem ne kadar vardı; ama ben kısaca, mümkün olduğunca bu kadar anlatmak istedim.

Orhan Örucü- Teşekkür ederiz.

Sektörden, olumsuz şartlardan falan konuşuyoruz; ama Türkiye’nin bu olumsuz şartlarında da görülebilen bir-iki iyi örneği vermekte fayda var.

Yeni doğan bebeklerin konulduğu kuvöz var. Bu, 10 sene önce Ankara’da ithal edilmiş, fiyatı 100 bin liraymış. ODTÜ’de şimdi kaybettiğimiz Serhat Özyar adındaki bir arkadaşımızın olduğu bir işte, 10 bin liradan düşük bir fiyata mal ettiler. Ama her zamanki gibi, malı alıcılara anlatamadılar. Hâlâ sıkıntılı doğan çocuklardan mutlaka yarısı Ankara gibi bir yerde ölüyor. Çok bir para değil. Üniversitelerin, devletin veya kamu tedarikçilerinin bu işleri bir arada çözmeleri lazım.

Salondan- Mesela, ben Karabük Devlet Hastanesinde çalıştım. Arkadaşımız, “kalp pili” falan diyor; ama biliyorsunuz, karbondioksit tüpleri ile oksijen tüpleri çok farklıdır. Üzerine yanlışlıkla takılmasın diye farklı yapılıyor. Bizim kahraman teknisyenlerimiz karbondioksit tüpünü nasıl becerdiyse oksijen diye takıyor, karbondioksit veriyor.

Prof. Dr. Yekta Ülgen- O da bir şey mi hocam; bizim teknisyen, anestezi cihazına karbondioksit tüpünü bağladı.

Orhan Örucü- Onu nasıl bağlamış? O da enteresan.

Prof. Dr. Yekta Ülgen- Sarıyer (İsmail Akgün Devlet) Hastanesinde oldu bu. Gittim, baktım. Anestezi yerine karbondioksit hortumu takılmış, cihaz mosmor. Teknisyeni çağırdım: “Nasıl yaptın?” dedim, “Vallahi hocam...” falan dedi, halbuki hepsinin hortum takıldığı yer farklı. Mümkün değil. Allahtan, hastaya bağlamadan cihazı açmışlar...

Bir de şöyle bir şey olmuş, Taksim Hastanesinde tüpleri yanlış doldurmuşlardı. Çok eski bir vaka. Azot porotoksit tüpünün içine oksijen koymuşlar, oksijen tüpüne de azot porotoksit... Yanlış doldurmuşlar. Doktor da bunun farkında değil. Oksijen veriyorum diye azotu veriyor ve hasta eks oluyor.

Orhan Örucü- Bu, biraz da kültürel ortamla ilgili bir şey. Mesela hastanelerde yaşadığımız, tanık

olduğumuz bir şey: O bölümde biraz uyanık hizmetli varsa, radyasyon teknoloji tedavileri bunların eline verilir. Ama ne oldu? firmalar, kurumlar 1 milyon, 2 milyon, 3 milyon dolarlar falan yatırınca, bunları ayırdılar. Biliyorsunuz, bizim fizik lisans mezunları daha çok öğretmenlik yaparlardı. Ama hastanelerde bu farklı ortamlar yaratılınca, bütün fizik lisans mezunları, fizik mühendisleri artık bu alanlarda çalışmaya başladılar.

Yalnız bu, arkadaşlarımızın dediği, sanayicilerin istediği, el tutan mesleklerle ilgili... Tabii, üniversitelerdeki eğitim artık formasyon eğitimi denen şeye döndüğü için, artık eli kirlensin istemiyor insanlar... Ben, (ayda) 90 küsur saat falan, bazen cumartesi günleri de İTÜ’de ders gördüm. Artık böyle bir eğitim yok. 140 kredi/saat olunca bu işler olmuyor. Şimdi teknoloji fakülteleri gibi, niye açıldığını anlamadığım bölümler var. Belki bu teknoloji fakülteleri buna girecek. Henüz yeni olduğu için, MÜDEK tarafından akredite edilmiş bir medikal mühendisliği bölümü yok. Başkent Üniversitesi müracaat etti. Belki o alanda olunca o standartlar da oluşacak.

MÜDEK’in en önemli tarafı, akredite olacak bölümde, dış paydaşlar adı verdiği, son 5 yılda mezun olanlar, artı sektördeki insanlar ve meslek örgütlerinin katıldığı bir şeyde yani burada Barış arkadaşımızın ortaya söylediği lafın bir noktada muhatabı yok. Ama yarın Başkent Üniversitesi dış paydaş toplantısı yaptığında, o arkadaşları çağırdığında, mutlaka bir dönüş olacak.

Bir de şöyle bir sıkıntı var bizde: Murat Elibol hocam anlatmıştı. Amerika’da ameliyatlar olduğunda, kalp pili takılacağı zaman, doktorun işi biter, “Buyurun” der, kalp pilini takmaya yönelik mühendis kimse, o takarmış. Tabii, o uzmanlık alanı nereden kaynaklanıyor? Sigortadan. Çok büyük sigortalar, cezalar olduğu için... Hatta Amerika’da her hastanenin kapısında avukatlar nöbet tutarmış. Yani sen çıktığında... Tabii, bu durum firmaları şeye itmiş. Hasta 1 milyona, hastane 3 milyona falan. Sigorta şirketleri belki işleri bu hale getiriyor.

Banu Onaral hocamızın bizim bu çalıştayda anlattığı bir şey vardı. Dresden Üniversitesi galiba, 18 farklı kurum ve kuruluştan gelen insanlarla proje yönetiyordu. Amerika’ya herkes bireyci diyor; ama bizde aynı bölümün içinde iki kişi bir araya gelir mi, bilmiyorum. 18 farklı kurum ve kuruluş bir işi yapıyor. Ben yaşıyorum, eğitimin ucundan kıyısından bir şekilde bulaştığım için görüyorum. Bunlar, sıkıntılar. Özellikle Ar-Ge ve benzeri işlerde mutlaka mastır ya da doktora mühendisleri; akademik hayatın dışında değil, mühendislik hayatı içinde yer alırlarsa bazı sorunlar çözülecek.

TÜBİTAK yayınlarından “Bir Mühendisin Dünyası” adında D.J.Adams’ın bir kitabı var. Amerika’daki durumu anlatıyor. Neredeyse Amerika’da mühendislerin yüzde 50-55’i lisans, yüzde 20-25’i yüksek lisans, yüzde 10-15’i de doktoralı mühendis olarak sektörde çalışıyor, akademik hayatın dışında. Türkiye’de şu anda yazılım ve bilgisayar iş ilanlarına bakarsanız, oralarda böyle doktora yapmış öğrencileri filan görürsünüz. Ama bu bakımdan bakan ve işleten olursa, doktoranın, yüksek lisansın bilgisayarla alakası yok.

İki tane sıkıntılı sorun var; Çin, Tayvan, Singapur gibi ülkelerde. Birisi liderlik, diğeri takım çalışması. Özellikle bu alanda takım çalışması çok önemli. Bunlar kolay kazanılmıyor, ama... Biz okuldayken laboratuvarı altı kişi otururduk, deneyi bir arkadaş yapardı, biz imza atardık, bu grup çalışması olurdu. Ama şimdi o değişmiş, rastgele seçiliyormuş. Yani selam vermeyeceğiniz, yemek yemediğiniz arkadaşlarla iş yapıyorsun.

Not: Ali Levent Kurtoğlu'nun (SIEMENS Healthcare Sağlık) sunumu kendi isteği üzerine konuşması buraya alınmadı.)

Orhan Örücü- Soruları alalım. Buradaki analizci arkadaşlar da soru sorabilir. Çok kısa, korsan video olmayacak şekilde katkı da alabiliriz. Yalnız, şöyle bir şeyi de söylemekte fayda var: Benim tuhafıma gitti, kadın-erkek, okuyanların sayısına baktığım zaman neredeyse yüzde 70 sınıflardaki oran...

Salondan- Bizde 57... 57.3.

Orhan Örücü- Bazı yerlerde çok yüksek bu oran. Eğitimde bir sorun var arkadaşlar, elimizden gelenleri yapmamız lazım. Tabii, çok karamsar da olmaya gerek yok. Genelde kötü kötü şeyler söylüyoruz. Ama Ankara Hacettepe Üniversitesi'nde (Prof. Dr.) Işıl Saatçi Çekirge diye bir hocamız var; *(Beyin damar hastalıklarının endovasküler tedavisi alanında yarattığı gelişmeler, yeni tedavi metodları tüm dünyadaki hekimler tarafından da kabul görmüş durumda. Özellikle son beş yılda ABD, Kanada, tüm major Avrupa ülkeleri ile İsrail ve Ortadoğu ülkeleri, Hindistan, Japonya, Güney Afrika, Latin Amerika ülkeleri, Avustralya, Çin'den önemli tıp merkezlerinde çalışan 250'nin üzerinde doktor konuyla ilgili eğitim almak üzere Ankara'ya geldiler.)* 4-5 sene içinde dünyanın dört bir tarafından 250'ye yakın doktor bu operasyonu görmeye geliyor. Bu, herhalde kolay bir şey değil. Sonra, Mardin'de, 8 çocuklu yoksul bir ailenin çocuğu olan Aziz Sancar gibi, Cerrahpaşa Tıp Fakültesine girmek de kolay bir şey değil.

Evet, sorusu olan var mı arkadaşlar?

Buyurun Şükrü bey.

Şükrü Güner- Değerli arkadaşlarım, son derece memnuniyetimi ifade etmek için söz aldım. Biyomedikal mühendisliğinde 44 yıllık bir mühendis olarak konuşmak istiyorum. Bizim Devlet Planlama Teşkilatında çalıştığımız dönemde, Sosyal Sigortalar Kurumunda İşletmeler Daire Başkanı ve Makine İkmal Daire Başkanı ve yanırlıklı Yüksek Disiplin Kurulu üyeliği yapmış bir arkadaşınız olarak bir memnuniyetimi ve bu geldiğimiz noktayı sizlerle paylaşmak ve motive etmek için son sözü genç arkadaşlarım yapsın, sonra da ben alayım dedim. Ama önceden bir motive edeyim istedim.

TABOM'un (Tıbbi Aygıtlar Bakım Onarım Merkezi) kuruluşundan Ziya (Prof. Dr. İder), Hayrettin (Prof. Dr. Köymen) gibi arkadaşlarımızın olduğu dönemde, ben Devlet Planlama Teşkilatındaydım. Kısa bir anımı paylaşayım.

Prof. Dr. Nusret Fişek hocamız vardı; hem eczacı, hem de tabipti, Tabipler Odası Başkanıydı. Böyle bir konuyu gündeme getirdiğiniz zaman, "Yahu kardeşim, nereden çıkartıyorsunuz böyle şeyleri; bizim başımıza bir de bunları sarmayın" dedi. Şöyle bir şey yaptık sonunda biz: İhsan Doğramacı hocayı aradık. 'Böyle bir şey olur' deyince, Nusret Fişek de biraz herhalde içerlemiş. Bizi aradı, 'Oraya bizi şikâyet etmişsiniz, bunu niye yapıyorsunuz' dedi. Orta Doğu Teknik Üniversitesinde Biyomedikal mühendisliğinin seçmeli ders olması kararının alınacağı günlerdeydi.

Buradan şunu söylemek istiyorum genç arkadaşlarıma, o günlerden bugüne devletin de bu kademelerinde görev yapmış biri olarak: Belki bu salonun içerisinde benden genciniz yok, öyle anlıyorum. Çok doğru yerdesiniz. Şu sırada oturan arkadaşlarımızın hepsini ne olur bir defa alkışlayın. Bir daha alkışlayın, bir daha alkışlayın.

Nasrettin Hoca'ya sormuşlar da, "Eşekten düşeni bulun bana" demiş.

Tıbbi cihaz alım ve şartname hazırlama, ihale komisyonlarının alımında doğruyu seçmede neler çektiğimi ben biliyorum. Neler yaşadığımızı biz biliyoruz. Evrak kayıt memurunun, satınalma memurudur diye, komisyonlara, tıbbi cihaz kararı aldırıldığı günleri de biliyoruz, bugünleri de biliyoruz. Bu değerli hocalarımızı ve değerli emekçi arkadaşlarımızı onun için alkışlattım size. Bunlar bu ülkeye yapabilecekleri en güzel hizmeti yapmaya devam ediyorlar. Ne olur devam edin. Engel olmadan, bir ve beraber olmadan bunları aşamayız.

Bizim EMO MİSEM'in Başkanı Orhan Örücü arkadaşımız, orada önemli bir yerde görev yapıyor, Sürekli Eğitim Merkezinde. Bu konuyu böyle bir sempozyuma konu başlığı olarak getirdiği için teşekkür ediyorum. Birinci teşekkürüm bu.

Benim şubem Ankara. Ankara'da genç kardeşim, Onur'un çabalarından dolayı kendilerine teşekkür ediyorum. İnanın, orada çok önemli görevlere, önemli işlere imza atmıştır. Ne olur, bir de onu alkışlayın.

Şimdi ben dönüyorum, EMO olarak kendime soruyorum. Bir "check" deyin, "cross-check" deyin. Odaların geçmişte iki Avrupa ülkesinde hastane denetimine 28 gün katılmış biriyim. İnşallah, uygun

bir zaman olursa, uygun bir şey olursa, kısmet de olursa bunları paylaşırım sizinle.

Şunu söylemek istiyorum: Bizim Türkiye Cumhuriyeti Devleti, bürokrasi devletidir. Hukuku bürokrasiye göre oluşturmuş bir devlettir. Yasal yünden mühendislik meslek alanlarına son dönemlerde meslek alanları konusunda daha detaylı bir çalışma yaparsa, devletin buna ihtiyacı var. Sizin görev alıp, istihdam alanınızın gelişmesinde de buna ihtiyacı var. Ben bunu kendi adıma, Odam adına hatırlatmak istedim.

Hepinize başarılar diliyorum. Teşekkür ediyorum, saygılar sunuyorum.

Orhan Örücü- Evet arkadaşlar; başka katkısı olacak var mı?

Begüm Yalçın- Biyomedikal mühendisiyim ben, Yeditepe Üniversitesinden.

Öncelikle kadınların yerinden bahsetmek istiyorum.

Biyomedikal mühendisliği çok geniş bir alan, biliyorsunuz. Bizim 4 yıl içerisinde fizyoloji, anatomi, elektrik elektronik ve makine gibi birçok dalı bilmemiz ve iyi bilmemiz bekleniyor. Ve bu konuda biz bir yandan temel bilimler de almak zorundayız. Bunların hepsi dört sene içinde olmalı. Ve mezun olunca gerçekten sudan çıkmış balığa dönüyoruz. Çünkü bir fizyoloji, bir elektronik, biz de ne yapıyoruz bilmiyoruz. Bu durumda bir de laboratuvar çalışmaları giriyor işin içine. Tabii ki çıkışta biz elimize tornavida alamıyoruz. Erkekler de bunun içine dahil.

Türkiye’de genel bir algı var: 'Kadınlar bu tür amelelik gerektiren işleri yapmak istemiyorlar.' Ben şahsen yapmak istiyorum. Ama bana, 'Sen kızsın, otur; bir şey taşıyamazsın' deniliyor. Hayır, benim de iki elim ve iki ayağım var, aynı beyine sahibim. Yani bunu ben de yapabilirim. Bunun sadece bir algı sorunu olduğunu düşünüyorum.

Çalışma hayatına gelir gelmez tabii ki herkes üst düzey çalışmak ister, kadın veya erkek fark etmez. Sadece bunu belirtmek istedim. Önyargıyla yaklaşmamanızı öneriyorum.

Şimdi, Prof. Dr. Ata Akın’a bir sorum var:

Acıbadem Üniversitesindeki yüksek lisans programlarını öğrenmek istiyorum. Medikal robotics istiyor musunuz veya kurmayı düşünüyor musunuz? Medikal biyoteknoloji yüksek lisansı var sanırım. Ama ben üniversitenizin geliştirdiği bakış açısını beğendim. Çünkü genelde üniversitelerde akademik yolda ilerleniyor. Robotik cerrahi düşünüyor musunuz ya da yüksek lisans için gereken şartlarınız nelerdir?

Bir sorum da Barış Ünlü beye.

Bir Türk firması olarak yeni bir şirketin karşılaştıkları zorlukları merak ediyorum. Tabii, doktorlara kabul ettirmek dışında. Piyasaya sahip olan büyük bir firmanın baskı yapması mümkün mü? Yani aynı ürünü satıyorsak ve biz daha ucuza satıyorsak ve doktora da kabul ettirmişsek, büyük ihtimalle piyasada bir rekabet söz konusu olacak, bu durumda büyük firmalar baskı kurabilirler diye düşünüyorum. Bu konudaki fikrinizi almak istiyorum.

Teşekkür ederim.

Orhan Örücü- Önce soruları alalım, arkadaşlarımız hepsini toptan cevaplasınlar. Var mı başka soru?

Buyurun.

Salondan- Kaptanlık mesleği de genelde erkek mesleğidir. Ama şu anda kadınları da kaptanlıkta görebiliyoruz. Demek bu medikalde de bu olabilir.

Orhan Örücü- Kadınların yapamayacağı iş yok.

Salondan- Ben Acıbadem Sağlık Grubunda biyomedikalde özellikle işe alım sürecini çok merak ediyorum. Hakan beye soruyorum. Ben işletme ile uğraşıyorum. Biyomedikal mühendisliğinden geliyorum ama hastane tecrübem de var. Özellikle klinik mühendisliği tarafında kendimi geliştirmek istedim. Kalibrasyon konusunda çalıştım. Süreci öğrenebilirim çok sevinirim.

Emre Şahin- Merhaba, İl Sağlık Müdürlüğünde biyomedikal mühendisi olarak çalışıyorum. Benim sorum da Acıbadem Sağlık Grubundan Hakan beye.

Biz biyomedikal mühendislerinin tornavida tutmamak gibi bir eğilimimiz olduğundan bahsettiniz. Egodan ziyade, bunu farklı bir model olarak görüyorum ben. Biyomedikal mühendisinin biyomedikal teknik hizmetlerini yapması, yani bakım, onarım, ölçümleme, upgrade, kalibrasyon, bence katma değer olarak fazla bir şey katmayacak. Ama bunun yanında, yatırım, planlama faaliyetleri var, yönetim faaliyetleri, cihaz tasarımları var. Bu aşamalarda kullanırsanız daha çok katma değeri olacaktır.

Bir de şey dediniz, “Kamuda 200 yatak için bir biyomedikal mühendisi, özel kurumlarda 100 yatak için bir mühendis zorunlu” dediniz. O, benim bildiğim kadarıyla standartlarda, cetvellerinde yazıyor; ama bu bir zorunluluk değil, bunu belirtmek istiyorum. Okuyan arkadaşlar varsa bir bilgilendirme olsun.

Bir de bu noktada Acıbadem Hastanesinde durum nasıl? Örneğin, Acıbadem Hastanesi de 200 yataklı. Burada iki biyomedikal mühendisini fiziki olarak bulunduruyor musunuz? Hani madem bunu bir zorunluluk olarak görüyorsunuz...

Teşekkür ederim.

Orhan Örucü- Başka sorusu olan var mı?

Buyurun.

Ahmet Topkara- Ben sadece bir katkıda bulunmak istiyorum.

Benden önceki arkadaşın görüşlerine birazcık katılıyorum. Gerçekten biyomedikalın sektörel anlamda biyomedikal mühendislerine bakış açısı çok yanlış. Bizden daha eski bir sektör var, biyomedikal teknikerliği. Bizden çok daha önce eğitime başlamış ve mezun vermiş tecrübeli arkadaşlar var bu sektörde. Ve bir nebze biz onların ekmeğini elinden almaya başladık. Çünkü onların işlerini yapmaya başlıyoruz. Bu durumda maaşlar da ona göre düşüyor. Daha bu sabahki oturumda konuşuyorduk, 1.100 tane 1. sınıf öğrencisi varmış şu an biyomedikalde. Bayağı da yüksek sayılarda mezun veriliyor. Bence burada büyük bir eğitim eksikliği var. Temel bilimler mesela, çok geliştirme yapmadığımız, üniversitede çalışmalar yapmadığımız dönemler inanılmaz derecede fizik, kimya alanında mezun veriyoruz. Onların çoğu daha sonra akreditasyona öğretmen oluyor. Aynı muamele bu sefer biyomedikal mühendislerine başladı. En sonunda eline tornavida almaktan çekinmeyen adamlar olacağız. Elbette ben de çekinmiyorum bu konuda, ama bir yerde de teknikerin yapabileceği bir işin teklif edilmesi ve ona verilen şartların –daha doğrusu ona teklif edilmesi gereken şartların- bize teklif edilmesi bir parça onlara da saygısızlık oluyor diye düşünüyorum.

Teşekkür ederim.

Prof. Dr. Yekta Ülgen- Arkadaşlar; çok kısa bir şey sorabilir miyim?

Biyomedikal okuyan ya da mezun olmuş kimler var aranızda?

Kaçınız İngilizce biliyor?

Okuyup yazacak düzeyde kaçınız İngilizce biliyor; 20 dakika bu konuda konuşacak kadar? Çünkü İngilizce bilmiyorsanız, zaten başından sıkıntıyı duyacaksınız, ciddi söylüyorum. Çünkü kaynak yok Türkiye’de. Türkçe hiçbir kaynak yok, doğruyu söylüyorum. İlk yapmanız gereken İngilizce öğrenmek, gerçekten.

Orhan Örucü- Arkadaşlar; şöyle bir yanlışa düşmeyin: Kimse kimsenin ekmeğini elinden almıyor. Eğer mühendisseniz... Yani boşluklar doldurulur bir biçimde. Herkes bir biçimde işini görüyor. Çalışırsınız, çalıştırırsınız, İngilizce öğrenirsiniz, programlama öğrenirsiniz, yazılımlar çıkarırsınız, öğreneceksiniz bunları yani. Biz şimdi işi almaya gelen arkadaşlara, 'Arkadaş, şimdi bana integral hesabı yap, kısa devre hesabı yap' falan demiyoruz. 'Nerede okudun?' 'Ankara’da.' 'Anadolu Medeniyetleri Müzesine gittin mi, Gençlik Parkında gezdin mi, Sakarya’da bira içtin mi?' Onları soruyoruz. Onları yapmayan adam bana yaramaz. Bu kadar basit.

Hakan bey, sizden başlayalım isterseniz. Hem sorulara cevap, hem de ekleyecekleriniz varsa eklersiniz.

Hakan Evsine- Arkadaşlar; 21 yıldır teknik mühendislik içerisinde yöneticilik de yapıyorum. Burada söyleyeceklerim sizleri üzüyor, kırıyor olabilir. Ama bakın, maalesef keşke Türkiye’de çok güzel iş imkânlarımız olsa, hepiniz oralarda çalışsanız. Yani ülkemizin gerçeğinden uzaklaşarak... Bakın, ben de bu havayla mezun oldum. Hayatın gerçekliği bu, değil mi arkadaşlar? Beş yıl sonra –bakın, arkadaşınız söyledi, “1. sınıfta 1.100 tane öğrenci var” dediniz değil mi? Arkadaşım beş yıl sonra bu kadar mezun olacak. Ne yapacak Türkiye bu kadar biyomedikal mühendisini, nerede çalışacaksınız, ne iş yapacaksınız? Söyleyin bana ne iş yapacaksınız?

Bayanlarla ilgili söylediğim şeydi: Benim söylediğim zaten gönüllülük esaslı arkadaşlar. Bana zaten tornavida tutacak mühendis gelsin. Çok net söylüyorum. Klinik mühendislikte yapılan iş bu. Keşke Türkiye’de üretime çok fazla imkân versek, hepiniz Ar-Ge yapsanız, tasarım yapsanız. Biyomedikal satınalma benim dünyamda da var, ama kısıtlı sayıda arkadaşlar. Maalesef 18 hastanesi olan bu kadar büyük bir grupta 3-4 kişilik bir biyomedikal satınalma ekibi var ve ben onların hepsini biyomedikal mühendisi yapıyorum ve bunların hepsi bayan. Bayanlarla ilgili söylediğim şey şeydi, belirtmeye çalıştığım: Yapmak istemiyorlar. İstemeyebilirler, ama ben onları görmek istediğim için bunu söyledim. Yani keşke onları da sahada görebilsek, Siemens’te çalışan arkadaşlarımız var. Bu işi gayet güzel yapıyorlar, çok da güzel uyguluyorlar. Yapabileceğinizi de biliyorum, ama tercih etmiyorsunuz. Bende öyle bir algı yok. Ben size sayısız fırsatlar veriyorum kendi adıma, diğer arkadaşlarım da öyle; ama çalışmak istemiyorlar. Burada da belirtmeye çalıştığım buydu.

Sizin söylediğiniz bu yasayla ilgili konuya gelince; haklısınız, bu yasa var, ama maalesef uygulanmıyor, denetimlerde tik atılıp geçiliyor. Ben burada aslında şunu söylemeye çalıştım: Hastanelerimizde mühendislerin çalıştırılmasının (sağlanmasında), o yasanın üstüne gidilse mühendislerimize ciddi bir istihdam alanı açılacak. Biz hastanelerimizde, evet, çalıştırıyoruz. Gelip benimle özel görüşebilirsiniz, gösteririm de size. Ama bu zorunluluktan değil. Ben bunun gerekliliğine inanıyorum. Biyomedikal teknikerlerinin de yapacağı iş var hastanelerde arkadaşlar, mühendislerin de. Bakın, teknoloji o kadar ilerledi ki, artık sadece lambayla, şununla bununla uğraşmıyoruz. Çok teknolojik cihazlar var hastanede, yazılım tabanlı cihazlar var, çok üst düzey cihazlar var. Yekta hocamın söylediği nokta çok önemli; o cihazların birçoğu manuel’lerini İngilizce okuyup anlamayı gerektiriyor. Sizler hastanelerde klinik eğitimleri de verebilirsiniz biyomedikal ekiplerinin arasında, hekimlere, hemşirelere. Yani hastanelerde yapabileceğiniz birçok iş var. Sizi bekliyoruz demek istiyorum.

Ama ne olur, şu gerçekten kopmayın arkadaşlar: Bakın Barış bey de anlattı, kusura bakmayın, İşte Siemens burada. Siemens’te de mühendislerin büyük bir çoğunluğu teknik hizmet yapıyor, teknik servis hizmeti veriyor arkadaşlar. Belirli sayıda mühendis projede çalışıyor, belirli sayıda mühendis satınalmada, bir kısmı da aplikasyonda çalışıyor. Yani bakın, bu gerçek sizi üzüyor olabilir. Ama ne olur bu mesleğin bu tarafının da olduğunu kabullenin. Keşke bir Amerika olsaydık da hepimiz Ar-Ge işinde çalışsaydık, hepimiz Ar-Ge yapsaydık. Yani bunu anlatmaya çalıştım. Var olan gerçeklik bu. Çok özür dilerim, tornavida tutmak zor geliyorsa, başka işler yapın o zaman arkadaşlar. Klinik mühendisi olmayın, onu demek istiyorum yani. Hastanedeki iş bu, bunu anlatmaya çalıştım.

Ülkemizde yaptığımız en büyük iş üretim olmadığı için, Amerika’nın ürettiği cihazın tamirini yapıyoruz, müsaadesini veriyoruz.

Salondan- Amaç kendisinden başka kimsenin karışmaması, bir tek onu kendisinin bilmesi. Başka birisi parmak sokarsa işi bozar ve kendisi de düzeltemez.

Hakan Evsine- Aynen öyle.

Orhan Örucü- Peki, teşekkür ederim.

Buyurun.

Prof. Dr. Ata Akın- Robotik cerrahi ile ilgili bir şey sorulmuştu.

Bizde şimdi böyle bir mastır programı yok tabii ki. Ama medikal biyoteknolojinin altında biz bir

tıp mühendisliği, biyomedikal mühendisliği alanı oluşturuyoruz. Bizim şey planımızda böyle bir medikal robotik üzerine çalışan bir hoca istihdam etme planı var. Ancak öyle hocaları bulduğumuz zaman böyle bir ders, alan açabiliyorsunuz. Açıkçası, bu alan Biyomedikal Mühendisliği Enstitüsünde kısmen de olsa var, bu tür şeyler yapan hocalarımız var. Biz bir Da Vinci robotu yapabilecek halde değiliz, böyle bir durum yok bu saatte. Zaten mastır, doktora programından böyle bir şey beklenmiyor. Ama bu konularda çalışan hocalar alacağız.

Esas şu alan da çok ilginç, onu da hızlıca bir söyleyeyim, bitireyim: Medikal aletlerin illa böyle robotlu falan olması gerekmiyor. Bunlar ufak sensörler de olabiliyor. Bir kan örneğinden diyelim 20-30 tane farklı, aynı anda farklı enzimi, mikrobu ölçebilecek teknolojiler geliştirmek mümkün. Böyle bir hocayla da şu anda görüşüyoruz biz. Yani böyle bir sisteme doğru gidiyoruz şu anda, minyatür, evde bile kullanılabilecek, hızlı ölçüm alabilecek teknikler.

Bir alanımız; kişisel implant tasarım projemiz var. İşte bu protezler, kişiye özel implantlar ve bunların özel kaplamaları, geliştirilmesi. Bir de mobil hizmetler şu anda bizim alanımızda. Yani evde bakım sistemleri, evde ölçüm sistemleri. Bunlar tabii çok önde sistemler şu anda. Hep oralara kaymaya başladı teknolojiler. Tabii, bir de bütün bu dataların analizi gerekecek. Sadece Acıbadem değil bir sürü üniversite yıllar içerisinde müthiş datalar biriktirmiş. Bu datalardan istatistik çıkartmak ve hasta olmadan kişinin hasta olabileceğini endike eden, yani belirten yaklaşımları bulabilmek ve hastaya ulaşabilmek. Hasta olmadan ulaştığınız zaman, hem devlete, hem de hastanın kendisine çok daha düşük maliyetli olabiliyor bu işler. Dolayısıyla teknoloji buralara kayıyor şu anda.

Orhan Örucü- Teşekkürler hocam.

Buyurun Barış bey.

Barış Ünlü- Evet, öncelikle arkadaşın sorularını cevaplayayım.

Gerçekten sağlık çalışanları ile çalışmak çok zor. Yerli firmalara karşı ciddi önyargılar var. Bunu aşmanın yöntemleri var tabii. Yani burada gerçekten ürününüzün yabancı ürüne göre daha iyi olduğunu kanıtlarsanız fiyat bile çok önemli olmuyor. Ama bunu kanıtlayabilmeniz için gerçekten o süreçleri işletebiliyor olmamız lazım. Zaten biraz önce dediğim o öncelikle basit ürünlerden başlamanın mantığı da biraz burada. Düşük teknoloji ürünlerle başlayıp, onları kanıtlayıp, marka bilincini yavaş yavaş geliştirdikten sonra işin artık göz alıcı ve yüksek gelir getiren kısmına geçilebilir. Bu da takım çalışmasını gerektiriyor. Pazarlama, işletmecilik, finans; bunlar birlikte yapılarak ancak bu olabilir. Ben mesela firmamda çalışmaya başladığımda ilk işim, ilk değiştirdiğim şey firmada -Ar-Ge yöneticisi olarak girmeme rağmen- muhasebe sistemine müdahale etmekte. Ancak daha sonra Ar-Ge yapılabilir hale gelebileceğini gördük. Çünkü orada yaşanan sorunlar yüzünden Ar-Ge aksıyordu. Muhasebe hakkında hiçbir şey bilmiyordum, oturdum muhasebe çalıştım ve muhasebeye müdahale ettim. Onu değiştirdikten sonra proje yazma kültürünü oluşturmaya başladık. Daha sonra işin verimlilik boyutuna ulaşmak için endüstri mühendisleri ile çalışmaya başladık. Mesela böyle birçok süreçten geçtik, birçok meslekle görüştük. Mesela şu anda kendi kişisel projelerimden birisi ile ilgili çalışma yapıyorum, tekstil mühendisleri ile çalışıyorum. Yani öğrenmeye, her alanda öğrenmeye çok açık olmanız gereken bir alan. Sadece gidip teknik alanlarda değil, sosyal alanlar da çok önemli. Buna göre kendinizi geliştirip, ekiplerinizi ona göre oluşturdukça, işlerinizi de ona göre oluşturdukça kendinizi kanıtlamaya başlıyorsunuz. Marka bilincini de oturtuktan sonra daha da yüksek teknoloji ürünler kaymak mümkün.

Büyük firmalar, evet, başlangıçta çok ciddi olarak bastırıyorlar. Ama onların seviyesinde olduğunuzu kanıtladığınız anda iş bitiyor ki altyapınız işte burada çok önemli. Mesela bir teknik şartnamede şart yazdırdıklarında bir ihale için, eğer siz onu gerçekten test cihazlarınızla ya da diğer kanıtlarınızla, hatta ondan daha üstün olduğunuzu kanıtlayabiliyorsanız altyapınızla, o zaman doktorun da diyebileceği şey kalmıyor. Yani burada yine iletişim ve kendinizi geliştirmek ön planda. Bunlarla ancak aşılabiliyor.

Biraz proje bilinciyle ilişkili. Bunun için eklemek istediklerim var. Mesela etkinlik ziyaretlerine ben

çok önem veriyorum. Öğrenci toplulukları, expomed'ler en temel olarak. Biz aşağı yukarı Onur'la (Dr. Koçak) beraber ilk bu işe kalkışanlarız. Expomed ziyaretlerine şu anda hemen hemen bütün üniversitelerin hepsi geliyorlar. Hatta bir öğrenci sempozyumu yapılıyor. Mesela geçen öğrenci sempozyumunda Sağlık Bakanlığı Danışmanı Metin beyi getirtmiştik. Kendisiyle görüştük, rica ettik, gelmesini sağlamıştık. O bile oradaki konuşmasında hiç teknik alanlardan bahsetmedi, stratejik planlamadan bahsetti Sağlık Bakanlığı için. Satış planlama, süreç yönetimi, risk yönetimi. Bunlar biraz daha sosyal, işletme ve endüstri mühendisliğini ilgilendiren konular. Bu konularda doğrudan bölümünüzde muhtemelen ders yoktu.

Orhan Örücü-Bir kısmı hayat dersi.

Barış Ünlü- Hayat dersi. Kendi kendinize öğrenmeniz gerekiyor bazı şeyleri. Ancak stratejik planlamayı doğru yaparsanız, başta dediğim gibi, farklı alanlarla işbirlikleri yaparak ancak sorunları çözebiliyorsunuz. Mesela ben dün akşam Almanya'dan geldim, Frankfurt'ta Medikal Fuarı ve 3D-Printing için bir fuar vardı. Orada şöyle bir konu geçti, o yüzden notumu aldım hemen. Bioplotter diye bir ürün var; 3D bioplotter, iskelete kök hücre ekleyerek organ yapmak üzere geliştirilmiş bir ürün. O kadar uygun rakamlara getirmişler ki, çok da satılabilir hale gelmiş. Çok rahat üzerinde çalışılabilir.

Bunun dışında, özel kariyer planlaması gerekli... Maalesef, üniversitede hiçbir öğrencinin kariyer planlaması yapılmıyor. O yüzden, sanayi işbirliği, sektör işbirliği çok önemli. Daha 1. sınıftayken yapılması gereken bir şey. Başkent Üniversitesinden, arada da Ahmet hocamla konuşuyorduk -şu anda tam olarak nerede görev yaptığını bilmiyorum, ama Amerika'dan geldi diye biliyorum-. Bir cihaz verdi, 'Gidin, bu cihazı araştırıp öğrenin' dedi. Ama sadece bu cihaz ne işe yarar falan değil, tüm elektroniği, bürokratik yapısı, yazılımı, Ar-Ge'si, matematiği... Ve ben bunun için GATA'ya gitmiştim. Osman hocam sağ olsun, Ertan Albay'a yönlendirmişti o zaman. O bana bütün hepsini sağlamıştı. Bir ay kadar onunla beraber çalıştım. Ama ne oldu; iki ayımı aldı ve ben bunu derste anlatabilmişim. Daha 1. sınıftaydım. 1. sınıftayken başlıyor aslında neredeyse iş. 1. sınıftayken nereye gideceğinize, ne yapacağınıza karar vermeniz lazım. Ve ben öncesinden beri, geçmişimden gelen bilgi ve donanımları Ar-Ge'ye yönlendirmeye karar verdim. Ürün geliştirme ile ilgili çalışmaları yapıyorum. Sürekli teknolojiyi takip ediyorum, sürekli kendimi geliştiriyorum. Dünyada teknoloji, bilim sürekli gelişiyor, bilgi sürekli yenileniyor. Yekta hocamın dediği gibi, İngilizce çok önemli. Maalesef kaynak yok. Artı ben başka bir şey inceleteceğim. Çin'de, Çinlilerin yayınlarını inceleysek mutlaka Çince yayınlanıyor ve bunu kolay kolay tercüme edemiyorsunuz. Çinli bir arkadaşım var, ben ondan alıyorum bunların bilgilerini. Ama öyle teknolojiler gelişiyor ki, mesela Pekin'e ziyaretim olmuştu. Bir nükleer santralla ilgili teknoloji geliştirmişler. Çok kısa bir tur yaptık ve dünyada sadece orada var bu teknoloji. Başka hiçbir yerde yok, açıklamıyorlar.

Öyle şeyler gelişmeye başlamış ki. Ama bakın, başlangıçta kopyalama ile başlamış. Japonya da, geçmişine baktığımızda, öyle. İlk Japon ürünleri de piyasaya çıktığında "Yahu, bu kullanılmaz" derken, şimdi bir Sony var, Panasonic var. Kore benzer şekilde. Yani işin mutfağına inerek, tersine mühendislik veya teknisyenlikle başlıyor iş. İşin mutfağından başlıyor. Siz oraya girip teknolojiyi öğrendikten sonra ancak yeni bir şeyler geliştirebilirsiniz. Bilmediğiniz bir şeyi geliştiremezsiniz. İçine girmeden, bulaşmadan hiçbir şey yapamazsınız. O yüzden teknisyenlerin işini almak için değil, biraz da işin mutfağını görmek için oradasınız. İşin mutfağını öğrendikten sonra onun üzerine bir şey koymanız lazım. O yüzden sahaya inip, mutlaka üstünlüğünüzü belirtmeniz gerekiyor. O, olmazsa bir şey olmaz.

Yeni teknolojilerde çok şeyler var. Mesela yine medikal ile ilgili bir örnek vereyim.

Türkiye'de gerçekten artık geriye doğru beyin göçü başladı. O konuda yine dünyanın sayılı üretici isimlerinden bir tanesi Devrim hoca var. O da İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünde. İzmir'e gelmek isterseniz, buyurun gelin. Yani sadece İstanbul'da değil her şey. Biraz İzmir reklamını yapayım. Nereye gitmek istiyorsunuz, buna siz karar vereceksiniz. Ne yapmak istediğinize karar vereceksiniz. Ondan sonra işin mutfağına inmeniz lazım. Aksi takdirde gerçekten çok zor.

Orhan Örucü- Teşekkür ederiz.

Ben de bir-iki şey söyleyeceğim. Ondan sonra Yekta hocamdan ricamız bu konuşulanların hepsini bir hap haline getirsin mümkünse.

Arkadaşlar; iki şey var. Bir tanesi, çalışma alanınızda, kamu kesiminde ya da başka bir yerde teknik şartname ve benzeri şeyler yazan yerlerde çalışacaksınız. Bunu yazarken de, elbette ki yabancı düşmanlığı bilmem ne yapmıyoruz, ama yazılı şartnamelerin rekabete açık olmasını... Bu bir etik meselesi. Yani firmanın adını tarif eden bir şartname yazmayın. Yani devlette de olabilirsiniz, Acıbadem'de de olabilirsiniz, başka yerlerde de olabilirsiniz. Yani rekabete açık olsun ve de birtakım insanları da teşvik eden şartnamelerde yer alın.

Çinlilerden bahsettiler. Bugün Amerika'da yüksek lisans ve doktora yapan tanıdıklarınız varsa, şunu duymuşsunuzdur: İlk üç sırada Çinliler vardır. Çinliler yoksa Koreliler vardır. Sizin burada en iyi adamınız bile oralara giremiyor diyorlar. Bu, teknolojinin, eğitimin önemi. Amerika'daki en iyi üniversitelerdeki gerçekler bunlar. İlk başlarda bu adamlar var. Bu, kolay olmuyor tabii.

Evet hocam, söz sende.

Prof. Dr. Yekta Ülgen- Öğrencilerin suratını pek memnun görmüyorum, ama... Ben şöyle inanıyorum: Ne yaptığımız değil de, nasıl yaptığımız çok önemli. Yani bir fark yaratmanız lazım geçen zaman içinde. Bundan üç-beş sene sonra hepinizin birbirinizden farklı olmanız lazım ki sizi istesinler, çağırsınlar, seçsinler, tercih etsinler. Bu farkı yaratmak sizin elinizde. Tekrar ediyorum, ne yaptığınız hiç önemli değil; ama iyi, düzgün, kaliteli yapmak çok önemli ki sizi insanlar seçsin. Öğrenmenin sonu yok. Bu, okulda da olabilir, çalışarak da, uğraşarak da olabilir, diğer insanlarla tanışarak da olabilir. Öğrenmenin hiçbir zaman sonu yok. Ama biyomedikalden o kadar farklı yerlere gidebiliriz ki adli tıbbı kadar gitmek mümkün yani. Çok geniş bir konu, çok geniş bir kavram. Klinik mühendisliği de var. Klinik mühendisliğinin yanında çok başka şeyler de var. Onun için, benim tavsiyem, kendinizi farklılaştırmaya çalışın. Nasıl yaparsanız yapın, bu soruyu sorun kendinize: 'Beni niye alsın?' diye sorun. İşe gittiniz, 'Niçin almıyorsunuz?' Kendine sor, buraya değil. Kendine sor. Neden? Çünkü senin gibi bir sürü insan var. Bir fark yaratman lazım. Belki İngilizcenin çok iyi olması lazım. Ne diyorum; bunu yaratman lazım.

Salondan- Benim mesleki açıdan biraz... Fizik mühendisi olduğum için, farklı bir branşta bir şeyler yapmaya çalışıyorum. Aslında benimki daha zor.

Prof. Dr. Yekta Ülgen- Bence daha güzel. Çünkü görüntüleme cihazlarında seni çalıştırabilirim.

Salondan- Onu da mesela ben istemedim. Amerikan Hastanesinde staj yaptım. Size de anlattım zaten, 2.5 sene uzun dönem stajlar yaptım ve tamamen tıbbi cihaz kalibrasyonu ve elektrik güvenlik testleri üzerine çalıştım. Ama onkoloji kısmına geçtiğim zaman ya da nükleer tıbbı geçtiğim zaman ben çok etkileniyorum. Benim psikolojim oraları kaldırmıyor, ben herhalde transferden kaybettim.

Orhan Örucü- Evet arkadaşlar; arkadaşımızın üzerinden söylüyorum, bu işlerde atak olun, enerjiniz yüksek olsun, soracağınız soruları böyle mıy mıy sesle değil, net, sert bir şekilde sormanız ve konuşmanız lazım.

Prof. Dr. Yekta Ülgen- Enerjik olmanız lazım.

Orhan Örucü- O enerjiyi bizlere vermeniz lazım. Ben derdimi anlatan bir adama şakır şakır konuşsam, yanlış da söylesem...

Evet arkadaşlar; sabrınız için çok teşekkür ediyoruz.

TIP BİLİMCİLER AÇISINDAN BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİNİN ÖNEMİ

Oturum Başkanı: Prof. Dr. Aydın Akan (İstanbul Üniversitesi)

Tıp Bilimlerinde Biyomedikal ve Klinik Mühendisliği Hizmetlerinin Yapılanması ve Önemi

Prof. Dr. Aydın Akan (Oturum Yöneticisi- İstanbul Üniversitesi)- Sayın katılımcılar; bu panel başlığı çerçevesinde, biyomedikal ve klinik mühendisliği hizmetlerinin sağlık kuruluşu çalışanları açısından öneminden bahsedeceğiz. Burada sunmaya çalışacağım, aslında bizim İstanbul Üniversitesi hastanelerinde yapmış olduğumuz çalışmalardan kısa bir özet olacak. Dolayısıyla, sağlık kuruluşlarında biyomedikal ve klinik mühendisliğinin yapılanması ve sağlık kuruluşları açısından öneminden kısaca bahsetmeye çalışacağım.

İstanbul Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyesiyim. Bu öğretim yılı, bir sene için, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümünde görevliyim. 2006-2015 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Hastaneleri Genel Direktörlüğü, Biyomedikal ve Klinik Mühendisliği Bölüm Sorumlusu olarak görev yapmaktaydım.

Sağlık kuruluşlarında, bahsettiğimiz biyomedikal birimine, yani bir sağlık kuruluşunda biyomedikal mühendislerinin ne şekilde hizmet vermesine ihtiyaç olduğundan bahsedeceğim. Böyle bir birimin yapılanması, misyonu, organizasyonu, faaliyet alanları, envanter, kalibrasyon ölçümü, tıbbi cihaz satın alma süreci gibi konulardaki misyonundan bahsedeceğim.

Neden sağlık kuruluşu içinde biyomedikal mühendisliğiyle ilgili bir departmana ihtiyaç var? Birincisi, 2005 yılından itibaren Bakanlar Kurulunun zaten yataklı tedavi kurumları bünyesinde biyomedikal hizmetler ve kalibrasyon birimi kurulması veya bunu dışarıdan satın alması gerekliliğiyle ilgili bir yönetmeliği var. Teşhis ve tedavi amacıyla ileri teknolojik cihazlar kullanılmakta. Dolayısıyla sağlık çalışanlarına bu açıdan destek vermek üzere bir biyomedikal mühendisliği departmanı yapılanması sağlık kuruluşlarında ihtiyaç haline geldi.

Birimin Organizasyonu

Biyomedikal ve Klinik Mühendisliği Birimi
3 ana bölüm halinde organize edilebilir,

- ☐ Teknik Şartname Hazırlama
- ☐ Bakım - Onarım Hizmetleri
- ☐ Medikal Kalibrasyon Ölçüm

Bu bölümler altında cihaz gruplarına göre uzmanlık alanları;

- Radyoloji
- Görüntüleme ve Sinyal İzleme
- Ameliyathane ve Yoğun Bakım
- Laboratuvar

Böyle bir birimin misyonu ne olabilir; cihazların bütün yaşam süreci içinde, sürekli ve etkin sağlık hizmetlerinin verilmesi amacıyla sağlık kuruluşu bünyesinde bulunan tıbbi cihazların satın alma sürecinden başlayarak, kesintisiz ve yüksek kaliteli hizmet devamlılığını sağlamak olabilir. Bu ilkelerle 2006 senesinde İstanbul Üniversitesi hastaneleri için böyle bir biyomedikal ve klinik mühendisliği birimi yapılandı. Az önce söylediğim gibi, bu, o dönemin Döner Sermaye İşletme Müdürü olan Prof. Dr. Betigül Öngen hocamızın çalışmaları ve inisiyatifiyle başlamıştı.

Tabii, her kurumun kendi dinamiklerine göre bu fonksiyonlar şekillenebilir. İhtiyaç olabilecek hizmetlerin şu üç fonksiyonu olabilir: 1) Tıbbi cihaz satın almasında teknik şartnamelerin hazırlanması -burada mühendislerin satın alma projesinde çeşitli destekleri olacaktır-, 2) Biyomedikal bölümünün bakım-onarım hizmetleri, sağlık kuruluşu içinde kullanılan cihazların kullanım süreci içinde ortaya çıkacak olan bakım-onarım ihtiyaçları ve 3) Diğer birim ise kalite kontrol anlamında medikal kalibrasyon ölçüm işlemleri olacaktır. Tabii, uzmanlaşma ihtiyacı olacak durumlarda, gördüğümüz bu üç fonksiyonun içinde, tıbbi cihazların yapılarına göre, radyoloji, görüntüleme ve sinyal izleme, ameliyathane ve yoğun bakım ve laboratuvar cihazları olarak, hem satın alma desteğinde, hem bakım-onarım desteğinde alt gruplar ve alt uzmanlaşmalar faydalı olacaktır. Dolayısıyla bahsettiğimiz aslında böyle bir yapı; satın almaya destek veren bölüm, bakım-onarım hizmeti, kalibrasyon ve her birinin içinde de alt birimler yapılandırılabilir. Bu alt birimlerin ilgilendiği cihazları tek tek saymaya tabii ki gerek yok.

İsterseniz, sizlerle birlikte, bir hastane içinde ya da sağlık kuruluşu içinde yapılanan bu mühendislik veya teknik ekibin ne tür faaliyetleri, fonksiyonları olacağını inceleyelim. Böyle bir uzman departmana ihtiyaç olduğu aslında kurumlar içinde yaşanan tecrübelerle de çok güzel ortaya çıkıyor. Mesela, İstanbul Üniversitesinde bu birim kurulduğunda, ben, Çapa ve Cerrahpaşa'da tıbbi cihaz envanteri edinmeye çalıştım. Bildiğiniz gibi, eski adıyla ayniyat saymanlığı bu konuda resmi sorumlu. Oradan almak istediğinizde, büyük, uzun, siyah defterlerde, bütün kliniklere ait sandalye, masa, Atatürk tablosu, MR aynı listede yer alıyordu. Sadece alış tarihi, demirbaş kayıt numarası vesaire, o şekilde birer satır, envantere giren her türlü demirbaş aynı defterde edinebildim. Bunlar defterlerde tabii ki, hiçbir veri tabanında filan değildi. Tabii, bütün kurumlarda böyle olması gerekmiyor. Bunu vaktinde belli bir otomasyon sistemiyle işletmiş olan kurumlar olabilir. Fakat bu kadar büyük yapılarda, dağılmış yapılarda bunları toparlamak oldukça zor. Dolayısıyla birinci fonksiyon, aslında böyle bir departmanın elinde ne tıbbi cihaz olduğunu, nerede, hangi yaşta, ne koşullarda cihazlar olduğunu bilmek, yani bir envanter oluşturmak ve kendi bildiği bir sıralama ve kodlama sistemiyle bu envanteri tutmak olmalıdır.

İkinci fonksiyon, satın alınacak cihazların kurumun ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde ve günümüz teknolojisine uygun nitelikte, kurum ihtiyaçlarına uygun cihazların seçilerek alınmasıdır. Tabii, Kamu İhale Kanunuyla satın alma yapan kurumlarda bu farklı, pazarlık edip, kendisi parayı ödeyerek satın alma yapan kurumlarda farklı. Eğer ihaleyle alacaksanız, bir teknik şartname ve idari şartname hazırlanacaktır. Uygun bir satın alma yapılması için, teknik şartname de, idari şartname de çok önemlidir.

Şu bir-iki örneği söyleyeyim sadece. Önümüze çıkan teknik şartnamelerin bazılarında, tabii ki çok doğal olarak sağlık çalışanına, hekimimize, hemşiremize tıbbi cihaz tedarikçisi firmanın verdiği ve cihaz modelinin bile üzerinde yazdığı teknik şartnamelerle ihaleye çıkıldığını gördük; yani tamamen ihale kanununa aykırı. Ama teknik şartname hazırlamak hekimin görevi haline gelmiş, hocaların görevi haline gelmiş. Tamamen yanlış. İş olmayan kişilerin onlarla vakit harcamaması gerekiyor. Dolayısıyla bu teknik şartnamelerde 'en son ve en üst model' ibaresi de çok gördüğümüz bir hata. Asla kurumun 'markanın en son ve en üst modeli'ne ihtiyacı olmayabilir. Bunlar tamamen yanlış satın almalara götüren tabirlerdir. İstenen teknik özellikler en fazla sayıda katılımcıyı ihaleye dahil edecek şekilde sıralanmalıdır.

Uygun bir satın alma yapıldıktan sonra, muayene kabul, yani taahhüt edilen özelliklerin hepsi veriliyor mu, bu birimin bunu teknik açıdan kontrol etmesi çok uygun olacaktır. Cihazın garanti süresi içinde tabii ki sağlayıcının vermesi gereken çeşitli hizmetler var; bunların doğru olarak

verilip verilmediğinin tespit edilmesi, talep edilmesi; tıbbi cihazın amacına uygun, verimli çalışıp çalışmadığının teknik açıdan kontrol edilmesi. Cihazların garanti süreleri dolduktan sonra bir servis alacaksınız ihtiyaç olan durumlarda. Bir sözleşme kapsamında, bir yıllık, iki yıllık sözleşmelerle periyodik bakım hizmeti alınacak. Bunların takip edilmesi, taleplerin doğru belirtilmesi gerekiyor. Çalışırken, sağlık kuruluşlarında tıbbi cihazlar çok yoğun kullanılıyor tabii. Bunların arıza yapmaması mümkün değil. Dolayısıyla arıza durumunda arıza tespiti yapması ve kurumun iç kaynaklarıyla, yani bu personelin yapabildiği durumlarda onarımın yapılması; onarımın kurum tarafından, yani biyomedikal birimi tarafından yapılması mümkün değilse, uygun koşullarda dışarıdan bu iş için hizmet alınmasını sağlamak; tıbbi cihazların gerekli periyotlarla koruyucu bakımlarını, güvenlik ve kalibrasyon ölçümlerini yapmak -bunlar hem doğru işler yapılması, hem de ömrünün uzatılması için gerekli- kullanıcılara eğitim düzenlenmesi mümkün olabilir. Cihazların bir veritabanında, otomasyon sisteminde tutulabilmesi için kodlanması uygun olacaktır. Ayrıca kodlama işleminde kullanılabilecek evrensel cihaz kodları da mevcut.

Tabii, kalite ve akreditasyon kavramları oldukça önemli hale geldi son yıllarda. Kurumların sağlık konusunda akredite olabilmeleri, çeşitli belgeleri alabilmeleri için, tıbbi cihazların kalite kontrol ölçümlerini, kalibrasyon ölçümlerinin zamanında, belli periyotlarla yapılıp yapılmadığı sorgulanıyor. Bu da hastane yönetimlerinin biyomedikale dönmesini, o ölçümleri talep etmesini ya da eğer kurumun böyle bir organizasyonu yoksa dışarıdan hizmet alınmasını getiriyor.

Son yıllarda, belki takip edenler bilir, piyasada kalibrasyon hizmeti veren çok sayıda hizmet sağlayıcı ortaya çıktı. Bunların uygunsuz şekilde kalibrasyon ölçümleri yaptığı, yetersiz ölçümler yapıp sertifikalar verdiği, sadece akreditasyon hazırlık dosyalarında bulunması için sertifikalar basıldığı söylendi, konuşuldu. Sağlık Bakanlığı bu konuda bir çalışma yaptı ve Kalibrasyon Hizmetleri Yönetmeliğini yayınladı.

Kalibrasyonla amaçlanan, cihazların doğru çalıştığından emin olmak; aldığımız bir ölçümün, hasta üzerinden ölçtüğümüz bir parametrenin doğru olduğundan emin olmak, maliyeti düşürmek, standartlara uygunluğu sağlamak, kaliteyi artırmak. Amerika merkezli ECRI enstitüsünün medikal kalibrasyon konusunda çalışmaları var, birçok kurumda bu prosedürlerle kalibrasyon yapılıyor. Bizim kurduğumuz sistemde de ECRI prosedürlerine uygun olarak kalibrasyon ölçüm sistemimizi hazırladık. Bu yıl, Sağlık Bakanlığı Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu, Tıbbi Cihazların Test, Kontrol ve Kalibrasyonu Hakkında Yönetmeliği yayınladı. Üç yıl boyunca üzerinde çalışıldı ve artık sağlık kuruluşları hizmet alacaklarsa dışarıdan ya da kendileri kurum içinde bu kalibrasyon ölçüm hizmetini yapacaklarsa, uymaları gereken standartlar, ölçüm konusunda yapmaları gereken işler bu yönetmelikte belirtildi.

“Birim bünyesinde bir sistem kurulabileceği gibi” dedik, çünkü her ölçekteki sağlık kuruluşu için böyle bir yatırım yapıp ölçüm sistemini kurmak anlamlı olmayabilir. O durumda, dışarıdan, uygun koşullarda, yetkin bir yerden hizmet almak da mümkündür.

Tabii, eğitimler alınması lazım, ölçüm cihazlarının tedarik edilmesi lazım. Periyodik olarak kalibrasyon ölçümleri yapılarak, cihazların sertifikaları, izlenebilirlik belgeleri altı ayda bir ya da senede bir, cihazların risk grubuna göre ölçümler yapılarak sonuçları dosyalanmalı. Bunlar tabii ki sağlık kuruluşu içinde sürekli olarak devam eden, kesilmeyen bir döngüdür.

Satın alma süreçlerinin yönetiminden birkaç kelimeyle bahsederek konuşmamı tamamlayayım.

Teknik şartnameler hazırlanırken, piyasada bulunan, kuruma kazandırmayı hedeflediğiniz tıbbi cihazla ilgili sağlayıcılardan, hastane çalışanı olarak destek alıyorsunuz ve onların tüm detaylarını tıbbi cihaz firmalarından öğreniyorsunuz. Teknik şartname hazırlama süreci böyle geliyor ve bu işle ilgilenen biyomedikal teknikerleri, mühendisleri görev almadığı durumda, yani teknik özelliklerin uzun uzun incelenmesinin mümkün olmadığı durumda, kurumun çıkarına uymayan birtakım dokümanlar hazırlanmış olabiliyor. Ayrıca, bakım-onarımlarda da sadece bir servis sağlayıcının, yetkili servisin veya farklı firmaların tespitlerine ve onların verecekleri muayene sonuçlarına güvenerseniz, yine kurumun maliyet olarak oldukça dezavantajlı olacağı durumlar ortaya çıkabiliyor.

Benim tespit ettiğim bir örneği vereyim; İstanbul Tıp Fakültesindeki bir tıbbi cihazdaki arıza için firmanın tespiti 2.500 TL'ydı. Sene olarak hatırlamıyorum. Belki de hâlâ daha çok sıfırlı kullanıyorduk, yani o günün tabiriyle 2.5 milyar belki. Cihazın arızasına bizim biyomedikal teknikerimiz baktığında cihazın sigortasının bozulmuş olduğunu gördü. Zaten firmanın teknik servis raporunda da sigorta arızası diyordu, yani firma sigorta arızası için 2.500 TL talep ediyordu. Gerçekten 10 kuruşluk sigortaymış aslında; yani çok daha yüksek maliyetli, karmaşık bir sistem değil. Dolayısıyla bunlar kurumların bu iş için özel, tıbbi cihazların teknik tarafına hâkim bir personel tarafından yönetilmediği durumlarda maliyetler böyle yükselebiliyor. Tabii ki, piyasadaki tüm tıbbi cihaz servis sağlayıcı firmalarımızın böyle kötü niyetli olmadığını söylemek lazım; ama kötü tecrübeler de yaşandı. Dolayısıyla kendi imkânlarıyla ya da personel alım politikaları mümkün olduğu durumda, hastanelerin bu şekilde bir uzman, tıbbi cihazlara teknik hizmet veren, yani kendi kurum bünyesinde hizmet verebilen bir departmanı yapılandırabilmesi büyük bir kazanç sağlıyor. Aynı şekilde, satın almalarda da biyomedikal biriminin büyük katkısı olmaktadır.

Benim söyleyeceklerim bunlar. Hepinize ilginiz için çok teşekkür ederim.

Panelimizin sonunda, konuşmalarımızı bitirdikten sonra topluca katılımcılardan soru alabiliriz.

Müsaadelerinizle, kendim kürsüden inerken, Sacit Karamürsel hocamı, “Transkranyal Doğru Akım Uyarımı” konusundaki çalışmalarını sunmak üzere davet ediyorum.

Transkranyal Doğru Akım Uyarımı Yeni Uygulama Yöntemleri ve Klinik Kullanımı

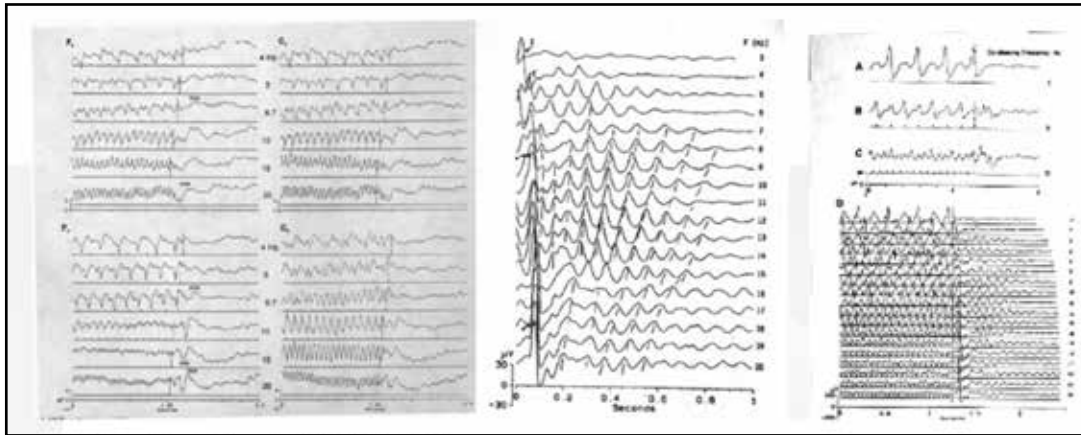
Prof. Dr. Sacit Karamürsel (İstanbul Üniversitesi)- Teşekkürler Sayın Başkan.

Hoş geldiniz değerli katılımcılar.

Ben de öncelikle beni davet ettikleri için Organizasyon Komitesine teşekkürlerimi iletiyorum. Daha sonra bir teşekkürü de Aydın hocama iletmem gerekiyor; böyle formel, birilerinin “İyi ki yapıyor” diye düşündüğüm işleri yaptığı ve kendimce iyi işler yapabilmek için bizlere zaman kazandırdıkları için.

Benim anlatacağım konu, Transkranyal Doğru Akım Uyarımı; yani “Kafanın içine girmeden, doğrudan saçlı deri üzerinden elektrotlar yardımıyla doğru akım uygulayıp, beynin çalışmasını değiştirip birtakım tıbbi faydalar elde edebilir miyiz?” durumu. Buraya nereden geldik? Tabii, biraz hikâyesiyle başlamak istiyorum.

Yıllar yılı, yani ben asistan olarak girdiğimden beri, 1986’dan itibaren hep elektrofizyoloji çalıştım. Burada onlarla ilgili bir çalışmayı görüyorsunuz. İnsanda görsel uyarılma potansiyelleri ve verilmeyen uyarıya cevapları içeren bir makale.



Şu sol taraftaki insanla ilgili, ama diğer taraftakiler balıklardan elde edilmiş kayıt örnekleri, yani önce bütün elektrofizyolojik parametreler. Bunlar normal herhangi bir uyarıya cevap olsun veya spontan aktivite olsun veyahut da bilişsel diye bildiğimiz türden şeyler olsun, bunları kaydedip inceleyerek,

epeyce bir vakit geçirdik. Daha sonra bu çalışmalarımızı klinikle ortak bir hale getirdik. Direkt beyin cerrahisiyle beraber, başka ne şekilde kayıt alabiliriz diye -çünkü saçlı deri üzerinden alınan kayıtlarda bir sınırlılık var- kortekse, beyin dokusuna daha yakın elektrotlar yerleştirip, daha bilgi değeri yüksek veya bizim için daha önemli, daha lokalize birtakım bilgileri elde etmek mümkün mü diye, o şekilde de cerrahi koşullarda, kortikal elektrotlarla kayıtlar, epilepsi cerrahisinde yer kaplayan lezyonların sınırlarının tespiti, buna göre cerrahın nereden gireceği, nereye dikkat etmesi gerektiği, nereleri koruması gerektiğini anlamaya yönelik birtakım çalışmalarımız oldu.

Daha sonra hareket bozuklukları cerrahisinde, Parkinson hastalığında, yine mikro ve semi mikro elektrotlarla, derinlik elektrotlarıyla yaptığımız çalışmalar oldu. Bunlardan bozuk olan derin beyin yapılarını lokalize edip, özellikle hastanın şikâyeti olduğu konularda bozukluğu bulunan bölgeleri tespit edip, daha sonra o bölgelerin bir dönem için tahrip edilmesi, daha sonra beyin pili denilen birtakım stimülatörlerle kalıcı elektrotların yerleştirilmesi suretiyle hastanın şikâyetlerinin belli bir süre veyahut da mümkünse tümüyle ömür boyu giderilmesine yönelik birtakım çalışmaları da yaptık.

British Journal of Neurosurgery, February 2009; 23(1): 23–29

informa
healthcare

ORIGINAL ARTICLE

Comparison of unilateral pallidotomy and subthalamotomy findings in advanced idiopathic Parkinson's disease

A. ÇOBAN¹, H. A. HANAGASI¹, S. KARAMURSEL² & O. BARLAS³

¹Department of Neurosurgery, ²Department of Physiology, and ³Department of Neurosurgery, Istanbul School of Medicine, University of Istanbul, Millet Cad, Çapa, Istanbul, Turkey

Abstract
A prospective, randomized, double-blind pilot study to compare the results of stereotactic unilateral pallidotomy and subthalamotomy in advanced idiopathic Parkinson's disease (PD) refractory to medical treatment was designed. Ten consecutive patients (mean age, 58.4 ± 6.8 years; 7 men, 3 women) with similar characteristics at the duration of disease (mean disease time, 8.4 ± 3.5 years), disabling motor fluctuations (Hoehn & Yahr stage 3–5 in off-drug phases) and levodopa-induced dyskinesias were selected. All patients had bilateral symptoms and their levodopa equivalent dosing were analysed. Six patients were operated on in the globus pallidus interna (GPi) and four in the subthalamic nucleus (STN). Clinical evaluation included the use of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS), Hoehn & Yahr score and Schwab England activities of daily living (ADL) score in 'on'- and 'off'-drug conditions before surgery and 6 months after surgery. There was statistically significant improvement in all contralateral major parkinsonian motor signs in all patients followed for 6 months. Levodopa equivalent daily intake was significantly reduced in the STN group. Changes in UPDRS, Hoehn & Yahr and Schwab England ADL scores were similar in both groups. Cognitive functions were unchanged in both groups. Complications were observed in two patients: one had a left homonymous hemianopsia after pallidotomy and another one developed left hemiballistic movements 3 days after subthalamotomy which partly improved within 1 month with Valproate 1000 mg/day. The findings of this study suggest that lesions of the unilateral STN and GPi are equally effective treatment for patients with advanced PD refractory to medical treatment.

Key words: *Parkinson's disease, pallidotomy, subthalamotomy, stereotaxy.*

Burada bununla ilgili bir makaleyi de görüyoruz.

Tabii ki, bunlardan önce görüntülemeler yapılıyor, daha sonra stereotaksik olarak hastanın başına yerleştirilmiş bir çerçeve var. Buna göre, x, y, z koordinatlarıyla hangi yapıya gidilecekse beyin derin yapılarından, onlara ulaşıp gidilebiliyor. Madem MR var, günümüzde navigasyon sistemleri de var, hâlâ ihtiyaç var mı; evet, var. Çünkü hata az veya çok olabiliyor, girilen yapılar bazen 2-3 milimetrelilik ölçülerde olabiliyor, bozuk bir dikdörtgen prizma veya paralel kenar prizma gibi yapılar olabiliyor. Koordinatlara göre o bölgeye girildikten sonra, gerçekten orada mıyız, değil miyiz, yerimiz doğru mu, yanlış mı diye, mikro elektrotlarla kayıt almak gerekebiliyor. Daha sonra bu bölgeye kalıcı elektrotlar yerleştiriliyor.



Burada, bir hastada şematik olarak giriyoruz derin yapılara. Daha sonra elektrot deri altından giriyor, kalp pilleri gibi, cildin altına pil yerleştiriliyor ve buradan sürekli uyarı verilerek, hastanın şikâyetleri giderilmeye çalışılıyor. Bir bölgenin bozulan aktivitesi, genelde sinir sisteminin bir spontan aktivitesi var; o bilgiyi vereyim. Spontan aktivite derken de, o bölgedeki sinir hücrelerinin saniyede aksiyon potansiyeli çıkarma frekansı. Onun biraz daha üstüne çıktığınız zaman, o bölgeye inhibe etmiş oluyorsunuz. Kabaca, o frekansta uyarı verdiğiniz zaman uyarmış oluyorsunuz. Biraz daha düşük frekansta verirseniz, normal aktivitesini inhibe etmemekle beraber, birtakım yan etkiler elde edebiliyorsunuz. Temel prensip kabaca bu.

Başka ne oldu? Sinirler boyunca çevresine spiral şekilde elektrot yerleştiriliyor. Bu da depresyonda, ağrı hastalıklarında vesaire. Sonuçta, parasempatik sistemi, insan gevşediği zaman aktive olan sistemi uyarak, hastanın birtakım şikâyetlerini ortadan kaldırmaya yönelik bir cerrahi tedavi sistemi.

Dahası da var. Biraz önce söyledim, sinir hücrelerinin belli bir spontan aktivitesi var diye. Birtakım nevrâljileri olabiliyor bazı hastaların, ilaçla tedaviye cevap vermiyor, periferik olarak sinirler kesilebiliyor; yani sinir sistemi dışında, kafa içine girmeden, elden gelen her şey yapıldığı halde bu ağrılar yok edilemiyor. Bunlar da en sonunda ampirik olarak bulunmuş. Tesadüfe mi dayanıyor, tam da bilemiyorum; ama motor korteks uyarıldığı zaman... ki buradaki uyarı, biraz önce söylediğim gibi, normal işlevini bozmuyor, bir harekete yol açmıyor; ama düşük frekansta, belli zayıf akımlarla uyarıldığı zaman, motor korteksin beynin duyuşal yapılarıyla olan bağlantısı sebebiyle, tam da ayrıntısını çok iyi bilemediğimiz, mekanizmasını bilemediğimiz bir şekilde kronik ağrıları hafifliyor veya tümüyle ortadan kalkabiliyor. Bunun için de korteks üzerine birtakım elektrotlar yerleştiriliyor. Bunlar bir hat boyunca yerleşmiş bir elektrot şeklinde olabiliyor. Daha sonra, bunlar bir kere konulup kapatıldıktan sonra, değişik kontaklar kullanılarak değişik akım şiddetleri, uyarı için kullanılan değişik elektrot konfigürasyonları denenerek, hastanın şikâyetlerinin en düşük akımla en iyi giderildiği bir çözüm yolu bulunmaya çalışılıyor.

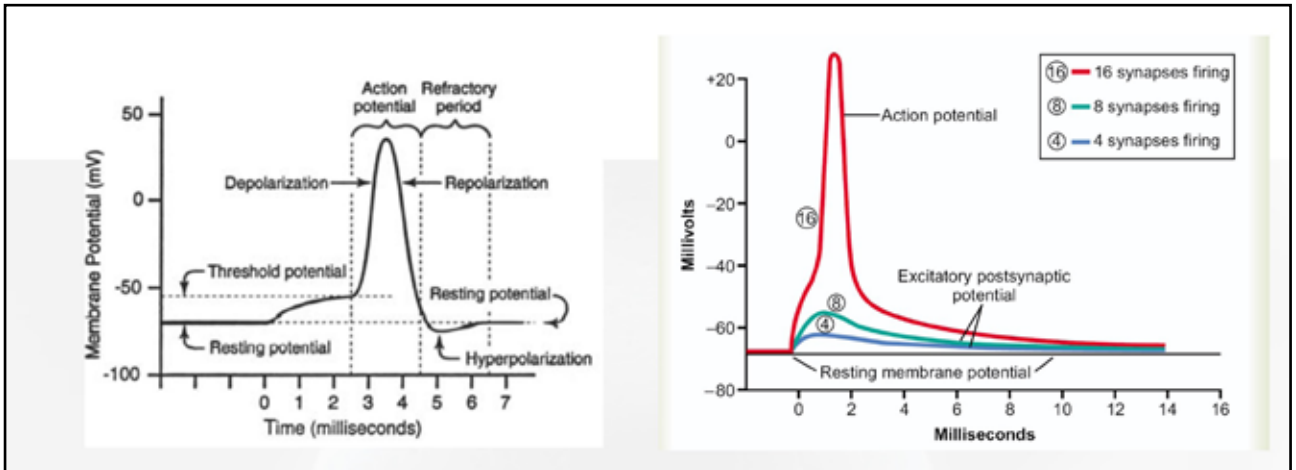
Bir diğeri -bunları ben doğrudan aktif olarak çalışmıyorum, ama bizim anabilim dalımızdaki (Prof. Dr.) Tamer Demiralp hoca bununla ilgileniyor- yine nörolojiyle ortak olarak transkranyal manyetik stimülasyon. Burada da kuvvetli bir manyetik alan yaratıp, bunun indüklediği elektrik akımı aracılığıyla beynin, korteksin daha çok yüzeyel yapılarının uyarılması. Burada eşik üstüne çıkılıyor tabii ki. Sonuçta, bir motor korteks uyarılıyorsa, elde birtakım parmakların hareketlerini görmek vesaire mümkün. Bunlar da tekrarlayan şekilde verildiği zaman, repetitif transkranyal manyetik stimülasyon dediğimizde, yine depresyonda veya pek çok başka hastalıklarda tedavi edici etkisi vardır umuduyla kullanılıyor. Bazıları gerçekten işe yarıyor, bazıları yaramıyor; ama bunlar da tıbbın

üzerinde çalıştığı alanlardan bir tanesi.

Buraya kadar, 6-7 yıl öncesine kadar yaptığımız şeyleri bir özetlemiş oldum; nasıl bazen iş tersine gidiyor, bunu söylemek için. Biraz karikatürize etmek gerekirse, hastalarda cerrahi olarak yapıldıktan sonra, dönüp sıçan deneyi yapmak gibi bir şey aslında; ama işin gerçek yüzü birazcık bu.

Bir bilgiyi vereyim tabii ki. Sinir hücreleri birbirleriyle çok sayıda sinaps adını verdiğimiz bağlantılar yapıyorlar. Sinir hücrelerinin özellikleri, uyarıldıklarında membran potansiyelleri var. Bütün hücrelerde olduğu gibi aslında, ama onlarda daha çok uyarılabilen hücre olduğu için, bunlar aksiyon potansiyeli dediğimiz uyarılar çıkarıyor, bu uyarılar yayılıyor, başka sinir hücrelerinden uyarılar bir hücrede toplanıyor ve bütün bunlara göre o sinir hücresi uyarılar çıkarıyor. Baktığımız zaman, kaslarımız... Onlar bile. Sinir hücreleri gibi değil, ama bir madde verirsek veya sinirini kesersek, kendi başına bir şey yapmıyor; ama sonuçta, belli bir süre uyarılar sürekli gidiyor kaslara da. Ama örneğin, kas veya motor nöron bazen hiç ateşlemeyebilir, patolojik de olsa. Ama bunlarda bile sürekli kaslarda belli bir gerilim ortaya çıkarmak için, süregiden bir frekansta ateşleme söz konusu. Yani anlatmak istediğim şey, bütün sinir hücrelerinin temel özelliği, başka sinir hücreleriyle sürekli bağlantıda olduğu için, sürekli belli frekansta aksiyon potansiyeli çıkarıyor. Olan şey, bu uyarı dediğimiz şey aslında bu frekansın artması, belli durumlarda da azalması. Bir bölgenin inhibe edilmesi, o bölgedeki sinir hücreleri tarafından inhibe edilen başka bir bölgenin uyarılması anlamına da gelebiliyor. Onun için, sinir sisteminde uyarı dediğimiz zaman, -bir bölgeyi uyarmak veyahut da inhibe etmek dediğimiz zaman, inhibe etmek anlamı taşıyor her zaman- başka bir bölge uyarılabilir veya çalışması baskılanabilir.

Burada pek çok başka hücreler sinaptik bağlantı alıyor. Bakın, şu alttaki şekilde bunu görüyoruz. Bunların kaç tanesinden, belli frekansta, birbirine yakın zaman aralıklarıyla uyarı geldiği zaman, bu hücre ateşleyebiliyor. Bakın, 4 tane, 8 tane geldiği zaman, biraz membran potansiyeli bozuluyor, ama cevap çıkmıyor; 16 tane geldiği zaman, bir aksiyon potansiyeli çıkıyor. Aksiyon potansiyeli çıktığı zaman ancak sinir lifi boyunca o uyarı yayılıp da başka sinir hücrelerini uyarır hale geliyor.



Amacım, sinir hücresi nasıl yapılıyor, bunu anlatmak değil; ama biraz fikir sahibi olmak gerekiyor ki, yaptığımız işin mantığını kavrayalım diye.

Bir de burada bir bilgiyi vermek istiyorum. Sinir hücreleri ne kadarlık bir akım şiddetiyle uyarılıyor; uyarırken, cerrahi koşullarda da, diğerlerinde de voltajdan çok akım şiddet, kaç miliamper verdik vesaire, bunları konuşuyoruz. Bunu araştırırken bulduğum şey. En altta görüldüğü gibi 0.4×10^{-11} Amper/metrekarelik akım şiddeti veya akım, sinir hücrelerini -çıplakken tabii- iletken bir sıvı ortam içerisinde uyarmaya yetecek olan eşik değerdeki akım şiddeti. Buna baktığımız zaman, atmosferden yere, toprağa kadar olan, sürekli fırtınalar sebebiyle oluşan akım buna eşdeğer veyahut da bir yüksek gerilim hattından da 30-40 metre mesafede olduğumuz zamanki indüklenen akım veya maruz kaldığımız akım da buna eşdeğer. Bütün bunlar tesadüf olabilir mi? Yüksek gerilimi hariç tutuyorum tabii ki. Şu ikisi sadece aklımızda bir yerde bulunsun diye gösteriyorum.

Biz ne yaptık? Bütün bu cerrahi yöntemlerle hastaların birtakım dertlerine çözüm bulmaya çalışırken, daha sonra, aslında tarihçesi eski olan bir transkranyal doğru akım uyarımı devreye girdi. Tıp, aslında biraz tersten de gidebiliyor, bazen daha pratik de oluyor; yani hastalar bile aslında bazı durumlarda cerrahiyi tercih edebiliyor. Barış daha iyi bilir, çünkü klinisyen olduğu için. Gayet normal. Yani hastaya, “Ömür boyu şu ilacı alacaksınız. Etkili düzeyde mi, ara sıra ona bakacağız” falan gibi bir sürü şey söylemek veyahut da “Şu aleti yanında taşıyacaksin” demek yerine, “Ameliyat edip kafana şunu yerleştireceğiz, böylece elini kolunu sallayıp gideceksin” deyince çok tatmin oluyorlar bazen. Yani gözlük takmak yerine lens, lens yerine de mümkünse göz içi lens takmak gibi bir şey bu aslında. Kimseyi de ayıplamıyorum bu yüzden. Ama bütün bu cerrahi yöntemler sırasında, bütün bunlara gerek kalmadan da sinir sisteminin çalışması modüle edilebilir mi? Transkranyal doğru akım uyarımı aslında buna dayanıyor.

Biz de bu işe girmek istediğimiz zaman...

Kaç yıl oldu Adnan (Y. Müh. Adnan Kurt) ?

Adnan’ı özellikle söylüyorum, çünkü bütün yükselticilerimizi vesaire Adnan yapmıştı. Elektrik-elektronik mühendisi kendisi de. O zamanlar hem İstanbul Üniversitesi, hem de Boğaziçi Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliğinden arkadaşlarla beraber çalışıyorduk bütün bunları yapmak için. Çünkü tıpta, özellikle temel bilim alanında yeni şeyler yapabilmek için, piyasada satılan aletlerle yola çıkmak yeterli olmuyor. Çünkü onlar da bütün çalışmaları tamamladıktan sonra satmaya başlıyorlar zaten. O yüzden, o zaman da ilk yükselticiyi yapmıştı. Hatta hiç unutmam, ameliyathanede ilk çalıştırdığım zaman, bir Vatikan Radyosu çıkmıştı. Filtrelerini açmışık hiçbir şeyini kaçırmayalım diye.

Evet, transkranyal doğru akım uyarımıyla ilgili ilk cihazdı bu. Bunu da yaparken düşündüğümüz şey, literatüre baktığımız zaman tam bir doğru akım kullanılıyordu. Halbuki sinir sistemine EEG olarak, beyin dalgaları olarak baktığımız zaman, delta, teta, alfa, beta dediğimiz, kabaca 30-35-40 Hertz’e kadar olan, uykuda veyahut gözümüzü kapatınca daha yavaşlayan belli frekansları var. Bu frekanslarda uyarı yapan bir sistem. Piyasada yoktu. “Yine doğru akımla uyaralım, ama EEG’deki belli frekanslarla modüle edilmiş bir doğru akım olsun; yani elektrotların polaritesi değişmesin, sadece akım şiddeti modüle edilsin” şeklinde, Adnan’ın yaptığı ilk alet bu özelliğe sahipti ve bu özelliğe sahip aleti de satın almak mümkün değildi.



O gün, bilgisayarla bağlanmasını, programlanmasını sağlayan ve de verileri aktardığı arayüzü, burada da bilgisayar arayüzü. Ne kadar uyarı veriyor, açması, kapaması vesaire gayet pratik bir cihazdı.

Büyükçe elektrotlar kullanılıyor. Çünkü elektrik akımı verdiğimiz zaman, elektroliz sebebiyle, özellikle saçlı bölgelerde, kıl diplerinde, deride küçük kaşıntılar, can yakmalar vesaire olabiliyor. Bunlardan olabildiği kadar kaçınmak için büyük elektrot kullanıyoruz. İçinde paslanmaz çelik var. Dışarıda birtakım bezler veya süngerlerle, tuzlu suyla ıslatıp kullanıyoruz.

Sonraki aleti de Adnan geliştirdi isteklerimiz doğrultusunda. Bütün hepsini, ayarları, frekansları vesaire vermek mümkün. Monitörden de ne kadar sürede uyarı verecek, izlemek mümkün. Böylece, yaptığımız ayar doğru mu, değil mi, görebiliyoruz. Çünkü insan bazen hastanın karşısında veya çalışma katılımcılarının yanında alelacele karışık şey yapabiliyor. Onun için, gerçekten vermek istediğimiz şeyi veriyor muyuz diye görmek de iyi.

Transkranyal DC stimülasyon deyince, mantık aslında var, eskiden beri yapılmış. Kedi balığında, epilepsi hastalarında kullanılmış. Bu balıklar benim hoşuma gidiyor; çünkü ben de Amerika'da çalıştığım dönemde, vatoz benzeri elektrik balıkları ve elektrik alanına duyarlı balıklarda çalışmışım. 15. yüzyılda baş ağrısı için torpido balığı kullanılmış. Daha sonra pilin bulunmasıyla daha sistemli çalışmalar mümkün hale gelmiş; ancak, 20. yüzyıl başına kadar sadece elektroşok (elektrokonvülsif tedavi) dediğimiz kullanımı var. Yakın zamanda, 2000'lerin başında Paulus, "Transkranyal düşük elektrik akım uyarılmasıyla kortikal uyarılabilirliğe etkili olabiliriz" diye göstermişler ve transkranyal doğru akım çalışmaları bundan sonra başladı.

Transkranyal doğru akımla uyarımın diğer bütün bu en baştan beri söylediğim derin beyin stimülasyonu, transkranyal manyetik stimülasyon vesairelerden farkı, burada ışık altında kalınması; yani hiçbir zaman hastada herhangi bir hareket, herhangi bir his, duyu vesaire görülecek bir uyarı şiddetine çıkılmıyor.

Neden bunları yapıyoruz? Biraz önce söylediğim bütün cerrahi girişimlere rağmen herhangi bir çözüm yolu bulunamıyor. Bu da tıbbın bir açmazı. Yani değişik bir şey yapıldığı zaman, bizdeki hocalarımız, arkadaşlarımız bile, "Beyine elektrik vereceksin; ne olacağı belli olmaz" diyor. Ben de diyorum ki, derin beyin stimülasyonunda, beyin sapına, ta beynin orta yerine yıllar yılı, ömür boyu bizim vereceğimizden daha büyük akımları sürekli veriyorsunuz, onun ne olduğunu bilmiyorsunuz. Araştırmanın temel mantığı bu. Yani ne niyetle bakıyorsunuz... "Niyete bağlı sonuç" diyorum ben buna. Yani yan etkiler, istenmeyen etkiler, çok merkezi ilaç çalışmaları dışında çok fazla gözetilmiyor. Yani bir etki var mı, yok mu? 'Var. Tamam, zekâyı artırıyoruz.' Onu yapıyoruz, bunu yapıyoruz; ama onun dışında başka şeyler bozuluyor mu, o tür küçük çalışmalar da göz ardı ediliyor.

Niye buraya geldim? Hastalar için bir tedavi seçeneği olabilir mi? Transkranyal DC stimülasyon ve bizim klinikle ortak çalışmalara başlamamız da buraya dayanıyor. İlaça dirençli olan epilepsi hastalarıyla biz bu işe başladık. Yani "Eğer bir sihirli değnekse, bakalım, kendini göster" şeklinde bu çalışmalar başlıyor maalesef. Aslında belki pek çok başka şeye de daha kolay uygulanabilecek.

Başka nerede? Girişimsel tedavi gereken hastalar için (bir) seçenek. Bazen yapılamıyor. Dediğim gibi, bir epilepsi hastası, ama odak tespit ediliyor, tam hareket merkezinde; orada bir cerrahi müdahalede bulunursanız, hasta felç olacak. O zaman, ameliyat yapmayıp bu yöntemle kayabilirsiniz. Sinerjistik etkisi için, bir de ucuz bir yöntem olduğu için, gelişmekte olan ülkelerde gelişmeye başlıyor. Çeşitli yöntemleri olabiliyor uygulamanın. Henüz yerleşmiş bir uygulama sistemi yok; sağ-sol yarıkürelerine, birine anot, birine katot konularak yapılabilir. Ama ben, anot altında genelde uyardığımızı, katot altında aktiviteyi baskıladığımızı düşünüyorum. Çoğunlukla bu prensiple hareket ediyoruz. Bu şekilde uyarımla etkinin o sırada görülebileceği gibi, uzayan birtakım etkiler olabileceğini de artık biliyoruz. Hatta şunu da biliyoruz: Uyarıyı verdikten sonra, başlangıçta olmayıp, ancak birkaç gün sonra veya bir-iki hafta sonra ortaya çıkan etkiler de olabiliyor.

Bunun en tipini bazı beyin çekirdeklerinin uyarımında görebiliyoruz. Hastanın hareketle ilgili bozukluklarının ortadan kalkması için cerrahi olarak yerleştiriliyor, uyarım başlatılıyor, o sırada fazla bir şey görülüyor; ama bir-iki hafta sonra etki ortaya çıkmaya başlıyor, psikotrop ilaçlar gibi. Yani alındığı gün, antibiyotik hemen etkili olabilir; başınız ağrıyorsa, aspirin aldınız, hemen geçebilir; ama beynin işlevlerine yönelik olarak kullandığınız veya psikolojiyi etkileyecek şekilde kullandığınız psikotrop dediğimiz ilaçların bazılarında, bu etkinin görülmesi için belli bir süre beklemek gerekiyor, çünkü ilacın belli bir etkisi var. Buna göre, beyin kendi içinde özelliklerini kullanarak yeni bir denge durumu yaratıyor, bütün bunların sonucuna göre tedavi gerçekleşiyorsa, o zaman etki ortaya çıkıyor. O yüzden, belli bir latent dönemi var. Zaten o yüzden derin beyin stimülasyonunda kayıt almanın sebeplerinden bir tanesi de oydu, "Tam doğru yerde miyiz, değil miyiz?" diye. Çünkü o sırada, ameliyat sırasında uyarılır, şikâyetler ortadan kalktı, tamam. Hatta girer girmez, mekanik olarak hasar olduğu için bile elektrotu yollarken, hastanın titremesi ameliyat sırasında birden kesiliveriyor; ama her bölge için bu geçerli değil.

Evet, kolaylığı olduğu gibi, transkranyal doğru akım uyarımını çalışmalarının zorlukları da var tabii. Çalışmalarda, genelde plasebo etkisi var mı, yok mu diye... Burada tam bir plasebodan bahsetmiyoruz. Buna "Şem uyarı" (sham-sahte uyarı) diyoruz. Biraz verip kesmek şeklinde, denegin veya hastanın anlamayacağı şekilde. Yavaş yavaş çekip akımı, sonra düşüyoruz, anlamıyor. Ama modüle akım

kullanılırsa, birtakım renklenmeler görebiliyoruz. Özellikle göz çevresine yakın olursa, o zaman hastaya akım vermiyoruz deseniz bile hasta akım aldığını anlayacaktır. Böyle birtakım sıkıntıları var tabii ki.

Tıpta nelerde kullanıyoruz? Tek başına transkranyal DC stimülasyon işlemleriyle arasında fark var mı, bilinen bir tedaviyle arasında fark var mı, transkranyal doğru akım uyarımı tedaviyle beraber yapıp, yanına şemle tedavi yapıp, fark var mı, yok mu diye. Bunlar oldukça zahmetli çalışmalar. Henüz yapılmaya ihtiyaç duyulan, eksikliği duyulan çalışmalar bunlar. Bu şekilde pek çok çalışma dizaynı mevcut. Transkranyal DC stimülasyonla baktığımız zaman, inmeden depresyona, motor bozukluklara kadar pek çok konuda çalışmak mümkün.

Hangi hastalıklarda çalışmalar yapılıyor? Depresyonda, ağrı çekenlerde, epilepsi hastalarında, inme rehabilitasyonunda kullanılabiliyor. Depresyon duygu durum çalışmaları yapılabiliyor. Bunun için korteks, alın bölgesinde, hedef olarak kullanılabiliyor. Pek çok ağrı çalışması var, bunları birleştiren analizler var, hangileri etkili vesaire diye. Ama en büyük eksik protokol eksikliği. Yani bugün için ne kadar bir akım, bir kere mi verilecek, 5 dakika mı, yarım saat mi, arka arkaya 3 gün mü, 5 gün mü, yalnızca bir kere mi, bir ay sonra bir daha mı, bunların ne şekilde uygulanması gerektiğiyle ilgili pek çok çalışma yapılıyor. Bir bölümünü de biz yürütüyoruz. Epilepsi de bunların en önemlilerinden bir tanesi. Çünkü cerrahi olarak başarı zaten yüzde 100 değil; bir de yüzde 100 olsa bile, biraz önce de söylediğim gibi, her zaman cerrahi olarak müdahale edilemeyecek vakalar var.

Sağlıklı gönüllülerde yapılan çalışmalar da var, bunlarda otonom sinir sistemi çalışması üzerine etkileri var. Kalp krizi değişkenliği ki, bu da önemli. Özellikle tansiyon hastalarında, ani ölümlerde vesaire kan basıncının düzenlenmesi, kardiyovasküler sistemin çalışması otonom sinir sisteminin kontrolü altında olduğu için, otonom sinir sistemine yönelik sempatik aktiviteyi azaltıcı, parasempatik sistemi güçlendirici ve bu şekilde, örneğin bir kalp krizi riskini azaltmayı amaçlayan bir uyarı yöntemi olabilir mi diye yapılan çalışmalar var. Ağrı duyu eşikleri ile ilgili bizim de yaptığımız çalışmalar var. Sigara, alkol, yiyecek, bunların aşırı veya kötüye kullanımıyla ilgili çalışmalar var.

Bir de yine sağlıklı gönüllülerde, öğrenme, bellekle ilişkili -öğrencilerde veya sporcularda motor öğrenme olabilir veya deklaratif öğrenme olabilir- bunları artırmak mümkün olabilir mi, işlerini daha iyi yapmaları mümkün olabilir mi gibi yapılan çalışmalar var.

Bizim yaptığımız çalışmalardan bir tanesi Rasmussen Ensefaliti hastalarında gerçekleştirildi. Bunda çok fazla hasta bulmak dünyada da mümkün değil. Nöroloji kliniğiyle ortak yaptığımız bir çalışmaydı. Beş hastada, katodal, anodal ve şem uygulamalarıyla yaptık. Ne şekilde fayda görüyor, bunlara baktık. Bu hastaların bazıları günde 10-15, 20 nöbet geçiren, epilepsi nöbeti, kasılma nöbetleri geçiren hastalar. Bunlarda yarım saat, arka arkaya üç gün 2 mili amper düzeyinde akım uyguladık ve sonraki bir ay boyunca izledik, hastanın yakınları izledi. Bunlarda bir ay boyunca nöbet sıklığı yüzde 50'den fazla düştü. İki tane hastada bu çok belirgindi, hatta günde 10-15 nöbet geçiren hasta bir ay boyunca nöbet geçirmedi.

Kalp hızı değişkenliğiyle ilgili çalışmayı da yaptık. Burada motor korteks hedeflenen beyin bölgesi oluyordu. Burada da sempatik sistem aktivasyonunda artış gördük. Yani hangi parametrelerle, nereden uyarırsak, otonom sinir sistemini ne yönde etkileyebiliyoruz, bunların bilinmeye ihtiyacı var. Yani bunlar bilinmediği için, bizim amacımız, sempatik veya parasempatik sistemin etkisini artırmak veya azaltmak değil; nereye, ne şekilde akım uygularsak, hangi polaritede, ne süreyle, ne yönde etkiliyoruz, bu bilgilere sahip olursak, belli bir amaca yönelik bir tedavi için bu parametrelerin ne olması gerektiğini daha iyi öngörebiliriz diye sürdürdüğümüz çalışmalar. Bununla ilgili, ağrı ve duyu eşiği üzerine etkisiyle ilgili bir TÜBİTAK projemiz de yakın zamanda sonlandı. Bunlarla ilgili çalışmalarımız yurtdışı kongrelerde sunuldu, yayın haline de getirdik, cevap bekliyoruz.

Bunlarla ilgili, transkranyal DC stimülasyonla ilgili çalışmalara baktığımız zaman, logaritmik bir şekilde arttığını görüyoruz.

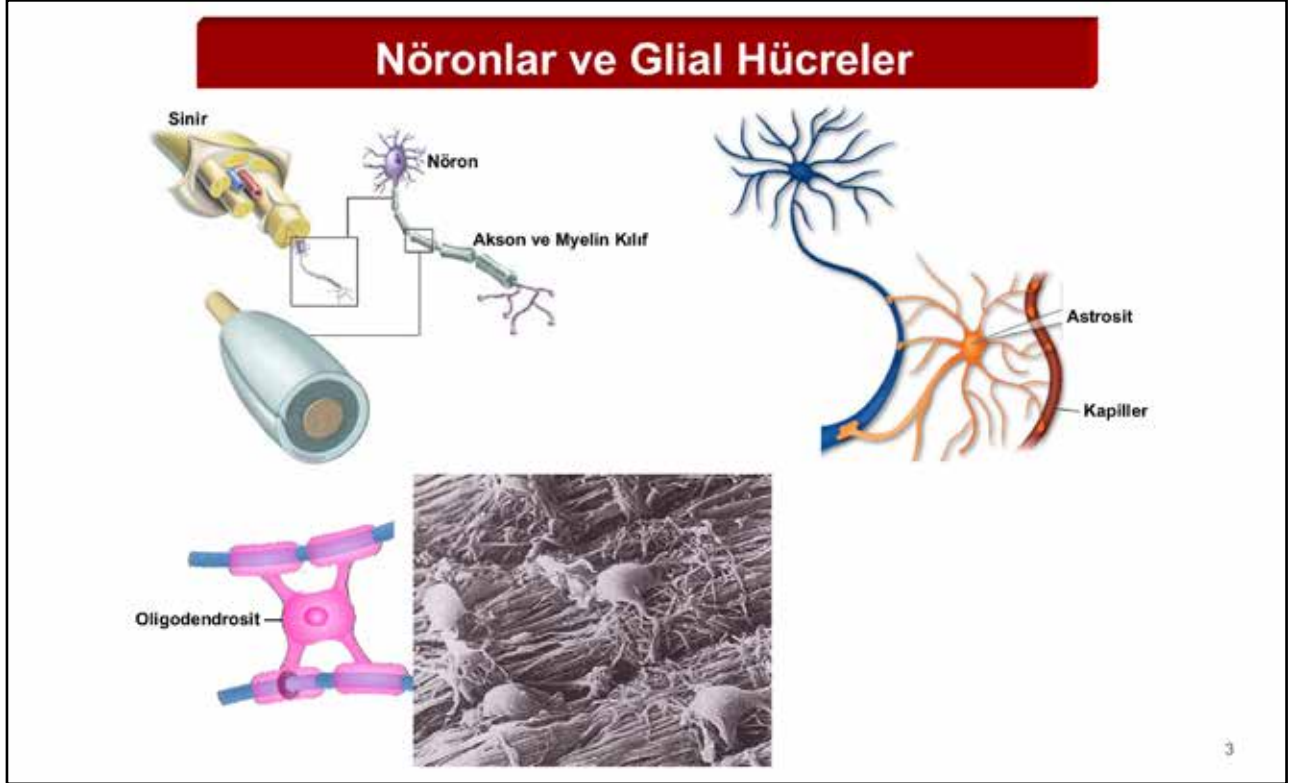
İlginiz için teşekkür ediyorum.

Prof. Dr. Aydın Akan- Çok teşekkürler Sacit hocam.

Cüneyt Göksoy hocam; buyurun.

Farklı Beyin Bölgeleri Arasındaki Etkileşimlerin Elektrofizyolojik Yöntemlerle İncelenmesi

Prof. Dr. Cüneyt Göksoy (GATA)- Beyin, güncel tanımlamasıyla “Bilinen evrendeki en karmaşık nesne.” Beyin, karmaşıklığının yanı sıra çok da hassas bir yapıya sahiptir. Bu hassasiyeti nedeniyle üzerinde yapılabilecek çalışmalar önemli ölçüde kısıtlanmaktadır. Kemik dokuyla kaplanmak suretiyle koruma içerisine alınmış olması da bu çalışmaları ayrıca zorlaştırmaktadır.



Beyindeki hücrelerin çeşitliliği de oldukça fazladır. Nöronların yanı sıra destek hücreler, astrositler, myelin kılıf gibi faktörler ayrı bileşenler durumundadır. Nöronlar da kendi içlerinde ciddi sayıda, hesaba katılır miktarda çeşitlilik göstermektedirler. 17. yüzyıldan itibaren, beynin karmaşık bir organ olmasının yanı sıra, içerisinde farklı bölgelerin olduğu, her bir bölgenin kendi içerisinde farklı fonksiyonlar üstlendiği bilinen bir gerçektir. Ama günümüzde artık bunların zannedildiği kadar net olmadığı ve bireysel farklılıkların zannedilenin çok ötesinde olduğu yönünde bulgular ortaya çıkmaktadır.

Temel problem kaynağı şudur: Beynimizde milyarlarca nöron var ve bunlar arasında trilyonlarca bağlantılar ve işlemler bulunmaktadır. Bunların büyük çoğunluğu kimyasal sinaps dediğimiz elektriksel sinyallerle çalışmaktadır. Elektronik bir sistemle karşı karşıyayız, ama bağlantılar kimyasal niteliktedir. Bir şekilde bu milyarlarca nöron arasındaki o trilyonlarca bağlantının haritası çıkarılabilse beynin nasıl çalıştığı anlaşılabilir ama o haritalamada ciddi sıkıntılarla karşı karşıyayız.

En kaba tanımıyla, binlerce nörondan gelen sinyaller aynı nöron üzerinde birleşiyor veya bir nörondan çıkan binlerce, onbinlerce bağlantının farklı nöronlara sinyal aktarması gibi durumlar söz konusu olmaktadır.

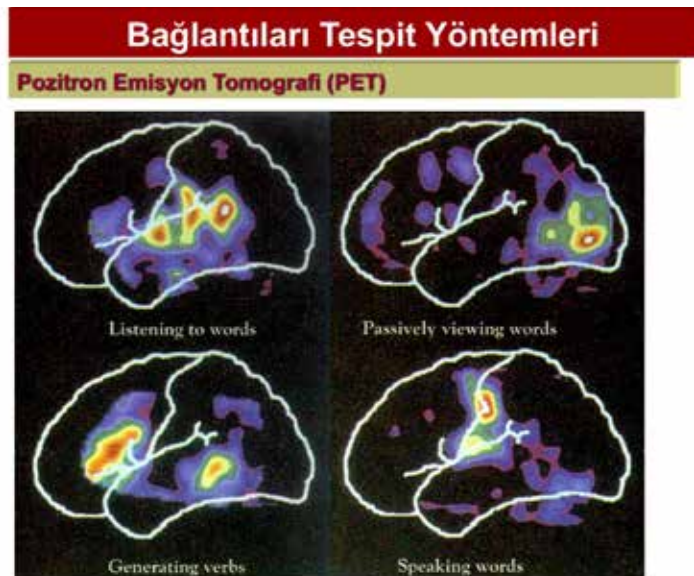
1870’li yıllarda Jackson, beyinde non-specific bölgelerin varlığının bulunduğu yönünde birtakım hipotezler ortaya atmıştır. 150 yıllık bir geçmişe olan bir kavramla karşı karşıyayız ve o günden beri artık beyinde, farklı bölgeler arasında iletişim ve belki daha da önemlisi, etkileşimler olduğu yönünde düşüncelere sahibiz. Aynı duyunun iki taraflı organları arasında, sağ ve sol kulak arasında bilgi etkileşimleri, hafızayla ilgili etkileşimler, otonomik etkileşimler, farklı duyarlar, yani görme ve işitme arasında etkileşimler, motor etkileşimler, uyanıklığımızı sağlayan etkileşimler ve benzeri farklı etkileşimleri artık ifade edebilmekteyiz. Beyni anlama sürecinde geline nokta budur. Yani

hafıza tek başına çok anlamlı değil, görme duyusu kendi başına çok anlamlı değil. Onlar konusunda bir miktar yol aldık; ama beyni anlamak istiyorsak, aradaki etkileşim ve iletişimlerini ortaya koymak zorundayız.

Beynin çalışma prensiplerini açığa çıkarma, beyinle ilgili birtakım hastalıkların tedavi edilmesi, bu tedavilerin takip edilmesi sürecinde hekimler çalışıyor, fizikçiler çalışıyor, kimyacılar çalışıyor, biyomedikal mühendisleri çalışıyor, biyologlar çalışıyor, genetikçiler çalışıyor, herkes işin bir tarafından tutma aşamasında. İlerleyen yıllarda daha güzel gelişmelerle de karşı karşıya kalınacağı aşikârdır. Ama bütün bunların hepsinin ortak bir noktası var; hekimlerin ilk duydukları, ilk öğrendikleri Latince cümle, "primum non nocere". Hipokrat'ın söylediği yönündeki yaygın kanaati ifade etmeliyim. "Önce zarar verme!" Yani biz beyinle ilgili çalışmalar yapacağız, beyinle ilgili birtakım bulgular ortaya çıkarmaya çalışacağız; ama bu sırada da zarar vermemeye özen göstereceğiz. Belki biyomedikal mühendislerinin bu konuda yapacağı çalışmalarda en önemli misyonlarının bu olması gerektiğini düşünüyorum, yani zarar vermeden birtakım şeyler ortaya koymak. Bu bağlamda, röntgenin dünya bilimine katkısını yadsıyamayız ama x ışınlarının kanserojen etkisini ve zararlı etkilerini de artık çok iyi biliyoruz.

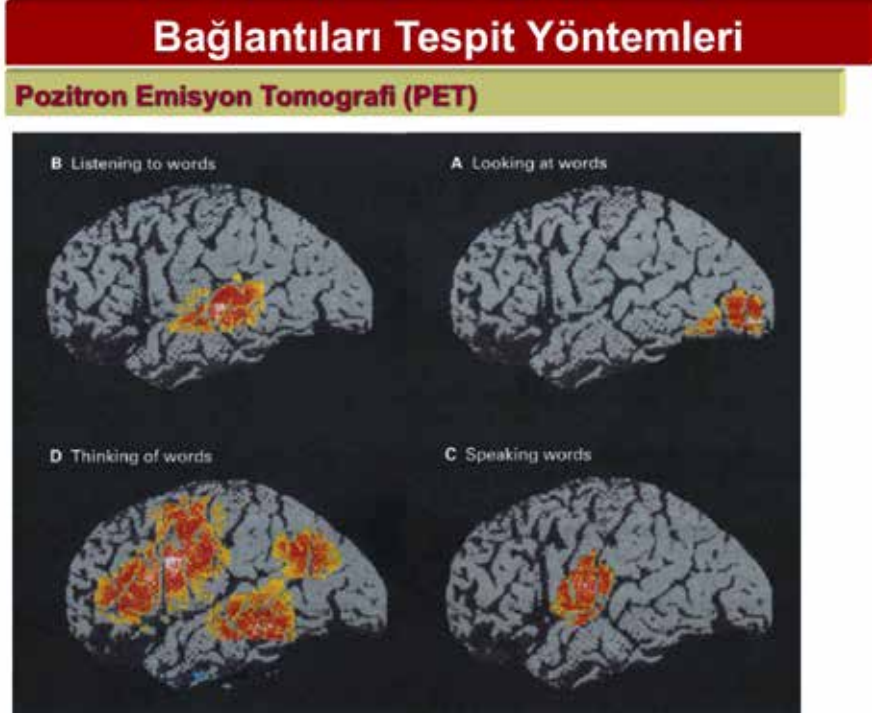


Beyin içerisindeki etkileşim ve bağlantıların tespit yöntemleri: Bunlardan birisi, in vitro bir yöntem olan nöral işaretlemeler, dışarıya alınmış dokuların boyanması ve onların bağlantılarının tespitiyle ilgili kullanılan sistem. Günümüzde sahip olduğumuz bilgiler bağlamında, bu kavrama çok şey borçluyuz. Günümüzün en güncel çalışma alanlarından bir tanesi. Geliştirenlere şükran duymak gerekir.



Pozitron emisyon tomografi, morfolojik bilgiyle fonksiyonel bilgiyi üst üste bindirebilme bakımından oldukça başarılı sonuçlar veren bir yöntem.

Nobel Ödüllü Eric Kandel'in editörü olduğu "The Principles of Neural Science" isimli kitabın sondan bir önceki baskısında yer alan dört fotoğraf, dört farklı işlev sırasına (göre) beynin pozitron emisyon tomografi görüntülerini göstermektedir. Aynı kitabın son baskısında, bu resimlerde bir değişikliğe gitmiştir ve bu da biyomedikal mühendislik alanındaki gelişmelerin güzel bir örneğini sergilemektedir: çözünürlük belirgin olarak artırılmış. Yani yıllar içerisinde, bir önceki baskıdaki fotoğraflarla bir sonraki baskıdaki aynı chapter'daki aynı fotoğrafların gelişimi ilginçtir.



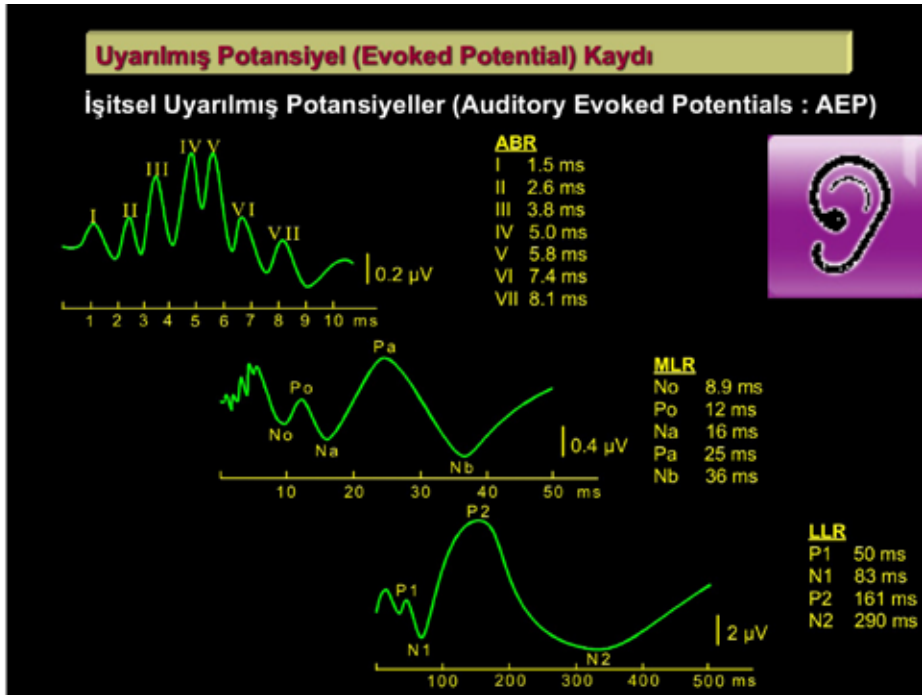
Bağlantıların tespit yöntemlerinde MR'a oldukça yakın bir yöntem olarak kabul edilebilen bir diğer yöntem ise BOLD yöntemidir. Burada mantık şudur: Morfoloji, beyinde çok bir anlam ifade etmiyor. Bir yerde bir kanama varsa, bir tümör varsa, ciddi bir şey varsa, damar tıkanıklığı vb. bir durum varsa, onu kaldırmak için belki beyin cerrahlarına yol gösterebiliyor; ama beyinle ilgili hastalıklarımızda, sahip olunan hastalıklarda morfolojik bilgiler, MR görüntüsü, sintigrafi görüntüsü gibi yöntemlerin verdiği bilgiler oldukça sınırlıdır. Onun ötesinde, fonksiyonel bilgiye ihtiyacımız var. Fonksiyonel MR veya PET gibi yöntemler bu bağlamda bir adım öteye gidiyor ve morfolojik bilginin ötesinde, fonksiyonel bilgiler de içeriyor.



Traktografi yine MR'ın bir yöntemi. Bilgisayar destekli olarak renklendirilmesiyle ilgili olarak son yıllarda çok güzel sonuçlar ortaya çıkartmaya başladı.

Bugünkü bilimsel bilgilerimiz bağlamında çok şey borçlu olduğumuz bir başka kavram, tek hücre kayıt teknikleri ve elektrofizyolojik yöntemler. Bunlar da beyin içerisindeki bağlantıların ortaya çıkartılmasında, yıllar içerisinde çok değerli sonuçlar ortaya çıkartmış yöntemlerdir.

Uyarılmış potansiyel: Dışarıdan verilen yapay bir uyarı (bilinçli, fiziksel özellikleri bilinen) bütün uyaranlar gibi belirli yollardan geçiyor, talamustan geçiyor, beyinde ilgili yere gidiyor ve beyin spontan elektrofizyolojik aktivitesinin üzerinde birtakım değişikliklere neden oluyor. Bu değişiklikler, uyarılmış potansiyel veya uyarılma potansiyelleri, İngilizcedeki adıyla “Evoked potentials” gibi isimler alıyor. Bu potansiyeller, doğrudan fonksiyonel bilgi içermektedirler. Kulağa verilen bir tık sesi bile beyinde zincirleme birtakım reaksiyonlara neden olmaktadır. İlk 10 milisaniye içerisinde işitsel beyin sapı yanıtları, 10-50 milisaniyede orta 0,3 μV yanıtlar ve daha geç olan 2 μV lık yanıtlar çıkıyor.



Duymamaktan şikâyetçi bir hastanın, MR, tomografi gibi morfolojik bilgi içeren yöntemlerle elde edilen verilerinde anormallik yoksa “psikolojik mi” sorusu gündeme gelebilir. Bu hastada elektrofizyolojik kayıt yapıldığında, uyarılmış potansiyel kaydı gerçekleştirildiğinde, işitsel beyin sapı yanıtlarında bir anormallik varsa fonksiyonel bir problem söz konusudur. Belli ki, beyin içerisinde bir problem var. Ondan sonra artık, bunun tedavisi mümkün müdür, değil midir, bu araştırılıyor.

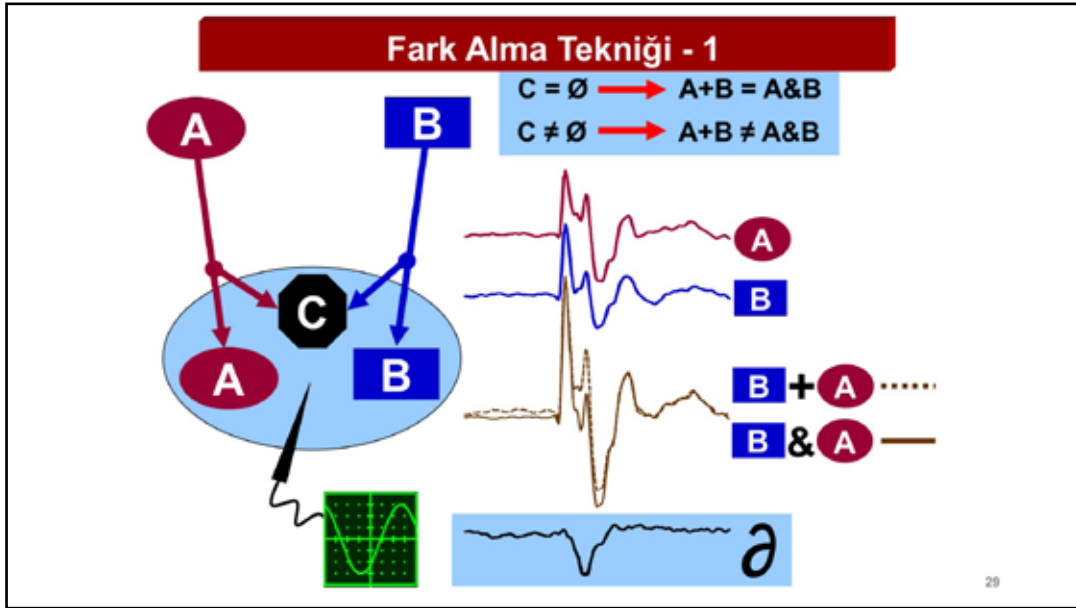
Görsel uyarılmış potansiyeller ise, göze bir görsel uyarı veriliyor, cevaben beyinde potansiyeller kaydediliyor. Vücudun herhangi bir yerine, kola veya bacağına bir elektriksel uyarı veriliyor ve cevabi reaksiyonlar “Beyinde somatosensoriyel uyarılmış potansiyel” adıyla kaydediliyor.

Uyarılmış potansiyel kavramı kapsamında, bir uyaran ile bir duyuya spesifik bir resepsörü uyarıyoruz ve beyinde cevabını kaydediyoruz. Doğrudan uyarmamız mümkün olmayan bir bağlantı potansiyelini tespit etmemiz gerekirse, işte orada matematikten yararlanıyoruz veya mühendislik bilimlerin özellikle ön plana çıktığı bir durumla karşı karşıyayız. Doğrudan uyarılması mümkün olmayan bir hücre grubunu uyarmak için fark tekniğinden yararlanıyoruz.

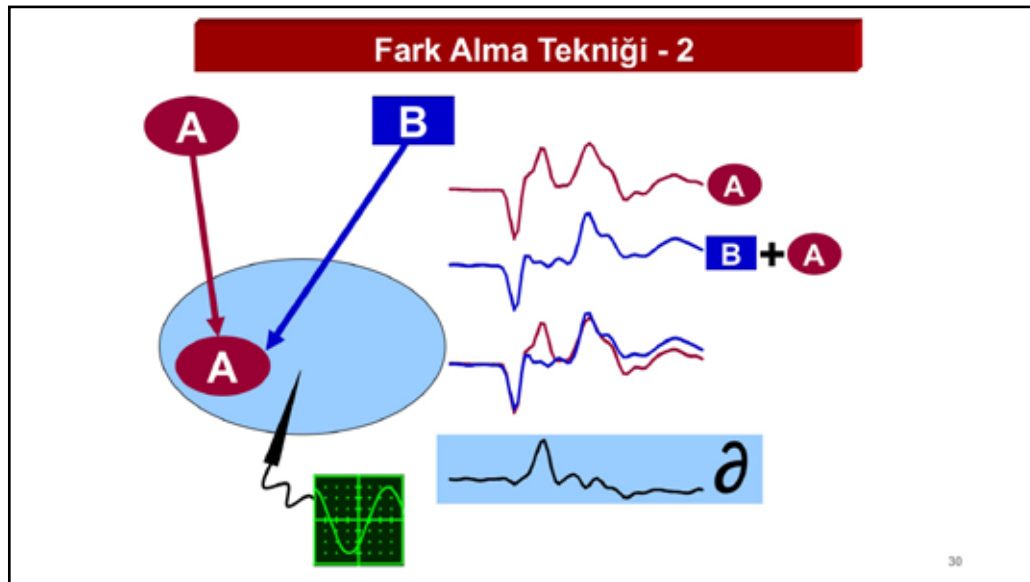
Fark Alma Tekniği-1

Beyindeki bir bölgeye bir elektrot yerleştirildiğinde, buradaki elektriksel dalgalanmaları kaydetmek mümkün hale gelecektir. Verilen bir A uyarısının bir beyin bölgesini uyardığını ve orada bir reaksiyona neden olduğunu farz edelim. B uyarısı da aynı şekilde bir başka B bölgesini uyaracaktır. Tahmin edilebileceği gibi, A uyarısı verildiğinde oluşturacağı cevap potansiyeliyle B uyarısı verildiğinde elde

edilecek cevap potansiyeli aritmetik olarak toplandığında elde edilecek toplam potansiyel, her iki uyarı eşzamanlı verildiğinde elde edilecek toplam potansiyele eşit olacaktır. Uyarıların cevaplarının aritmetik toplamı, eşzamanlı verilmesi halinde oluşacak cevaba eşit olmasının bir önkoşulu vardır. Her iki taraftan (A ve B) birden girdi alan bir C bölgesi varsa, o şartlar altında bu eşitlik olmayacaktır.



Bizim çalışmalarımızda elde ettiğimiz potansiyellerden bir örnek vermek gerekirse; Sol göze bir uyarı verdik ve bir potansiyel elde ettik. Sağ göze bir uyarı verdik ve başka bir potansiyel kaydettik. Kaydettiğimiz bu iki potansiyelin aritmetik toplamı, $B + A$ olsun. Aynı uyarıların eşzamanlı olarak verdiğimizde elde ettiğimiz potansiyel ise $A \& B$. Aralarındaki fark potansiyeli, doğrudan uyarılması mümkün olmayan, biraz önce bahsi geçmiş olan C bölgesinin oluşturduğu potansiyeli temsil etmektedir. Bu, günümüzde artık elektrofizyolojik olarak tek başına uyarılması mümkün olmayan bir merkezin etkisi olarak veya cevabi reaksiyonu olarak kullanageldiğimiz bir yöntem haline geldi.

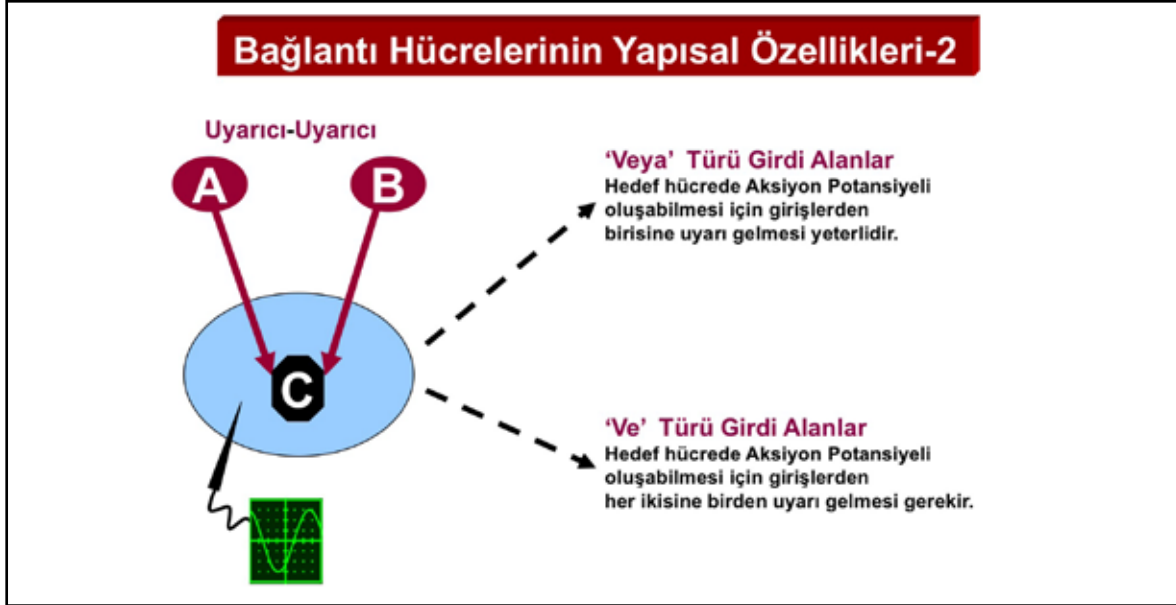


Fark Alma Tekniği-2

Bir önceki tekniğe benzer şekilde, elektrot yerleştirilmiş olan potansiyel kayıt edilebilir bir beyin bölgesi olsun. A uyarısı yine o beyin bölgesini uyarmaktadır. B uyarısı bu kez doğrudan bunun üzerinde bu kez değiştirici bir etkiye sahiptir, Yani aralarında bir etkileşim söz konusudur. Burada şöyle bir durumla karşı karşıyayız: Tek başına A uyarısı verildiğinde bir potansiyel kaydediliyor, ancak

A ve B uyarılarını eşzamanlı verildiğinde ise farklı bir potansiyel kayıt edilmektedir. Bu örnekte B uyarı bir dalgayı oluşturan sistemi inhibe etmiş durumdadır. Bu örnekteki fark potansiyeli bu kez B uyarısının A bölgesi düzlemindeki etkisini sembolize etmektedir ve tek başına ortaya konulması mümkün olmayan, ancak birtakım işlemlerle elde edilebilecek bir aktiviteyi göstermektedir.

Farklı sistemlerin aynı hedef bölge üzerindeki etkileri, uyarıcı-uyarıcı, uyarıcı-baskılayıcı veya baskılayıcı-baskılayıcı tarzında olabilmektedir. Bunun farklı örnekleri söz konusudur. Özellikle uyarıcı-uyarıcı türden etkilere değinmekte yarar bulunmaktadır. Bunlar da matematiksel anlamda veya dijital elektronikten aşına olduğumuz kavramlara çok benzer örnekler gösterebiliyor.



Ayrıca beyinde karşılaştığımız ilginç dinamik özellikler de mevcuttur. A ve B uyarılarının her ikisi de C bölgesinin üzerinde etkilerini birleştiriyor olsunlar ve ‘Ve’ tipi bir bağlantı söz konusu olsun. Bu örnekte, A uyarısından tek başına gelen uyarı C’de etkiler meydana getiriyor olsa da aksiyon potansiyeli meydana getirecek düzeyde değildir. B de aynı şekilde, tek başına geldiği zaman, bir miktar depolarizasyon meydana getiriyor, ama aksiyon potansiyeli meydana getirmeye yetmiyor. Birlikte geldiklerinde yani her ikisi birden eşzamanlı olarak geldiklerinde, bu kez ortaklaşa etkileri C merkezinin aksiyon potansiyeli meydana getirmesine imkân sağlamaktadır. Yani aralarında bir yersel beraberlik söz konusudur.

Beyinde rastladığımız bir diğer dinamik özellik ise zamansal beraberliktir; Bu durum, önden gelen bir uyarının oluşturduğu depolarizasyon üzerine, biraz gecikmeli olarak bir diğerinin etkilenmesi şeklinde tanımlanabilmektedir.

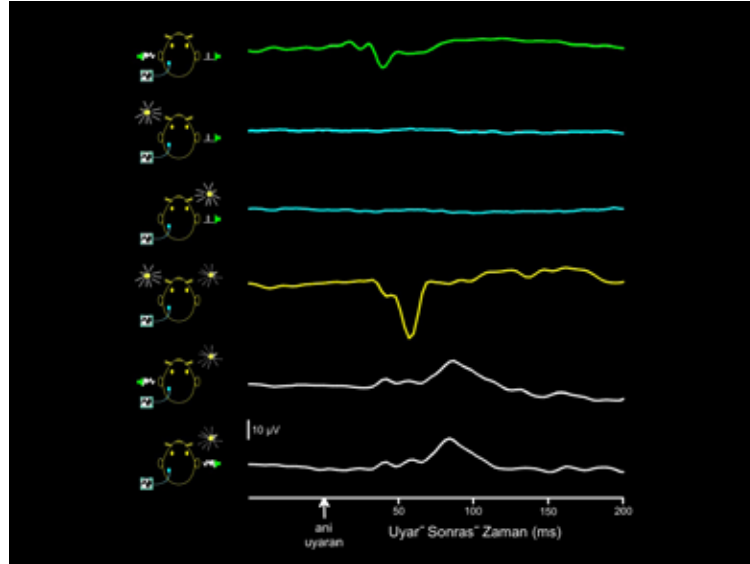
Literatürden örnekler:

2000 yılında Foxy ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği bir çalışma bu konudaki kilometre taşlarından bir tanesini oluşturmaktadır. Bu çalışmada işitsel ve somatosensoriyel uyarıların birbirlerine üzerinde etkili olduğu, birbirlerinin etkisini değiştirdikleri ortaya kondu ve böylece elektrofizyolojik literatürde önemli bir çalışma halini aldı. Aynı ekip, 2002 yılında, bu kez işitsel ve görsel uyarıların etkilerinin birbirleri üzerinde değiştirici etkiye sahip olduklarını ortaya koydu.

Bizim çalışmalarımızdan birisi, Doç. Dr. Serdar Demirtaş’ın doktora teziydi. Bu çalışmada kobaylarda, işitsel ve görsel sistemler arasındaki etkileşimleri inceledik ve onun sonrasında şunu gördük: İşitsel sistemden görsel sisteme doğru ve oldukça karmaşık dinamik özellikler gösteren bir etkileşim söz konusu. Bu etkileşimin neredeyse bütün memelilerde olduğu yönünde bir kanaate sahibiz.

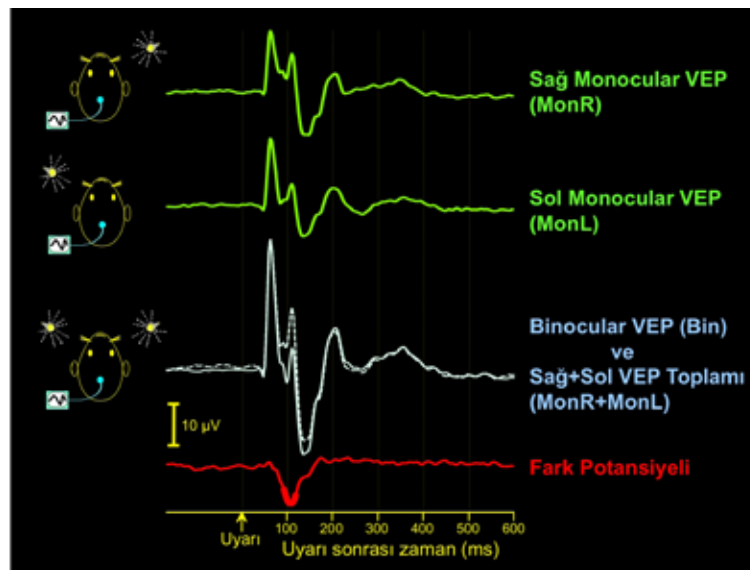
Bir diğer çalışmamız da, kobayın işitsel beyin sapı yanıtlarında, sağ ve sol kulaklardan gelen akustik uyarılar arasındaki zamanlama farkının dinamik etkilerini inceledik.

Bir sonraki çalışmamız, benim bilimsel geçmişimde önemli yer tutan bir çalışmadır. Literatürde uzun yıllardır bilinen bir gerçek; bir kulağa verilen ses, karşı kulağa verilen gürültü tarafından etkileniyor ve bir etkileşim ortaya çıkıyor. Bu çalışmamızda, “Bir kulağa verilen sesin karşısındaki göze verilen bir ışık bir şey etkiliyor mu?” diye sorduk ama bir etkileşim elde edemedik. “Aynı taraftaki göze verilen ışık bir şey etkiliyor mu?” diye sorduğumuzda da bir fark potansiyeli elde edemedik. Böyle bir etkileşim bulunmamaktadır; yani ışık, sesin cevabını etkilememektedir. “Işık ışığı etkiliyor mu?” diye sorduğumuzda ise iki göz arasında belirgin bir etkileşim tespit ettik. Son olarak da “Ses, ışığın cevabını etkiliyor mu?” diye sorduğumuzda da belirgin bir etkileşim olduğunu gördük. Yani tek yönlü bir etkileşim bulunmaktadır. Gözden kulağa değil; ama kulaktan göze doğru çok etkin bir etkileşim vardır.



Bir diğer çalışmamız ise, kobayda daha önce tespit ettiğimiz etkileşimin dinamik özelliklerini incelemeye yönelikti. Bekleyen bir potansiyelin varlığında, yaklaşık 150 milisaniyelik bir gecikmeden sonra gelen bir potansiyelin belirgin bir etkileşim doğurduğunu ortaya koyduk. Burada sadece etkileşim değil, onun yanı sıra bir takım dinamik özellikleri de incelemeye çalıştık.

Bir diğer çalışmada, sağ ve sol gözler arasındaki etkileşimleri inceledik. Sağ ve sol gözler arasındaki etkileşimler arasında da, sağ ve sol gözden kaynaklanan potansiyeller arasında da çok belirgin bir etkileşim tespit ettik.



Bir başka doktora tezi kapsamında da, beynin plastik süreçleriyle ilgili bir çalışma gerçekleştirdik. 30 gün süreyle mutlak karanlıkta bıraktığımız kobaylarda, görsel potansiyellerinde kalıcı bir değişiklik tespit edemedik, ama işitsel potansiyellerinde, bu karanlıkta kalmaya bağlı olarak kalıcı değişiklikler

tespit ettik. Yani karanlık, görme sisteminde bir güçlenmeye, bir değişikliğe, bir modülasyona neden olmuyor; ama çok uzun yıllardır bilinen, “Görmeyenlerin parmak uçları daha hassastır” şeklindeki alışlagelmiş bilgileri netleştirecek cinsten işitsel uyarılmış potansiyellerinde çok net ve kalıcı değişiklikler ortaya çıktığını tespit ettik.

Prof. Dr. Aydın Akan- Teşekkür ederiz hocam.

Sayın Barış Baslo; buyurun.

Motor Ünite Potansiyeline Farklı Bir Bakış: Taramalı EMG

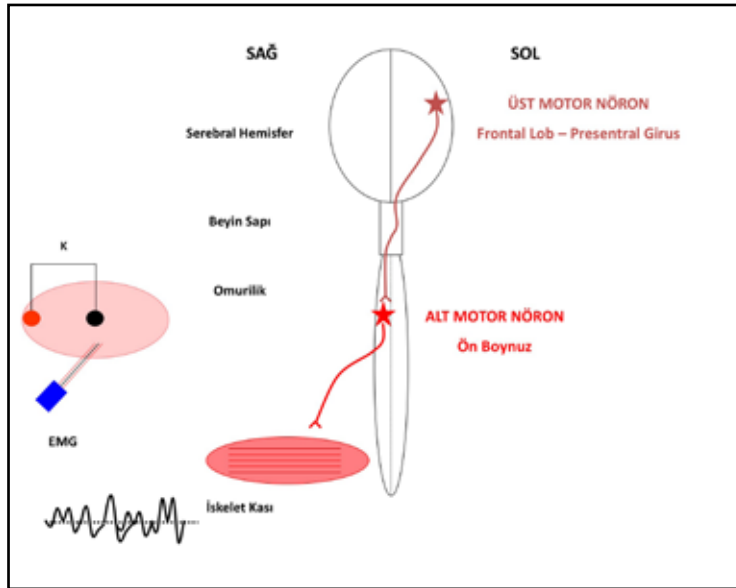
Prof. Dr. Barış Baslo- (İstanbul Üniversitesi)- Herkese merhabalar.

Ben, İstanbul (Üniversitesi) Tıp Fakültesinde görevli bir hekimim. Dolayısıyla çalışma alanım fazlaca hastalar üzerinde oluyor ve birtakım hastalıkların tanısı ya da tedavisinin belirlenmesi; eğer tedavi ediyorsak, bu tedavinin de etkinliğinin izlenmesi gibi uğraşı alanlarım var. Uzun zamandır elektrofizyolojiyle ilgiliyim, çalışma alanım “klinik elektrofizyoloji”, yani daha çok hasta temelli kayıtlamalar. Bu elektrofizyolojik kayıtlamalar sırasında, yine belirtmeliyim ki, birçok mühendis arkadaşımızla da çalışma imkânım oldu. Bu mühendis arkadaşların büyük bir kısmı yüksek lisans ya da doktora tezlerini bizimle yaptılar ve çoğu da sinyal işleme üzerindiydi. Günümüzde de yine yeni bir mühendis ekibimizle beraber sinyal işleme üzerine birtakım çalışmaları sürdürmekteyiz.

Bugünkü sunumda benim amaçladığım şey, uğraştığım alana dair ki, bu sinyal işleme ile ilgili temeli teşkil eden biyoelektriksel faaliyet hakkında sizin merakınızı uyandırmak ve belki de bu alana sizi davet etmek. Eğer fakültemize, kliniğimize gelerseniz, gerçekten çok memnun olurum. Elektrofizyolojik kayıtlamalar; bunları hastadan alıp değerlendirmek, yorumlamak, yazılım ve donanım geliştirmeye bağlı şeyler. Benim başlıca amacım sizin ilginizi çekmek olacak.

Bahsedeceğim elektriksel faaliyet beynin elektriksel faaliyeti değil. Bundan önceki konuşmalarda onu dinledik. Benimki daha elemanter bir şey olacak. Yani ben, iskelet kaslarının, istemli kası yapan, kasılıp da boyunu kısaltan, bu şekilde kuvvet üreten esnek dokuların elektriksel faaliyetini size anlatacağım.

Bu nedenle sizlere ilk olarak iskelet kaslarını oluşturan fonksiyonel birimleri tanıtmak istiyorum.



İstemli hareket, istemli kasılma dediğimizde, bu, insanların hareketi sağlayacak beyin bölgesindeki bir aktivasyonla başlıyor, ardından omuriliğe iletiliyor bu hareket emri, omurilikte yerleşmiş olan sinir hücreleri bu emri alıp, kol ve bacaklar boyunca seyreden elektrik kablolarına benzetebileceğimiz sinir lifleriyle, hareketi gerçekleştirecek kasa, iskelet kasına iletiyorlar. İskelet kasları bu elektrik emrini aldığında kasılıp kuvvet üretiyor ve biz, işte bu kaslar üzerinde oluşmuş olan elektriksel

aktiviteyi kaydediyoruz; yani kasın kuvvetini değil, kasılmayı tetikleyecek elektriği kaydediyoruz. Bu elektrikle o kasın ürettiği kuvvet arasında da her zaman birebir ilişki, kolay çözebileceğiniz bir ilişki ne yazık ki yok.

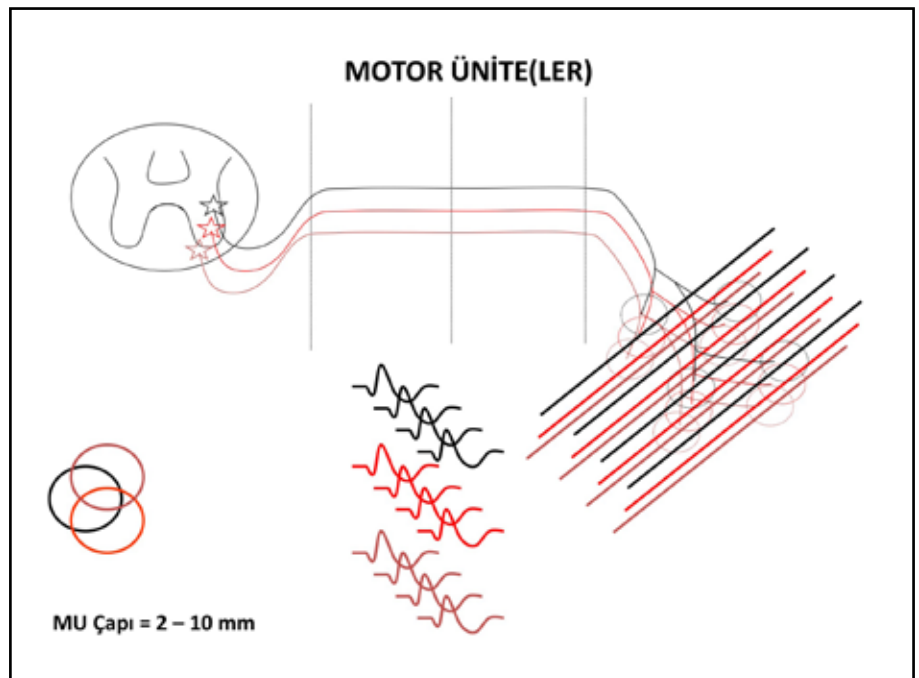
Kasın elektriğini kaydetmenin yollarından en geçerli olanı, kasılma sırasında o kasın içerisine iğne batırmaktan geçiyor ki buna “iğne elektromiyografisi” diyoruz. Oysa görece invaziv bir yöntem bu. Son 10-15 yılda kasın elektriğini yüzeysel elektrotlarla kaydedecek, ağrısız sızısız yeni yöntemler de geliştirildi ki, bu, bence çalışılması gereken bir alan, sinyal işleme için kas biyoelektriksel aktivitesinin de çok kolay elde edilebileceği bir alan.

Bu şekilde kasılıp da kuvvet üreten iskelet kasları içerisinde birtakım üniteler, birimler var; biz buna “Motor ünite” adını veriyoruz. Motor ünite, insanoğlunun hareketine dair son ortak yolu oluşturuyor. Çünkü insanın üç farklı çeşit hareketi var; ya refleks hareket sergiliyorsunuz, ya ardışık ritmik motor paternler gerçekleştiriyorsunuz (örneğin yürümek, koşmak ve çiğnemek gibi) ya da istemli kalifiye hareketlerde bulunuyorsunuz: yazı yazmak, konuşmak, bir müzik aleti çalmak gibi. Bunların hepsinde hareketi gerçekleştiren son ortak yol motor ünite oluyor. Motor ünite bir işlevsel birim, çünkü farklı yapısal birimlerden müteşekkil. Bünyesi içerisinde omurilikteki sinir hücresinin kendisi var, bildiğiniz bir hücre. O hücrenin elektriksel kablosu diyebileceğimiz aksonu var ve hareket emri götürdüğü kas lifleri var. Bu üç alt yapının toplamı “motor ünite” olarak biliniyor.

Motor üniteye ait olan kas lifleri, kas içerisinde birbiri arasına geçmiş, dizilmiş şekilde bulunuyorlar; yani “Bir motor üniteye ait olan kas lifleri paketlenip bir yerde dursun, yanında diğer üniteler” gibi değil. Bu şekilde bir dizilim, sanki farklı takımları tutan taraftarların bir salonda karışık oturmasına benziyor; yani Fenerbahçeliler bir yerde, Beşiktaşlılar bir yerde, diğer takımlara mensup insanlar başka yerde gibi değil; yan yana duran 3-5 tane insanın farklı takımı tuttuğunu biliyorsunuz. Burada da öyle, yani yanyana duran kas lifleri farklı motor ünitelere aittir. Dolayısıyla siz, bu motor ünitelerin elektriğini kasılma sırasında iğne batırıp kaydetmek istediğinizde, gayet rastgele, zaman içerisinde değişen sinyallerle muhatap oluyorsunuz. Bunun bir de ister istemez uzamsal boyutu var. Bugün bahsedeceğim konu biraz bu.

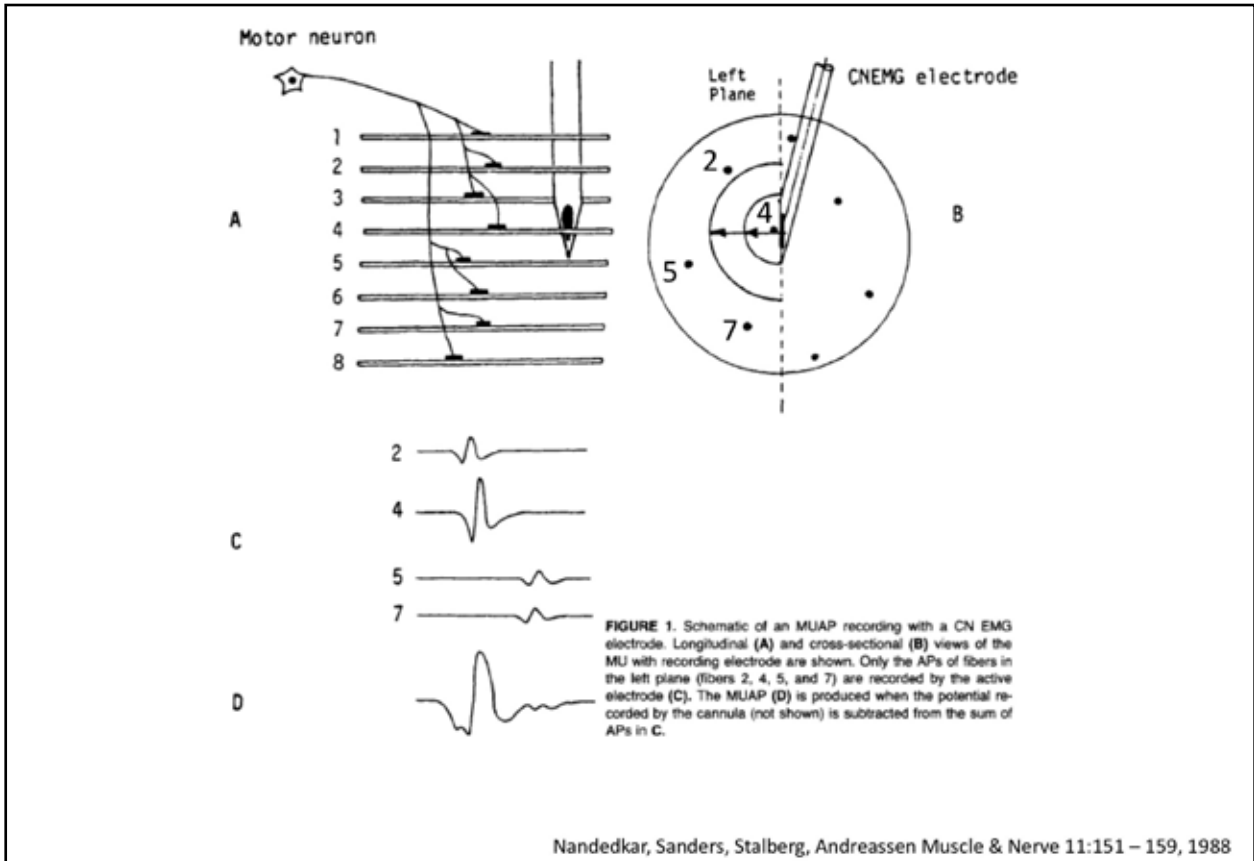
Motor ünitelerin, daha doğrusu motor üniteye ait olan kas liflerinin kas içerisinde kapladığı hacmi bir kesit olarak düşünürseniz, çap olarak baktığımızda, 2-10 milimetre kadar, yani bir santimden daha dar bir alan içerisinde bulunuyor bu kas lifleri. Genellikle de 4-6 milim çapında, yani yaklaşık yarım santim çapındalar. Siz, kası istemli olarak kasılmaya sevk ettiğinizde, bu kas lifleri üzerinde, her birisi üzerinde depolarizasyonlar oluşuyor. Kas lifleri de aslında tabii ki birer hücre.

Dolayısıyla istirahat halinde bir membran potansiyel farkı barındırıyorlar; sanki bir kapasitör gibi. Kasılma tetikleyecek olan faaliyet ise, bu membran potansiyelinin kutuplarının değişimi. İşte bu kutupların değişimini zamana göre yazdığınızda, karşınıza 3 fazlı aksiyon potansiyelleri çıkıyor yakın alan kayıtlamasında. Örneğin, siyaha ait olan kas liflerinin elektriksel faaliyeti. Her birisi kırmızı ve kahverengi olan gösterilmiş.



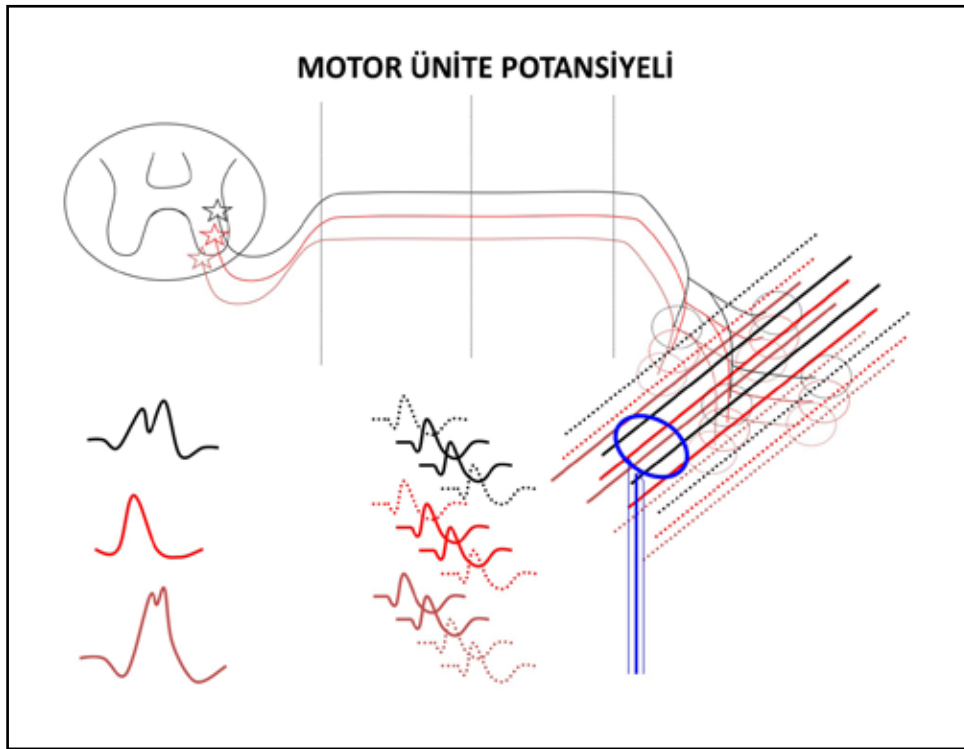
Bu elektriksel faaliyeti kaydederek, ölçülebilir özneliliklerine baktığımızda, o kası güçsüz bıraktıracabilecek bir hastalığın, kas hastalığı mıdır, sinir mi zedelenmiştir, tanısını koymak mümkün olmaktadır.

Tabii ki, kas içerisinde bulunan motor ünitelerin sayısı, motor ünite başına düşen kas liflerinin sayısı, o motor ünitelerinin kasılma-gevşeme özellikleri, üretecekleri kuvvetler, yorgunluğa direnç, enerji üretme mekanizması gibi türlü faktörlere bağlı olarak değişik kombinasyonlar söz konusu. Örneğin, göz kürelerini hareket ettiren kaslarda, bir motor ünite başına düşen kas lifi sayısı çok daha az; yani o motor üniteler kasıldığında çok az kuvvet üretiliyorlar, fakat motor ünite sayısı fazla. Öyle olduğunda, siz hareketi çok daha ince ölçeklendirebiliyorsunuz. Ama bazı kaslarda motor ünite başına düşen kas lifi sayısı fazla, bu motor ünitelerin ürettiği kuvvet çok; ama bu kasların da motor ünite sayısı az, onlar daha kaba, daha uzun süreli hareketler yapabiliyorlar. Mesela, bizim ayakta dururken postürümüzü koruyan kaba, büyük hacimli kaslar gibi.



Bu elektriksel faaliyeti nasıl kaydettiğimizi size anlatmak istiyorum. Kasın içerisine bir anten görevi görecektir iğne elektrotu batırıyoruz. Bu iğne elektrotun çeşitli tipleri var. Bizim pratikte kullandığımız konsantrik iğne elektrot. Bu iğne elektrot kas içerisine battığında, görüş alanı içerisinde kalan kas lifleri üzerinde oluşmuş aksiyon potansiyellerinin zamana ve mekâna göre sumasyonunu yani toplamını kaydediyor; fakat o kas içerisindeki bütün motor ünitelerin ürettiği elektriğin hepsini kaydetmiyor, bazılarınınkini kaydediyor. O motor ünitelere ait olan kas liflerinin de hepsinin elektriğini kaydetmiyor, yakınında olanları kaydediyor.

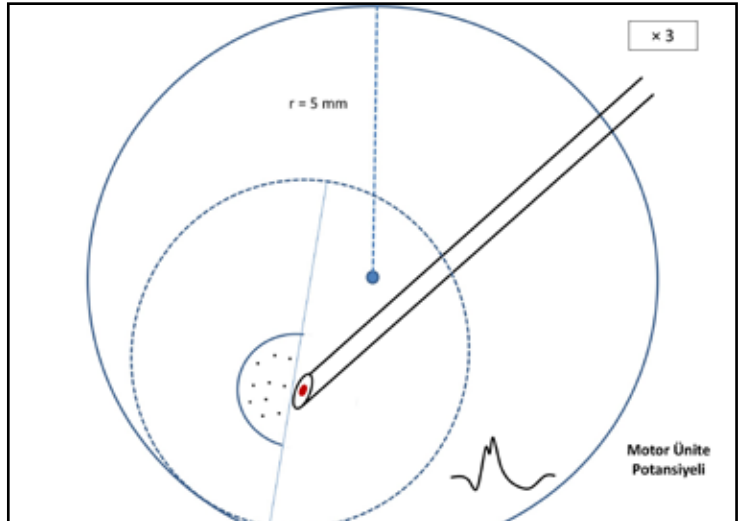
Aşağıdaki örnekte, iğnenin yerleştiği konum itibarıyla iki kırmızı kas lifi üzerindeki aksiyon potansiyellerinin toplamı bir sumasyon, siyah ya da diğeri için de yine farklı şekillerde çizilmiş olarak görünür. Bunların her birisine motor ünite potansiyeli diyoruz. Ama takdir edersiniz ki, iğneyi kasın içerisinde farklı yöne sevk ettiğinizde, aynı motor ünitenin elektriksel faaliyetini farklı şekillerde kaydediyorsunuz; çünkü iğnenin kayıt yaptığı saha içerisine giren liflerin sayısı ve bir anlamda bunların ürettiği aksiyon potansiyellerinin sumasyon nitelikleri değişiyor.



Bu sumasyon potansiyellerine, başka bir deyişle “motor ünite potansiyelleri”ne dair ölçtüğümüz parametreler de oldukça basit. Potansiyellerin süresine, genliğine bakıyoruz, temel çizginin iki yanındaki salınım sayılarına yani faz sayılarına bakıyoruz ya da dönüşlerine bakıyoruz. Bunları ölçüp de rakama döktüğümüzde, o kayıtlamayı hangi kastan yaptysak, yaşa göre normal var; o normalin dışına sapıyorsa eğer, bu bir hastalık yönünde farklı şekillenmedir diyoruz, kas hastalığı ya da sinirin zedelendiği durumun tanısını koymuş oluyoruz.

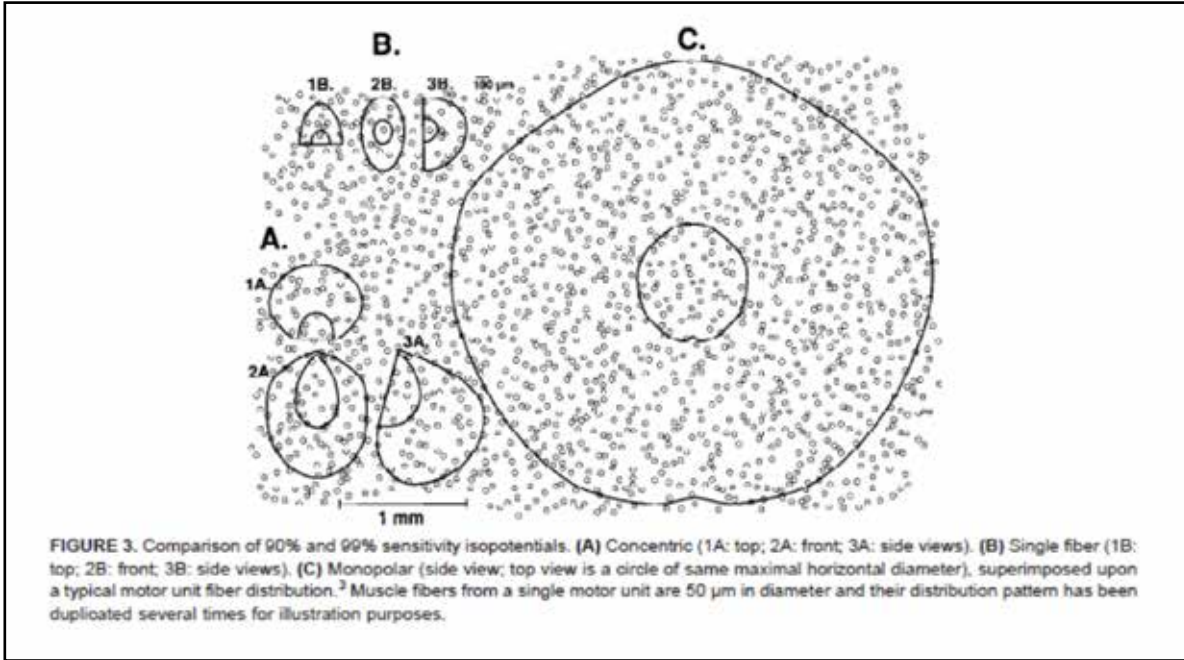
Kayıt için kullandığımız elektrot da konsantrik iğne elektrot. Bunlar artık tek kullanımlık olarak varlar. İki kutbu var tabii ki bir potansiyel farkı kaydettiği için ve iğne şeklinde tasarlanmış.

Şekilde bu iğnenin ve kayıt sahasının yandan kesitini temsilen görüyorsunuz. Aktif kayıt olan katot kutbu bu silindirin içerisinde devam ediyor. Silindirin çeperi anot vazifesi görüyor ve bu katot-anot iğne boyunca birbirinden yalıtılmış durumda. İğnenin ucunda yüzeye eriyor. Böyle bir dar açıyla kesilmiş olduğu için iğnenin ucu, o yuvarlak tel kayıt yüzeyi olarak oval şekil kazanıyor. Katot, içinde bulunduğu yarı küre hacminde etrafındaki anot referans olacak şekilde bir potansiyel farkı kaydediyor. Bu potansiyel farkı da, iğnenin görüş alanı içindeki kas liflerinin aktivitesinin bir toplamı olan “motor ünite potansiyeli”.

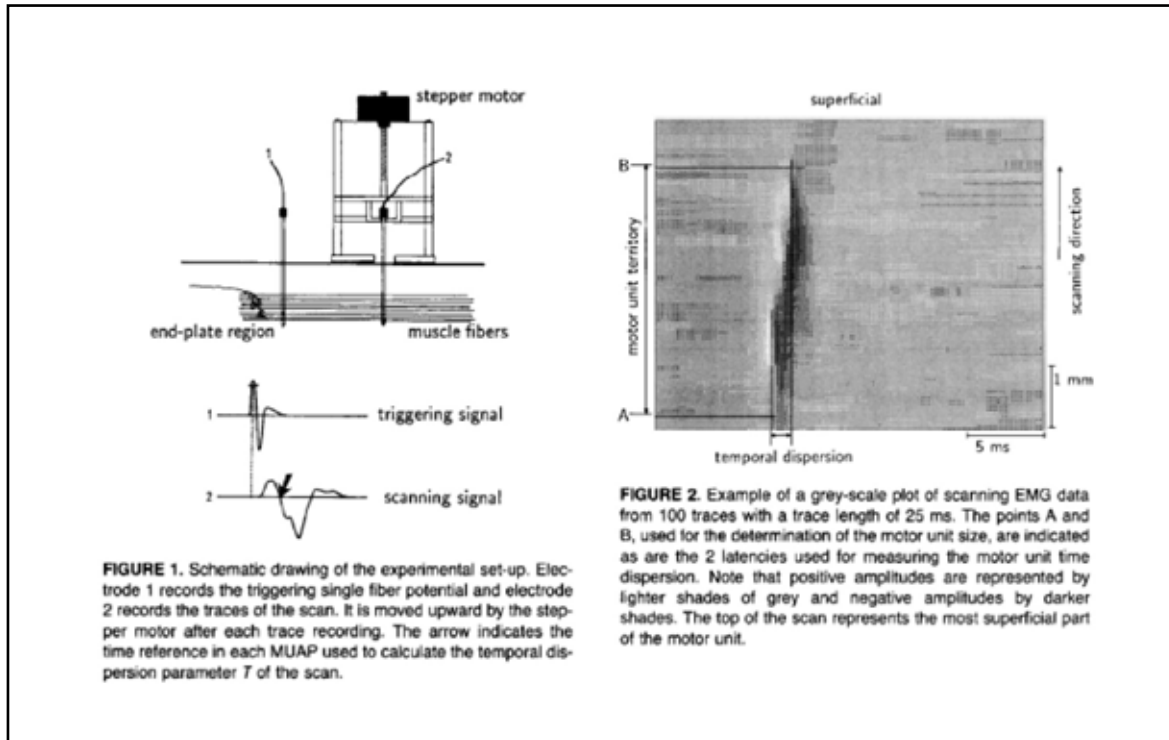


Aşağıda da temsili bir resim var. En dıştaki çember, bir motor üniteye ait kas liflerinin dağıldığı dairenin büyüklüğü. Yaklaşık 1 santim. Bizim iğnemiz ancak ve ancak bunun yarısı kadar bir sahada motor ünite potansiyelinin süresini ölçebiliyor, daha da dar bir alandan da genlik bilgisini kaydedebiliyor. Yani iğnenin yeri değiştikçe, elektriğin ölçtüğünüz öznelilikleri de değişiyor. Buna dair çeşitli simülasyon çalışmaları da 1980’li yıllardan beri yapılmakta. Bu, benim çizdiğim sözde bir tasarım diyeyim. Burada çizilen, kullanmış olduğumuz iğne elektrotlardan en küçüğü. Bu elektrotu burada temsilen çizildiğinden 4 kat daha büyük düşünün. Motor ünite sahası da büyük

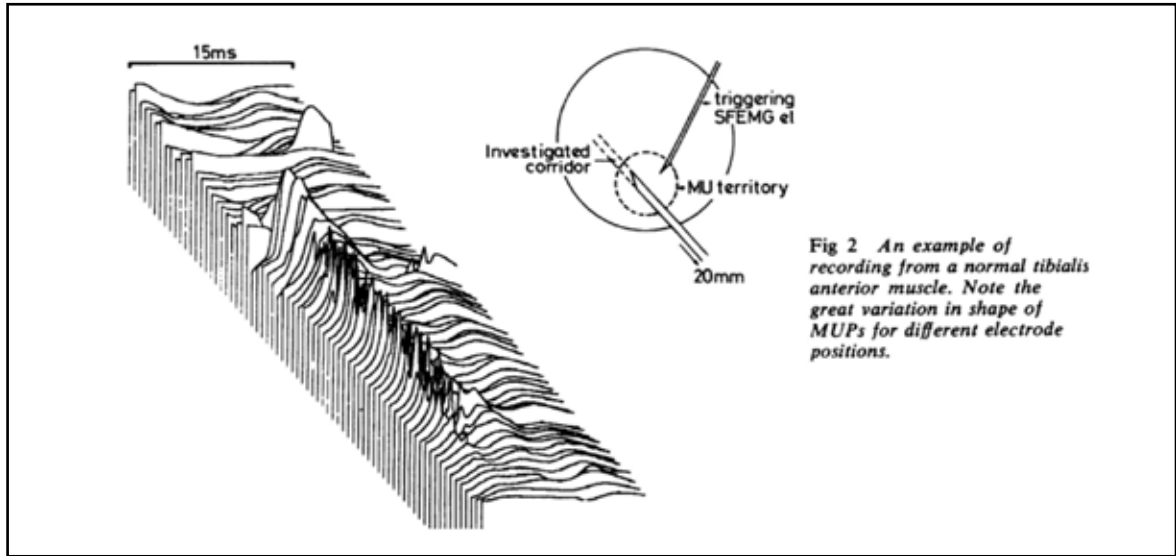
daire olarak gözüksün. Olabilecek en büyük motor ünite 1 santim çapında. Bunun içerisinde benim iğne elektrotumun kaydedebileceği potansiyelin süre bilgisi daha küçük olan daireden geliyor, genlik bilgisi ise en küçük yarı daireden gelmekte. Bu konum için bu iğne, aynı motor ünitenin elektriğini bulunduğu noktada çizildiği gibi kaydediyor.



Eğer iğnenin motor ünite içerisindeki yeri değiştiğinde ölçtüğü öznelilikler de değişiyor ise, biz iğnemizi aynı motor ünite içerisinde -hatta daha iddialı konuşalım- motor ünitenin en derininden en yüzeyine doğru küçük adımlarla geri geri çekip, her bir adımda aynı motor ünitenin aktivitesini kaydederek, karşımıza ne çıkar? Bu varsayım, “taramalı EMG” ya da “scanning EMG” adını vermiş olduğumuz yöntemi doğuruyor.



Şematik olarak gösterilmiş. İğne, derinden yüzeye doğru çekiliyor ve her bir adımda kaydettiği potansiyelin şeklini görüyorsunuz.



Bu türlü çalışmalardan önce, esasında 1950'li yılların ikinci yarısından beri yapılan çok derivasyonlu kayıtları hatırlamak lazım. Burada, iğne kas içerisinde yer değiştirmeden derine batırılıyor, sabit tutuluyor; bu elektrotlar 10, ya da 12 kutuplular. Motor ünitenin aktivitesini sınırlı sahadan kaydediyorlar. Böyle yapıldığında, hastalık modelinde acaba motor ünitenin büyüklüğü ne kadar değişir, onu tahmin etmeye yönelik çalışılmış.

Bu şekil, EMG sinyali üreten bir programdan alınmış. Bu program internette bulunabiliyor. İsveç ekibinin geliştirdiği yazılımdır bu. Eksikleri olmakla beraber, gerçeğe oldukça yakın bir simülasyon programı; fakat kasın, motor ünitenin elektriğini anlamakta, öğrenip öğretmekte işe yarayan bir yazılım.

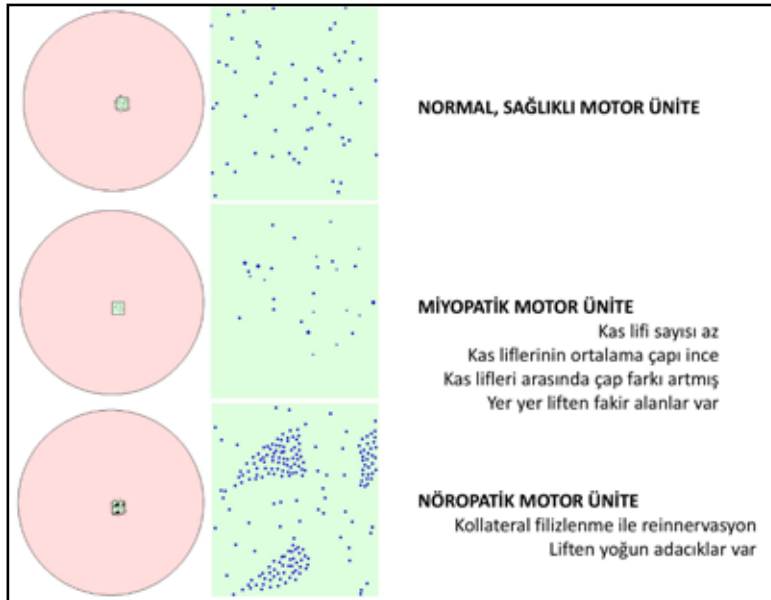
Aşağıda kasın enine kesiti ve uzamına kesiti var, omuzdan dirseğe kadar uzamına seyreden kas liflerinin dağılacığı alan. Buraya bir motor ünite, yani ortak yoğunluğu oluşturacak fonksiyonel birimi yerleştirelim. Bize iki tür öznelik soruyor; motor ünitenin özellikleri neler olsun, kas lifinin özellikleri neler olsun? Standart bir motor ünite kabul edelim. Buna kabul dediğimizde, enine kesitte sanki tuz dökülmüş gibi siyah siyah noktalar şeklinde bu motor üniteye ait olan saha görünüyor. Bunun yarıçapı yaklaşık 2.5 mm gibi.

Uzamına kesitte, nöromusküler kavşağın bulunduğu mavi zonu ve tendonun iki tarafını görüyoruz. Kas liflerinin dağıldığı yeşil saha da karenin büyütülmüş hali. Yani biz bu motor üniteyi kas'a sevk ettiğimizde, bu kaslar üzerinde elektrik oluşacak. Oluşan elektriği de bir iğne elektrot vasıtasıyla kaydetmiş olalım.

Şekilde, iğne elektrodu kasın içerisine nöromusküler kavşağa 1-1.5 santim uzakta olacak şekilde batırdık. Bu şekilde iğne elektrot konumlandırıldığında, görüş alanı içerisinde kalan kas liflerinin ürettiği aksiyon potansiyellerinin son aksiyonunu kaydediyor. Bu aktiviteyi, sesini de dinleyecek şekilde duyabiliriz.

Bu motor ünite, iğnenin verili konumunda, şekilde gösterildiği gibi bir potansiyel sergilemektedir ve alttaki şekilde görüldüğü gibi, kası şiddeti sabit tutulduğu sürece arka arkaya deşarjlar yapmaktadır. Bunun birtakım ölçülebilir öznelikleri var. 5 milisaniye kadar bir süresi var, 1 milivolt kadar da genliği var; ama iğnenin yerini değiştirirsem, potansiyel genliğinden kaybediyor, fakat süre bilgisi pek değişmiyor. Yine iğnenin yerini değiştiriyorum, genlik değişiyor, süre bilgisi pek değişmiyor.

Bu motor ünitenin elektriksel faaliyetini derinden yüzeye doğru tarayalım, yani bir anlamda scan etmiş olalım. Bu durumda 100 ardışık adımda iğneyi kas içerisinden cilt altına doğru çekiyor yazılım ve şekilde o potansiyel sahasını görebiliyoruz. Yani bu, adı geçen motor ünitenin elektriksel aktivitesinin adım adım taranarak ardışık yazdırılmış, çizdirilmiş hali olmaktadır. Taramalı EMG yöntemi için böyle türlü hastalık modellerimiz var. Örneğin, bir motor nöron hastalığı, ALS olsun. Amiyotrofik Lateral Skleroz (ALS) ölümcül bir hastalık, hareket (motor) sinirlerin hayatını kaybettiği

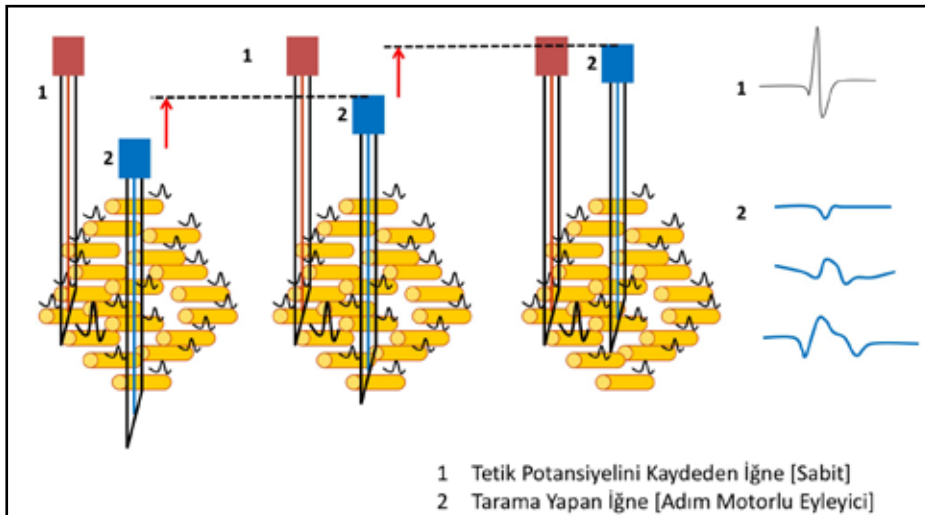


bir hastalık. Bu hastalıkta, iskelet kaslarımız içerisindeki motor ünitelerin elektriksel faaliyeti yeniden şekilleniyor. Kas içerisinde reinnervasyon dediğimiz durum var; yani motor ünite sahası içerisinde kas lifi yoğunluğunun arttığı odaklar beliriyor (nöropatik motor ünite). Böyle bir durumda siz, motor üniteyi scanning EMG'yle taradığınızda -çok daha fazla kas lifi olduğundan, süreç biraz yavaş oluyor- önce bir potansiyel görüyorsunuz, çünkü anottan kaydediliyor. Sonra tarama sahası içerisine kas lifleri girdiğinde yukarı defleksiyon beliriyor. İğnenin her bir adımında bu potansiyelin şeklinin, genliğinin nasıl değiştiğine dikkatinizi çekmek isterim.

Ardışık olarak bunu böyle kayıtladığınızda, motor ünite sahasını tarayıp görme şansınız oluyor. Bu, bir anlamda motor ünitenin elektriksel faaliyetini uzamsal boyuta yaymak demek ve taşıdığı farklı bilgisel özellikler var.

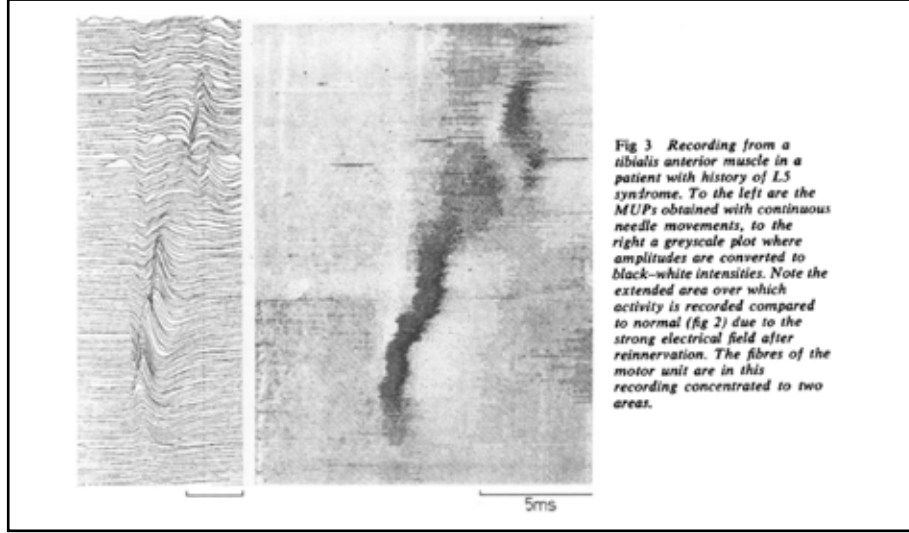
Başka bir hastalık ise: Kas hastalığı veya EMG terminolojisi ile miyopatik motor ünite. Kas hastalıklarında, sinirlerde bir sorun yok, ama kas lifleri hayatini kaybediyor. Motor ünite başına düşen kas lifleri sayıca azalıyorlar, kas lifleri arasındaki çap farkı da artıyor. Bu durumda eğer bu motor ünite sahasını taramaya kalkarsak ne olacak, size onu göstermek istiyorum. Kas liflerinin çapı incelmış ve lifler arasında gerçekten artmış bir çap farkı var.

Şimdi bu motor üniteyi tarayacağız, daha doğrusu bu motor ünitenin elektriksel alanını. Derinden yüzeye doğru iğnenin seyahati sırasında kaydedilen bir pozitif potansiyel var (kanül potansiyeli). Sonra negatif defleksiyonlar beliriyor. Motor ünite sahası içerisindeki elektrik çok azalmış (elektrik üreten kas lifleri sayıca azalmış olduğundan). Elektrik genliği ve süresi azaldığı gibi, o saha içerisindeki devamlılığı da bozulmuş; yani saha içerisinde sessiz (kas lifinden mahrum) bölgeler var, belki bağ dokusuna değişmiş o alan. Bu şekildeki bir tarama paterni miyopatik motor üniteleri ayırt ettiriyor.



Şu günlerde bizim fark etmeye çalıştığımız, peşine koştuğumuz yöntem de bu taramalı EMG yöntemi. Taramalı EMG yöntemini bulan, keşfeden biz değiliz; bu, 1980'li yılların başında, İsveç ekolünden Dr. Stalberg'in bulduğu, geliştirdiği bir yöntem. Kasın içerisine iki tane iğne batırarak kaydedilen sinyaller bunlar. İğnelerden bir tanesi, motor üniteyi seçmek için kullandığınız, yani EMG cihazının osiloskobunu tetiklemek için kullandığınız iğne; diğer iğne ise, biraz önce size simülasyon programında gösterdiğim gibi, derinden yüzeye doğru 50-100 mikronluk adımlarla geri geri çekilen, motor ünitenin elektriksel faaliyetini tarayan tarama iğnesi: özetle taramalı EMG, iki iğneyle yapılan kayıtlama sistemleri.

Şekilde onun modeli var. Bunlar Stalberg'in çizimlerinden alınmış, erken zamanlardan kalma.



Motor üniteyi seçmek için tetik iğnesi kasın içerisine batırılıyor, sonra da tarama iğnesi derinden yüzeye doğru seyahat ettirilerek, faaliyet bir şekilde uzamsal boyuta yayılmış oluyor. Tabii, iğneyi o kadar kısa mesafelerde hassas çekmeniz mümkün değil; bunun için, adım motorlu eyleyiciler kullanmak zorunda kalıyorsunuz.

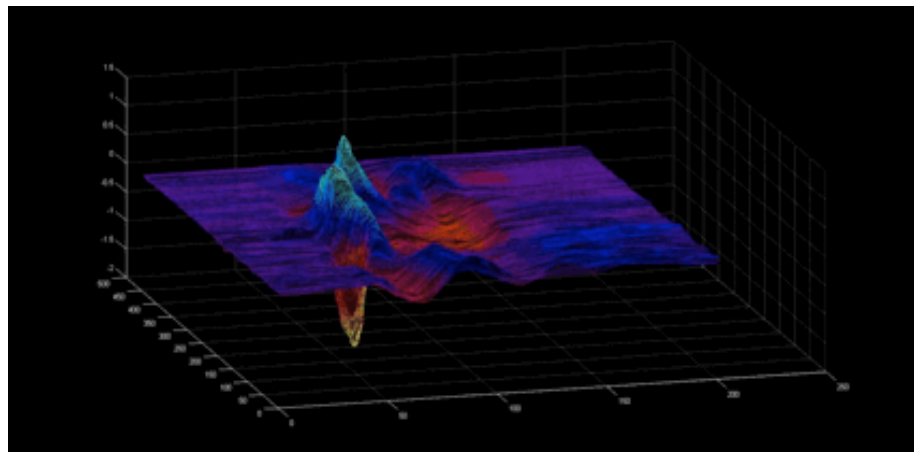
Yukarıdakiler size simülasyon modelini gösterdiğim sağlıklı motor ünitelere ait taramalar idi.

Kas hastasında, sayıca lifi azalmış, çap farkı artmış miyopotik motor üniteler ya da nörojen hastalıklarda, sinirlerin kaybedildiği hastalıklarda da lif yoğunluğunun arttığı odaklar barındıran nörojenik motor üniteler derinden yüzeye doğru taranarak elde edilen sinyaller. Literatürdekiler bunlar.

Şekilde bizim yaptığımız bir tarama. Derinden yüzeye doğru iğneyi 100 mikronluk adımlarla çektiğimizde, bir motor nöron hastasında elde edilen paterni görüyorsunuz. Yer yer motor ünite içerisinde yoğunlaşmış bölgeler var.

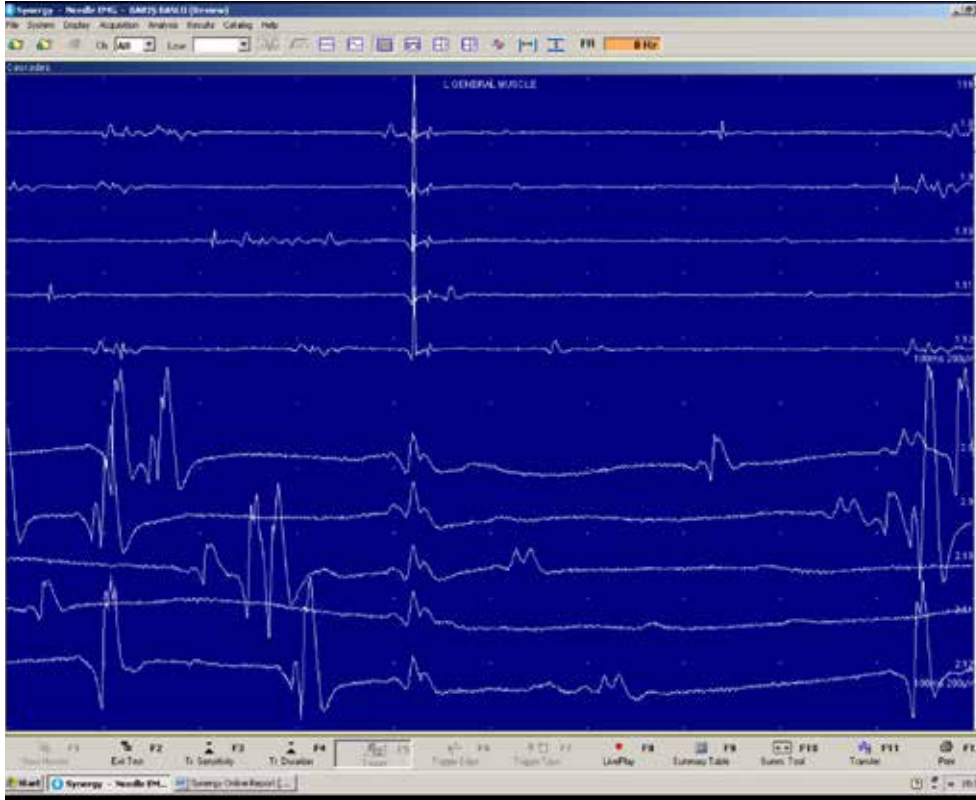
Berber çalıştığım mühendis arkadaşlarımla da isimlerini anmak istiyorum: Tuğrul Artuğ, İmran Göker, Bülent Bolat ve Onur Osman.

Özetlemek istediğim şey şu. Belki de bugünkü seminerin de konusu bu. Bizim hekim olarak sorumuza cevap olacak birtakım mühendislik harikalarına ihtiyacımız var. Günümüzde geline nokta, bu yazılım ve donanım aşamasında oluyor. Yani bu sinyalleri biz hastadan alabilmeliyiz. Hastadan alabilmek



için birtakım adım motorlu eyleyiciler kullanacağız, bir donanım gerekecek. Bunlar ticari olarak satılan EMG cihazlarında kaydediliyor. İstedğimiz sinyal bölgesini netleştirmek maksadıyla, EMG cihazından bu sinyali alıp, bir matematik programında açıp işlemeniz gerekecek. Adı geçen mühendisler bu yazılım ve donanımı tasarlamakta başarılı oldular.

Burada, üst ekstremiteye nasıl tatbik ettiğimizi gösteriyoruz. Bu, Kanada'dan alınan bir adım motorlu eyleyici. Bu aplikatörü, Boğaziçi'ndeki Biyomedikal Mühendisliği doktorası sırasında Yrd. Doç. İmran Göker tasarlamıştı. Aplikatörü buna bağlıyoruz, tarayıcı iğneyi bunun içerisine yerleştiriyoruz. Bu kol da İmran'ın sol kolu, yani İmran'a batırılıyor burada iğne. İğneyi kas içerisinde hareket ettirecek bir yazılım geliştirdiler kendileri. 1980'li yıllarda Stalberg ve ekibi bunu yaptığında, böyle yazılım bağımlı değil, daha analog sistemlerle yapıyorlardı. Oysaki şimdi bir ara yüz sayesinde, bir yazılım sayesinde, istediğimiz iğneyi kas içerisinde istediğimiz derinliğe batırabiliyoruz ve istediğimiz adım aralıklarıyla, istediğimiz frekansta çekebiliyoruz. Tabii, adım motorlu eyleyicinin öngördüğü oranda. Onun kapasitesi dışına çıkılamıyor.



Bakın, bu da tarama sırasında EMG ekranındaki görüntü. İki kanallı kayıt dedim. Birinci kanalda tek bir kas lifinin aksiyon potansiyelini kaydediyorsunuz. Bu iğnenin yeri değişmediği için, bu potansiyelin şekli de değişmiyor. Sadece motor üniteyi seçmek için kullanıyorsunuz, onlarcası arasından birisi seçmek için.

Şekilde tarama sinyalini görüyorsunuz. 50 mikronluk adımlarla iğne motor tarafından geri çekilirken, her bir adımda ardışık olarak kaydedilen aynı motor ünitenin motor ünite potansiyeli izleniyor.

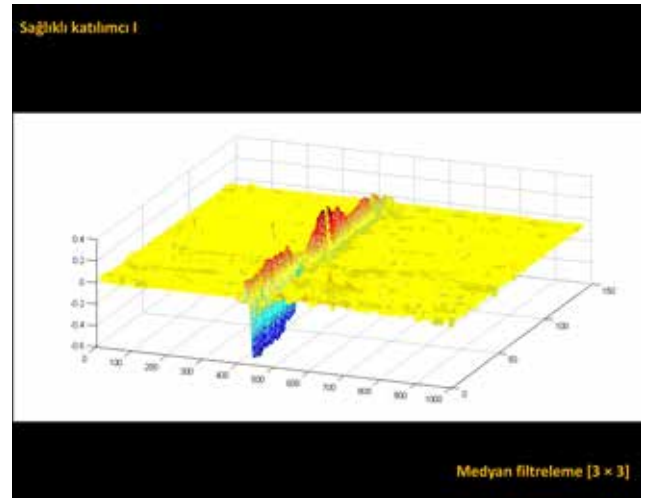
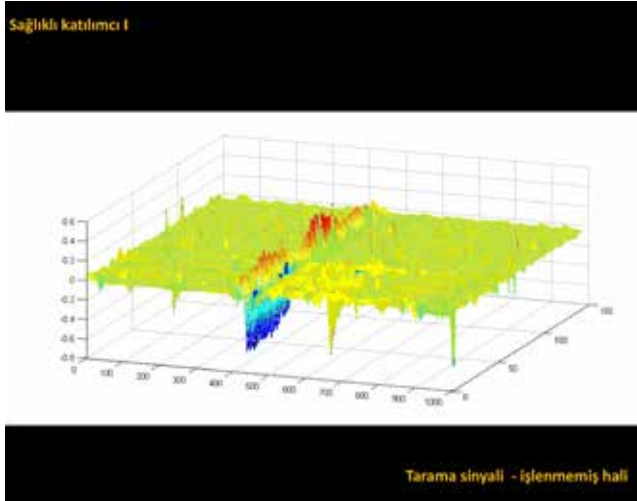
Bizim istediğimiz, şu motor ünite potansiyelini ayıklamak ve iğnenin derinden yüzeye seyahati sırasında kaydettiği haliyle alt alta çizdirebilmek. Tabii, bunları yapmaya kalktığınızda, etrafta gezinen diğer motor ünitelere ait ciddi bir artefakt sorunuyla karşılaşılıyorsunuz. Özellikle bu etrafta gezinen diğer motor ünite potansiyellerini dışlamak bir problem. Ardından, bu potansiyelin nerede başladığını, nerede bittiğini otomatik olarak kestirecek bir yazılım hazırlamayı düşündük, onu da

kısmen yaptık ve bununla beraber de sinyale katılan kas liflerinin sayısını tahmine yönelik, bin çeşit lif yoğunluğu haritalamaları gibi daha sofistike işlere giriştik. Sinyalin gürültüsünün giderilmesi de ayrı bir konu.

EMG cihazından bunu alıp da matematik ortamına attığınızda, o EMG cihazının kendine göre bir kodu oluyor. O kodu siz kolaylıkla açamayabiliyorsunuz. “Kaç trase alındı, o traseler hangi sıraya göre alındı?” gibi. Mesela burada görülen 600 traselik bir kayıt; ama aldığımız kaydı matematik programında açtığımızda tersi sırayla belirtilmişti. Onu çözene kadar epey bir uğraştı Tuğrul.

Arka arkaya, ham haliyle mesela, şu tetik sinyali, bu tarama sinyali arka arkaya koyduğunuzda, etrafta gezinen potansiyellerden de dolayı karşınıza şöyle karmaşık bir şey çıkıyor. Bunu medyan filtrelemeyle mesela düzeltiyorsunuz. Dalgacık analizi ile gürültüsünü gideriyorsunuz. Başlangıcını ve bitişini tespit etmek için bir öz ilişki fonksiyonu kullanmışlardı Tuğrullar, otomatik olarak sinyalin zamanda nerede başlayıp nerede bittiğini göstermek için.

Mesela, bu (aşağıda soldaki) ham hali, ama temizlendikten sonraki hali bu (aşağıda sağdaki). İğne derinden yüzeye doğru seyrederken, önce kanül potansiyeli geliyor, sonra burada bir elektriksel yoğun aktivite var, sonra yine görece sessiz, burada yine elektriksel yoğun bir aktivite var. Potansiyellerin tabii ki süresine, genliğine, motor ünitenin büyüklüğüne, tarama sahasının genişliğine karar vermek az çok mümkün oluyor.



Çocuk felci geçirip de kasları zayıf kalmış bir hasta, yıllar geçmiş olmasına rağmen daha da güçsüzleşmiş. Sinyal içerisine elektriksel boş alanlar var. Rutin iğne EMG’si yapsanız, bunu görmüyorsunuz; çünkü iğne EMG’si yaparken, hastaya iğne batırıp elektriğin peşine koştuğumuzdan, sessiz bölgeden kayıt almıyoruz; nerede elektrik varsa, iğneyi oraya sevk ediyoruz. Ama motor ünite sahasını tümüyle tararsanız, elektriksel faaliyetin olduğu bölgeleri de, olmadığı bölgeleri de görebiliyorsunuz. Böyle bir özellik ve yenilik var.



Bu iki kişi de konsantrik iğne elektrotu tasarlayanlar: Adrian ve Bronk. Benim ilk bulabildiğim yazıları bu. Yani iğne elektrotu 1930’larda tasarlamışlar belli ki. Standart kullandığımız konsantrik iğne elektrotu, 37 milimetre boyunda olan konsantrik iğne elektrot.

İğnenin yeri değişince tabii, elektriğin özneteliği de değişiyor. O değişikliğin derecesini ölçebiliyorsanız ve bunu sahaya yayabiliyorsanız, size çok daha farklı şeyler öğretebiliyor.

Evet, benim söyleyeceklerim bu kadar. Teşekkürler.

Prof. Dr. Aydın Akan- Sayın izleyiciler, katılımcılar; bundan sonraki sürede, tüm panelist arkadaşlarımız için varsa sorularınızı alabiliriz.

Buyurun.

Salondan- Kasın bütününe içine alacak şekilde tomografik ölçüm yapılıyor mu acaba?

Prof. Dr. Barış Baslo- Zaten benim en nihayetinde ulaşmak istediğim nokta bu. Çok iyi bir yere işaret ettiniz. Çeşitli enerji türleri kullanılarak, dokunun görüntüsüne geçiş algoritmaları var. Bunun için X ışınları kullanılabilmiş ya da manyetik rezonans görüntülemeye olduğu gibi manyetik alan değişimlerinin etkisi görüntüleme için kullanılmış. Burada benim, mühendislerin inanılmaz desteğiyle yapmaya çalıştığım şu: Kas içerisinde iğnenin yerini değiştirip elektrik alanın uzamsal boyutunu ortaya koymak, o uzamsal boyuttaki kas liflerinin sayı ve yönelimini ortaya koymak ve kas içerisinde motor üniteleri, o motor ünitelere ait kas liflerini farklı renk kodlarıyla kodlayarak görüntüye çevirmek. Bakınız, kasta parça alıp da, biyopsi yapıp da doku örneğine bakmak değil; kasın elektriğini kaydedip, bu elektrik alandan dokuya geçmek şeklinde, görece noninvaziv bir şekilde. En son noktada ulaşmak istediğim bu.

Sorunuz çok doğru ve güzel bir soru. Teşekkürler.

Prof. Dr. Aydın Akan- Buyurun.

Salondan- Ben, yüksek lisans tezimde biyomedikal çalışmıştım. Bir simülatör yapmıştık. Burada, iğneyi batıracağımıza, kasa darbe vurarak, böyle bir çalışma yapılabilir mi, onu merak ediyorum.

Prof. Dr. Barış Baslo- Elektromiyografi günlük kullanıma girmeden önce, direkt kas uyarımı üzerinden tanı konulmasına yönelik bir dönem var; buna elektrodyagnoz dönemi deniliyor. Güçsüz kalan kas ya liflerinden kaybetmiştir, kas hastasıdır ya da innervasyonunu kaybetmiştir, sinir hastasıdır. Siz, o kasın motor noktasına dışarıdan akım tatbik ettiğinizde, sarsısı, kasılması ne kadar güçlü, ne kadar zayıf, ne şiddette ve ne süreyle uyarı vermelisiniz, yani şiddet-süre eğrileri, ona bakılarak, kası güçsüz bırakan şey nörojen mi, miyojen mi, bu ayrımlar EMG öncesi zamanda zaten yapılmıştır. Kasın elektriğe vereceği yanıt, neden dolayı hasta olduğunu göstermekte özgündür, makuldür; ama kasın içerisindeki liflerin bağ dokusunun değiştiği eskimiş vakalarda özellikle işe yaramaz, çünkü bağ dokusunu dışarıdan uyartamazsınız. Buradaki özellik, kasın bütün elektriğini değerlendirmek değil, o bütünselliğe ulaşmadaki adımları değerlendirmektir; hem derindeki, hem yüzeydeki motor üniteler anlamında ve belki de elektriksel sessiz bölgeleri göstermektir. Başka türlü bunu yapamazsınız.

Prof. Dr. Aydın Akan- Başka soru var mı?

Tüm panelist hocalarıma ve dinleyicilere, katılımcılara çok teşekkür ediyorum. Sayenizde çok güzel bir panel oldu.

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU - II

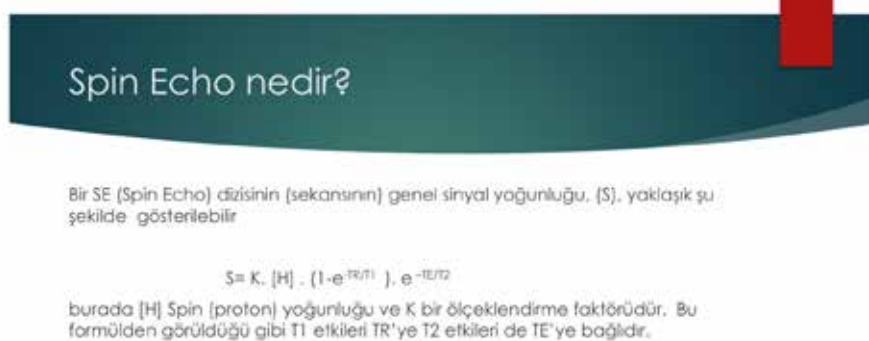
Oturum Başkanı: Prof. Dr. Cüneyt Göksoy (GATA)

Cüneyt Göksoy (GATA-Oturum Başkanı)- Hoşgeldiniz, oturumumuzun ilk konuşmacısı sayın Yrd. Doç. Dr. Hale Pınar Zengingönül Difüzyon MR başlıklı sunumunu yapacak. Buyrun Hale hanım.

Yrd. Doç. Dr. Hale Pınar Zengingönül (Namık Kemal Üniversitesi)- Teknolojinin de gelişmesiyle, kullandığınız çeşitli reseptörler, onların teknik alandaki ilerlemesiyle daha kuvvetli sinyal almaya başlamıştır. Bu da tümör karakterizasyonu konusunda çalışmaların yolunu açmıştır.



Aslında normal durumda moleküller, soldaki görüntüdeki gibi, kendi başlarına istedikleri yönde hareket ediyorlar. Fakat herhangi bir şekilde bölgeleri sınırlandırılmışsa, bir şekilde hareketleri engelleniyorsa, sağdaki gibi oluyorlar, yani bir yerde çok oluyorlar. Bu bir yerde daha çok sayıda molekül bulunması demektir. Bir bölgede çok sayıda takip edilebilir molekülün olmasının bize ne faydası var? Bir kere, su molekülleri bir yerde çok olunca, oradan çok sinyal geliyor. Biliyorsunuz, MR, aslında su moleküllerinin ölçümüne bağlı bir teknik. Çok olunca, "Demek ki, burada çok su molekülü var" diyoruz. Difüzyon taraması bu hareketlerin takibine dayalı bir yöntemdir. MR sekansı dediğimiz şey nedir, ona kısaca deyinayım. MR sekansı, aslında bu bir dizin, tamamen görüntülemeyi yaparken, yani MR makinesinin başında uyguladığınız program aslında. Gradyantların süresini ayarlıyor, yüksekliğini ayarlıyor, yönünü ayarlıyor.

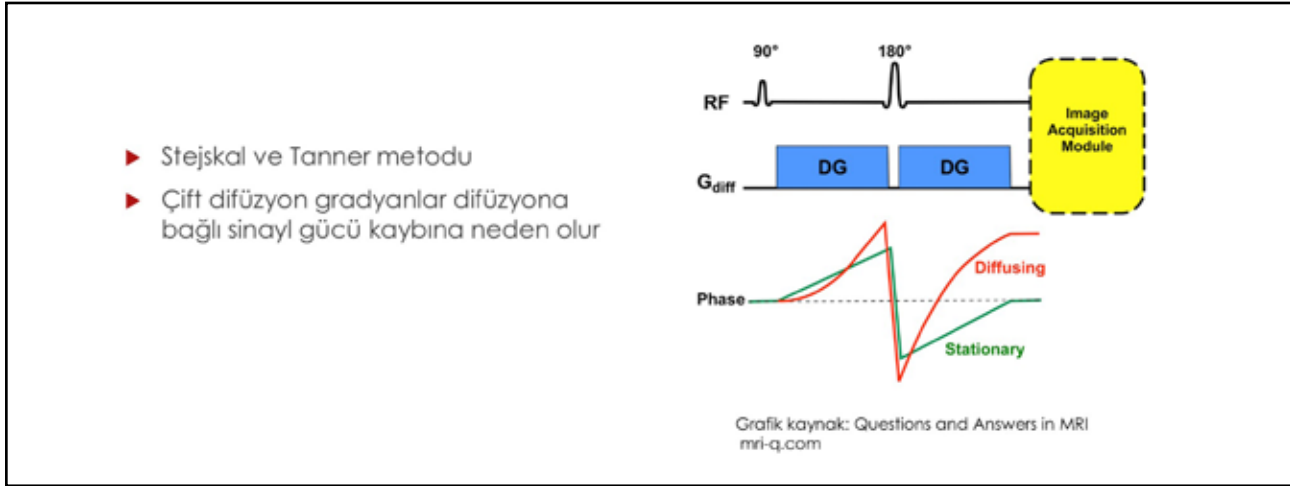


Yukarıdaki bir programlama dizini. MR dünyasında, görüntüleme dünyasında buna “MR sekansı” deniliyor. Bu MR sekanslarından bir tanesi, en çok kullanılanı ve en eskisi. Spin EKO dediğimiz yöntem. Buradaki TE, sizin ölçüm yaptığınız zamanı belirler. TR, RF pulsı dediğimiz manyetik alanın tekrarlama süresi. Bu değişkenleri siz ayarlıyorsunuz. TE de, sizin sinyalin kaydını yaptığınız süre. T1 ve T2 ise tamamen biyolojik dokunun kendi özelliklerine dayanan süreler. Bunların üstünde sizin bir kontrolünüz yok, hepsi değişik şekilde davranıyor; fakat daha önceki ölçümlere dayalı olarak, bu T1 ve T2 değerleri biliniyor.

Sekans üzerinde, TE ve TR’yi birtakım şeyler yaparak, değişik sekanslar elde edebiliyorsunuz. Duymuşsunuzdur belki, ya da gidip kendiniz MR çektiymişsinizdir. T1 ağırlıklı, T2 ağırlıklı, proton ağırlıklı ve şimdilerde de difüzyon ağırlıklı yöntemler, bu TE ve TR’nin sürelerini değiştirerek elde ettiğiniz görüntülerdir. Buradaki yazdığım şeyler genelleme; ama kısa TR, kısa TE olunca T1 ağırlıklı oluyor, uzun TR, kısa TE olunca proton ağırlıklı oluyor; uzun TR, uzun TE olduğu zaman T2 ağırlıklı oluyor. Dördüncü kombinasyon pek kullanılmıyor.

TR çok büyük olduğu zaman, uzun TR olduğu zaman T2 ağırlıklı oluyor; çünkü T1’e bağımlı oradaki birim sıfıra gidiyor, böylelikle T2’ye bağlı bir fonksiyonunuz olmuş oluyor.

Bu spin EKO’yu neden anlattım? Spin EKO, dediğim gibi, MR’da en temel sekanslardan biri. Bunu nasıl difüzyona çevirebiliyoruz?



Burada gördüğünüz, bir sekansın grafiği. Bu hep bu şekilde belirtiliyor. En yukarıdaki satır RF pulsını gösteriyor bize. Bu bir manyetik alan. Biliyorum, buradaki pek çok kişi elektrik mühendisliğinden, elektronik mühendisliğinden geliyor. Aslında radyo frekans dalgası değil bu, manyetik alan; fakat 10 megahertzler düzeyinde frekansı. Onun için radyo frekans pulsı deniliyor, ama aslında bence yanlış bir terim; çünkü öyle dalgalarınız yok, sadece manyetik alana bağlı.

Altta da difüzyon gradyanlarımız dediğimiz manyetik alan kuvvetini belirleyen parçalar. Bu RF pulsını gönderdikten sonra birtakım değişiklikler oluyor vücudumuzdaki moleküllerde, difüzyon gradyanını etkiliyor ve bu arada, difüzyona duyarlı molekülleri, dokuları etkilemeye çalışıyoruz. Difüzyon gradyanları bu pulsın etrafında uygulanıyor.

Difüzyon MR’ı çekerken kullanılan, B faktörü denilen bir faktörümüz var. Bu sabit. Bu sabit neye dayanıyor; gradyanların büyüklüğüne, genliğine, süresine, iki gradyan arasındaki değere. Bu B faktörü, eskilerde en fazla 800’e kadar çıkabiliyorduk, hatta daha düşük sayılarda da. Şimdilerde 1.500’e, 3.000’e falan çıkabiliyor. Bu bize yeni bakış yönleri getirdi.

Difüzyon modellemesini yandaki formüle göre yapıyoruz. Buradaki S_0 dediğimiz şey sinyalimizin ilk gücü. Oradaki b , demin söylediğim b faktörü. Bu difüzyon gradyanlarının çeşitli özelliklerine bağlı bir sabit. D de difüzyon sabiti. Böylelikle b faktörüne bağlı bir sinyal elde ediyoruz.

$$S(b) = S_0 e^{-D b}$$



Bu, benim elimde bulunan datalardan bir tanesi. Bu bir karaciğer hastası. Görüntüde bir lezyon var.

Az önce anlattığım konulardan, bence aklınızda kalması gereken şey şu olmalı: Demıştim ki, “Eğer difüzyon dağılımı sınırlandırılmış bir bölgedeyse, orada, geri gelen sinyal kuvvetli oluyor.”

Sanırım tıp doktoru yok aranızda, değil mi? Tıp doktoru var mı? O zaman, biraz tereciye tere satmak gibi oluyor; ama bizim gibiler için, mühendisler için bunlar ilginç konular.

Görüntüdeki beyazlık bir lezyondur. Bu demek oluyor ki, o bölgede çok sayıda su molekülümüz var ve difüzyon hareketleri kısıtlanmış. Bu nasıl durumlarda olabiliyor, nasıl bir durum olabilir? Aklınıza ilk gelen şey ne olur? Kist olabilir, tümör olabilir.

Evet, doktorlarımız dışında hiç fikir yürüten yok mu?

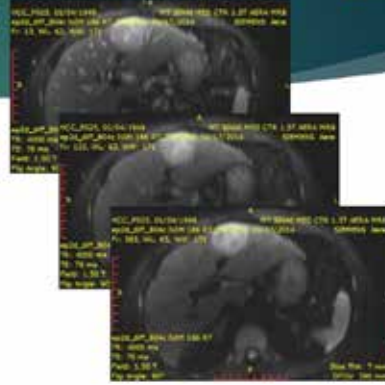
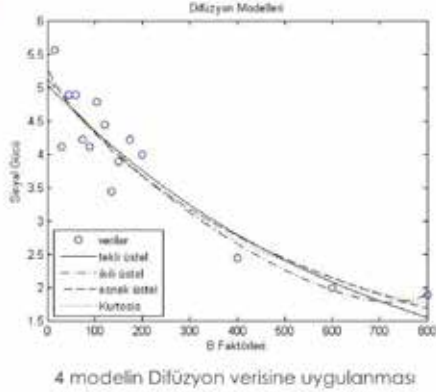
Kist ve tümörler difüzyonu kısıtlayan şeyler ve biz, onları difüzyon görüntülerinde böyle parlak olarak görebiliyoruz. Bu bize bir avantaj sağlıyor. Yani non-invaze olarak tümörü görebiliyoruz. Her taramada görebiliyor musunuz; bazı durumlarda görebiliyorsunuz, bazen göremiyorsunuz. Hatta bazen bir difüzyon görüntüsü bile aldatıcı olabiliyor. Ondan da biraz bahsedeceğim. Bazen burada sadece difüzyon ağırlığını görmeyebiliyoruz, bazen T2 ağırlığını da görebiliyoruz. Bu, doktorlar için, hasta için, teşhis için zor bir durum; çünkü doktorların görmek istediği aslında T2 ağırlıklı değil de, tümörü görmek istiyorlar.

Bu arada, bu difüzyon görüntülemesi, ilk 1985’lerde yapıldı. İlk yayın, beyindeydi. Şimdi artık bütün protokollerde, yani sizin MR’ınız çekilirken, T1 ağırlıklı, T2 ağırlıklı ve difüzyon ağırlıklı görüntüler çekiliyor, yani artık teşhise girmiş durumda.

Bizim yapmak istediğimiz nedir? Böyle bir beyazlık var. Biz, bu beyazlığın nereden geldiğini ve ne olduğunu bulmak istiyoruz, değil mi? Bu acaba iyi huylu mu, kötü huylu bir tümör mü, bunu anlamak istiyoruz. Bunun üstüne çeşitli çalışmalar var. Bizim gördüğümüz bu patolojik anormallik nedir?

Az önce dedim ki, “Acaba bu gerçekten gördüğümüz difüzyona bağlı bir beyazlık mı orada, yoksa T2’ye bağlı mı?” Böyle bir ikilem var. Difüzyona bağlı mı, değil mi, gerçekten nedir? Bunun için de bir yöntem geliştirilmiş. Şöyle ki: Birden fazla difüzyon görüntüsü alınıyor. Her görüntü değişik b faktörlerinde taranıyor. Demin demıştim, bu b faktörü gradyanlara bağlı. Bu gradyanların büyüklüklerini, süresini değiştirerek, b faktörünü artırarak, birden fazla difüzyon görüntüsü alıyorsunuz. Bu bize neyi sağlayacak? Bunun şöyle bir avantajı oluyor: Bir görüntüdeki T2 ağırlıklı parlamayı bu yöntemle elimine edebiliyoruz. Nasıl elimine edebiliyoruz? Bizim aşağıdaki şekilde

Difüzyon eğrisi ve ADC nedir?



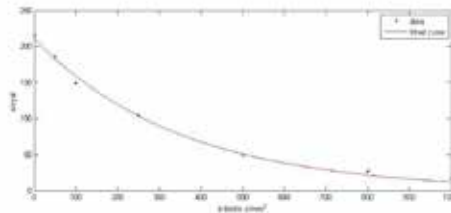
gördüğümüz formül, B faktörlerine dayalı ve burada görünen difüzyon sabiti parametresi var; onu hesaplıyoruz. Bu hesap da şuna dayanıyor: Bu b faktörlerine göre sinyelimiz nasıl azalıyor? Böyle yapınca, bizim elimizde bir değil, birden çok difüzyon görüntüsü oluyor. Onu da hemen şöyle açıklayayım.

Difüzyon eğrisi ve ADC nedir?



b=1000 Difüzyon görüntüsü

$$S(b) = S_0 e^{-ADC \cdot b}$$



Gördüğünüz, aynı kesitten 3 değişik b faktöründe difüzyon görüntüsü. Bu 3 değişik görüntünün, diyelim ki, b faktörleri 100, 200, 300 olsun. b faktörünün 100 olan sinyal yoğunluğu burada olacak. Buradaki aynı piksele bakıyoruz bu arada, aynı pikseldeki azalmayı görmeye çalışıyoruz. Sonra bu noktalar buraya yerleştiriliyor.

Sinyalin azalmasını gösteren bir model bu. Aslında oldukça basit. Şimdi onu da anlatacağım. Neden artık öyle değil?

Bu modellemeye dayalı bir ADC sabiti hesaplanıyor ve bu da artık protokollere girmiş durumda. Difüzyon görüntüsünün dışında, bir de ADC görüntüsü var artık. Şu modelleme her piksel için yapılıyor, her pikseli takip ediyorsunuz. Her pikseli takip edip, o pikseldeki ADC'yi hesaplıyorsunuz ve elinize böyle bir harita çıkıyor. Bu da doktorların kullandığı bir harita. Çünkü demin de dediğim gibi, tümörü sadece difüzyonu göstermeyebiliyor, T2 parlaması görülebiliyor. Onu elimine etmek için, bir de böyle bir ADC haritası var elimizde. ADC haritası da artık genel tarama protokolüne girmiştir.

Biz ne yapıyoruz?

Bu difüzyon modellemesi artık çok yeterli olmuyor. Özellikle b faktörünü uzatırsak, büyütürsek, bu model yeterli olmamaya başladı. Onun için şu soruyu sormaya başladı bilim insanları: Bu ADC gerçekten difüzyonu gösteriyor mu ya da doğru gösteriyor mu, gösteriyorsa ne anlama geliyor ve bu tekli üstel model yeterli mi, ne kadar güvenilir, farklı modeller olabilir mi? Bir model var ortada, bir ADC buluyoruz; ama nedir, ne değildir?

Dediğim gibi, b faktörleri yükseldikçe, bu model yeterli olmuyor; hata payı yüksek. Literatürde kullanılan diğer modeller, ikili üstel, esnek üstel, kurtosis. Bu modellerin üzerinde yeni çalışmalar var. Şu ana kadar bunların fiziksel anlamı belirlenmiş değil. Amacımız, o şekilde bir şey çıkarmak.

Benim çalışmamda kullandığım eğri modelleri 4 çeşitti. Birincisi klasik model. Şu anda bütün cihazlarda ADC haritaları bu modeli kullanarak yapılıyor. Bütün MR cihazlarında, kullanılan b faktörü sayısı en fazla 3. Yani aslında sizin görüntü diye baktığınız haritada hata oranı çok yüksek olabilir, çünkü sadece 3 noktaya dayalı bir modelleme yapıyorsunuz. Onun için, birçok B faktöründen difüzyon görüntüleri alınması daha sağlıklı. Bu modeller ne kadar iyi? Bu modellerden bulduğumuz parametreler nedir, bize neyi ifade ediyor, bu oldukça geniş bir çalışma alanı.



Bu hesaplamaları yaparken, 28 hastadan alınmış görüntülere baktım. Bu 28 hastanın karaciğerinden 25-30 arasında kesit vardı. Her kesite bakıldı, kesitlerdeki tümörün olduğu bölgenin tanımı yapıldı ve bu belirlenen piksel grubu üstünde, demin dediğim eğri modelleri yapıldı. Yani burada 3-4 kelimede geçtim, ama bu bayağı uzun bir süreç. Bulduğumuz değerler nelerdi? Literatürde görülen değerler aslında. Bu ADC 2 dediğimiz şey, ikili üstel modeldeki difüzyonu gösteren katsayı diyebiliriz.

Tamam, biz bu modelleri yaptık, “Peki, hangisi daha iyi” diye bir çalışma yaptık. Burada iki tane istatistik değere baktık. İstatistikçilerin kullandığı iki metot var; bunların hangisi en iyi diye hesaplamalarda bulunduk. Bu ikili üstel ve esnek üstel modelleri bize istatistiksel olarak en iyi değerleri verdi. En iyi değerleri verdi derken, en hatasız değerleri verdi. Şu anda kullanılan, tıp dünyasında kullanılan model, öteki modellerin hepsinden daha kötü. Yeni modellerin devreye girmesi gerek artık, en azından bu çalışmaya göre. Bunlar devreye girince, bundan sonraki soru şu oluyor: Peki, bunların anlamı ne? Burada bir sürü sabit var. Artık bir tane ADC katsayısı yok. Buradan iki tane geliyor, burada bir alfa parametresi de var. Bunların anlamı ne?

Bu çalışmanın öteki yanı, bu görüntülerin biyopsi için alınmış kesitleri var. Buradan bir fiziksel anlam çıkartabilir miyiz diye, oradaki değerlerle bunları karşılaştırmayı düşünüyoruz. Henüz yapmadık. Bu konuda çalışmalarım devam ediyor.

İki sene önce Amerika'da, hastanede alınmış görüntülerdi bunlar. Şimdi de Florence Nightingale

Hastanesinde yeni veriler alıyoruz. Devam ediyoruz çalışmalarımıza.

Benim anlatacaklarım bu kadar. Bir sorunuz var mı?

Buyurun hocam.

Salondan- Sunum için teşekkürler. Model seçimini ne tür bir ölçüt kullanarak yaptınız?

Yrd. Doç. Dr. Hale Pınar Zengingönül- Literatürde kullanılan şeyler bunlar. Bunları öyle matematik dergilerine bakıp bulmadım. Gerçekten çok çalışmalar var, ikili üstel üstüne çok var özellikle, esnek üstel de girmeye başladı. Bu konu çok yeni, bu konuda fazla kaynak da yok. Ben yaparken, “Hadi, bir de onu yapayım” dedim, öyle seçtim.

Prof. Dr. Cüneyt Göksoy- Sıradaki konuşmacımız, Cumhuriyet Üniversitesi’nden Sayın Dr. Murat Okatan. Sayın Okatan, “Kırpma Eşikleri: İşaret ve Gürültüyü Ayırmada Yeni Bir Yöntem ve Biyomedikal İşaret İşlemede Uygulaması” konusunda sunum yapacak.

Buyurun.

Kırpma Eşikleri: İşaret ve Gürültüyü Ayırmada Yeni Bir Yöntem ve Biyomedikal İşaret İşlemede Uygulaması (*)

Yrd. Doç. Dr. Murat Okatan (Cumhuriyet Üniversitesi)-

Bu önemli ve büyük kongrenin düzenlenmesinde emeği geçen herkese ve çalışmalarından burada bahsetme fırsatı veren değerli hocalarıma çok teşekkür ediyorum.

Bu sunum, geçtiğimiz ay Tıp Tekno Kongresinde sunulan iki çalışmamızın bir özeti mahiyetinde olacaktır. Değerli meslektaşım Dr. Mehmet Kocatürk (İstanbul Medipol Üniversitesi) ile birlikte yaptığımız bu çalışmaların konusu, beyinden toplanan hücre dışı elektriksel etkinlik kayıtlarında aksiyon potansiyellerinin bulunmasıyla ilgilidir. Bu yöndeki çalışmalarımız sonucunda, “Kırpma Eşikleri” adını verdiğimiz bir çift eşik geliştirdik ve rakip yöntemlerle arasındaki farkları inceledik, geliştirdiğimiz eşiklerin birtakım üstünlükleri olduğunu gördük.

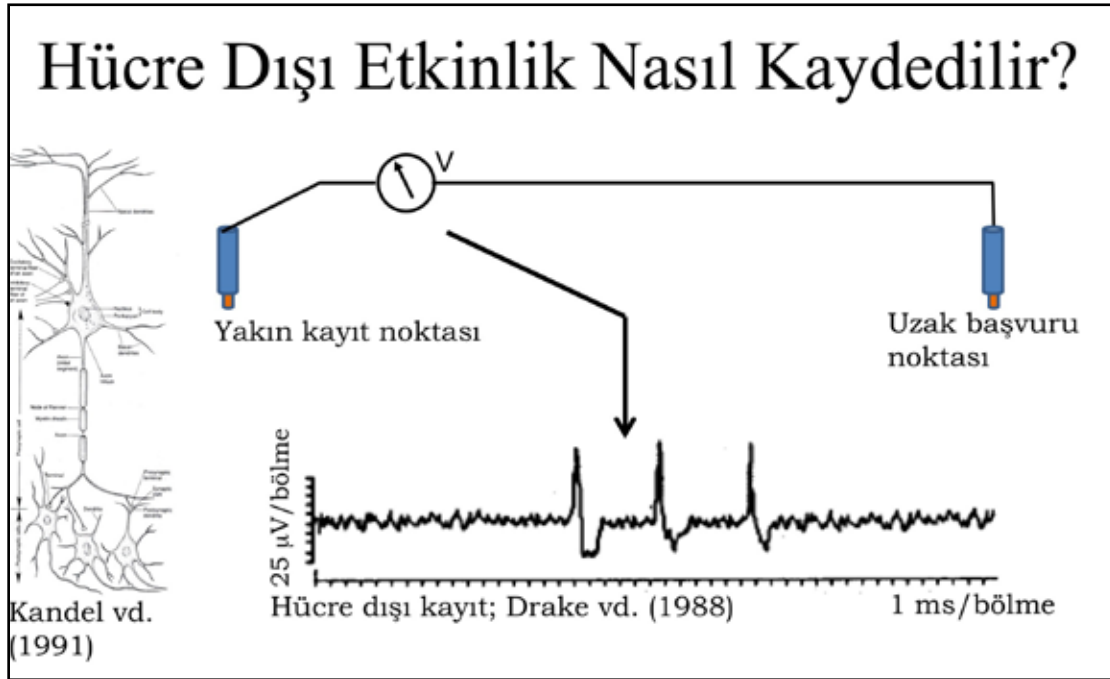
İlk olarak, bu hücre dışı elektriksel etkinlik kayıtlarının beyinden nasıl toplandığını anlatacağım; ama öncesinde biraz arka plan bilgisinden söz etmek istiyorum.

Öncelikle hücre dışı etkinlik kayıtlarının ne amaçla toplandığı sorusunu ele alalım. Bu kayıtların toplanmasının en temel amacı, beynin nasıl işlediğinin anlaşılmasıdır. Daha bilindik bir kayıt, çoğunuzun bildiği EEG olabilir. Hücre dışı kayıtların EEG’ye nazaran avantajı, uzamsal çözünürlüğünün çok daha yüksek olmasıdır, yani tek bir sinir hücresi düzeyinde etkinlik kaydı alınmasına olanak sağlamasıdır. Dolayısıyla tek hücre veya birkaç hücreden oluşmuş bir grubun elektriksel etkinliğini incelemek istiyorsanız, sıkça başvurulmuş bir yöntem olarak hücre dışı kayıtları kullanabilirsiniz. Buna karşılık bu yöntem invazivdir; fakat invaziv olmasına rağmen, insanlarda kullanıldığı durumlar da söz konusudur. Örneğin, bazı beyin hastalıklarının tedavisi için ameliyat kaçınılmaz olmaktadır. Sara hastalığında olduğu gibi, nöbete neden olan beyin bölgesinin ameliyatla alınması gerektiğinde, hastanın nasıl bir işlevsel kayba uğrayabileceğini anlamak için, bazen o beyin bölgesine küçük akımlar verilerek uyarılması ve hastanın tepkisinin incelenmesi söz konusu olabilmektedir. Bu tür verilerin insanlardan toplanması beynin işleyişini anlamak adına çok değerli olduğu için, ameliyat esnasında ilgili beyin bölgelerinden deneysel amaçlı olarak hücre dışı kayıtlar da kaydedilebilmektedir.

(*) Bu çalışma, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) tarafından TEKNO-002 proje numarası ile desteklenmiştir ve Türk Elektrik Dergisinde yayınlanmıştır: Okatan M, Kocatürk M. Truncation thresholds: a pair of spike detection thresholds computed using truncated probability distributions. Turk J Elec Eng & Comp Sci 2016; Çevrimiçi yayın tarihi: 12.05.2016. Kırpma eşiklerini hesaplayan yazılıma <http://teknoloji.cumhuriyet.edu.tr/index.php/bmmyazilim/ke> adresinden erişilebilmektedir.

Hücre dışı etkinlik kayıtlarının insanlardaki bir başka uygulaması ise biyomedikal mühendisliğinde, beyin makine arayüzlerinde karşımıza çıkmaktadır. Beyin makine arayüzleri, bilindiği üzere, biyomedikal mühendisliğinde önemi hızla artan konulardan biridir. Örneğin, felçli ya da omurilik hasarı olan hastalarda, direkt kortekste, beyin kabuğundaki etkinliğin hücre dışı yöntemlerle algılanması ve gerçek zamanlı olarak işlenmesi sonucunda, kişinin çevresinde bulunan aygıtları düşünerek kumanda etmesi mümkün olabilmektedir.

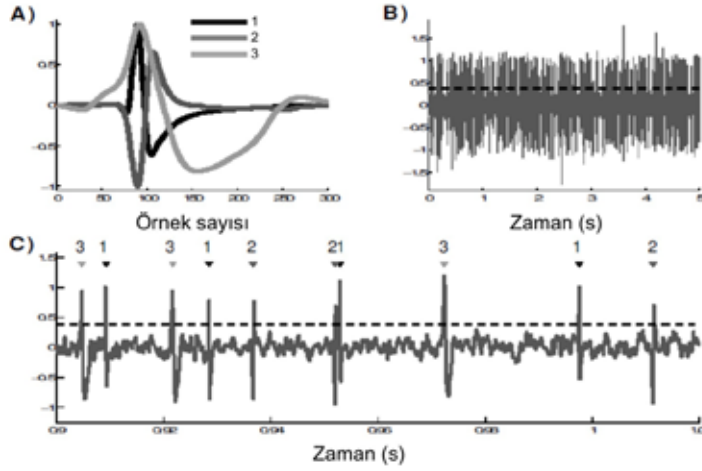
Bunların ötesinde, hayvan deneylerinde de, bazı hastalıkların altında yatan fizyolojik bozuklukların anlaşılmasında hücre dışı kayıtlar büyük önem arz etmektedir. Örneğin, sıçan beyninde "substansiya nigra pars kompakta" adı verilen bölge, lezyon yoluyla harap edildiği zaman, Parkinson hastalığına benzer bir durum ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla bu işlemten önce ve sonra beynin farklı bölgelerindeki fizyolojik etkinliğin nasıl değiştiği incelenmek istendiğinde, yine hücre dışı kayıtlara başvurulabilmektedir.



Şekil 1

Peki, hücre dışı kayıtlar nasıl toplanmaktadır? Beyinde etkinliği kaydedilmek istenen bir bölgeye kayıt elektrotu olarak adlandırılan çok ince bir metal elektrot indirilmektedir (Şekil 1). Bu elektrotun ucu hariç, yüzeyi elektriksel olarak yalıtılmıştır. Bir başka elektrot da ilk elektrottan daha uzakta bulunan ve elektriksel açıdan daha durağan olan bir bölgeye indirilmektedir. Bu elektrotta da 'başvuru elektrotu' adı verilmektedir. Bu deney düzeneğinde, kayıt elektrotumuzun ucunun yakın komşuluğunda bulunan sinir hücrelerinin aksiyon potansiyelleri, bu iki elektrot arasındaki gerilim farkında dikensi dalga şekilleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Çoğunlukla kayıt elektrotunun ucunun yakın komşuluğunda birden fazla sinir hücresi bulunabilmektedir ve bu hücrelerin ateşledikleri aksiyon potansiyelleri toplu olarak kayıta görülebilmektedir (Şekil 2). Bu tür toplu kayıtlarda amaç, sinir hücrelerinin aksiyon potansiyeli ateşleme etkinliklerini ayrı ayrı inceleyebilmektir. Bu amaçla araştırmacı, genellikle bir gerilim eşiği belirlemekte ve bu eşiği aşan bütün dalga şekillerini aksiyon potansiyeli adayları olarak ele alıp, işaret işleme teknikleriyle ayrıştırmaktadır. Bu incelemeler sonucunda genellikle kayıta birkaç farklı dalga şekline sahip aksiyon potansiyeli bulunduğu anlaşılmaktadır. Her bir dalga şeklinin tek bir sinir hücresinin ateşlediği aksiyon potansiyellerine ait olduğu varsayılmaktadır. Bu varsayımdan hareketle, her dalga şeklinin kayıta görüldüğü yerler belirlenebilmektedir. Örneğin, şekilde görüldüğü üzere 1 numaralı dalga şeklinin veya onu ateşleyen hücrenin belirtilen anlarda aksiyon potansiyeli ateşlediği görülebilmektedir, 2 numaralı hücrenin işaretlenmiş anlarda etkinlik gösterdiği belirlenebilmektedir (Şekil 2). Böylelikle, her bir sinir hücresinin ateşlediği aksiyon potansiyeli dizisi geri çatılmış olmaktadır. Daha sonra bu diziler deneysel değişkenlere bağlı olarak, istatistiksel yöntemlerle incelenerek sinir hücrelerinin deneyle ilgili ne tür bilgileri işlediği anlaşılabilmektedir.

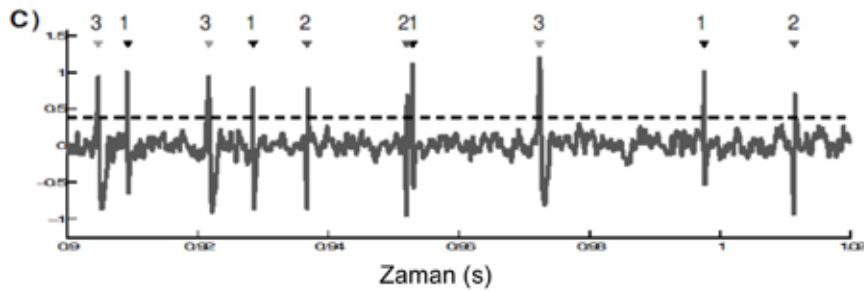
Aksiyon Potansiyellerinin Belirlenmesi



Şekil 2

Bizim çalışmalarımıza kadar, aksiyon potansiyellerini belirlemekte kullanılan eşiği, araştırmacıdan tamamen bağımsız bir şekilde hesaplayan bir yöntem bulunmamaktaydı. Literatür incelendiğinde, genellikle eşiği hesaplamakta kullanılan yöntemin şu olduğu görülmektedir: önce kaydın içerdiği gürültünün standart sapması bir şekilde kestirilmektedir, daha sonra eşik, o standart sapmanın k katı olarak belirlenmektedir (Şekil 3). Burada k , değeri genellikle 3-5 arasında olan ve tamamen araştırmacının kendi tercihlerine bağlı olarak belirlediği bir sayıdır. Standart sapma, genellikle şekilde gösterilen formüllerden biri kullanılarak hesaplanmaktadır. İlki düz standart sapma formülü, ikincisi

Eşiğin Hesaplanması



Quiroga vd. (2004)

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} (e_k - \hat{\mu})^2}$$

$$\hat{\sigma}_o = \frac{\text{ortanca}(|e|)}{\Phi^{-1}(0,75)}$$

Donoho ve Johnstone (1994)

$$Eşik = k\hat{\sigma} \text{ veya } k\hat{\sigma}_o$$

Şekil 3

de 'gürbüz ortanca kestirimcisi' adı verilen, büyük genlikli sıra dışı örneklerden daha az etkilenen bir kestirimcidir. Bunlarda gördüğünüz 'e' harfi, süzölmüş etkinlik kaydını göstermektedir.

Yani bu kayıtlar elde edildiği zaman, hemen eşiği hesaplamak için kullanılmamaktadır; çünkü içerdikleri düşük frekanslı dalgalanmalar eşiği kullanılmaz hale getirmektedir. O yüzden, ham kayıt önce bir bant aralığında süzülme ve eşik ondan sonra süzölmüş veri üzerinden hesaplanmaktadır.

Biz, eşiğin hesaplanmasını, değeri keyfi olarak belirlenen bir katsayıdan bağımsız hale getirmeyi amaçladık; yani eşiğin hesaplanmasının sağlam bir kuramsal temele oturtulmasını, tamamen veriye dayalı olarak hesaplanmasını, araştırmacıya bağımlı kalmamasını, amaçladık. Bu yöndeki çabalarımız sonucunda da, 'Kırpma Eşikleri' adını verdiğimiz bir çift eşik geliştirdik.

Yaklaşımımızın dayandığı iki temel varsayım bulunmaktadır; birincisi, etkinlik kaydının gürültü ve gürültü olmayan bölümlerden oluştuğudur. Bu makul bir varsayımdır; çünkü etkinlik kaydında, aksiyon potansiyeli adayları ve arka plan etkinliği dediğimiz etkinlik bulunmaktadır. Bu arka plan etkinliği genellikle gürültü olarak kabul edilmektedir. Biz çalışmamızda, bu etkinliğin olasılık dağılımı için net bir matematiksel model önerdik ve geçerliliğini istatistiksel olarak kanıtladık.

İkinci varsayımımız, gürültünün, kayıttaki verilerin ortanca değerini de kapsayan bir aralıkta bulunduğudur. Bu da makul bir varsayımdır. Çünkü az önce belirttiğim üzere, eşik, süzölmüş etkinlik kaydı için hesaplanmaktadır. Süzölmüş etkinlik kaydında düşük frekanslar atıldığı için, ortanca değer yaklaşık olarak sıfır civarında bir değer olmaktadır. Arka plan etkinliği de düşük genlikli olduğu için, ortanca değeri kapsayan bir aralık teşkil etmektedir.

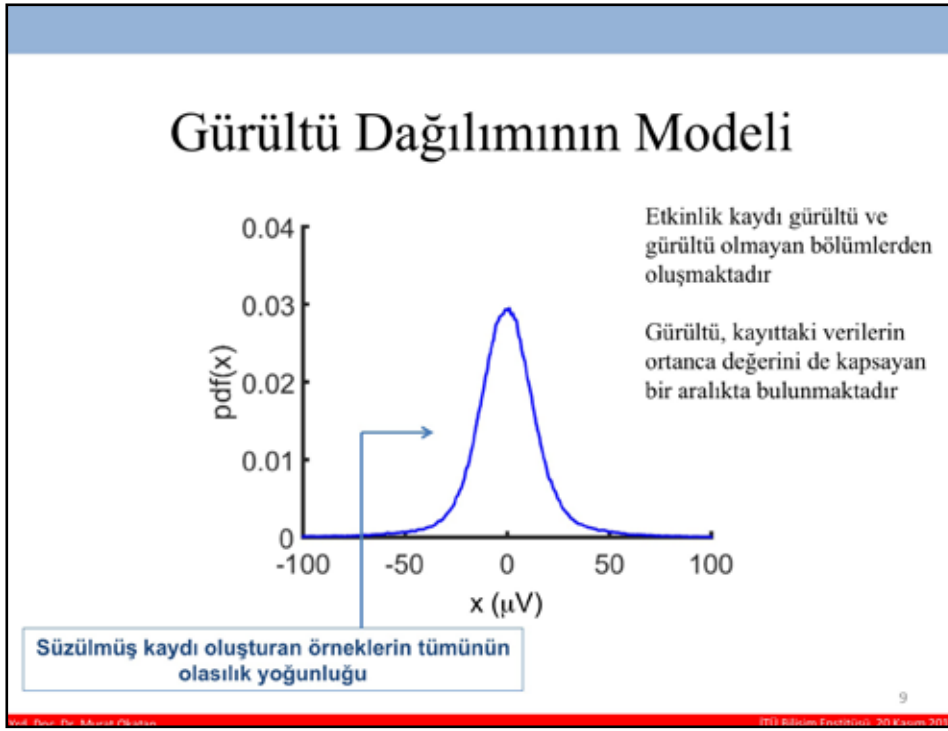


Şekil 4

Şekilde gösterilen veri, çalışmamızda kullandığımız verinin ortasına denk gelen 2 saniyelik bir kısmı göstermektedir (Şekil 4). Bu veriler, görsel bir uyarana yanıt olarak levye bastırma hareketi yapan bir sıçanın birincil hareket korteksi veya motor korteks olarak adlandırılan M1 bölgesinden Dr. Kocatürk tarafından hücre dışı olarak kaydedilmiş verilerdir. Örnekleme sıklığı 40 kHz, süresi de 12,6 saniyedir. Daha sonra 400 Hz ve 8 kHz arasında süzülerek şekilde gösterilen hali almıştır.

Dikensi dalga şekilleri aksiyon potansiyeli adaylarını, yatay kırmızı çizgiler ise bizim bu veri için hesapladığımız kırpma eşiklerini göstermektedir.

Şimdi bu eşikleri nasıl hesapladığımızı anlatacağım.

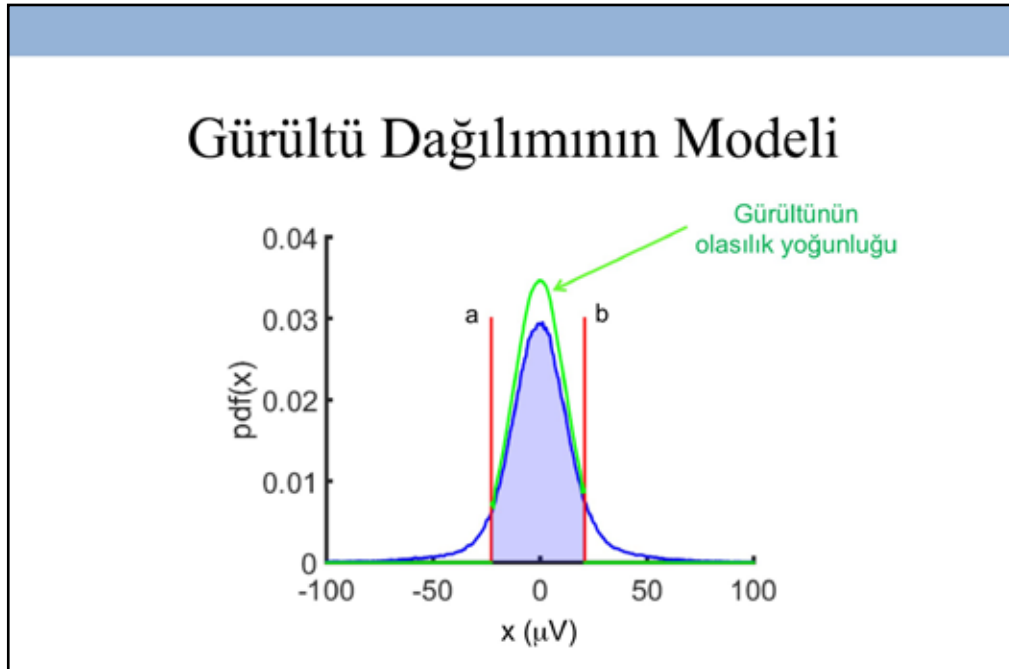


Şekil 5

Yöntemimizin belkemiğini, kayıttaki gürültünün olasılık dağılımını matematiksel olarak modellemek oluşturmaktadır. Bunun için de kayıttaki verilerin tümünün dağılımından yola çıkıyoruz.

Şekilde, süzölmüş kaydı oluşturan örneklerin tümünün olasılık yoğunluğu görölmektedir (Şekil 5).

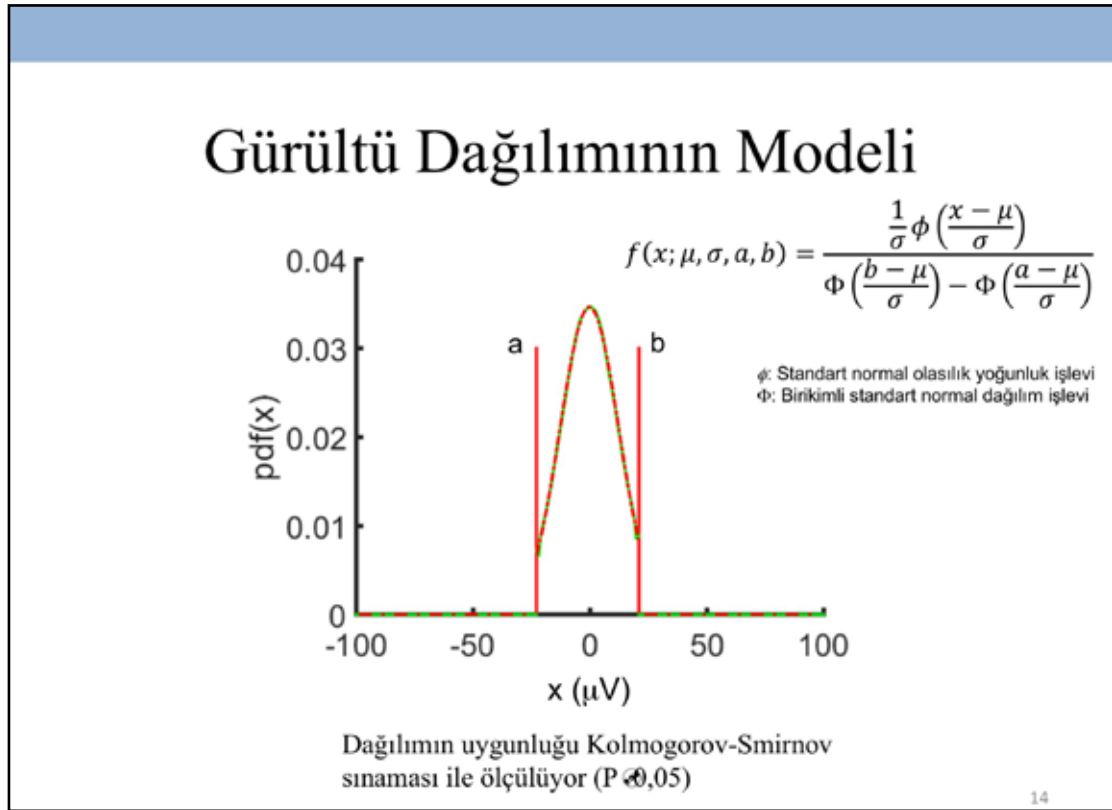
Varsayımlarımıza göre, bu veriler, gürültü ve gürültü olmayan bölümlerden oluşmaktadır ve gürültü, kayıttaki verilerin ortanca değerini de kapsayan bir aralıkta bulunmaktadır. Görölebileceği üzere, bu ortanca değer yaklaşık olarak sıfır civarındadır. Dolayısıyla gürültünün şekilde gösterildiği



Şekil 6

gibi bir a-b aralığı içinde olabileceğini varsayılabilir (Şekil 6). a ve b, bizim kırpma eşikleri adını verdiğimiz eşiklerdir. Dolayısıyla yöntemimizin amacı bu değerleri kestirmek, hesaplamaktır. Bunun için de gürültünün olasılık yoğunluğunu matematiksel olarak modelliyoruz. Dolayısıyla o olasılık yoğunluğunu görselleştirmek istiyorum şimdi.

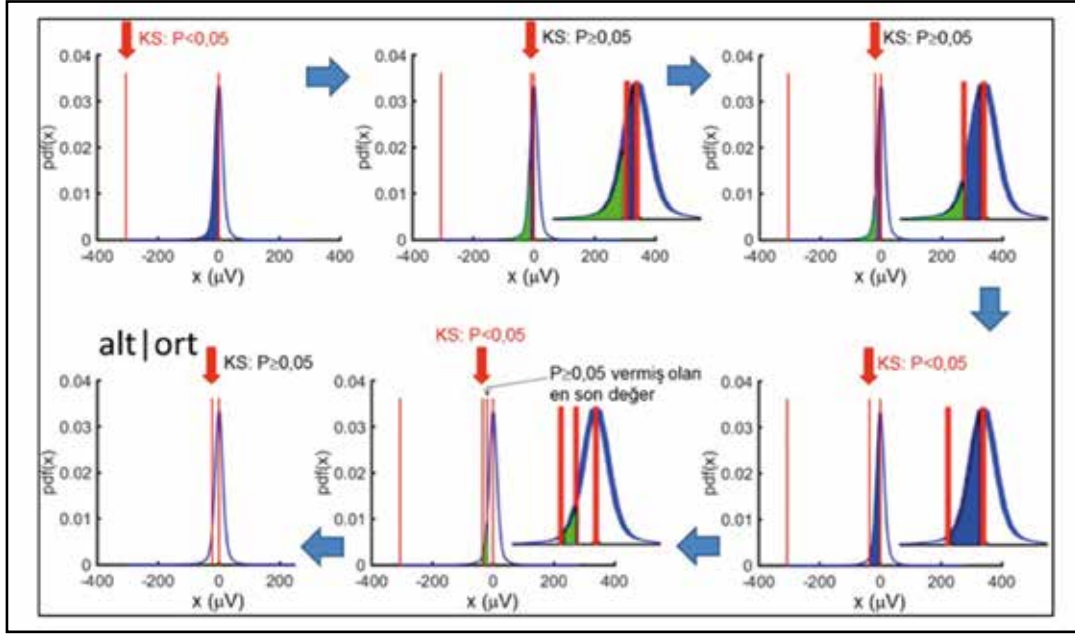
Varsayımımıza göre, aralığın dışında gürültü bulunmadığına göre, olasılık yoğunluğunun sıfır olması gerekmektedir; zira bütün gürültü aralığın içindedir. Dolayısıyla o dağılım bu çizimde yeşil eğriyle gösterilmektedir. Dışarıdaki olasılık yoğunluğu sıfırdır, içerideki ise buradaki mavi eğrinin altındaki alana bölünmesiyle elde edilen yeşil eğri olmaktadır. Dolayısıyla modellemek istediğimiz olasılık yoğunluğu bu yeşil eğriyle gösterilen yoğunluk olmaktadır. Bu olasılık yoğunluğunu modellemek için, sürekli değerli olma kaydıyla istediğimiz olasılık dağılımını kullanabiliriz. Biz, hesaplama kolaylığından ve bilindik bir dağılım olduğundan dolayı normal dağılımı kullandık; fakat normal dağılım, bu eğriyi tek başına açıklayabilecek bir dağılım değildir. Örneğin, a-b değerleri arasındaki örneklerin ortalamasına ve standart sapmasına sahip bir normal olasılık yoğunluk işlevi buraya çizdirilirse görülür ki, kuyrukları aralığın dışına taşacaktır, bizim sıfır olasılık yoğunluğu istediğimiz yerde bunu veremeyecektir. Dolayısıyla esas istenilen şey, öyle bir normal olasılık yoğunluğu bulmaktır ki, kuyrukları a ve b değerlerinde kırıldığı zaman, bize yeşil eğriyi versin. Buna istatistikte “kırılmış normal olasılık yoğunluk işlevi” adı verilmektedir: ortalaması μ , standart sapması σ olan ve a-b değerlerinde kırıldığı zaman bize kırılmış bir dağılım veren normal dağılım. Bu dağılım a-b değerleri arasındaki örneklerle en yüksek olabilirlikle uydurulduğu zaman, μ ve σ değerleri kestirilebilmekte, modelimiz veriye uydurulmuş olmakta ve elde ettiğimiz eğri, şekilde kırmızı kesikli çizgiyle gösterilen eğri olmaktadır (Şekil 7). Görüldüğü gibi, kuyruklar kırıldığı için normal dağılımdan daha başarılı bir uyum sağlanmış olmaktadır.



Şekil 7

Bu uyumun ne kadar başarılı olduğunu nicel olarak belirlemek mümkündür. Kolmogorov-Smirnov sınaması kullanılarak, modelin uygunluğu ölçülebilmektedir. Eğer Kolmogorov-Smirnov sınamasının sonucu olarak elde edilen P değeri en az 0,05 ise, modelin uygun olduğu kabul edilebilmektedir. Aksi takdirde, modelin uygun olmadığına karar verilebilmektedir. Dolayısıyla kayıttaki gürültünün belirlenmesi problemi artık bu modelin geçerli olduğu en geniş a-b aralığını bulmak haline dönüşmektedir. Fakat modelin geçerli olduğu en geniş a-b aralığını bulmak o kadar da kolay olmayabilir, çünkü bunun için çok fazla sayıda aralığın değerlendirilmesi gerekebilir. Örneğin, kayıttaki birbirinden farklı n adet örnek varsa, o zaman $n \times (n - 1) / 2$ tane aralık değerlendirilmesi gerekecektir. Bu da çok büyük bir sayıya ulaşabilir. Örneğin, 40 kHz örnekleme sıklığıyla 10 saniyelik bir kayıt alındıysa, 400

bin tane örnek var demektir. Değerlendirilmesi gereken aralık sayısı da 80 milyar eder. Dolayısıyla bu aralığın hesaplanmasında daha erişilebilir bir hedef belirlenmesi gerekmektedir. Biz de şöyle bir yol izledik: modelin geçerli olduğu oldukça geniş bir aralık bulunsun, fakat kolay hesaplanan bir aralık olsun. İzlediğimiz yöntem ise şu şekilde açıklanabilir (Şekil 8): Aralığın üst sınırı önce dağılımın ortanca değerine sabitlensin, alt sınır verilerdeki en küçük değerli örnekten başlatılsın ve modelin geçerli olduğu aralık bu alt sınır güncellenerek bulunmaya çalışılsın (Panel 1). Önce model bu şekilde tanımlanan aralığa uydurulsun ve eğer geçerli olduğu görülürse, alt eşik değeri olarak bu aşamada en küçük değerli örnek kullanılsın. Model uygun bulunmazsa, alt sınır sağ tarafa doğru ilerletilsin. Bu ilerletme de, ardışık yarılama yöntemi adı verilen yöntemle yapılsın; yani her adımda çözüm kümesi yarıya indirgenecek şekilde işlemlere devam edilsin. Bu durumda çözüm kümesi, şekilde gösterilen



Şekil 8

mavi alanla orantılı olmaktadır. Dolayısıyla onu tam ortadan ikiye bölen çizgiye gidilerek yeni bir aralık belirlenmektedir: şekilde maviyle belirlenen aralık (Panel 2). Bu aşamada modelin geçerliliği bu aralıkta denenmektedir. Eğer geçerliyse, aralık sol tarafa doğru ilerletilecek ve daha geniş bir aralık model uygunluğu bakımından değerlendirilecektir.

Bu aşamada model sınıdığında bu aralıktaki verilere uyduğu görülmektedir. Bir sonraki alt sınır değeri, yine kalan çözüm kümesini, yani yeşille gösterilen alanı, tam ortadan ikiye bölen değer olarak bulunmaktadır (Panel 3). Yeni aralıkta yine model sınıanmaktadır. Model geçerliliğini yitirene kadar alt sınırın sola doğru ilerletilmesine devam edilmektedir. Model geçerliliğini yitirdiği zaman gürültü olmayan öğelerin artık aralığın içine girmeye başladığı anlaşılmaktadır (Panel 4). Dolayısıyla bu aşamada durulmakta ve alt sınır sağ tarafa doğru tekrar çekilerek aralık güncellenmektedir. Bu yapılırken de, kalan çözüm kümesi tam ortadan ikiye bölünecek şekilde ilerlenmektedir. Kalan çözüm kümesi, en son elde edilen kırmızı çizgiyle bir önceki adımda $P \geq 0,05$ vermiş olan en son kırmızı çizgi arasında kalan ve şekilde gösterilen yeşil alan olmaktadır (Panel 5). Bu aralığı tam ortadan ikiye bölecek şekilde devam edilmektedir. Bu işlem belirli bir döngü sayısı kadar devam ettirildiği zaman, çözüm kümesi tek bir örneğe indirgenmiş olmaktadır, o örnek de bize alt sınır değerini vermektedir (Panel 6). Bu değere, 'alt dikey çizgi ort.' adını verdik; yani üst sınır ortancaya sabitlenmişken elde edilen alt sınır anlamında.

Bu sonuç 18 adımda elde edilmiştir. Çünkü bu veride, ortanca ve en küçük değerli örnek arasında yaklaşık 250 bin tane örnek bulunmaktaydı. Bu sayının iki tabanından logaritması 17,9 olduğu için, ardışık yarılama ile bu küme içinden tek bir değere 18 adımda ulaşılmaktadır.

Aynı şekilde, aralığın üst sınırı için de bir ilk değer elde edilmektedir. Bu sefer alt sınır ortancaya

sabitlenmekte, üst sınır güncellenerek, modelin geçerli olduğu en geniş aralık bulunmaktadır. Bu sonuç da yine 18 döngüde elde edilmiştir, çünkü bu sefer de ortanca ve en büyük değerli örnek arasında yaklaşık 250 bin tane örnek bulunmaktaydı. Bu şekilde elde edilen değere de “üst ort.” adını verdik. Böylelikle, modelin geçerli olduğu oldukça geniş; fakat birisi ortancanın altında, diğeri üstünde olmak üzere iki tane aralık bulunmuş olmaktadır. Bizim hedefimiz ise, gürültüyü tek bir aralıkta belirlemektir, yani ortancayı da kapsayan tek bir aralık bulunması hedeflenmekteydi. Bunu elde etmek için, modelin alt ort. ve üst ort. sınırları tarafından belirlenen aralıktaki örneklerle uydurulabileceğini düşündük. Eğer model geçerli olursa, gürültünün biraz daha geniş bir aralıkta bulunduğunu çıkarımlayıp aralığımızı genişletebileceğimizi düşündük. Bu genişletme nasıl gerçekleştirilebilir? Aralık ortancaya sabitlenip, kanatları, örneğin 2'yle çarpılarak genişletilebilir. Her genişletmeden sonra model tekrar sınanır; model geçerliliğini yitirene kadar genişletmeye devam edilir. Diyelim ki model, J+1'inci genişletmeden sonra geçerliliğini yitirdi. O zaman şöyle bir çıkarım yapılabilir: 'Öyle bir çarpan vardır ki, değeri $2j$ ve $2j+1$ arasındadır.' Kanatlar o çarpanla genişletildiği zaman, modelin geçerli olduğu en geniş aralık bulunmuş olur. Bu çarpan değeri de yine ardışık yarılamayla çözülebilir. Fakat biz modeli alt ort. ve üst ort. sınırları tarafından belirlenen aralıktaki örneklerle uydurduğumuzda, modelin geçerli olmadığını, dolayısıyla aralığın daraltılması gerektiğini belirledik.

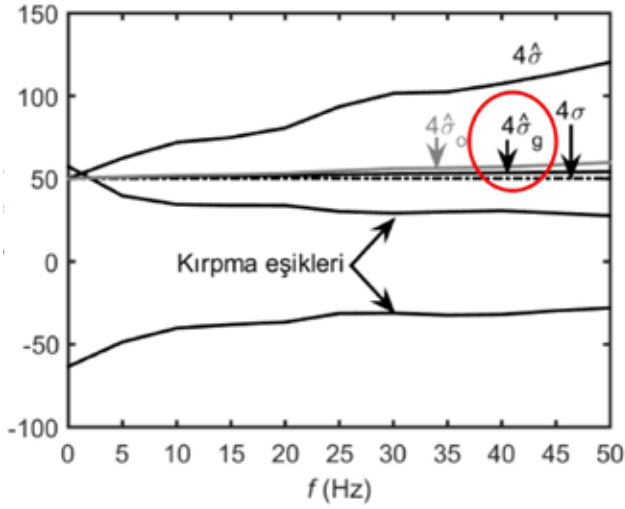
Daraltma da aynı şekilde yapılabilir. Şöyle bir varsayımda bulunuruz: 'öyle bir $\bar{C}$ çarpanı vardır ki, değeri 0-1 arasındadır.' Kanatlar o çarpanla daraltıldığı zaman, modelin geçerli olduğu en geniş aralık bulunmuş olur. Bu işlem de yine ardışık yarılamayla yapılabilir. $\bar{C} = 1$ değeriyle başlayınca, modelin geçerli olmadığını görmüştük. Çarpanın çözüm kümesinin ortanca değerini kullanarak daha dar bir aralık denenebilir; modelin bu aralıktaki veriler için geçerli olduğu görülürse, kalan çözüm kümesinin ortanca değeri alınır. Ardışık yarılama işlemi ile bu şekilde devam edildiğinde, yine belirli bir döngü sayısı sonucunda tek bir çarpan değerine yakınsanır. Örneğin kullandığımız verilerde, en uygun aralık $\bar{C} = 0.96$ değeri için bulunmuştur. Bu sonuç da yine 18 döngüde elde edilmiştir. Bunun nedeni de, bu problem için çarpan çözüm kümesinde yaklaşık 215 bin tane değer bulunmasıydı. Bu sayının iki tabanından logaritması 17,7 olduğu için yine 18 adımda çözüme ulaşılmıştır. Bu şekilde elde ettiğimiz son sınır değerleri, 'kırpma eşikleri' adını verdiğimiz değerler olmaktadır.

Bu yöntemle elde edilen eşiklerin, rakip yöntemlerle kıyaslandığında, birtakım üstün özellikleri bulunmaktadır. Örneğin, literatürde kullanılan standart sapmayla orantılı olan eşikler, kayıttaki aksiyon potansiyeli sıklığı arttıkça artmaktadır ve bu da istenmeyen bir durumdur. Aslında hesaplamaları gereken değer σ iken ve o değer değişmezken, bu eşiklerin artıyor olması bir dezavantajdır.

Aynı deney koşulları altında kırpma eşiklerinin nasıl davrandığını inceledik. Bunun için yapay veriler ürettik. Yapay verilerimizde gürültü, standart sapması σ olan beyaz gürültüydü. Aksiyon potansiyeli dizilerimiz de, frekansları 0'dan 50 Hz'e kadar artan yapay üretilmiş aksiyon potansiyeli dizileriydi. Bu veriler için kırpma eşikleri ve 4σ eşiklerini hesapladığımızda -bu arada, örnek aldığımız çalışmayla uyumlu olmak için standart sapmayla orantılı eşik değeri 4σ olarak kullanıldı- daha önceden bilindiği üzere 4σ eşiklerinin kayıttaki aksiyon potansiyeli sıklığı ile arttığını, fakat kırpma eşiklerinin mutlak değerde azaldığını bulduk (Şekil 9). Bu mutlak değerde azalma, herhangi bir bozulmanın göstergesi değildir; tam tersine, olması gereken bir davranıştır. Nedeni de şudur: kayıttaki aksiyon potansiyelleri genellikle büyük genlikli örnekleri içeren kısımlardır. Kayıтта aksiyon potansiyellerinin sıklığı ne kadar artarsa, büyük genlikli örnekler de o kadar fazla artmaktadır. Dolayısıyla gürültüye ait büyük genlikli örnekler verinin içinde seyrelmekte ve gürültü dağılımından uzaklaşmaya başlamaktadır; yani gürültü karakteristikleri daha küçülmüş bir genlik aralığında devam edebilmektedir. O yüzden, kırpma eşikleri de o aralığın sınırlarını kestirdiği için, sıklık arttıkça daralmaktadır. Bu tam istenilen bir sonuçtur. Kırpma eşiklerinin gürültü ve işareti birbirinden ayırmada rakip yöntemlerden daha üstün olduğu bu şekilde görülebilmektedir.

Ayrıca, $F = 0$ Hz durumunda, yani kayıтта hiç aksiyon potansiyeli bulunmadığı, her örneğin gürültü olduğu durumda, kırpma eşiklerinin kayıttaki en küçük ve en büyük değerlere yakınsadığı görülmüştür (Şekil 9). Yani bu eşikler kayıttaki tüm örneklerin gürültü olduğu çıkarımını doğru olarak yapmıştır. Oysa 4σ eşiği bazı örnekler tarafından aşılabilecek bir sabit değer olduğundan dolayı, bazı örnekler

Aksiyon Potansiyeli Sıklığına Bağımlılık



$\hat{\sigma}_g, \sigma'$ 'yi $\hat{\sigma}_o$ 'dan daha iyi kestiriyor.

Okatan ve Kocatürk (2015b)

$$\hat{\sigma}_o = \frac{\text{ortanca}(|e|)}{\Phi^{-1}(0,75)}$$

Donoho ve Johnstone (1994)

$$f(x; \mu_g, \sigma_g, a, b) = \frac{\frac{1}{\sigma_g} \phi\left(\frac{x - \mu_g}{\sigma_g}\right)}{\Phi\left(\frac{b - \mu_g}{\sigma_g}\right) - \Phi\left(\frac{a - \mu_g}{\sigma_g}\right)}$$

37

Doc. Dr. Murat Okatan

İTÜ Bilişim Enstitüsü, 20 Kasım 2015

Şekil 9

eşik üstü olarak gerçekleşmiştir; yani o eşiklere göre, sanki bazı gürültü örnekleri gürültü olmayan örnekler olarak kabul edilmelidir. Bu noktada da kırpma eşiklerinin rakiplerine göre üstün olduğu görülmektedir.

Son olarak, kırpma eşiklerinin hesaplanması sırasında kestirilen σ değerinin, yani eşikler arasındaki örneklerle kırılmış normal olasılık yoğunluk işlevi uydurulduğu zaman hesaplanan σ değerinin, gerçek σ değerini rakip yöntemlerden daha doğru kestirdiği bulunmuştur. Bu da bizim için beklenmedik fakat olumlu bir sonuç olmuştur. Bu durumu şekilde görebiliyoruz (Şekil 9).

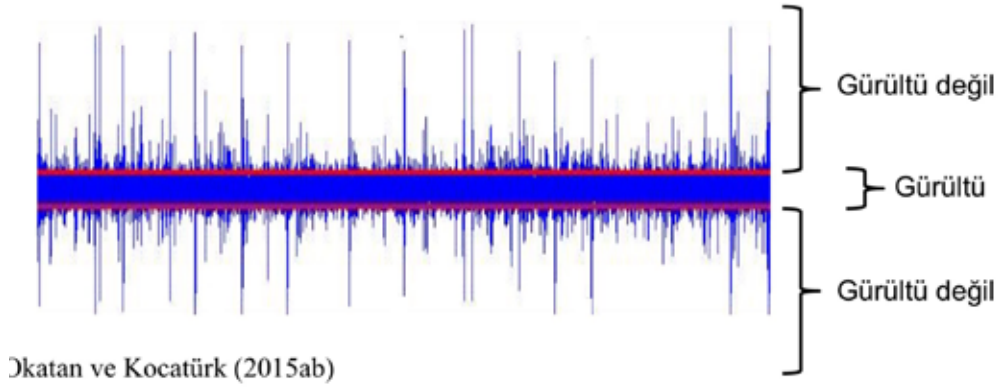
Frekansa bağlı olarak, normal standart sapmanın en hızlı şekilde, gürbüz ortanca kestirimcisi denilen ve şekilde griyle gösterilen eğrinin ise daha yavaş bir şekilde arttığı görülmektedir; bu kestirimcilerle kıyaslandığında σ_g olarak adlandırdığımız yeni kestirimcinin de artıyor olmasına rağmen diğer ikisinden daha yavaş arttığı görülmektedir; yani bu kestirimci gerçek σ değerine daha yakın seyretmektedir ve daha doğru bir kestirimci olduğunu kanıtlamaktadır.

Sonuçlarımızın üzerinden geçilecek olursa, kırpma eşikleri tamamen araştırmacıdan bağımsız bir şekilde hesaplanmaktadır. Yöntemimizde keyfi bir katsayı bulunmamaktadır, her şey verilere dayalı olarak nesnel bir şekilde hesaplanmaktadır; dolayısıyla bu yöntem eşik hesaplanmasında standart bir yöntem olarak kullanılabilir. Az önce görüldüğü üzere bu eşiklerle gürültünün standart sapması daha doğru kestirilebilmektedir. Bu da yöntemin ayrı bir avantajı olarak karşımıza çıkmaktadır. Alt ve üst eşik olmak üzere iki eşik eşzamanlı hesaplanmakta ve bunlar ortalamaya göre simetrik olmak gibi basit bir şekilde birbirine bağlı olmamaktadır. Son olarak, bu yöntemle eşik altı etkinlik için geçerliliği Kolmogorov-Smirnov sınaması ile kanıtlanan bir istatistiksel model önerilmiş olmaktadır.

Her ne kadar bu sonuçlar hücre dışı elektriksel etkinlik kayıtlarında aksiyon potansiyellerinin belirlenmesi probleminde elde edilmiş olsa da, bu yöntemin genel bir uygulama alanının olacağını

Sonuçlar

- Kırpma eşikleri araştırmacıdan bağımsız bir şekilde hesaplanmaktadır
- Eşiğin hesaplanmasında keyfi bir katsayı bulunmamaktadır
- Standart bir yöntem olarak kullanılabilir
- Kırpma eşikleri ile gürültünün standart sapması (σ) daha doğru kestirilmektedir
- Alt ve üst eşik olmak üzere iki eşik eş zamanlı hesaplanmaktadır
- Eşik altı etkinlik geçerli bir model ile açıklanmaktadır (sıfır hipotezi ve anlamlılık)



Okatan ve Kocatürk (2015ab)

46

rd. Doç. Dr. Murat Okatan

İTÜ Bilgim Enstitüsü, 20 Kasım 2015

Şekil 10

düşünüyoruz. Bizce bu yöntem sürekli değerli bir zaman dizisinin iki eşik kullanılarak gürültü ve gürültü olmayan iki kısma ayrılmasının gerektiği durumlarda kullanılabilecek genel bir yöntemdir (Şekil 10).

Sunumu bitirirken, izninizle küçük bir duyuru yapmak istiyorum.

Cumhuriyet Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü geçen yıl kurulmuştur ve dört ana bilim dalımız bulunmaktadır. Bölümde ben dahil şu anda iki öğretim üyesi bulunmaktadır. Yeni arkadaşların aramıza katılmasını istiyoruz; tercihen, doktorası biyomedikal mühendisliğinde olan veya ana bilim dallarımıza yakın konularda mühendislik doktorasına sahip ilgili arkadaşlar özgeçmişlerini gönderdikleri takdirde, değerlendirmekten büyük memnuniyet duyacağımızı belirtmek isterim.

Dikkatiniz için teşekkürler.

Salondan- Bu tür hesapları analizörler mi yapıyor; yoksa, tıpta araştırmacı doktorlar mı yapıyor? Bu tür hesaplar yapılıyor mu daha doğrusu?

Yrd. Doç. Dr. Murat Okatan- Yapılıyor. Biyomedikal mühendisleri yapıyor dersek, herhalde çok yanlış bir şey söylemiş olmayız. Bu problem biyomedikal işaret işleme konusunun tam merkezinde yer almaktadır. Dolayısıyla biyomedikal mühendisleri yapıyor diyebiliriz.

Salondan- Doktorlar sadece teşhis koyar, ama beyin farklı bir olay. Çok zor bir olaymış.

Yrd. Doç. Dr. Murat Okatan- Öyle, ama gözümüzü korkutmaması gerekiyor.

Salondan- Sadece mühendislik dallarında olabileceği kanısı olduğu için...

Yrd. Doç. Dr. Murat Okatan- Doğru. İç içe artık. Belki ülkemizde biraz yeni başlıyor gibi; ama yurtdışında, tıp doktoru olup da mühendislik gibi hesaplamalı konularda doktora yapmış olan akademisyenlere sık rastlanıyor. Bu gibi konular artık onların akademik hayatlarında olağan olarak yer alıyor. Burada da olacak.

Prof. Dr. Cüneyt Göksoy- Ben küçük bir katkıda bulunabilirim. Sabahki konuşmada da ifade etmeye çalıştığım gibi, beynin en önemli özelliklerinden bir tanesi, karmaşıklığının ötesinde, 20'den fazla bölge, 300'den fazla da bağımsız çekirdek barındırması, bu beyni daha da sıkıntılı kılıyor. Öyle ki, bir uyarı verdiğinizde, dışarıdan yapay bir enerji verdiğinizde, bir ilaç uyguladığınızda, çok farklı beyin bölgelerinde çok farklı etkilerle karşılaşabiliyorsunuz. Bu, beyin üzerine araştırma yapan araştırmacıların en büyük problemlerinden bir tanesi. Sözgelimi, bir ilaç bir beyin bölgesini hiç etkilemezken, bir başka beyin bölgesinde çok farklı sonuçlar doğurabiliyor. Biz de daha çok deneysel çalışmalarımızı gerçekleştirirken, bu konuda, şu an dünyada en yoğun kullanılan yöntemle başvuruyoruz; deneysel stereotaksik cerrahi. Burada, deney hayvanlarının belirli beyin bölgelerine mikroelektrotlar yerleştirip, oradan spesifik potansiyel kaydedebiliyoruz. Bu sayede, hangi ilaç, hangi uyaran hangi beyin bölgesini ne şekilde etkilemiş, bunun sonuçlarını elde edebiliyoruz.

Sıradaki son sunumu, Erciyes Üniversitesinden Sayın Ayşegül Güven yapacaklar. Sunum konusu, "Farklı Dikkat Durumlarının Uyarılmış Potansiyeller ile Analizi"

Buyurun.

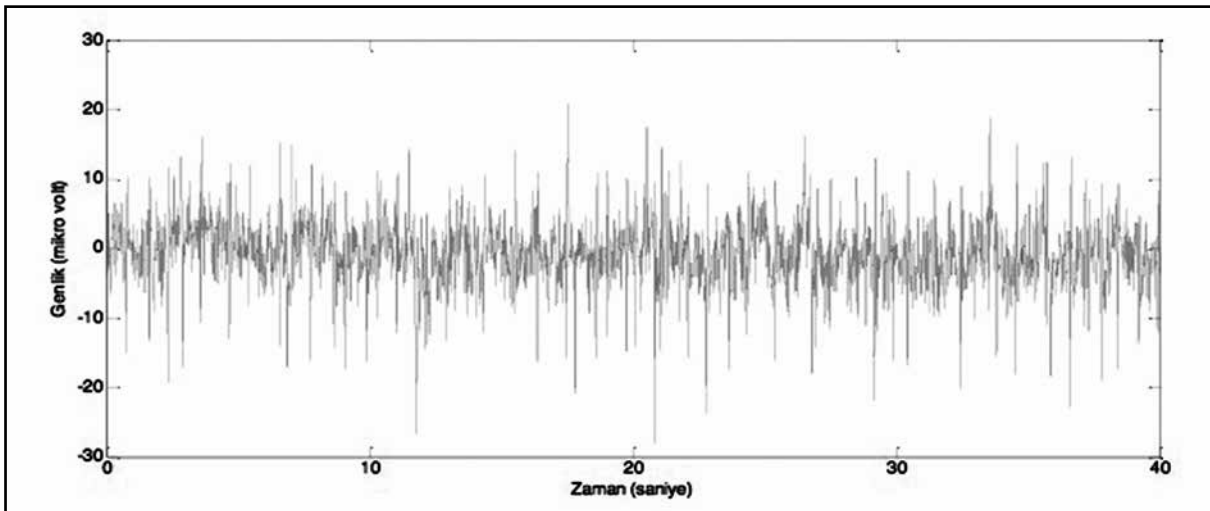
"Farklı Dikkat Durumlarının Uyarılmış Potansiyeller ile Analizi"

Doç. Dr. Ayşegül Güven (Erciyes Üniversitesi)- Sayın Başkan, değerli katılımcılar; konuşmaya başlamadan önce şunu belirtmek istiyorum: Çalışmamızda kullanılan uyarılmış potansiyel kayıtlarımız, Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalında Prof. Dr. Nazan Dolu ve ekibi tarafından gerçekleştirilmiştir. Sayın Dolu geçtiğimiz aylarda emekli oldu ve şu an İzmir Üniversitesi Fizyoloji Anabilim Dalında görevine devam ediyor. Bizler, Prof. Dolu ile ekip olarak çalışmalarımızı sürdürüyoruz.

Kısaca sunum planım şöyle: Beyin ve beyne ait elektrofizyolojik sinyaller olan Elektroensefalografi (EEG) sinyalleri, uyarılmış potansiyeller, bu sinyallerin çeşitleri, klinikteki kullanım alanları, dikkat, dikkatle ilgili literatürde bulunan çalışmalar, bizim yapmış olduğumuz uygulamalar ve elde etmiş olduğumuz sonuçlarla sunumumu bitirmeye çalışacağım.

Genel manada fizyolojik sistemler üzerinde yapılan çalışmalara baktığımızda, elde ettiğimiz sinyallerde genlik, latans gibi doğrudan değerlendirebileceğimiz bilgilerin yanında frekans gibi sinyalin içerisinde gizli olan bilgiler de sinyalden çıkarılıp değerlendirilmektedir. Bu bilgileri, tanıya yardımcı ek bilgiler olarak değerlendirebiliyoruz.

Merkezi kontrol organı olarak beynimiz, aslında bedendeki tüm faaliyetleri düzenliyor ve beynin bu işlevleri sırasında EEG sinyalleri olarak isimlendirdiğimiz sinyaller üretiliyor. Bu sinyallere baktığımızda, spontan olarak değerlendirebileceğimiz EEG sinyallerinin yanında, dışarıdan duyuşal faaliyetlere bağlı olarak uyarılmış durumda farklı elektriksel potansiyeller de ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1. Örnek EEG sinyali

(Şekil 1)'deki grafikte, üzerinde görsel uyarılmış potansiyel bilgisi saklı olan bir EEG sinyali görmektesiniz. Bu sinyale baktığımızda normal bir EEG sinyali gibi duruyor ve içerisindeki uyarılmış potansiyel sinyallerini çıkarıp değerlendirmemiz çok zor. Burada görülen, yaklaşık 40 saniyelik bir sinyal ölçümü.

Tarihsel gelişimine baktığımızda, EEG sinyalleri ya da beyne ait elektrofizyolojik sinyaller ile ilgili çalışmalar 1800'lerin ilk yıllarından itibaren başlıyor. 1870'li yıllarda yapılan tavşan deneyleri sırasında, kafatası üzerine elektrotları yerleştirip EEG sinyalleri ölçümleri gerçekleştiriliyor. Devamına baktığımızda gelişmeler çok hızlı ilerliyor. EEG açısından en önemli uygulamayı Hans Berger 1920 yılında insan EEG'si ölçümlerini başlatmakla gerçekleştiriyor. Kendi geliştirdiği galvanometre ile deneylerine devam ediyor. O yıllardan itibaren araştırmacılar epilepsi, beyin tümörleri gibi beyne ait rahatsızlıklar üzerinde çalışmalar yapmaya başlıyorlar. Hatta EEG-alfa dalgası diye isimlendirdiğimiz dalganın değerlendirmesine de Berger o yıllarda başlamıştır.

Bunun yanında, 1930'lu yıllar çok önemli. İkinci Dünya Savaşı yıllarında, EEG sinyalleri üzerine çalışmalar hız kazanıyor. 1932 yılında EEG'ye özel ilk biyolojik yükselteç tasarlanıyor. Aynı yıl, bizler için önemli olan EEG sinyallerinin işaret işleme uygulamalarına geçiliyor. Çok kanallı EEG uygulamaları ilk defa 1933 yılında başlıyor. 1950'li yıllar daha çok uyarılmış potansiyel çalışmalarına doğru devam ediyor.

Çalışmalarımızda EEG kayıtları, uluslararası 10-20 sistemi olarak adlandırılan standartlara göre, elektrotların kafatasına yerleştirilmesi ile sağlanıyor. Kullandığımız elektrot noktaları, merkezde sırasıyla frontal, parietal, santral ve oksipital noktaları olmak üzere 4 EEG noktasıdır.

EEG sinyallerine baktığımızda, aslında çok düşük frekanslı, neredeyse gürültü gibi algılayabileceğimiz çok düşük genlikli sinyaller olarak elde ediliyor. Burada gördüğümüz gibi EEG sinyallerinin frekansı 0.5-70 hertz. Genlik olarak baktığımızda ise mikro voltlar seviyesinde, 10-100 mikro voltluk sinyal aralığından bahsediyoruz. Bu durumda, dışarıdan etkilenebilecek çok düşük genlikli, düşük frekanslı bir sinyal üzerinde çalışıyoruz ve verinin, o anki kişiye özel durum dışında, o andaki psikolojik, fizyolojik durumu, hatta ölçüm yapılan ortamın durumu bile bu sinyallerin özelliklerini etkileyebiliyor.

EEG beyin aktivitesine baktığımızda, beyin aktivitesi arttıkça, EEG sinyallerinin frekansının yükseldiğini ve ters orantılı olarak da genliklerinin düştüğünü biliyoruz. Egemen frekans diye isimlendirilen, yani günlük yaşantısında kişilerde görülen frekans aralığı da aslında yaşla birlikte gittikçe artmakta; yani küçük yaş gruplarında elde ettiğimiz EEG sinyalleriyle daha yukarı yaştaki gruplarda elde ettiğimiz EEG sinyal cevaplarının frekans aralıkları değişmektedir. Bu sebeple biz deneylerimizde daha çok birbirine yakın yaş gruplarında gönüllülere ait kayıtları değerlendirmek üzere kullandık.

Klinikte EEG nerelerde kullanılıyor? Fizyoloji, nöroloji, psikiyatri, anestezi gibi pek çok birimde EEG sinyalleri üzerine çalışmalar yapılabilir. Bunun yanında, EEG sinyalleri uyku, uykunun safhaları, sağlıklı insanlardaki uyku durumlarıyla uyku bozukluğu yaşayan kişiler arasındaki EEG sinyallerinin değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılmakta.

Uyarılmış potansiyeller; uyaran ve uyarıya karşılık beyinde oluşan, yine EEG sinyalleri gibi ölçümlendirilebilen elektriksel değişikliklerdir. Bu sinyaller, spontan EEG sinyallerinden farklı özelliklere sahiptir. Çünkü uyaran verildiği andan itibaren UP sinyalinde nasıl bir cevap beklendiği bilinmektedir. Aslında uyarılmış potansiyel cevabı artık ölçümlenmiş ve biz bu cevabın oluşup oluşmadığını çalışmalarımızda kontrol edebiliyoruz. Uyarılmış potansiyel sinyalleri, spontan EEG sinyallerinden yaklaşık 10-20 katı kadar daha küçük genlikli sinyallerdir. Uyarılmış potansiyel ile EEG sinyallerinin farklarına baktığımızda, EEG sinyalleri genlik, frekans ve faz olarak anlık değişen sinyallerdir. Yani her an farklı bir duruma geçiş yapabiliyorlar, birbirlerine benzer değişik sinyaller ortaya çıkarıyorlar. Fakat biraz önce bahsettiğim gibi, uyarılmış potansiyellerde belli zaman aralıklarında nasıl bir sinyal beklediğimizi biliyoruz.

Bu durumda, EEG sinyalleri içerisinden uyarılmış potansiyellerini çıkarabilmek için, basit, kolay bir yöntem olan ortalama alma işlemini gerçekleştiriyoruz. Yani uyarıdan sonra oluşacak olan

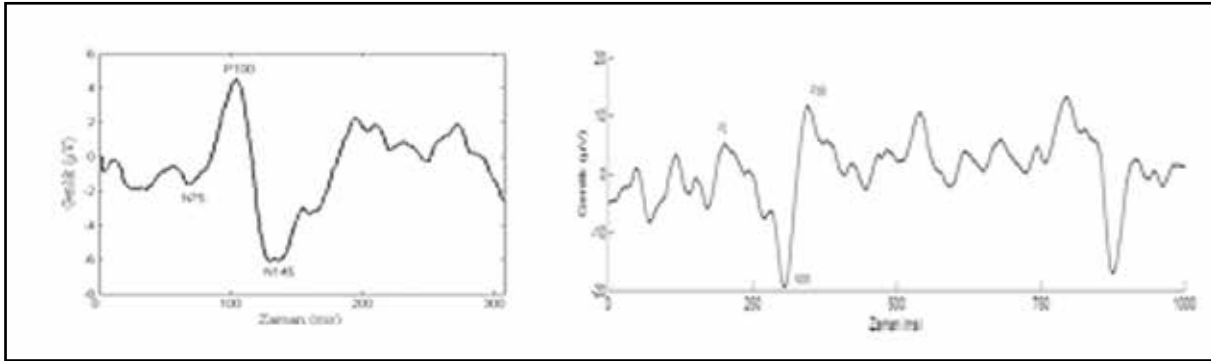
EEG sinyallerini, diyelim ki uyaran sonrası yaklaşık 1 saniyelik cevapları her uyarandan sonra üst üste topluyoruz. Diyelim ki 100 uyaran verdik, 100 uyarının ortalamasını alarak spontan EEG sinyallerinin etkisini azaltıyoruz. Böylece görmüş olduğunuz gibi, neredeyse sıfırlanan bir EEG cevabıyla karşılaşırken, hemen yanında oluşan uyarılmış potansiyel cevabı güçlü bir şekilde ortaya çıkmış oluyor.

EEG'nin rutinde kullanıma başlandığı yıllarda uyarılmış potansiyeller için de uygulamalar gelişmeye başlıyor. Özellikle bizim çalışmalarımız açısından önemli olan 'Beklenen dalgalar'diye isimlendirdiğimiz bilişsel görevle ilgili dalgaların değerlendirilmesi 1964-1967 yıllarında gerçekleştirilen çalışmalar ile başlamış olup, devamında günümüze kadar, kısa gecikmeli, orta gecikmeli ya da uzun gecikmeli potansiyel değerlendirmeleri yapılagelmektedir.

Uyarılmış potansiyellerle ilgili genlik seviyelerine baktığımızda, 0.1-20 mikro volt seviyelerinde ve uyarandan sonraki yaklaşık 2-500 milisaniyelik zaman aralığında geçen sinyalleri değerlendirmeye çalışıyoruz.

Gördüğünüz gibi, maksimum 20 mikro volta çıkan bir genlikten bahsediyoruz. Bu durumda, gerçekten iyi bir yükselteç devresine ihtiyacımız var. Bunun yanında, beraber algıladığımız pek çok sinyal var. Bunlar fizyolojik ya da kayıt ortamından kaynaklanan istemediğimiz gürültü olarak nitelendirilen sinyallerdir. EEG sinyali de buna dahil. Göz kapaklarının hareketliliği, kafa hareketliliği gibi pek çok sinyal de aslında uyarılmış potansiyel sinyallerimiz için birer gürültü olarak karşımıza geliyor. Hepimizin bildiği yükseltecin kendi gürültüsü, 50 hertz şebeke gürültüsü, yine EEG frekans bant aralığında olan ve bizim için problem olan bir gürültü olarak ortaya çıkıyor.

Uyarılmış potansiyel çeşitleri, temelde görsel, işitsel ve somatosensör uyarılmış potansiyel sinyalleri olarak değerlendirilebilir.



Şekil 2. Örnek uyarılmış potansiyel sinyalleri a. Görsel, b. İşitsel

Görsel uyarılmış potansiyel için klinik çalışmalarda elde edilen bir sinyal örneğini (Şekil 2a)'da görmekteyiz. (Şekil 2b)'de görmüş olduğunuz sinyal ise işitsel uyarılmış potansiyel cevabı için bir örnektir. Bu sinyallerde beklediğimiz belli bileşenler vardır. Bunlara örnek olarak, işitsel uyarılmış potansiyellerde, beyin uyarıyı algıladığı düşünülen N100 dalgası, yaklaşık 100 milisaniye civarında beklediğimiz bir cevaptır. P300 olarak isimlendirilen, bizim de çalışmalarımızda kullandığımız bilişsel görevlerle ilgili cevapların yaklaşık 300 milisaniye civarında oluşmasını beklediğimiz bir dalgadır. N400 ise sözel ya da yazılı olarak dilsel bir hatayla karşılaştığında beyin verdiği bir cevaptır. Yani yazılı ya da sözlü olarak bir hata yapıldığını fark ettiğiniz anda, N400 gibi bir sinyal oluşuyor.

Klinik kullanımı açısından baktığımızda görsel uyarılmış potansiyelleri, iki temel gruba ayırabiliyoruz. İlki ters örüntü olarak isimlendirilen patern uyaranlara karşılık elde edilen cevap şekli patern VEP ve flaş uyaranlarına karşılık elde edilen flaş VEP cevapları oluşabilir.

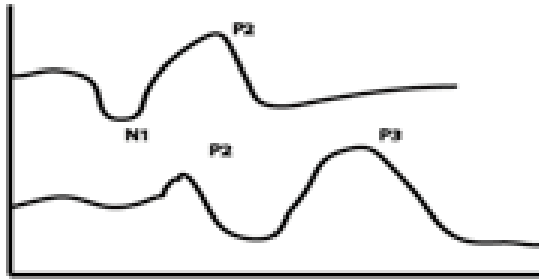
Standart görsel uyaranlar için bir dama tahtası örneği verilebilir; belli frekans aralıklarında, siyah bölgeler beyaz, beyaz bölgeler ise siyah olarak değiştirilebilir. Patern değişikliklerinden elde edilen görsel uyarılmış potansiyellerde, P100 dalgası olarak isimlendirilen dalgaanın genliği ve latans gecikmesi doktorlar için önemli bir bilgi içermektedir. Genlik bilgisinin azalması patolojik bir bulgunun

olduğunu, latanstaki gecikme ise aslında sinir yollarında bir bozulma olduğunu gösterebiliyor. Görme korteksimiz, köşelere ve kenarlara flaş uyarısına göre daha hassas; yani daha hızlı cevap verebiliyor, daha net bir cevap üretebiliyor. Ama bir flaş uyarı ile karşılaştığımızda, beyinde normalde kullanılmayan farklı sinir yollarının aktif olduğu biliniyor. Bu durumda da flaş VEP kullanımına geçilebiliyor. Ayrıca flaş uyarıları daha çok iletişim kurulamayan bebekler, felçli hastalar için, görme yollarında bir problem olup olmadığını değerlendirmek için kullanılıyor.

İşitsel uyarılmış potansiyeller klinikte, duyma, işitme ve nörolojik rahatsızlıkların değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. İşitsel uyarılar için 70 desibel yoğunlukta, 1.000 hertzlik bir klik sesi kullanılabilir. Temelde 4 çeşidi var; bunlar elektrocochleogram, beyin sapı uyarılmış potansiyeller-kısa gecikmeli uyarılmış potansiyeller, diğerleri ise orta ve uzun gecikmeli uyarılmış potansiyellerdir. Bunlardan tek farklı olan elektrocochleogram, kulak zarı üzerine yerleştirilen elektrotlarla ölçümleniyor. Kısa gecikmeli uyarılmış potansiyeller için cevaptaki 10 milisaniyelik pencereye bakılıyor. Bu sebeple işitsel uyarı olarak 50-200 milisaniyelik uyarı aralıklarına sahip sık uyarılar verilebiliyor. Orta gecikmeli uyarılmış potansiyeller uyarıdan sonraki 10-50 milisaniyelik cevapları, uzun gecikmeli uyarılmış potansiyeller de 50 milisaniye üstü zamanlarda oluşan cevapları kapsamaktadır.

Somatosensör uyarılmış potansiyeller omurilik ve sinir hastalıklarının tespitinde kullanılıyor. Bizim çalışmalarımızda kullandığımız bir yöntem değil. Özellikle el bileği, ayak bileği ya da koldan verilen çok düşük genlikli, kare dalga elektrik uyarıların belli aralıklarla verilmesi ile bütün sinir sistemi üzerindeki cevaplar değerlendirilebiliyor. Bu uyarılmış potansiyellerde pek çok genlik değeri var, ancak bu değerlerin her biri anlamlandırılmış durumda; yani nerede, nasıl bir cevapla karşılaşacağımızı biliyoruz.

Bizim çalışmalarımızda kullanmış olduğumuz sinyaller olay temelli uyarılmış potansiyellerdir. Aslında görsel ve işitsel uyarılmış potansiyellerden hiçbir farkı yok; sadece uyarıların arasına bilişsel bir görev ekleniyor. Gönüllü grubumuz için dikkat edilmesi gereken noktaları belirledik ve buna bağlı olarak da o görevleri yerine getirdikleri cevapları değerlendirmeye çalıştık. Bunun için de Oddball paradigmasını kullandık.



Şekil 3. Bilişsel görev eklenmiş uyarılmış potansiyelin standart uyarılmış potansiyelden farkı

(Şekil 3)'de verdiğimiz cevaplara bakacak olursanız, her iki sinyal de birer uyarılmış potansiyel cevabıdır. Yukarıda görmüş olduğunuz cevap aslında herhangi bir görev yüklenmemiş normal bir uyarılmış potansiyel cevabıyken, bilişsel bir görev verilip, bunun ortalaması alınıp değerlendirildiğinde elde ettiğimiz uyarılmış potansiyel cevabı, altta görmüş olduğunuz gibi değişmektedir. Oddball paradigması ilk defa işitsel uyarılmış potansiyeller üzerine 1975 yılında gerçekleştirilmiş ve günümüzde de bilişsel hastalıkların değerlendirilmesinde kullanılmaktadır.

Oddball paradigması, olay ilişkili potansiyel çalışmalarında kullanılmak üzere deneysel olarak oluşturulmuş bir sistem parçası olarak ele alınabilir. Paradigma görsel veya işitsel olarak tekrarlanan gösterim dizilerinden oluşur. Her bir görsel veya işitsel bileşen uyarı olarak adlandırılmaktadır. Uyarılar standart ve dizide daha nadir raslanan, normal koşullarda standart uyarılardan ayırt edilebilecek fiziksel özelliklere sahip hedef olmak üzere iki tiptedir. Katılımcıya verilen bu paradigmadaki hedef uyarıları sayma, denk geldiğinde butona basma gibi görevler verilir. Paradigmaya karşı oluşan beyin tepkileri kafatası üzerinden ölçülerek kaydedilir. Fonksiyonel olarak bilgi eldesini sağlayan paradigmalar birçok farklı fizyolojik değişimlere sebep olmak üzere özel olarak hazırlanmıştır ve etkileri tekrarlanabilir. Bu nedenle farklı fonksiyonel ölçümlerde benzer paradigmalar kullanılabilir. Bu sayede, deneğin bilişsel bir göreve ne kadar önem verdiği, dikkat durumu vb. değerlendirilebilir.

Dikkat, beynin zihinsel bir faaliyet üstüne odaklanması olarak tanımlanmaktadır. Aslında beynimiz

sürekli olarak dış dünyadan gelen uyarıları alır ve bu uyarılardan belli bir kısmını seçme işlemini gerçekleştirmesi dikkat olarak değerlendirilir. Bu aşamada çalışan dikkat mekanizması temelde üç farklı dikkat durumuyla ilişkilendirilmektedir. Genel uyarılmış hali diye isimlendirdiğimiz 'sürekli dikkat'; yani çevremizde sürekli uyarılar alınıyor ve beynimizin bu uyarıları değerlendiriyor olması. Bunun yanında, belli uyarıları seçme görevini yapıyor; yani işine yarayan uyarılara daha çok dikkat ediyor, onları seçiyor ki biz bu duruma 'seçici dikkat' diyoruz. Farklı hedef uyarıların aynı anda verildiği durumlarda ise 'bölünmüş dikkat' ortaya çıkıyor. Biz çalışmalarımızda bu üç dikkat durumunu değerlendirmek üzere farklı uyarı modelleri kullandık.

Dikkat ile ilgili literatür çalışmalarında en çok kullanılan yöntemler, dikkat testleridir. Genellikle kişinin psikolojik olarak ne kadar dikkatli olduğunu, beynin nasıl bir cevap verdiğini değerlendiren yazılı testler yapılagelmıştır. Bu çalışmalarda, sözselle ve yazılı olarak bilgiler veriliyor ve buna bağlı olarak devamında yapılan dikkat testleri ile dikkat durumu değerlendirilebiliyor.

Dikkat durumunun sayısal olarak değerlendirilmesi için, uyarılmış potansiyeller ile ilgili çalışmalar da yapılmaktadır. Bu çalışmalar kendi içlerinde bazı farklılıklar göstermektedir. Biraz önce bahsettiğimiz gibi, bilişsel fonksiyonların değerlendirilmesinde P300 dalgası üzerinde çok çalışılmış; fakat bu dalgaın bazı incelemelerde tek başına yeterli olmadığı, bazen P100 gibi dalgaların da dikkate alınması gerektiğini belirten çalışmalar da yapılmıştır.

Uyarılmış potansiyellerde P100 dalgasıyla ilgili bir çalışmada cinsiyetler arasında anlamlı bir fark bulunmadığı belirtilmiş. Bunun yanında, P100 dalgası için latansın yaş ile birlikte ters orantılı olarak 100 milisaniyeye doğru indiği görülmüş. Bebeklerde bu dalgaın 300 milisaniyeye kadar çıktığı belirtilmektedir, yani küçük bebeklerde uyarana karşılık cevap çok daha geç zamanda ortaya çıkabiliyor.

Biyomedikal mühendislerinin çalışması açısından baktığımızda ise, en önemli parametrelerden birisi fizyolojik işaretin filtrelenmesidir. Özellik çıkartma, biraz önce bahsettiğimiz P300, P100 gibi dalga değerleri olabileceği gibi, frekans bantları gibi çok farklı özelliklerden de bahsedebiliriz. Buna bağlı olarak da aslında hastalıkların sınıflandırılması ya da bizim çalışmalarımızda olduğu gibi, dikkat durumlarının sınıflandırılması gibi çalışmalar söz konusu olabiliyor.

Farklı çalışmalarımızdan bahsedeyim.

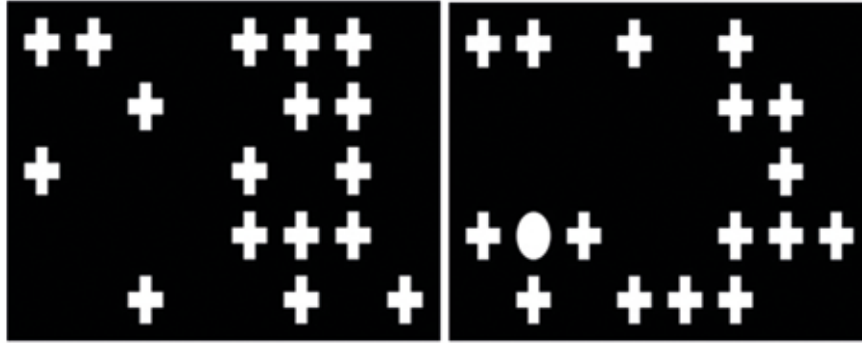
Hipertiroidili hastalarda kognitif fonksiyonların incelendiği bir çalışmamız var. Dikkat eksikliği hiperaktivite bozukluğu olan çocuklar ile ilgili bir grup çalışmamız var. Bölünmüş, seçici ve odaklanmış dikkatle ilgili P100 ve P300 dalgaları üzerine bir çalışmamız söz konusu. Uyku süresinin dikkat üzerine etkisini araştırdığımız bir çalışma var ve farklı dalga boylarındaki flaş uyarılarının yine görsel uyarılmış potansiyeller üzerine değerlendirilmesi söz konusu.

Çalışmalarımızda kullandığımız sistem; Fizyoloji Anabilim Dalında bulunan MP150 modülü ile kayıtlar için 4 adet EEG amplifikatörü kullanıldı. Elektromanyetik ve ses izolasyonu gerçekleştirilmiş bir ortamda deneyleri gerçekleştirdik. Gençlerde dikkati araştırdığımız çalışmamızda, dikkat düzeylerini belirleyebilmek için belli bir işaretleme testi uyguladık. Özellikle gönüllüleri çalışmaya katma açısından en önemli kriterimiz, kişilerin görme ve duyma fonksiyonlarının normal olmasına dikkat ettik. Çalışmada, katılımcıların dikkat seviyelerini belirlemek için kullandığımız test işaretleme testiydi. Bu test 1996 yılında Türk toplumuna uyarlanmış olup, dört farklı formdan oluşmaktadır. Katılımcılardan, düzenli şekiller, düzensiz şekiller, düzensiz harfler ve düzenli harflerden oluşan formlarda belli hedefleri hızlı bir şekilde bulması istenir. Kullandığımız deney grubu, üniversite öğrencisi genç bir topluluk olduğu için, bu dikkat testlerinde birbirlerine yakın sonuçlar elde edildi.

Farklı dikkat durumlarının uyarılmış potansiyellerdeki P100, P300 dalgalarının gençlerde takibi için gerçekleştirdiğimiz çalışmada 18-25 yaş arası 13 üniversite öğrencisine ait kayıtlar değerlendirilmiştir. Çalışmalar TÜBİTAK tarafından 114E440 koduyla desteklenmekte olan proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Kayıtlar sırasında dört farklı Oddball uyarı sistemi kullandık. Farklı dikkat durumları için sadece görsel uyarılar, sadece işitsel uyarılar ve görsel + işitsel uyarıların eşzamanlı ve ayrı zamanlı verilmesi ile elde edilen uyarılmış potansiyel kayıtları alındı.

Ayrık zamanlı dediğimiz, farklı zamanlarda oluşan görsel ve işitsel hedef uyarıların gönderilmesi ve buna bağlı olarak da aslında diğer durumlardan farklı olarak katılımcıya iki farklı bilişsel görev verilmiş olmasıdır. Katılımcılar işitsel hedef uyarı duyduğunda sağ elindeki butona, görsel hedef uyarı gördüğünde sol elindeki butona basması istendi. Bu durum denekler için daha zorlayıcı bir görev oldu. Böylece iki farklı hedef uyarının dikkati nasıl etkileyeceğini araştırdık.

Her bir uyarı sistemi için 120 standart ve 40 hedef uyarıdan oluşan bir sistem programlandı. (Şekil 4)'de verilen örnek uyarılarda görüldüğü gibi, görsel uyarı sisteminde standart uyarılar siyah zemin üzerine farklı bölgelerde oluşan “+” simgeleri ile hedef uyarılar ise bu sinyallerden birinin daire olarak değiştirilmesi ile sağlanmaktadır. Oluşturulan görsel uyarılar bilgisayar ekranından verilmektedir. Hedef uyarı için, sağdaki görselde görmüş olduğunuz daire şeklindeki uyarı ile tanımlandı.



Şekil 4 Örnek görsel uyarılar

İşitsel uyarılarda, hedef 2000Hz ve 70dB ince bip sesi ve standart 1000Hz, 70dB kalın bip sesi olarak oluşturulmuştur. Görsel + işitsel eşzamanlı düzeneğinde katılımcıya iki uyarı aynı anda verilmiştir. İki farklı durum için eş zamanlıda hedef uyarılar aynı anda verilmiş ve önceki uyarılar gibi tek bir butona basılması istenmiştir. Görsel + işitsel eşzamanlı olmayan durumda gelen hedef uyarılar farklı zamanlarda gelmiş ve iki farklı butondan uyarı tipine göre katılımcının seçim yapılması istenmiştir.

Çalışma süresince uyarılar otomatik olarak dijital ortamda rasgele sıra ile oluşturulmuştur. Bu durumda, uyarılar arası süreyi biraz uzun tuttuk. Beyinde bir önceki uyarıya ait cevabın hâlâ devam ediyor olmaması için, uyarılar arası süreyi 1.500 milisaniye olarak belirledik. Bizler için önemli olan, uyarıları verdiğimiz anı sisteme kesin olarak işaretleyebilmektir. Bunun için, 'uyarını verdim; kabul et, tamam, orayı işaretle' işlemleri için kullandığımız programlama dili JavaFX programlama dili oldu. RXTX kütüphanesini sistemler arası seri iletişimi sağlamak için kullandık.

Çalışmada, uyarılmış potansiyellerde rasgele gürültülerin eliminasyonu için ortalama alınmıştır. Ortalama alınırken insan kaynaklı zamanlama hatalarının üstesinden gelmek için ek devre ile sistem otomatize edilmiştir. Hedef ve standart uyarıların kendi içinde ortalamaları alınmış ayrıca tüm uyarıların birlikte ortalaması alınmıştır. Alınan ortalamalar üzerinden P100 ve P300 dalgaları için latans ve genlik değerleri hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlardan bahsedecek olursak;

P300 dalgasının latans ve genliklerinde, özellikle eşzamanlı olmayan uyarılmış potansiyel cevaplarında ciddi manada farklılıklar olduğunu gördük; fakat P100 dalgalarında hiçbir farklılık elde edemedik. Aslında P100 dalgaları için şunu söyleyebiliriz: Elimizde bulunan homojen grup için, beyin uyarıyı algılamasında herhangi bir farklılık olmadığını gördük; yani uyarı sistemini değiştirsek bile, beyin uyarıları aynı anda algılamaya başlıyor, Bu sebeple P100 dalgaları için farklı dikkat durumlarında bölgeler arasında bir fark elde edemedik. Ancak bilişsel durumla ilgili olduğu bilinen P300 için, özellikle eşzamanlı olmayan görsel + işitsel cevaplarımız diğer uyarı durumlarına göre farklı çıkmış oldu.

Dinlediğiniz için çok teşekkür ediyorum.

Prof. Dr. Cüneyt Göksoy- Sayın Güven'e çok teşekkür ediyoruz.

Maalesef, zamanımız dolduğu için soru alamayacağız.

PANEL: BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ SEKTÖRÜNÜN GELECEĞİ

Panel Yöneticisi: Fikret Küçükdeveci (Kardiosis Ltd. Şti.)

Fikret Küçükdeveci (Panel Yöneticisi)- Merhabalar arkadaşlar.

Gördüğüm kadarıyla büyük çoğunluk genç arkadaşlardan oluşuyor. Öğrenci arkadaşlar, sektöre yeni adım atan arkadaşlar büyük çoğunlukta.

Çok kısaca konuya bakış açımı ve bu panelle ilgili düşüncelerimi, perspektiflerimi paylaşacağım. Sonra sırasıyla diğer panelist arkadaşlarımı sizlere tanıtip davet edeceğim. Panelimizde şöyle bir yöntem izleyeceğiz: Bütün panelist arkadaşlarımız kendi çalışma alanlarında, kendi çalışma geçmişleriyle ilgili onar dakikalık sunum yapacaklar. Böylece, zannediyorum yaklaşık bir saate yakın bir süreyi doldurmuş olacağız. Kalan süremizde de bu panelimizin başlığına uygun şekilde, sektörümüzle ilgili sorularımızı soracağız ve tartışacağız. Sizlerden konuyla ilgili soruları bekliyoruz.

Ben öncelikle biyomedikal mühendisliğinin kapsama alanı nedir, Türkiye'deki sektör nedir, kendi bakış açımla bunu size hızlıca özetlemiş olacağım. Bu sektör, öncelikle sağlık hizmeti verenler, cihaz ve malzeme tedarikçileri, üst kurumlar ve bir de bu sektöre temel eğitimi sağlayan üniversite ve yüksekokullarımızdan oluşuyor. Sağlık hizmeti verenlere, hastaneler, alt hizmet sağlayıcılar, bu hastanelere hizmet sağlayan şirketler, bütün bunlara cihaz ve malzeme tedarik eden özel sektör firmaları, birtakım kamu organizasyonları dahil. Özel sektörde tabii birkaç çeşit firma var; yerli üreticiler, ülkemizde faaliyet gösteren yabancı firmalar var, distribütör nitelikli firmalar var. Hizmet sağlayıcı ve üst kurum olarak da en üst sırada Sağlık Bakanlığının sektör üzerinde önemli bir pozisyonu var. Daha sonra Sosyal Güvenlik Kurumu, Yüksek Öğretim Kurumu ve diğer destek sağlayan çeşitli kurumlar, TÜRKAK, TSE, TÜBİTAK ve benzeri kurumlar. Benzer şekilde, üst kurum olarak sayacağımız birtakım özel kuruluşlar da var; notified body dediğimiz yetkilendirilmiş kuruluşlar, akreditasyon ve sertifikasyon işini yapan çeşitli test ve kalibrasyon merkezleri, teknik servis hizmeti veren özel şirketler var.

Bu resmi tamamlayacak şekilde, büyük ölçüde deneyimi olan çok değerli arkadaşlarım panelist olarak katılıyorlar. Sunumlarımızı yaptıktan sonra değerlendirmelerimiz, tartışmalarımız, sorularımız olacak. Gelişme sürecini, gelişme düzeyimizi anlayacak, güncel durumu tartışacak şekilde istihdamı, beklentileri, sektörün ekonomik boyutlarını belki, sorunlarını, doğrularını, yanlışlarını, güçlü ve zayıf yönlerini tartışmaya yönelik yaklaşım ve soruları beklediğimi ifade edeyim.

Sunum sıralarına göre değerli arkadaşlarımı davet etmek istiyorum.

Sayın Prof. Dr. Osman Eroğul, TOBB ETU'nden.

Sayın Yrd. Doç. Dr. Gökhan Ertaş, Yeditepe Üniversitesinden.

Sayın Dr. Onur Koçak, Başkent Üniversitesinden.

Sayın Elektrik Elektronik Mühendisi Kayhan Kayan, Metsis firmasından.

Sayın Biyomedikal Mühendisi İşbara Alp Sezen, Sağlık Bakanlığı İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumundan.

Benim adım Fikret Küçükdeveci. Kardiosis A.Ş'den. Yaklaşık 27 yıldır ülkemizde tıbbi cihaz sektöründe kendi özgün tasarım, Ar-Ge, üretim çalışmaları yapan bir firmayız. Bu konuda bundan

sonra da elimizden geleni yapıyor olacağız.

İyi bir panel geçirmeyi diliyorum.

Sunumunu yapmak üzere, sözü Osman beye bırakıyorum.

Prof. Dr. Osman Eroğul (TOBB ETU)- Sayın Başkan, saygıdeğer hocalarım, Elektrik Mühendisleri Odasının değerli yetkilileri, kıymetli katılımcılar ve sevgili öğrenciler; hepinizi saygıyla selamlıyorum.

Biyomedikal mühendislerinin sayısının hızla artması (EMO) Elektrik Mühendisleri Odasındaki ağırlıklarını da artırmış, bu durum biyomedikal mühendislerinin bir araya gelerek sivil toplum örgütleri içerisinde daha etkin olmalarına yol açmıştır. EMO tarafından düzenlenen bu tür bilimsel organizasyonlara, öğrenci kongrelerine ve biyomedikal mühendisliğiyle ilgili toplantılara konu ile ilgili herkesin katılması ve destek vermesi sektörün geleceği açısından son derece önemlidir.

Biyomedikal mühendisliği alanındaki çalışmalarım Orta Doğu Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliğinde yaptığım yüksek lisans eğitimim sırasında başladı. Daha sonra Gülhane Askeri Tıp Akademisinde Biyomedikal ve Klinik Mühendislik Merkezinin kuruluşunda görev aldım. Merkezin gelişmesi ve üniversite hastanesi bünyesindeki tek biyomedikal mühendisliği anabilim dalı başkanlığına dönüştürülmesinde etkin rol oynadım. Yurt içinde ve yurt dışında tıbbi cihazlarla ilgili birçok kurs aldım, uzun süre hastanede, servis mühendisliği ve yöneticilik yaptım. Gülhane'deki son yıllarım kişiye özel implant tasarımı ve üretimi yapan Medikal Tasarım ve Üretim Merkezi (METÜM)'nin kuruluş çalışmalarıyla geçti. Halen Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesinde (TOBB ETÜ) Biyomedikal Mühendisliği Bölüm Başkanı ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü olarak görev yapıyorum.

Bu toplantının amacına uygun olarak, önce biyomedikal mühendisliği hangi alanlarda faaliyet gösterir, hem kamu bazında, hem de özel sektör olarak ifade edebileceğim iki farklı alan ile ilgili kısa bilgiler vereceğim. Daha sonra da hep beraber, sektörde durum nedir, gelecekte biyomedikal mühendislerinin beklentileri ve çalışma alanları neler olabilir, bu konuları tartışacağız.

Biliyorsunuz, biyomedikal mühendisliği multidisipliner bir alan, diğer mühendisliklerden farkı ise insan sağlığı ve canlılarla ilgileniyor olması. Biyomedikal mühendislerinin biyokimyadan fizyolojiye, biyomekanikten fizyolojik sinyal işlemeye, medikal görüntü işlemeden biyomalzemelere, doku mühendisliğinden moleküler biyoloji ve genetiğe, biyosensörden ilaç tasarımına kadar çok geniş bir alanda, geniş bir yelpazede bilgi sahibi olması gerekir. Bu nedenle biyomedikal mühendisliği bütün bu alanları birleştiren bir entegrasyon mühendisliği olarak tanımlanabilir. Biyomedikal mühendisi olarak sizlerin mutlaka bu alanlar hakkında bilgi sahibi olmanız, ayrıca bu alanlardan birinde de uzmanlaşmanız gerekir.

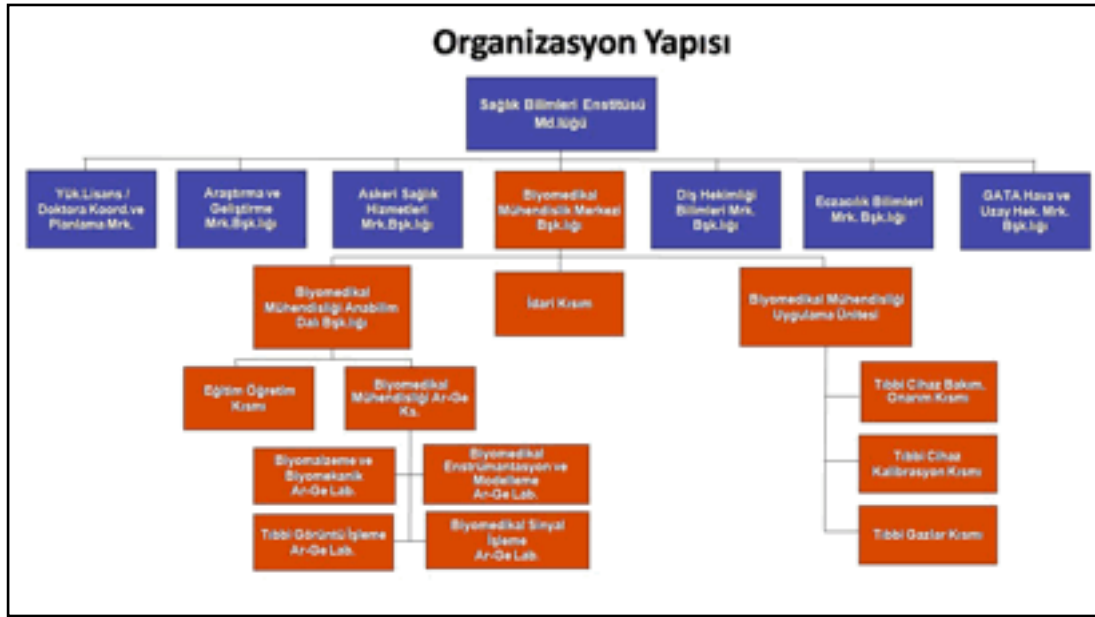
Biyomedikal ve Klinik Mühendislik Merkezini 1989 yılında Gülhane Askeri Tıp Akademisi'nde ilk defa kurduğumuzda ülkemizde biyomedikal mühendisliği adı altında kurulmuş başka bir birim yoktu, mevcut birimler yalnızca tıbbi cihazların bakım-onarımından sorumlu Tıbbi Cihaz Bakım ve Onarım Merkezleri hüviyetindeydi. Bu birim zamanla gelişti, hastane bünyesinde daha etkin oldu, daha uygun bir yere taşındı ve 2008 yılında da tıp fakültesi olan bir üniversite bünyesinde ülkemizin ilk ve tek biyomedikal mühendisliği anabilim dalı haline dönüştürüldü.

Biyomedikal mühendislerinin yaptığı işler, geliştirdiği ürünler, gerçekleştirdiği projeler, bilimsel araştırmalar insan sağlığını, hekimi, sağlık çalışanını doğrudan ilgilendiriyor, bu nedenle biyomedikal mühendisleri mutlaka ve mutlaka hastanelerle ve hekimlerle iç içe çalışmalı, iş birliği yapmalı. Biyomedikal mühendisleri birer sağlık çalışanı olarak sağlık sektörü ile iç içe olmalı.

Biyomedikal mühendislerinin görev ve sorumluluklarına baktığımızda genel olarak; temel bilimler, mühendislik bilimleri ve sağlık alanıyla ilgili Ar-Ge çalışmaları yapmak, bilimsel araştırmalarda ve sağlık alanında ihtiyaç duyulan tıbbi cihaz ve malzemeleri geliştirmek ve patentlerini almak, kullanıcı eğitiminden tutun, lisansüstü eğitimlere varıncaya kadar eğitimler vermek, tıbbi cihazların bakım-

onarım ve kalibrasyonlarını bütün yetkilerle donatılmış vaziyette en üst seviyede yapmak.

Bütün bu faaliyetleri yürütebilecek şekilde teşkilatlandırılmış örnek bir merkezin (Gülhane Askeri Tıp Akademisi Biyomedikal Mühendislik Merkezi, GATA BMM) organizasyon yapısını aşağıda görüyorsunuz.



Bu organizasyon şemasını şunun için gösteriyorum. Sağlık Bakanlığı temsilcisi olan katılımcı belki söz eder; Sağlık Bakanlığının, Ankara dahil olmak üzere ülkemizin çeşitli bölgelerinde sekiz adet buna benzer Klinik Mühendislik Merkezleri kurma çalışmaları var. Son derece önemli olan bu projenin gerçekleşmesi durumunda birçok biyomedikal mühendisi bu tür merkezlerde görev alacak. Bu nedenle, gelecekte bu tür merkezlerde görev alabileceğinizi düşünerek, şimdiden kendinizi bu konularda yetiştirmeniz gerekir.

GATA BMM, biyomedikal mühendisliği anabilim dalı aracılığı ile bilimsel araştırmalar ve lisansüstü eğitim çalışmaları yürütürken tıbbi cihazların bakım-onarım ve kalibrasyonlarını da yapabilen bir birim olarak teşkilatlandırılmıştır. Bu çerçevede, tıbbi cihaz kalibrasyon kısmı, bakım-onarım kısmı ve hastanelerde genellikle ihmal edilen tıbbi gazlar kısmı yine biyomedikal mühendislerinin sorumluluğundadır. Bu birim, mevcut bakım-onarım ve kalibrasyon atölyeleriyle, test ve kalibrasyon cihazlarıyla, akredite kalibrasyon laboratuvarıyla her türlü tıbbi cihazın bakım onarım ve kalibrasyonunu yapabilecek yeteneğe sahip olan bir birimdir. Bu birim ayrıca hastanelerde bulunan oksijen, vakum, medikal basınçlı hava, azot protoksit, karışım gazları, muhtelif tıbbi gazlar gibi tıbbi gaz sistemlerinin kurulması, işletilmesi ve bakım onarımından da sorumludur. Biyomedikal ve Klinik Mühendislik Merkezlerinde görev yapacak personelin bu görevleri hakkıyla yapabilmesi için mutlaka yurtiçi ve yurtdışı kurslarla eğitilmesi gerekir.

Bu birimler mutlaka sertifika programlarından başlayarak, önlisans, lisans ve lisansüstü seviyede eğitim verebilecek şekilde yapılandırılmalıdır. Bu kapsamda GATA BMM Milli Eğitim Bakanlığının biyomedikal cihaz teknolojileri bölümleri öğretmenlerinin yetiştirilmesi için sertifika programları düzenlemiş, tıbbi gazlar konusundaki eğitimler dahil olmak üzere, birçok alanda ve her seviyede eğitimler vermiştir. Araştırma-geliştirme çalışmalarını ise hekimlerle beraber yürütmüştür..

Dünkü konuşmaların birinde hekimlerle biyomedikal mühendislerinin arasındaki ilişkilerden söz edildi. Biyomedikal mühendislerinin sadece bakım-onarım yapan, hekimin söyledikleri çerçevede hareket eden mühendisler olduğu yönünde bir tavır çizdiler, ayrıca hekimlerin biyomedikal mühendislerine gerektiği değeri vermedikleri dile getirildi. Ben hastanede hiçbir zaman bu tür sıkıntılar yaşamadım, hiçbir zaman ben kendimi ne hekimlerden farklı hissettim, ne de onlar bana bunu hissettirdiler, ortak birçok bilimsel araştırma ve yayın yaptık, patentler aldık. Yeni geliştirilen tıbbi cihazların patentlerini almak, ortak çalışmak biyomedikal mühendislerinin görevleri arasında.

Kişiyi özel implant tasarımı ve üretimi biyomedikal mühendisliğinin geleceği açısından son derece önemli ve yeni bir alan. Bu konuyla ilgili öğleden sonraki oturumda daha kapsamlı bir sunum yapacağımız için, oraya katılmanızı öneririm; burada bu konuyla ilgili kısa bir bilgi vermek isterim.

Ateşli silah yaralanması, trafik kazası, deprem, patlama, travma, kanser vb. gibi çeşitli nedenlerle vücudundaki kemik dokusunu, uzvunu kaybetmiş kişilerin kemik dokularını biyouyumlu malzemelerden kişiye özel olarak tasarlayıp üretilip hastaya naklederek kişileri eski sağlıklarına kavuşturabilir miyiz? Aşağıdaki resimlerde ateşli silah yaralanması sonucunda kranial defekt oluşmuş bir hastanın ameliyat öncesi ve GATA METÜM'de üretilen implantın hastaya nakledilmesi sonrası durumunu görüyorsunuz.

Bunu yapabilmeniz için, anatomi, fizyoloji, biyofizik, biyomalzeme, doku mühendisliği, plastik cerrahi, mekatronik mühendisliği, makine mühendisliği dahil multi-disipliner çalışmak zorundasınız. Birçok disiplinin işbirliğini gerektiren bu tür çalışmalarda biyomedikal mühendisleri başrol oynayan mühendisler arasındadır. Bunu yapabilmeniz için uluslararası geçerliliği olan ISO 13485 sertifikasının olması, izlenebilirliğinizin olması ve uygun donanım ve yazılımlara sahip GATA METÜM gibi bir merkezinizin olması gerekir.

20 yaşında erkek, Ateşli silah yaralanması olayı



Türkiye'de ilk ve tek olan bu merkezde multi-disipliner çalışmalarda bulunan farklı branşlardan mühendisler ve hekimler görev yapıyorlar. Kişiyi özel implant tasarımı ve üretimi yapabilmek için; tomografi görüntülerinden uygun yazılımlar kullanılarak üç boyutlu görüntü oluşturulur, bu görüntü üzerinde eksik olan parça tasarlanır, biyomedikal mühendisi olarak tasarlamış olduğunuz bu parça, özel programlar, yazılımlar ve cihazlar yardımıyla titanyum, alüminyum, vanadyum alaşımı dediğimiz biyouyumlu malzemeden üretilir. Bunu yapmak için 30-40 mikron kalınlığındaki biyouyumlu metal toz tabakası serilir, üzerine lazer ışığı düşürülerek üç boyutlu yazıcılar yardımıyla katman katman bu implant üretilir. Bu üretim öncesinde ve sonrasında yapılan birçok işlem var, bunları detaylı olarak öğleden sonraki sunumda anlatacağım. Bu tür implantları piyasada bulma şansınız yok; kişiye özel implant üretiyorsunuz ve bu implantları hastaya nakledip, hastanın ayağa kalkmasını ve sağlığına kavuşmasını sağlıyorsunuz.

Üç boyutlu yazıcı teknolojisi, geleceğin teknolojisi olarak ifade ediliyor. Biyomedikal mühendislerinin bunları yapabilmesi için, çok disiplinli çalışması ve geniş bir alanda bilgi birikiminin olması gerekir.

Dinlediğiniz için hepinize teşekkür ederim, sorularınız varsa cevaplandırmaya çalışayım.

Fikret Küçükdeveci- Çok teşekkür ediyoruz Osman beye.

Şimdi Gökhan beyi davet ediyorum.

Yrd. Doç. Dr. Gökhan Ertaş (Yeditepe Üniversitesi)- Merhabalar.

Ben, Yeditepe Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesiyim.

Aramızda mezunlarımızı görmek beni mutlu etti. Şu an benden bitirme projesi yapan arkadaşları görmek de beni mutlu etti. Yeni arkadaşlar var, hocalarımız var. Bu vesileyle bir araya gelme fırsatımız doğdu.

Öncelikli olarak biraz kendimden söz ettikten sonra Yeditepe Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliğinde yaptığımız çalışmaları anlatmak isterim.

Ben aslen elektronik mühendisiyim. Yüksek lisans ve doktoramı biyomedikal mühendisliğinde tıbbi görüntüleme ve tıbbi görüntü işleme üzerine yaptım. Boğaziçi Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Enstitüsünden mezun olduktan sonra İngiltere'ye gittim. İngiltere Kanser Araştırma Enstitüsünde uzun yıllar çalıştım.

Enstitüdeki hedefimiz, çok merkezli ve çok farklı MR cihazlarından alınmış görüntülerin hepsini birden işleyip doğru teşhisler yapabilen algoritmalar, yazılımlar geliştirmektir. 20 ülkeden çok farklı kişilerle çalıştım. Bunların bir kısmı doktordu, bir kısmı medikal fizikçiydi, bir kısmı mühendisti. Farklı farklı kökenden insanların bir arada çalıştığı bir ortam, bakış açınızı oldukça değiştiriyor.

Sonrasında Yeditepe Üniversitesine, Biyomedikal Mühendisliği Bölümüne geldim. Orada neler yapıyoruz? Biraz önce Osman hocamızın da bahsettiği gibi biyomedikal mühendisliği bir okyanus. Siz, bu okyanusta nerede olacaksınız? Nerede olacağınızı tespit ederken, elinizdeki imkânlarla çok iyi bakmanız lazım. Bu imkânlarla baktığımız zaman, biyomalzeme, biyomekanik, tıbbi görüntüleme ve tıbbi elektronik/biyomedikal cihazlar üstüne daha yoğun bir şekilde gidebiliriz. Elektronik kökenli olduğum için tıbbi cihazlar konusuna girdim. Bir sürü tıbbi cihaz var. 'Bu cihazlar arasında hangileriyle ilgilenmeliyiz? Nerede boşluk var?' diye sorduk kendimize.

Bizim açımızdan gördüklerimiz şunlar oldu: Fizyoterapi alanında biyomedikal cihazlar oldukça eksik, evde sağlık bakımı alanında da oldukça eksiklikler var. Elimizde ise güçlü bir biyomedikal elektroniği laboratuvarımız ve biyomedikal enstrümantasyon laboratuvarımız var. İşte buradan farklı farklı çalışmalar çıktı ortaya.

Çalışmalardan biri taşınabilen ve giyinebilen kambur duruş düzeltici cihaz üzerine oldu. Piyasadaki benzer cihazları temin ettik, kullandık ve test ettik. Eksikliklerini tespit ettik. Biz başka neleri geliştirebiliriz, bunlara baktık. Sonrasında kullanışlı bir cihaz prototipi ortaya çıktı. Fizyoterapi bölümünden gelen farklı talepler doğrultusunda -mesela beyin tümörü hastalıklarında parmak ucu his kayıpları olduğunu söylemişlerdi-, bu hastaların günlük yaşamlarında tuttukları objelere uyguladıkları basınçları onlara görsel bir yolla aktaran giyilebilir yardımcı bir eldiven prototipi tasarladık. Prototip diyorum, çünkü 'Yaptım, ettim, oldu' diye bir şey yok bence. Yapıp ettikten sonra, bunun çok sayıda katılımcıda denenmesi lazım. Size de tavsiyem, dikkatli olun. 'Yaptım, ettim, oldu bu cihaz, süper oldu' demeyin.

Bakın, bahsettiğim çalışmaların detaylarını sizinle paylaşmam aslında beni bir hayli zorluyor, çünkü bunlar ürüne dönüşme potansiyeli oldukça yüksek tasarımlar. Daha genel konuşayım. Oldukça fazla sayıda rehabilitasyon merkezi var. Bu merkezlerde; uygulanan tedavinin başarısını ölçmek için değişik cihazlara ihtiyaç duyulmakta. Mevcut cihazlar ise inanılmaz derecede geliştirilmesi gereken cihazlar.

Çalışma konularımızı belirlerken öğrencilerimizden gelen istekleri de göz önüne almaktayız. 'Hocam, ben küçüklüğümde beri şöyle bir el protezi yapma hayali kurdum. Onun için biyomedikal mühendisliği okudum.' Sonrasında, insan eline çok benzeyen ve kas sinyalleriyle kontrol edilen mikrodenetleyici kontrollü bir el protezi yaptık. Fark ettik ki, bu konuda çalışan bir sürü firma varmış

Türkiye'de. Biz düşük bütçeyle yaptık; ama onlar inanılmaz destekler almışlar. Kendimizi şanslı gördük. Demek ki doğru şeyler yapmışız, doğru noktalardayız.

Bir biyomedikal mühendisi asla oturduğu yerden, 'Şu cihazı yapayım, bu cihazı yapayım' dememeli. Bu noktada paydaşlar bizim için vazgeçilmezler. Bizim paydaşlarımızın en başında hastaneler gelmekte. Devlet veya özel olması bizim için fark etmiyor. Özel görüntüleme merkezleri, rehabilitasyon merkezleri ve sağlık alanında faaliyet gösteren firmalar diğer başlıca paydaşlarımız. Paydaşlarınız mümkün olduğunca çok olmalı.

Üniversitede bunaldığım zaman hastanelerdeki paydaşlarımıza gidiyorum, orada doktor arkadaşlarla sohbet ediyoruz. Onların çalışma sistemi bizden çok daha yoğun ama bir şekilde bana iyi geliyor. Döndüğümde, 'Şu da yapılabilirmiş, bu da yapılabilirmiş', 'Bir sonraki dönem bir öğrenciye bitirme projesi olarak ver' veya 'Şu firma bununla ilgilenebilir. Şöyle bir şey olabilir. Bunun geleceği şöyle' gibi notlar alıyordum.

Bakın, sağlık alanına yönelik bilgisayar yazılımları, çok dile getirilmeyen çalışma konularından. Bu yazılımların başında tıbbi görüntü işleme yazılımları gelmekte. Bilgisayar mühendisleri yazılım geliştirme işini çok iyi biliyorlar; ama konu sağlık olunca birtakım teknik detaylardan, kullanım hedeflerinden veya ilgili doku fizyolojisinden habersizler. Bana gelip, 'şu görüntüde hangisi yağ dokusu, hangisi kas dokusu, burası meme başı mı?' diye soran bilgisayar mühendisleri oldu. Uzman bilgisayar yazılımcıları biyomedikal mühendisine mutlaka soru sorma ihtiyacı duyuyorlar. Sizler de biyomedikal mühendisi olarak aslında bu noktadasınız.

Peki, şu an için, hedef işbirliklerimiz neler? Evde bakım için gerekli olan teknolojiler, fiziksel tedavi ve fizyoterapi için cihazlar, kol ve bacak protezleri ve bunların yeni nesil versiyonları. Biz bunları nasıl belirledik? Tamamı iki satıra sığıyor ama biz bunları belirlerken 2-3 yıl düşünüp taşındık. Panel yöneticimiz en başta çok güzel söyledi; güçlü noktalar, zayıf noktalar, eldeki imkânlar. Tüm bunları göz önüne aldık. Eminim, hepinizin inanılmaz potansiyeli var. Önünüze bir proje gelse, onu çok güzel noktalara taşıyabilirsiniz; ama o proje, size çok zahmet ettirecek ve elinizdeki teknolojiyle yapılamayacak bir projeyse, bırakın başarıya ulaşmayı, oldukça yıpranırsınız, sonrasında da 'Ben niye yapamıyorum?' dersiniz, kendi kendinizi yersiniz. Aman, bu duruma düşmeyin!

Ben mümkün olduğunca kendimi ve Yeditepe Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliğini tanıtmaya çalıştım. Aklınızda güzel projeler var, ama 'Ben bu teknolojiyi Türkiye'de bulamam' diyorsanız, lütfen, bize bir gelin. Şu anda laboratuvarlarımızda mevcut sensörlerin veya şu an üstünde çalışmakta olduğumuz sensörlerin çoğu yurtdışından getirttiğimiz çok özel ileri teknoloji ürünü sensörler. Eminim ki aklınızdaki sorulara cevap olabilecek birtakım cihazlar da muhtemelen elimizde mevcut. Yoksa da biz bunları tasarlayıp üretebilecek kapasitedeyiz. Fakat bunları hep beraber yapabiliriz, büyük bir takım olarak yapabiliriz. Tek başınıza çok hızlı ilerleyebilirsiniz ama 100 metre sonra nefesiniz kesilir. Dört kişi olarak giderseniz, belki yavaş ilerlersiniz, ama 400 metre giderseniz ve nefesiniz yine de kesilmez.

Beni dinlediğiniz için çok teşekkürler.

Fikret Küçükdeveci- Gökhan bey'e çok teşekkür ediyorum.

Sunumunu yapmak üzere, Dr. Onur Koçak arkadaşımızı davet ediyorum.

Dr. Onur Koçak (Başkent Üniversitesi)- Elektrik Mühendisleri Odasının çok değerli temsilcileri, değerli hocalarım, değerli panelist hocalarım, değerli arkadaşlarım, sevgili katılımcılar; hoş geldiniz öncelikle. Sizleri saygıyla selamlıyorum.

Sunumuma başlamadan önce, özellikle bu konferansın, yani Elektrik Elektronik Mühendisliği Ulusal Konferansının düzenlenmesinde yaklaşık 1.5 yıldır titizlikle çalışan, sadece biyomedikal alanında değil; enerji politikaları alanında, elektrik elektronik sistemler, mikroelettronik sistemler,

yenilenebilir enerji kaynakları, elektrik makineleri ve diğer elektrik elektronik anabilim dalları konusunda çok kıymetli bir organizasyon düzenleyen Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesine çok teşekkür ediyorum.

Onlardan bir ricam daha var. Biyomedikal mühendisliğiyle ilgili çalışmalar İstanbul'da, malumunuz, yeni yeni filizlenen biyomedikal mühendisliğiyle birlikte başlıyor. 'İstanbul'daki öğrenci arkadaşlarımız panele gelebilir mi, gelemes mi ya da çeşitli ulaşım problemleri yaşanır mı?' diye birtakım şüpheler vardı. En başta; herkesin metro, otobüs veya benzeri ulaşım araçlarıyla gelip gideceği şekilde böyle bir merkezi yer ayarlayarak başladılar. Sonrasında gördük ki, gerek Ankara'dan, gerek İstanbul'dan, gerek çeşitli şehirlerden birçok mühendis veya biyomedikal mühendisi adayı arkadaşımız ve hocalarımız buraya katıldılar. Onlardan ricam şudur ki: Bu etkinlikleri sürekli kılarak, altı ayda bir, en azından senede bir, sizlerin öngörüsüne, sizlerin gelecekte yapabileceğiniz çalışmalara şekil verebilecek çalışmalar hayata geçirilmeye devam edilsin.

Ben zaten birçoğunuzu tanıyorum. Şöyle kısaca, tanımayanlar için kendimi tekrar tanıtayım. Başkent Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümünün ilk öğrencilerindenim. Daha o zamanlar, 'Biyomedikal mühendislik okuyoruz' dediğimizde, 'Aferin, çok güzel; ama o nedir?' denilenlerdenim. 'Mühendislik okuyorum'. Çok güzel. Ne okuyorsun? 'Biyomedikal mühendisliği okuyorum'. Evet, çok güzel. Bunları sık sık duyan bir jenerasyondan geliyorum. Ama tahmin ediyorum artık, 'Biyomedikal mühendisiyim' ya da 'Adayıyım' diyen birine, 'Kaç yıl bu bölümde okuyacaksın?' ya da 'Ne olacaksın?' demiyorlardır herhalde. Bu geçen 15-16 yıllık süre zarfında, hekimlerimiz, hocalarımız biyomedikal mühendisliği kavramını öğrendiler, tanıdılar ve birlikte çalışma yapıyoruz artık.

Aynı zamanda da yaklaşık 10 yıldır Elektrik Mühendisleri Odasının Ankara Şube ve Genel Merkezinde çeşitli kademelerinde görev yapmaktayım. Odanın üyesi olmaktan da her zaman mutluluk duydum.

Sözü fazla uzatmayıp, 10 dakikamı iyi kullanmaya çalışacağım.

İşin akademik tarafından ziyade, akademiyle birlikte, özel sektör veya Ar-Ge sektörü ne iş yapar; yani bir biyomedikal mühendisi yüksek lisans, doktora faaliyetlerini yürüttüğünde, sanayide işin içine nasıl gireceğine dair, kendi tecrübelerimden örnek vereceğim. Çeşitli firma, üniversite ve benzeri kurumlarla yaklaşık beş yıldır, üniversitemizin yanındaki teknoparkta kurduğumuz firmayla birlikte çeşitli çalışmalar yaptım ve yapmaya da devam ediyorum.

Üniversite-sanayi işbirliği gerçekten çok önemlidir. Üniversite-sanayi işbirliğine çıkmanın birinci aşaması, üniversiteden sanayiye doğru yol almaktır. Sanayicinin isteğine hızlı, uygun çözümler üretmek zorundasınız. Üniversitelerimiz bilimsel araştırmalarla sorumlu kurumlar olduğu için, öncelikli işi tıbbi cihaz üretmek değildir, tıbbi cihaz üretimindeki tüm bilimsel aşamalara hizmet etmektir. Mastır ve doktora öğrencilerinin de gayesi budur. Bu bakımdandır ki, özel sektörün istemiş olduğu hızlı ve süratli çözümler üniversitelerimiz tarafından yerine getirilememektedir. Bu gerçektir, dünyada da böyledir. Bu bakımdan zaten teknoparklar vardır. Ne içindir? Teknopark bünyesindeki firma, üniversitedeki bilimsel bilgiyi alır, yoğurur ve sanayinin isteğine uygun şekilde modern dizaynlar yapar. Bu çeşitlendirilebilir. Hele biyomedikal mühendislikte bununla ilgili çok fazla opsiyonumuz var. Biz de naçizane yaklaşık 5 yıldır üniversitedeki görevimizin yanında bu işin içinde de yer alıyoruz.

TÜBİTAK, Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, kalkınma ajansları, kamu kurumlarıyla ortaklaşa yapılan çalışmalar, akademik boyuttaki ağırlık ve sektörel boyutta olmak üzere 40'ın üzerinde çalışmada görev aldık. Bununla ilgili, bir biyomedikal mühendisinin olabileceği proje yürütücülüğü, mühendislik müşavirlik çalışmaları, proje partnerliği, teknik danışmanlık ve Ar-Ge hazırlama süreçlerinin her birinde bulundum. Aynı zamanda, bunun sonucunda, gerek özel sektörde, gerek kamu iştirakinde bir teknik Ar-Ge altyapısının oluşturulmasında ve kurulmasında çalıştım.

Çok kısa özetlemeye devam ediyorum.

Bizim işimiz ne? Bizim işimiz tıbbi cihaz ve sistem üretmek, değil mi? Üniversite tarafındaysak değerli hocalarım gibi, bunların üretilmesine hizmet edecek bilimsel altyapıyı geliştirmek ve tabii ki

sizleri yetiştirmek. Sanayicimizin görevi ne; bunları üretmek ve dünya çapında rekabet edebilir bir düzeye getirmek. O yüzden, öncelikle tıbbi cihazın ne olduğunu iyi bilmeliyiz. Tıbbi cihaz nedir?

Sayın Sağlık Bakanlığı temsilcimiz de aramızda. Birazdan da çok değerli katkılar yapacaktır. Ben internette aldım, hepiniz alabilirsiniz; Resmi Gazete'deki Tıbbi Cihaz Yönetmeliğinde -2011 yılında yayınlanan son hali bildiğim kadarıyla, revizyon da edilmiş olabilir- sayfalar dolusu bir tanımı var tıbbi cihazın. Ben bunun tamamını değil ama şu en alttaki cümleyi okumaya çalışacağım.

İçerikteki tüm maddeler ifade edilerek, "... amacıyla kullanılmak üzere imal edilmiş, tek başına veya birlikte kullanılabilen, imalatçısı tarafından özellikle tanı veya tedavi amaçlı kullanılmak üzere imal edilmiş ve tıbbi cihazın amaçlanan işlevini yerine getirebilmesi için gerekli olan yazılımlar dahil, her türlü araç, alet, teçhizat, yazılım, aksesuar ve diğer malzemeler" denilmektedir. Böyle bir tanım olabilir mi; evet, olabilir. Çünkü tıbbi cihaz her şey aslında. Nasıl mı?



Şu resmi görebiliyor musunuz? Burası bir ameliyathane. Bu son geldiğimiz teknoloji. Sistemleri görebiliyor muyuz? Gördüğümüz gibi, yüzde 95'i, belki tamamı elektronik tabanlı sistemler. Bunların her biri ayrı ayrı birer tıbbi cihaz. Hepimizin stajlarında ve özel sektörde çok sık karşılaştığı hasta başı monitörler ve benzeri takip sistemleri...

Şırınga da bir tıbbi cihaz. Yara bandı, o da tıbbi cihaz, özellikle bizim 'Gazlı bez' diye tabir ettiğimiz steril bantlar, bunlar da tıbbi cihaz. Siz hangisini üreteceksiniz ya da hangisini üreterek sektöre hizmet edeceksiniz? Böyle bir yerde karar vermek ya da kariyer belirleme işi oldukça güç olsa gerek.

Bu genişlikte bir ürüne sahip sektörde eğitim nasıl olmalı? Bu ayrı bir tartışma konusudur. Tartışma açıyorum gibi olmasın, ama çeşit çeşit eğitim modelleri uygulanabilir. Osman hocam, Fikret hocam zaten bizim bölümümüzün kuruluşunda da çok değerli katkıları olan hocalarımız. Biz üniversite olarak, elektrik elektronik temelli bir eğitim modelini benimsiyoruz. Biraz önce göstermiş olduğum şekillerdeki elektrik elektronik temelli cihazların geliştirilmesi, üretilmesi ve servis hizmetlerinin verilmesiyle ilgili mühendisler yetiştiriyoruz. Bu doğrudur ya da yanlıştır demiyorum, biz böyle bir model benimsiyoruz.

Bunu tartışmaya açmıyorum, ama işin sırrı, kesinlikle gerçekleştireceğiniz çalışmayla ilgili olan bir eğitim modelini benimsemeniz. Bu, lisans hayatında başka bir şey olabilir, yüksek lisans ve doktora da sanayi ve endüstriyle yapmaya çalışacağınız işlerle ilgili bir eğitim modeli benimseyebilirsiniz. Yani burada önemli olan, sizin kariyer planınızda ne olmak istediğiniz ve ne yapmak istediğiniz. Herkesin eğitim modeli de aynı olacak diye bir şey yok. Zaten Amerika Birleşik Devletleri'nde de öyle; biyomedikal mühendisliği olarak tanımlanan 10 bin laboratuvarın 10 bini de farklı iş yapıyor. Yani her şeyi standardize edecek değiliz tabii ki; ama burada önemli olan, kişinin bu tercihlerini doğru yapabilmesi.

Ben bu istatistiği birkaç hafta önce yaptım. 1. sınıflar var mı aramızda? Belki bilirler. 2015-2016 yılında, tercih ederlerken seçeceğimiz üniversitelerden 9'u İstanbul'da. Gökhan (Ertaş) hocanın

hizmet ettiği üniversite, bu ilk kurulan bölüm. Sonrasında diğer üniversiteler geliyor. Bugün, Acıbadem, Bahçeşehir, Fatih Sultan Mehmet, vakıf ve benzeri dokuz üniversite biyomedikal mühendisliği öğrencisi alıyor. Ankara'da malumunuz, bu sene Ankara Üniversitesi başladı. İzmir'de iki üniversite. Afyon, Zonguldak, Adana, Denizli, Düzce, Kayseri, Karabük, Kocaeli, Lefkoşa olmak üzere, toplamda 23 üniversite var. Bu üniversitelerin sayısı 2012-2013 yılından itibaren hızlıca arttı.

Dikkat çekmek istediğim konu şu: Bugün için, 2015-2016 akademik yılı itibarıyla toplam 1.392 öğrenci kontenjanı var, Türkiye Cumhuriyetinde biyomedikal mühendisliği okumak isteyen adaylar için. Bunun yaklaşık 1.300'üne öğrenci yerleşmiş durumda. Bu, şu açıdan önemli: 2000 yılından 2016'ya kadar açılan kontenjanların sayısı 5.955. Bizim üniversitemizin istatistiğini baz alarak düşündüğümde, yıllara bağlı doluluk oran ortalamanız yüzde 90. Türkiye ortalamasının da yüzde 80-85 olduğunu düşünürsek, şu sayıyı yüzde 85-90'la çarptığınızda, şu an için bu sayıda öğrenci ya da mezun söz konusu. Elektrik Mühendisleri Odasının yaptığı araştırmalara göre de, tahmini mezun sayısı 1.615. Hadi, 1.500 diyelim, yuvarlak bir sayı olsun.

Buradan şuna değineceğim: Biz biyomedikal mühendisi olarak ne yapacağız? Burada daha önceki oturumlarda yapılan tartışmalarda, bir 100 yatak sohbeti vardı; '100 yatak üzeri her hastanede bulunur, bulunmaz' vesaire. Kimisi bulunur dedi, kimisi bulunmaz dedi. Ben şöyle özetliyorum: Şu anda Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığının yayınladığı Sağlık İstatistik Yıllığı 2013'te, toplam 1.517 hastane var. Bunların her birine bir biyomedikal mühendisi yerleşse, 1.517 kişi var demek ya da her 100 yatak üzeri hastaneye bir biyomedikal mühendisi yerleşse bu sayı kaç olur?

Şöyle bir projeksiyon yaptım. Son derece basit, son derece istatistiksel bilgidan uzak, yani direkt bakkal hesabıyla yapılan bir projeksiyon. 100 yatak üzeri hastanelerde biyomedikal mühendisliği, klinik mühendislik çalışan sayısı 2 bin dedim. Merkez teşkilattaki diğer kadrolarda da 1.500 kişinin yerleşeceğini düşündüm. Özel sektör satış pazarlama, teknik servis, eğitim, ilk etapta toplam 2.500 biyomedikal mühendisine ihtiyaç olduğunu düşünerek, ortalama 6-7 binlik bir sayıya ulaştım.

Şöyle bir projeksiyon yaptık. Bu giriş sayılarıyla yeni açılan bölümlerin dahil olmasını da hesaba katarak, 2021 yılında 6.500 adet biyomedikal mühendisi mezun olmuş olacak. Bu basit bir projeksiyon. 5 - 6 bin biyomedikal mühendisinin mevcudiyetindeki ülkede, 2021'de biz bu sayıyı tamamlıyoruz. 1. sınıflar varsa aramızda, 4 yılda bitirdi diyelim -1 yıl da bir problem olduğunu düşünelim- 2021'de mezun olduğunuzda limit dolacak. Peki, o zaman ne olacak? Bu yine ayrı bir tartışma konusu bence. Bunu hocalarım zaten değerlendirecekler veya başka oturumlarda konuşacağız.

Arkadaşlar, bu işin çözümü basit; yüksek nitelik kazanmak. Yüksek niteliği üzerinde barındırmayan biyomedikal mühendisi bu mevcut rekabet ortamında birazcık yorulacak. Bu yüksek niteliği kazanmak da aslında bence çok zor bir iş değil. Çünkü şöyle bir şans var: Elektrik mühendisliğinden farklı olmak üzere, biraz önce özetlemeye çalıştığım kadarıyla farklı farklı tıbbi cihazlar var. Yani herkes EKG üretmeyecek belki, herkes MR veya tomografi bakım-onarımında olmayacak; ama çok iyi yara bandı üreticisi olacak, birinci sınıf gazlı bez diye tabir ettiğimiz steril bezlerin üretiminde çalışacak. Yani bu kadar büyük bir yelpazenin olduğu sektörde kişinin kendini geliştirmesi bence çok önemli. Ben size böyle bir bakış açısı sunmaya çalıştım.

İnovasyon ve girişimcilik kavramı, dünyada yeni bir trend. Bu, sadece Türkiye'de değil, dünyada bitmeyecek bir şey. Amerika'daki garaj şirketinde Whatsapp'ı kur, 5 milyar dolara Facebook'a sat. Bu gibi örnekler karşımızda olduğu sürece, bunlar bence bizi motive etmeli. Tabii, biz Amerika Birleşik Devletleri'nde yaşamıyoruz. Ülkemizde ticaret nasıl yürütülüyor, bunların hepsinin farkındayız; ama denemekten ne çıkar, girişimci olmaktan ne çıkar? Bunu sağlık sektöründe nasıl yaparız? Bence buna en önemli cevap da yine yüksek nitelik kazanarak bol tecrübe edinmeniz; yani sadece oturarak fırsatın sana gelmesini beklemek değil, bilimi ve fırsatı gezerek kollamak.

Bir ampul. Bu, dünyadaki en güzel inovasyon örneklerinden biri. İnsanlar ateş yakarak ısınırken, Thomas Edison ampülü buldu. Biliyorsunuz, ampulün mucidi ya da ilk patent sahibi olan Thomas Edison, aslında General Electric firmasının kurucusu. General Electric (adına) perşembe günü sunum yapıldı ve nerelerde olduklarını anlattılar.



Elektrikli arabayı şarj edecek altyapının kurulması bence şu anda muhteşem bir inovasyon. Bu, en basitinden Iphone'unuza taktığınız, benim 2015 yılı için gördüğüm en muazzam inovasyon. Dün bir arkadaşımız, '1 milyon liran olsa nereye yatırırısın?' diye sordu; şuna yatırabilirim.

Evet, girişimcilik. Bununla birlikte, yapmış olduğunuz inovatif fikri ortaya koymak işi, bununla ilgili çeşitli kapılar var. Gökhan (Ertas) hocam çok güzel bahsetti, "Bir fikriniz varsa, İstanbul'daysanız, bizim kurumumuzda olmasanız da gelin" dedi. Aynı şeyleri ben de tekrarlıyorum. Bu iş, İstanbul'da, Ankara'da ya da dünyanın çeşitli yerlerinde oturma meselesi

değildir arkadaşlar. Bir fikriniz varsa, bunu icra etmek istiyorsanız, bu işin bilimsel yöntemlerle yapıldığı kurumlara gitmekten çekinmeyin bence. Burada kurum adı önemli değil. Bu şekilde yola çıkarsak, girişim ve inovasyonun da ayaklarını doğru yere bastırmış oluruz diye düşünüyorum.

Ben burada çeşitli örnekler verdim. Bunları arada da paylaşıyorum. Kendi üniversitemizden örnekler var. Çeşitli üniversitelerle yapmış olduğumuz bunlarla ilgili çalışma, toplantı ve benzeri çalışmalar var.

Beni dinlediğiniz için çok teşekkür ederim.

Fikret Küçükdeveci- Sunumunu yapmak üzere Kayhan beyi davet ediyorum.

Kayhan Kayan (EE Müh. Metsis Ltd. Şti.)- Değerli katılımcılar; hepinizi saygıyla selamlıyorum.

Tabii, aslında hayatımın 20-21 yılını tıbbi cihaz tasarlayıp üreterek geçirmiş, bununla ilgili yurtiçinde ve yurtdışında eğitimler, çalışmalar yapmış olmama rağmen, açıkçası buraya gelmeden evvel "Ülkemizdeki biyomedikal mühendisliğinin durumu nedir?" diye hiç düşünmemiştim. Öyle olunca da dedim ki, katılımcıların durumuna göre konuşmamı şekillendiririm. Görüyorum ki, daha çok öğrenciler var. O zaman, beni hangi rüzgâr alıp savurdu bu tıbbi cihaz tasarımı ve üretimi işine, biraz ondan bahsetmek istiyorum.

Öncelikle kendimi çok kısaca tanıtayım. 1988 yılında Bilkent Üniversitesine burslu olarak girdim. 1993 yılında elektronik mühendisi olarak mezun oldum. Tabii, elektroniğe aslında çok severek girmiş olsam da ne yapacağımı bilemiyordum. Yani 'Bir yerde çalışır, mühendislik yaparım' gibi bir düşünceyle girmiştim.

Buradaki öğrencilere üniversite hayatıyla ilgili çok dikkat etmeleri gereken iki-üç hususu söylemek istiyorum: 'Ben üç tane üniversite bitirdim; bunlardan bir tanesi Bilkent Üniversitesi, ikincisi Almanya'da yaptığım yaz stajı, üçüncüsü de o dönemde Abdullah Atalar'dan ders almak.' Hangi dersi almış olmanın bir önemi yok. Gerçekten her üniversitede çok değerli hocalar var; bu hocalardan mutlaka ve mutlaka yararlanın. O dönem de belki şu an hepinizin aklına gelen şeyler oluyordu; "Hocam; bu ne zaman işimize yarayacak?" sorusunu, derste sıkıldığım anda kendimize, arkadaşlarımıza soruyorduk. Evet, hayatı yeterince uzun yaşarsanız, öğrendiğiniz her şeyi yüzde 100 kullanacaksınız arkadaşlar. İnşallah öyle olur. Onun için, hiç aklınıza böyle bir soru gelmesin. Öğrenilen bütün bilgileri kullanıyorsunuz.

Çok basit bir örnek vereyim. Cebirde matris transformasyonları diye bir dersimiz var. Dedim ki, "Ne anlatıyor bu hoca, bizim bununla ne alâkamız olacak? Biz transistorlar falan yapacağız." Tabii, işin öyle olmadığını, daha sonraları birazdan göstereceğim ilk cihazda, ultrasonik robotik kol tasarlarken, bunun matris transformasyonlarıyla hesap edilebildiğini görünce, 'Keşke şu derse biraz daha ciddiyetle asılsaymışım' demiştim. Böylece, Amerika'yı yeniden keşfetmek zorunda kalmazdım. Eminim, hepinizin aklına o tür şeyler geliyordur.

Üniversite hayatıyla ilgili bir başka şeye daha değineyim. Bizim eğitim sistemimizde şöyle bir

sıkıntı var: Biz, bu test sistemiyle yetiştiriyoruz. Herkes bunu söylüyor; 'Test sistemiyle geliyoruz, ama soruları çözüyoruz, gayet güzel. Yani bunda bir problem yok.' Test sistemi insanı tek adımda sonuca götüren işlerde uzmanlaştırıyor. Onur (Koçak) hocanın anlattığı gibi, ileride eğer kendiniz bir şirket kuracaksanız veya bir Ar-Ge'de, projede çalışacaksanız, bu, gerçekten kötü bir alışkanlık oluyor sizin için. Bu bir gerçek. Niye 'İkinci bir üniversite bitirdim, üçüncü üniversite bitirdim' diye değerlendiriyorum? Birinci sebebi bu. Bize Abdullah hoca: 'Siz tek adımlık problemlerde belki de şu anda dünyanın en iyi öğrencilerisiniz; fakat bir proje verdiğim zaman hiçbiriniz işin içinden çıkıp, başarıp, ortaya bir şey koyamayacaksınız' demişti. Gerçekten de 4 yıllık eğitim hayatımız boyunca o dönüşümü biraz gördük, yaşadık.

Hatta çok basit, ilgi çekici bir örnek vereyim. Benim oğlum Bahçeşehir Fen ve Teknoloji Lisesinde okuyor. 24 kişi alıyor bu lise ve OKS sınavında full çıkaranlar bu liseye girebiliyor. Full çıkaran bu öğrencilere her sene geldiklerinde bir sınav yapıyorlar. Full çıkardıkları aynı soruları seçenekler olmadan veriyorlar ve şu güne kadar da full çıkarabilen bir öğrenci yok. Yani buradaki tuzağı artık buradan değerlendirebilirsiniz. Bundan bir sıyrılmak lazım. Tabii, bu bir devlet politikası, burada biz sınav yöntemini değiştirecek değiliz; ama en azından öğrenciler olarak, 'Bir dakika! Biz nereye gidiyoruz? Bu yaptığımız çalışma yeterli mi? Biz üniversite sınavında başarılı olduk, geldik, kendimizi kanıtladık, bir üniversiteye girdik' demeyin. Proje yapmak, projeyi neticelendirmek bambaşka bir şey.

Tabii, biz üniversiteden mezun olduktan sonra, o zaman fiber optik kablo işi yaptık, tamamen bir arkadaş vasıtasıyla, hatta üniversitede bir hocamız vasıtasıyla gittiğimiz bir işti. Orada, fiber optik kablunun belki de Türkiye'de ilk yapılması anına tanık oldum diyebilirim.

Askerliğimi de yine kendi mesleğimle ilgili yaptım. Onun da çok ilginç bir hikâyesi var. Yedek subay olarak askere gittiğimde, bildiğim dilleri yazarken 'C'yi biliyorum ben' dedim, oysa okulda Pascal gördük biz, C programlama dilini bilmiyordum. Balıkesir'de yedek subay okulundaydım. Tugay komutanı çağırdı beni, bir tümgeneral ki askere gidenler bilir; bir tümgeneralin bir eri çağırdığı vaki değildir. Orada bulunan bir bakım fabrikası için bir tedarik programı yazılacaktı. Ben gidip, selamı çaktım. 'Sen C'yi iyi biliyormuşsun' dedi. 'Evet, biliyorum komutanım' dedim. 'Şöyle şöyle bir program var' dedi. 'Bunu ben yaparım' dedim. Herkes cumartesi-pazar çarşı iznine gidince, ben bakım fabrikasında hem C'yi öğrendim, hem o tedarik programını yazdım. Ondan sonra 5-6 sene kullanıldı o. Tedarik programı nedir? Çok basit bir şey database programı aslında, ama bana C'yi öğretti, ben de karşılığında 5-6 sene hizmet veren bir program yapmış oldum.

Ondan sonra bir gazete ilanıyla PCK Ltd. Şti.'ne girdim. PCK Ltd. Şti. de, daha önce başka bir şirketle Türkiye'nin ilk böbrek taşı kırma, vücut dışından böbrek taşı kırma cihazını yapan firma. Daha önce İsrail firması, vücut dışından böbrek taşı kırıyor. Bazısını kopyalayarak, bazısını yeniden yaparak, bunu Türkiye'de üretiyorlar. Mühendise ihtiyaçları var. Ben gittim, 'Burada çalışmak istiyorum' dedim. (Ankara-Çankaya) Güvenlik Caddesinde küçük bir apartman dairesi, onun da bodrumu. Tabii, onlar da şaşırды, 'Bilkent Üniversitesinden mezun biri, gelip burada, küçük şirkette çalışır mı?' diye. O zaman Hyundai yeni kuruluyor. Hyundai'ye de iş başvurusu yaptım, o da kabul edildi; fakat nedense, içindeki bir şey beni bu küçük şirkete itti. Sebebi de, herhalde biraz daha sorumluluk almak istiyor olmam diye düşünüyorum geriye dönüp baktığımda. Hem daha yüksek maaşlı, hem de daha prestijli bir işe değil; ne olacağı belli olmayan bir şirkete girdim o dönemde. Beni biyomedikal alanına sevk eden bu kararım oldu aslında. Zaten o dönemde biyomedikal mühendisliği diye bir şey de yoktu.

Bir kısmı başarılı, bir kısmı başarılı olmayan cihazlar üzerinde çalıştım orada. Örneğin, Türkiye'nin ilk prostat ameliyatlarında kullanılan lazerini yaptım. Arabanın bagajında Konya Belediye Hastanesine götürüp, orada ameliyatlar yaparak denedik. Fakat bu çok iyi olmadı o dönemde, piyasaya giremedik; yani teknik olarak başarılı oldu, fakat başka bir cihaz çıkmıştı o sırada. Bu ameliyatı çok daha hızlı, çok daha iyi yapabiliyordu. Bizim çalışma da aslında boşa gitmedi tabii, ama yaptığımız her çalışma da başarılı olacak diye bir şey yok açıkçası. Tabii, orada özellikle görüntüleme cihazlarıyla ilgili çok uğraştım. Aslında esas uğraştığım işlerden bir tanesiydi. Burada bana katkı sağlayan şeylerden bir tanesi, bir kere, üretimin ve Ar-Ge'nin her alanında çalışmış olmamdı diyebilirim; yani yaptığımız cihazı tasarlamak, bu cihazı götürüp kurmak, doktorlara eğitim vermek veya doktorlara eğitim

verirken, orada başka bir yaklaşımla bir şeyler öğrenmek vesaire derken, bu şekilde ürün bilgimizi ve yelpazemizi, yeni ürünler için altyapımızı geliştirmiş olduk.

Bu sırada da dünyanın pek çok yerini gördüm. Bu, bir açıdan bana çok ciddi vizyon kattı diyebilirim. Bazen internete baktığınızda siz hissediyor musunuz, bilmiyorum; ama çok olağanüstü işlerle uğraşıldığı için, 'Biz bu işin çok başındayız, yapamayız bir şey' gibi bir his geliyordu o dönemde; fakat gidip Pakistan'ı, Şili'yi falan görünce diyorsunuz ki, evet, yapılacak şeyler var. Yani illa herkes Mercedes, BMW üretmek zorunda değil; buraya ulaşamayan insanlar, ürünler var. Bir şeyler yapılabilir.

Yeri gelmişken söyleyeyim; belki ileride bu konuyla ilgili çalışmak isteyenler olabilir. Çoğunuz biyomedikal mühendisliği öğrencisi olduğunuz için, muhtemelen hastanelerde ya da tıbbi kurumlarda iş bulma şansını elde edeceksiniz; ama kendi şirketini kurmak isteyenler için söyleyeyim. Türkiye'de biyomedikal mühendisliğinin ya da tıbbi cihazın durumu nedir? Telefonunuzu şarj ederken gördüğünüz o kırmızı çizgi var ya, oradayız. Yani ne yaparsanız yapın, Türkiye'de şu anda bir noktaya gelirsiniz. Türkiye'de tıbbi cihaz üretimi olarak kötü durumdayız şu anda, öyle diyebiliriz. Ben öyle görüyorum en azından. Dolayısıyla çok şey kaçırmış değilsiniz açıkçası. Bu bir avantaj da olabilir, dezavantaj olarak da değerlendirilebilirsiniz.

Daha sonra, 2002 yılında, bu şirketin mali sıkıntıya girmesinden dolayı iki ortak kendi şirketimizi kurduk. Sonra bir ortak daha aldık, üç ortak olduk. Burada da Türkiye'nin ilk anjiyo cihazını yaptık. Bayanlarda, özellikle ileri yaşta idrar kaçırma problemi çok sık rastlanan bir problemdir. Bunun manyetik yolla tedavisini yapan bir cihaz yaptık. Tam o dönemde, 2003 yılında başka ortaklarla, yine ben işin Ar-Ge'sinde olmak koşuluyla Metsis Medikal'i kurduk ki, şu anda halihazırda çalıştığım şirkettir bu. Metsis Medikal'de de yine Türkiye'nin ilk defibrilator cihazını tasarlayıp ürettik. Tabii, burada panelistler arasında yer alan Osman (Prof. Dr. Eroğul) hocama değinmeden geçmek mümkün değil.

TÜBİTAK projesi verdik. Para yok tabii. Yeni bir cihaz işine girmişiz, öbür tarafta zaten geçimimizi zor sağlıyoruz. TÜBİTAK projesi verdik, yani 'Biz bu cihazı yaparız' dedik. TÜBİTAK projesini bir okuyorsunuz, bakıyorsunuz ki, bir şey icat etmek lazım; yani TÜBİTAK, sizden onu istiyor. Yani aslında ülkede çok büyük ihtiyaçlar var. TÜBİTAK'tan üç uzman atadılar. Bir tanesi Osman hocam, bir tanesi Hacettepe Üniversitesi Hastanesinde bir acil doktoruydu, biri de yine Hacettepe Üniversitesinden sinyal işlemeci bir hocaydı. Diğer ikisi yüksek not verdi. Acilci dedi ki, 'Hiç bana getirmenize gerek yok; bu konuyla ilgili taş üstüne taş koyan adama ben destek olurum.' Bakın, böyle avantajlarınız da var. Yani Türkiye'de bu çok büyük bir ihtiyaç. Osman hocam en düşük notu verdi. Tabii, biz biraz bozulduk. 'Hocam; diğer iki hoca yüksek not verdi, siz de yüksek verseydiniz' dedik. 'Proje revize edilmelidir' dedi. TÜBİTAK da, Osman hocam en düşük notu verdiği için, supervisor olarak Osman hocamı atadı bu projeye. Fakat geri dönüp baktığımız zaman görüyoruz ki, bu projenin başarıya ulaşmasında en büyük tuğlayı koyan da Osman hocam olmuş. Sebebi de şu: Aslında bir şeyler yapmak yeterli. Yani siz, şu anda Siemens'in cihazına bakıp da, 'Ben bu işe hiç başlamayayım, adamlar almış yürümüş' dersiniz hiçbir şey yapamazsınız. Benim kendi hayatımdan gördüğüm bu. Onun için, mutlaka bir yerden başlatmak, gelişmek gerekiyor.

Bu ürün ne oldu, yani başarıyı nasıl ölçüyorsunuz? Başarıyı ben şöyle ölçüyorum: Eğer birisi sizin ürününüzü para verip alıyorsa, başarılısınız demektir. Çünkü para kazanmak hakikaten zor bir iştir. Kendi kazandığı parasını verip satın alıyorsa, o ürün başarılıdır diyorum.

Burada yaptığımız ürünleri Avrupa'ya ihraç ediyoruz. Avrupa dediğim de, Hollanda, Fransa, İtalya. Binlerce cihaz. Hatta Ankara'da, Esenboğa Havalimanında ve İstanbul Atatürk Havalimanında da var bu cihazlarımız Ankara'da 2 tane de hayat kurtarmış. Daha çok da, sadece havalimanındakinden bahsediyorum.

Tabii, belli bir birikim ve tecrübe oluştuktan sonra, OSTİM'deyiz. OSTİM'de, 'Medikal sanayi kümelenmesi' diye yeni bir olgu başladı bundan 4-5 sene önce. Bu, aslında aynı alanda faaliyet gösteren ve ortak yararı olan kurumları toparlayıp, bir kulis çalışması yapabilmek veya ortaklaşa bir

hedefe ulaşabilmektir. Tek bir şirket gibi değil, OSTİM’de 50 tane şirket varsa mesela tıbbi cihazlar anlamında çalışan, bununla ilgili kulis çalışması yapsak... İşbara beye de öyle tanıştık. Sağlık Bakanlığına gittik, ihalelerle ilgili birtakım konularda görüştük vesaire. Kiwa, Hollanda menşeli bir şirket. Meyer, CE belgesi veren bir kuruluş. Tıbbi cihazlara da CE belgesi veriyor. Şimdi de bir yandan oranın teknik danışmanlığını yapıyoruz.

Çok hızlı bir şekilde, bu cihazlardan söz etmek istiyorum.

Vücut içi basit bir cihaz. Türkiye’de 3-4 tane üreticisi var. Vücut içine girerek, vücut içindeki taşı kırmaya yarayan bir cihaz.

Defibrilator cihazının yeni modeli de var. Daha henüz piyasaya çıkmadı. Ne iş yapar defibrilator? Biri kalp krizi geçirdiğinde, iki tane elektrotu yapıştırıyorsunuz, ondan sonra kalp sinyalini analiz ediyor ve şoklanabilir bir ritim bulursa da şokluyor. Otomatik denilmesinin sebebi bu. Tabii, oradaki sinyal analizini çok ciddi algoritmalar ve hata götürmez testlere tabi tutmanız gerekiyor.

Bir de yine hastanelerde kullanılan defibrilator cihazımızın yeni modeli var, henüz piyasaya çıkmamış olan modeli. İlk yaptığımız cihazı görseniz, seviye daha iyi anlaşılacaktır.

Soru-cevap kısmında daha detaylı konuşacağız herhalde.

TOBB ETU’de bir anjiyo cihazımız, ilk yaptığımız anjiyo cihazının demosu daha doğrusu. Mali sıkıntılardan dolayı yapamadığımız bir projedir. Her proje başarılı olmuyor demiştin, ama başarılı olanlar bizi bir noktaya getirmiş oldu.

Teşekkür ediyorum.

Fikret Küçükdeveci- Kayhan beye çok teşekkür ediyoruz.

Sağlık Bakanlığından İşbara Alp beyi davet ediyorum.

İşbara Alp Sezen (Sağlık Bakanlığı Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Birimi)- Değerli hocalarım ve değerli arkadaşlar; öncelikle hoş geldiniz.

Ben, 2006 yılında Başkent Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliğinden mezun oldum ve günümüze kadar da yaklaşık 10 yıllık bir iş tecrübesine sahip oldum.

Sizlere kısa bir sunum yapacağım. Bu geçirmiş olduğum 10 yıllık süreyi sizlere aktarmaya çalışacağım. Bu sürenin tamamında kamuda çalışmadım, bunun özel sektör ayağı da oldu. Bunların kıyaslamasını da yapacağım. Çünkü aranızda mezun olacak arkadaşlar var ya da mezun olmuş, iş arayan arkadaşlar var; onlara bir katkısı olması açısından, bu sunumu bu şekilde yapacağım.

Üniversitede, şu an masada bulunan değerli hocam (Prof. Dr.) Osman Eroğul’un öğrencisiydim. Değerli arkadaşlarım (Dr.) Onur Koçak ve Barış (Prof. Dr. Baslo) benim dönem arkadaşlarımdı. Bizler ilk mezunlarıyız. Bunun zorluklarını da yaşadık, ama aynı zamanda artılarını da yaşadık. Zorluklarından Onur hocam bahsetti. Biz mezun olduğumuz ilk yıllarda, bizim mesleğimizi bilmeyen kişilerle karşılaşıyorduk, onlara mesleğimizi izah ediyorduk. Bu geçen sürede artan üniversite sayılarıyla bizim mesleğimiz tanınmaya başladı. Tabii, bu sektörün içerisine giren diğer arkadaşlarımızın başarısı da bunu beraberinde getirdi.

2006 yılında mezun olduktan hemen sonra askerliğimi yapmak üzere başvurduğum ve 2007 yılında, Gülhane Askeri Tıp Akademisinde askerliğimi yaptım. Bu şans herkese nail olmaz. Osman hocam hem öğrencilik hayatımda hocam oldu, hem de kendisiyle bu süreçte Gülhane Askeri Tıp Akademisinde çalışma şerefine eriştim. Bu süreç benim için oldukça büyük bir şanstı. Çünkü tanıdığım bir kişi aynı zamanda benim komutanım oldu ve bizlere işimizle alakalı görevler verdi. Aynı zamanda büyük bir hastanede çalışma şansına sahip olduğum için, bu hastanede, üniversitede yani lisans kariyerinde kitaptan adını okuduğum; ama görmediğim ya da o güne kadar hiç adını duymadığım birçok tıbbi

cihazı görme şansına eriştim.

Burada size bir dipnot ekleyeceğim. Eğer hastanede çalışmak isteyen arkadaşlarımız varsa, burası da biyomedikal mühendisi için güzel bir yer.

Burada ne gibi artılar kazandım, onlardan bahsedeyim sizlere.

Büyük bir hastane olması, birçok tıbbi cihazı tanımama ve ne olduğunu öğrenmeme sebep oldu. Bunun dışında, görev yapmış olduğum hastane birçok anabilim dalını barındırdığı için farklı firmaları görme ve tanıma şansına sahip oldum. Burada edinmiş olduğum kazanımlar da zaten daha sonra özel sektördeki çalışma alanımı etkiledi. Ayrıca, bu geçirdiğim zaman zarfı içerisinde, bir hastanede biyomedikal biriminin nasıl çalışacağı, bakım-onarım ve satın alma kısımlarının birbirinden çok ayrı süreçler olduğu gibi konular hakkında da bilgi sahibi oldum.

Askerliğimden hemen sonra özel sektörde çalışmaya başladım. Biyomedikal, yanında mühendislik var. Mühendislik olunca, bir şeyler yapmak istiyor insan, bir şeyler üretmek ya da bir şeyler araştırmak. Tabii, siz akademik kariyeri seçmediyseniz ve içinizden bu mühendislikle ilgili duyguyu biraz da okşamak, biraz daha yüceltmek istiyorsanız, özel sektör bunun en iyi yeri diyebilirim. Ne yazık ki, Ar-Ge alanında ve üretim alanında, Türkiye'de -tıbbi cihaz sektörü için konuşuyorum- üretici pozisyonunda yeteri kadar firma olmadığı için, biyomedikal mühendislerinin de tıbbi cihaz alanında, üretim bandında çok fazla iş bulma imkânı olmuyor. Çünkü çok az sayıda üretim yapan işyeri var, bunlar sonuçta eleman ihtiyaçlarını doldurmuş ya da eleman alacaklarsa da istihdam kapasiteleri çok sınırlı. Dolayısıyla ben bu arzumu özel sektörde teknik servis mühendisi olarak gidermeye çalıştım. Görüntüleme cihazlarının bakım ve onarımını yaptım. Birçok il'e ve birçok hastaneye gittim ve birçok tıbbi cihazın bakım-onarım ve kalibrasyonunu yaptım.

Bu süreçte edindiğim deneyimler şöyleydi. Mühendislik okudum ve kazanmış olduğum mühendislik kavramını uygulayabileceğim bir platform buldum, bu da beni tatmin etti; ama tabii ki zor bir süreçti. Çünkü seyahatleri olan ve sürekli bakım-onarım ve arızaları yapma sorumluluğu yüklenmiş bir pozisyonda olmak zor bir süreç, ama zevkli bir süreç. Düşünen arkadaşlara bunu da öneriyorum.

Burada Osman hocam bahsetti; hekimlerle biyomedikal mühendislerinin geçinmesi. Özellikle özel sektörde çalışırken, hekimlerle daha içli dışlı ilişkilerim oldu ve diğer arkadaşlar için de durum aynıydı. Gittiğiniz hastanede bir sorunla karşılaşıyorsunuz; çünkü bozuk bir cihaz var ve hekim, karşısında eğitilmiş, kendi dilinden anlayan bir arkadaş görünce, inanın, size o andan itibaren pozitif yaklaşıyor, cihazını onardığınız andan itibaren ise de artık size saygısı sonsuz oluyor.

Ben, özel sektörde yaklaşık olarak beş yıl çalıştım. Bu beş yıl içerisinde herhangi bir hekim arkadaştan kötü bir muamele görmediğim gibi, gittiğim zaman kendileriyle çaylı-kahveli sohbetlerim de oldu. Kamuya geçmiş olmama rağmen hâlâ bu diyaloglarımız bazılarıyla devam ediyor. Bu yönde de herhangi bir çekinceniz olmasın. Hekimlerin, özellikle eğitim almış, kendi dillerinden anlayan ve özellikle sorunu gideren bir insanı karşısında görmesi tamamen bakış açısını değiştiriyor. Bu mesleğin sahibi sizlersiniz.

2012 yılında ise yeni kurulan Sağlık Bakanlığı Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu'na geçtim. Adı daha önce İlaç ve Eczacılık Kurumuydu. Tıbbi cihaz olgusu içerisine yeni yerleştirildi. Ben bu süreçte Sağlık Bakanlığı'na katıldım. Özel sektör ve kamu çok farklı deneyimler. İlk başta kamuya hizmet veren kısımda çalışırken, şu an özel sektöre kural koyan ve bunu denetleyen bir yapıda çalışıyorum. İkisi çok farklı yapı. Biri biraz daha aktif iş hayatı, yani daha fazla koşuşturma istiyor -ama tabii, bunun mükâfatını da alıyorsunuz- diğeri biraz daha monoton. Düşünen arkadaşlara bunu da öneriyorum. Önünüzde oldukça büyük bir şans var.

İlk başta kendi kurum yapımdaki biyomedikal mühendislerinin ne yaptığından bahsedeyim. Yaklaşık olarak kurumumuzda 40'a yakın biyomedikal mühendisi çalışıyor. Tabanında, en başta eczacılık ve ilaç olan bir kurumdan bahsediyorum. 2012 yılından beri tıbbi cihaz süreci kurum adına yerleştirilmiş ve bu faaliyetlerine önem verilmiş. Kaldı ki, yönetmeliğimiz 2011 yılında çıkarılmış. Kurumumuzda eczacıların sayısı tabii ki oldukça fazla, ama bundan sonra gelen meslek olarak

biyomedikal mühendisleri geliyor ve bu sayı giderek artacak. Özellikle ürün denetçisi olarak çalışan arkadaşlarımız var. Bu arkadaşlar uygunsuz olan ürünlerin denetimini gerek sahada, gerekse yerinde inceleyerek yapıyor. Bunun dışında, kural koyan; yani kanunların, yönetmeliklerin hazırlanmasında çalışan arkadaşlarımız da mevcut.

Sağlık Bakanlığının sadece bir kurumundan bahsettim size oysa yapısında birçok kurumu barındıran bir Bakanlık. Bunun kamu hastaneleri bünyesi bulunmakta. Kamu hastanelerinin genel merkezinde de yine kural koyan ve bu koyduğu kuralları denetleyen ya da denetlettiren kısımlarda çalışan arkadaşlar da var. Kamu hastanelerinde çalışan da bir grup var. Önümüzdeki yıllar içerisinde klinik mühendislik birimleri adı altında personel alımı yapılması düşünülüyor ve bu personel alımlarında da biyomedikal mühendisi önemli bir yer tutacak. Hastanelerde ve genel sekreterliklerde bakım-onarım, kalibrasyon ve satın almayla ilgili pozisyonlarda görev alacak bu arkadaşlar.

Sayı veremiyorum çünkü bir bilgim yok, ama eğer hastane bazında düşünersek -tabii, bir anda bu alım gerçekleşmez, zaman zaman ve kademeli bir şekilde olur- oldukça fazla devlet hastanesine sahip olduğumuzu düşünersek, büyük bir istihdam olanağı doğacak. Düşünen arkadaşlar varsa, hastanede çalışmak, kamuda çalışmak adına, bu da iyi bir süreç.

Daha gençsiniz. Benim gibi farklı alanları deneyip karar verme şansınız da var. Mezun sayımız oldukça az. Sayımız az olduğu için, sektörün bize ihtiyacı var; çünkü sizden önce giren arkadaşlarımız çok başarılı oldu ve 2000-2002 yılları arasında bizim mesleğimizin adını bilmeyen kişiler artık bizleri arıyor, yani 'Ben bu meslekten arkadaş arıyorum' diyor. Bunlar sizin artınız. Bunu inşallah önümüzdeki günlerde iyi kullanmanız dileğiyle.

Teşekkür ediyorum.

Fikret Küçükdeveci- İşbara beye çok teşekkür ediyoruz, verdiği bilgiler için.

İlk sorum, Kayhan (Kayan) beye de bir göndermeyle Sayın Osman Eroğul hocama olacak. Kayhan beyin puanını niçin kırdığınızı ben merak ettim. Belki bu konuda bir perspektif, bir bakış açısı ortaya koyarsınız. Böyle bir proje sunumunda Kayhan bey arkadaşımızın nasıl hataları oldu da bu notlar kırıldı? Diğerleri neden yüksek not verdi de Osman hocam neleri öne çekerek puanları kırdı, kendisinden hızlıca duyalım istiyorum.

Prof. Dr. Osman Eroğul- Teşekkür ederim.

Aramızda benim çok sayıda eski öğrencim var. Öğrencilerim her zaman öğrencinin hakkını teslim ettiğini bilirler. Kayhan bey'in projesi tam otomatik harici defibrilatör üretimi ile ilgiliydi. Eğer siz uygulamanın içindeyseniz, konuyu çok iyi biliyorsanız, gece saat 03.00'de, 'Hocam; defibrilatör çalışmıyor, acilen yetişin' diye sizi yoğun bakıma çağırdıklarında gidip sorunu çözmüşseniz, dolayısıyla defibrilatörün ne yaptığını ve ne yapamadığını, eksiklerinin neler olduğunu iyi biliyorsanız projeyi sadece kağıt üzerinde değerlendiremezsiniz.

Projeleri güzeldi, çok iyi bir projeydi; Kayhan beyin de dediği gibi bir TTGV projesiydi. Bu projelerde finansmanın yarısını şirket koyuyor, diğer yarısını ise TTGV destek olarak veriyor. Eviniz dahil olmak üzere her şeyinizi ipotek altına aldırılmışsınız, başarısız olduğunuz takdirde her şeyiniz elinizden gidecek. Bu da yetmediği gibi cihazdaki en küçük bir hata kişinin ölümüne ve milyonlarca liralık tazminatlar ödemene yol açacak. Projede otomatik (AED) defibrilatör üretimi hedeflenmiş, ben de diyorum ki, 'Bunu elbette üretirsiniz, ama buradan başlarsanız çok büyük hata olur, yanlış olur'. Bir hastanın ölümüne yol açarsanız ciddi tazminatlar ödemek durumunda kalırsınız. Başlamanız gereken yer, önce otomatik olmayan veya yarı otomatik defibrilatör cihazı olmalı. Hastaya elektroşok verilir verilmemesi kararını cihaza bırakmayın hekime bırakın. Çünkü MEDTRONIC gibi 110 milyar dolar cirosu olan, dünyanın tıbbi cihaz alanında en büyük firması olan çok güçlü bir şirket, kalp pili üretiminde yapmış olduğu bir yazılım hatasından dolayı birkaç hastanın ölümüne yol açtı ve milyonlarca dolar tazminat ödemek zorunda kaldı. Dolayısıyla bir proje önerisinde bulunurken, riskleri minimize edecek şekilde ve doğru yerden başlarsanız başarılı olursunuz. Yoksa en sondan

başlarsanız, bilin ki, ya proje başarısız olur veya başınıza ummadığınız şeyler gelir, her şeyinizi de kaybedebilirsiniz. Daha sonraki süreç içerisinde de projeye çok büyük destek verdim, projeyi revize ettiler, düzelttiler, projeyi başarıyla tamamladılar ve şu anda ürettikleri defibrilatörleri dünyanın her tarafına satıyorlar. Projenin ilk versiyonunda üretmek istedikleri AED'yi de 15 yıl sonra yapabildiler. O yüzden, başarılı olmak için doğru sırada adım adım ilerlemek gerekir. Bizim üniversitemizde girişimcilik ayrı bir ders olarak okutulur, bu dersi herkesin alması zorunludur.

Kayhan beyin söylediği hususu bir kez daha burada vurgulamak isterim. Kayhan bey 'Benim dışarıdaki ikinci okulum, yaptığım staj' dedi. Bizim Üniversitemizde ortak eğitim adı altında, her dönemi üç buçuk aydan oluşan üç dönem halinde yürütülen bir programımız var. Bizim öğrencilerimiz Fikret beyin firması dahil olmak üzere üç buçuk ay boyunca firmalarda asgari ücretli olarak çalışırlar. Son sınıfta okuyan 25 öğrencimizin 6'sını biz yurtdışına; (Dördünü Amerika'ya, birini İngiltere'ye, birini de Avusturya'ya) gönderdik. Bu staj ve ortak eğitim fırsatlarını öğrenciyken iyi değerlendirmeniz gerekiyor.

Buradan şunu söylemeye çalışıyorum arkadaşlar: 'Kendinizi hakikaten çok iyi yetiştirmeniz lazım. Hepinizin yapacağı bir iş mutlaka var. Teknoloji çok hızlı geliyor, büyük şirketler sağlık teknolojilerine büyük yatırımlar yapıyorlar. Bu nedenle, geleceğe ümitle bakın, asla karamsar olmayın.'

Fikret Küçükdeveci- Çok teşekkür ediyorum Osman bey.

İkinci sorum, Onur beyin eğitimle ilgili verdiği, 'Şu yılda şu kadar olacak' falan dediği sayıyla ilgili olarak. Daha önceden de aslında konuşmuştuk. Gökhan beyin biraz daha detaylı bir çalışması var. Ondan, o konudaki bilgileri bizimle paylaşmasını rica edeceğim mümkünse. Hızlıca bu konuyu da bir dinleyelim lütfen.

Yrd. Doç. Dr. Gökhan Ertaş- Onur bey konuşmasında 'Elimdeki değerler daha ham veriler' dedi. Biz bölümümüzde Ali Ümit Keskin hocamızla beraber 2010 yılı ve sonrası beş yıllık veriyi toplayıp üzerinde istatistiksel analizler gerçekleştirdik. Sonuçta enteresan bir bulguya ulaştık. Biyomedikal mühendisliği sistemi lineer bir sistem çıktı. Bunu hiç beklemiyorduk. Böylece, 2020 yılı için bir takım öngörüler yapabilir hale geldik.

2020 yılı için öngördüğümüz toplam biyomedikal mühendisliği lisans programı sayısı 43. Program sayısı 2010 yılında sadece dört, ilerleyen yıllarda artıyor, artıyor, bir çentik yapmış, devam ediyor. Bunu bir modele oturtmak istediğiniz zaman ve lineer model kullandığınız zaman, inanılmaz derecede yüksek bir R2 değeri çıktı. Yüksek R2 değeri, verilerin lineer modele oldukça iyi oturduğunu gösteriyor. Bu sistemin üstünden, 2020 yılında 43 tane biyomedikal mühendisliği lisans programı olacak.

Bakın, 2014 yılında bizim gördüğümüz 1.200 tane kontenjan vardı biyomedikal mühendisliği bölümlerinde. Bunu da 2010 yılı itibarıyla bir modele oturtup hesaplama yaptığımız zaman gördük ki 2020 yılında 43 tane bölümde toplam 2 bin 550 tane biyomedikal mühendisliği kontenjanına sahip olacağız. Öte yandan 2020 yılında biyomedikal mühendisliği mezun sayısının, Onur beyin bahsettiği altı binli rakamlarla örtüşür şekilde, yedi bin civarında olmasını öngörmekteyiz. Burada sadece yaptığımız tespitleri paylaşmak değil, birazda düşünmek istiyorum. Bu sayı fazla mı, sizce fazla mı? Niye değil, neye göre bunu söylüyorsunuz?

Salondan- Çünkü Türkiye, tıbbi cihazlarda yüzde 85 dışa bağımlı. O açığı kapatmak için, ne kadar kalifiye biyomedikal mühendisini mezun edebilirsek, yetiştirebilirsek o kadar iyi.

Yrd. Doç. Dr. Gökhan Ertaş- O zaman benim aklıma da şu gelir: Piyasadaki kaç firma bu hedefle çalışıyor? Yüzde kaç?

Sizce yeterli mi veya niye yeterli değil?

Burada bence biraz uç noktaları görmek lazım. Basitçe bir hesap yapalım sizinle birlikte. Ne dedik: 1.700 hastane var dedik. Son konuşmacımız, "Bir de bu hastaneleri denetlemek için biyomedikal mühendislerimiz var. Şu anda 40 tane. Bu sayı artacak" dedi. Bakın, hem Sağlık Bakanlığında artacak

bu sayı, hem hastanede artacak. Bir de sizin dediğiniz sektörü duyunca, bu denklemde, 2020 yılında yedi bin mezunumuz yine de bu sektöre yetmeyecek. Diğer tarafından bakalım. yedi bin kişi varsa, siz yedi binden birisi olacaksınız. Bu demektir ki, rekabet çok sert olabilir.

Bizim hep sorduğumuz bir soru var; kimler yüksek maaşla çalışmak ister?

Bazıları, 'Doğru mu duydum soruyu?' dedi, duraksadı, bazıları ilk saniyede el kaldırdı. Belki bu ilk saniyede el kaldıranlar gerçekten yüksek maaşlı işlerde çalışacaklar; ama kaldırmayanların çok çok dikkatli olması lazım.

Kimler düşük ücretle çalışmak ister? Güzel.

Teşekkürler.

Fikret Küçükdeveci- Teşekkür ediyorum.

Sanıyorum, hocamın bu konuda bir sorusu var.

Prof. Dr. Cüneyt Göksoy- Panelin geneliyle ilgili bir katkıda bulunmak istiyorum. Dün de küçük bir konuşmam olmuştu.

Osman hocanın emekli olduğu ve İşbara beyin askerliğini yaptığı yerden Gülhane'den (GATA) geliyorum.

Evet, hekimim, ama hayatımın her döneminde kendimi hep mühendislik bilimine de yakın bir insan olarak görmüşümdür. Sonra ne oldu? Kendimi tıp fakültesinde buldum. Hayatımın hatasıydı. Ondan sonra ayrılmadım. “Başladık, bitiririz. Ne olacak, altı sene” filan dedik. Ama tıp fakültesinin ilk yıllarından itibaren alışılmış anlamda klinisyen bir hekim olmamaya karar vermiştim zaten. Hep gönlümde bir temel tıp yapıyordu. Sonra, hayatımın en güzel şeyi gerçekleşti, biyofizik doktorası yaptım. Tıp branşları içerisinde mühendisliğe en yakın branşlardan biridir. Yıllar içerisinde hep biyomedikale yakın bir alanda durdum ve Osman hocamla da yıllar içerisinde çok yoğun bir mesaimiz oldu. Kaderin cilvesi, şimdi onun kızı biyomedikal mühendisliğinde okuyor.

Şunu açık yüreklilikle ifade ve itiraf etmem lazım: Günümüzde artık mühendis ayağı olmayan bir tıbbi çalışmayı kaliteli bir tıbbi çalışma olarak değerlendirmek mümkün değil. TÜBİTAK'tan değerli projelerin panellerine davet ediliyorum. Baktığımda, o projenin içerisinde bir mühendis olmadığını pat diye anlıyorum.

Tıp eğitiminde, müfredat organizasyonunda, son on yılda şöyle talihsiz bir gelişme yaşandı. Osman hocam kısmen biliyor. Tıp eğitiminde bir zamanlar 1. sınıf; fizik, kimya, biyoloji eğitiminin temel alındığı ve temel bilimlerin öğretildiği sınıftı. Biz, o nosyondan geldik. O, 1. sınıfta esasında çok şey öğrendik. Amerika'daki meşhur medical dönemi. Son yıllarda bir moda gereği, bu 1. sınıf ortadan kaldırıldı. O dersler ortadan kaldırıldı ve tıp dersleri o, 1. sınıfa da yayıldı. Şimdiki hekimler ve hekim adayları medikal fizik öğrenmeden, biyolojinin altyapısını, esas mühendislik taraflarını öğrenmeden yetişiyorlar ve buradan şöyle bir sonuç ortaya çıkıyor: Mühendislik bilimleri ve özellikle biyomedikal mühendislerine çok daha fazla iş düşüyor.

Şu ifadeyi kullanayım mı, kullanmayayım mı, bilmiyorum; ama “Doktorların arkasını toplamak adına...” Burada tabirimi çok düşünerek söylüyorum. Gerçekten çok önemli bir misyonunuz var ve olacak. İyi ki varlar, iyi ki varsınız, iyi ki olacaksınız.

Çok teşekkür ederim.

Fikret Küçükdeveci- Cüneyt Göksoy hocaya çok teşekkür ediyorum katkısı için. Ayrıca, Gökhan hocama da çok teşekkür ediyorum.

Bu noktada, sizin (salona) bizlere, panelistlere, sunduğumuz konularla ilgili ya da onun dışında sorularınız var mı?

Buyurun.

Ahmet ...- Merhaba. Yeditepe Üniversitesi mezunuyum.

Özellikle Osman hocamın, Kayhan beyin ve İşbara beyin bahsettiği konuları mezun olarak birebir yaşıyorum. Ancak, benim aklıma takılan bir şey oldu. Özellikle Osman hocam ilk konuşmasında, bize birçok farklı bilim dalını gösterdi, biyomedikal mühendislerinin bu konulara hâkim olması gerektiğinden bahsetti. Fakat biyomedikal mühendisliği dört yıllık bir bölüm. Dört yılda bunlar hakkında her şeyi bilmek mümkün değil. “Her şeyi bilen hiçbir şey bilmez” diye bir laf var. Benim aklıma şöyle bir şey geldi: Niye ben dört yıl boyunca kimya mühendisliği okuyup ya da makine mühendisliği okuyup bir protez geliştirmeyeyim, elektrik elektronik okuyup bir sensör sistemi geliştirmeyeyim? Yani biyomedikal mühendisliği okumanın bana ne gibi faydası olur? Bu birinci sorum.

İkinci sorum Gökhan hocamla Onur hocama. Ben, kamu veya özel hastanelerde iki bin biyomedikal mühendisi istihdam edileceğine inanmıyorum, çünkü hastanelerin böyle bir yaklaşımı yok; özellikle özel hastanelerin, küçük hastanelerin... Benim tahminim, en iyi ihtimalle önümüzdeki on yıl içerisinde belki 1.000 mühendis istihdam edilebilir, kamu hastanelerinde ve özel hastanelerde. Bu konuda, bizim sayımızda biraz düşme yaşıyor.

Bir de özel sektör iş ilanlarını, “Elektrik-elektronik mühendisleri, makine mühendisleri” ya da “Telekomünikasyon mühendisleri ve biyomedikal mühendisleri aranıyor”, şeklinde veriyor. Yani hiçbir şekilde özel sektörün de ilk tercihi değiliz ne yazık ki. Bu konuda, istihdam edilebilme şartlarını biraz daha iyileştirmek gerekmiyor mu? Yani istihdam edenlerin bize bakış açıları biraz eksik gibi geliyor. Bu konuda fikirlerinizi istiyorum.

Üçüncü sorum Kayhan beye. Kendisi çok güzel alternatiflerden ve imkânlardan bahsetti. Fakat ben, 2013 yılında, İstanbul'da bir fuara katılmışım. Şu an adını hatırlamıyorum, (bir firma yetkilisi) Türkiye'deki pazarın yüzde 90'ına sahip olduklarını söyledi. Çok sevindim, çok mutlu oldum Türkiye'de böyle bir şey yapıldığını duyduğum için. Ancak, şöyle bir şeyle karşılaştım: Ar-Ge kısmına çok hevesli olduğum için, 'Ar-Ge'ye mühendis alıyor musunuz?' diye sordum, 'Hayır' dediler. 'Mühendisiniz var mı?' dedim, 'Bir tane var, bize yetiyor' dediler. Tabii, iki yıl önceydi bu. Belki biraz vizyonları değişmiştir, belki mühendis almışlardır; ama sektördeki insanların da bu konuya karşı birazcık eksiklikleri var diye düşünüyorum. Benim kendi şirketimi kurma şansım da çok zor, çünkü belli bir sermayeye (gerek) var ve ilk başta alanında uzman kişileri de işe almak gerekiyor, tek başına yetmiyorum. Bu konuda fikrinizi bekliyorum.

İş ararken karşıma çıkan belli terimler oldu. Mesela, ürün geliştirme ve üretim geliştirme metodları gibi. Benim bunlardan hiç haberim bile yoktu. Üniversitelere sertifikasyon programlarının sokulması gerekmez mi?

Teşekkür ederim.

Fikret Küçükdeveci- Önce Osman hocama söz vereceğim onu bağlayan sorular için.

Prof. Dr. Osman Eroğul- Daha önce belirttiğim gibi biyomedikal mühendisliği multidisipliner bir alan. Kendi üniversitemden örnek vermem gerekirse; bir hocamız doku mühendisliği çalışıyor, bir hocamız biyosensörler çalışıyor, bir hocamız moleküler biyoloji ve genetik çalışıyor, bir hocamız biyomalzeme çalışıyor, bir hocamız ilaç tasarımı çalışıyor, bir hocamız doku mühendisliği çalışıyor, ben biyoelektrik çalışıyorum. Biyomedikal mühendisliği eskiden olduğu gibi sadece biyoelektrik alanından oluşmuyor; yani sadece MR, tomografi veya EKG değil biyomedikal mühendisliği. İncelediğinizde özellikle yurtdışında yelpazenin ne kadar geniş olduğunu göreceksiniz. Bizim zamanımızda senin söylediğin gibi elektronik mühendisliği üzerine biyomedikal mühendisliğinde yüksek lisans veya doktora yapıp biyomedikal alanına yöneliyordunuz; makine mühendisi iseniz, biyomekanik alanda çalışmaya devam ediyordunuz. Günümüzde öyle değil. Son 15 yıldır artık biyomedikal mühendisleri lisans düzeyinden başlayarak yetiştiriliyor ve belirli bir alanda uzmanlaşmaları sağlanıyor.

Biraz önce kişiye özel implant örneğinde verdiğim gibi, siz elektronik mühendisiyseniz, doku mühendisliğinden, biyomekanikten anlamıyorsanız o işi yapamazsınız, tasarım yapamıyorsanız yapamazsınız, biyomedikal mühendisi olsanız bile eğer temel bilgiye sahip değilseniz, doku

mühendisliği olarak ifade ettiğimiz hızlı gelişen bir teknolojiye ayak uydurma şansınız yok. Dolayısıyla temel alanlarda mutlaka bilgi sahibi olan, hekimle aynı dili konuşabilecek ve ortak çalışmalar yapabilecek şekilde yetiştirilmeniz gerekiyor. Bizim üniversitemizde öğrenciler farklı alanlarla ilgili temel bilgileri aldıktan sonra özellikle son sınıfta bu alanlardan hangisine ilgi duyuyorlarsa o alana yönelik seçmeli dersler alarak mezun olurlar. Bizim yüksek lisans, doktora programlarımız var. Özel başarı burslu, tam burslu, proje burslu ve araştırma burslusu olarak lisansüstü öğrencilerine destekler veriyoruz. Bir alanda uzmanlaşmış biyomedikal mühendisleri sayesinde sektör büyük bir ivme kazandı, bu sayede bu kadar geniş yelpaze altında bu kadar güçlendi bu sektör. Dolayısıyla artık elektronik mühendisliği üzerine biyomedikal mühendisliği alanında yüksek lisans yaparsanız; sadece biyoelektrik alanında çalışabilirsiniz, biyomedikal mühendisliğinin diğer alanlarında çalışma şansınız olmaz, halbuki biyomedikal mühendisleri geniş bir yelpazede çalışabilirler.

Fikret Küçükdeveci- Çok teşekkür ediyorum.

Onur beyin de cevap vereceği bir şeyler var galiba.

Dr. Onur Koçak- Teşekkür ederim hocam.

Son sorunuzdan başlayacağım; iş geliştirme, ürün geliştirme, süreç geliştirme ve eğitimler. 4 yıllık müfredatın içerisinde spesifik olan dersleri alma şansınız zaten yok. Siz nereyle ilgili çalışmak ve uzmanlaşmak istiyorsanız, bunu ya çalıştığınız yerde öğreneceksiniz, böyle bir şansınız yoksa da çeşitli uluslararası ve diğer çalışmalarla bunu yapacaksınız; ama yine siz arayıp bulan taraf olacaksınız. Yani benim görüşüm bu.

Ayrıca, bir biyomedikal mühendisine iş olmadığını düşünmüyorum arkadaşlar. Fikret hocam sanayiye temsil ediyor, Kayhan bey burada. Bence, çok önemli olan işlerden biri de iletişim. Yani disiplinler arası olan böyle bir mesleğin içerisinde çok ketum olmamak lazım diye düşünüyorum. Hekimden tutunuz, makine mühendisine, biyoloji, kimyacılar kadar her biriyle iletişim içinde oluyorsunuz, olacaksınız. Biyomedikal mühendisi bence çok önemli bir sistem entegratörüdür. Üretim süreci içerisinde yer alan sadece tıbbi cihaz değil, birçok elektronik sistemin üretim prosesinde yer alabilecek bilgi ve donanıma sahiptir; yeter ki, o bilgi ve donanımı sistem içerisinde iyi entegre etsin. Biraz tecrübe de söz konusu, ama sizlerden ricam, lütfen, oturup beklemeyin, araştırın. İnanın, belli bir noktaya, belli bir seviyeye götürecektir sizi. Evet, katılıyorum, özel sektör dalgalanmalar yaşıyor, ama bu bir bahane değil.

Gökhan hocam daha bilimsel olan yöntemi gösterdi, basit bir doğrusal hesap yaparak gösterdi, ama ortak değindiğimiz nokta şu: 'Yedi bin kişiye ihtiyaç var' dedi Gökhan hoca. Sonuçta, yedi bin kişi içinden seçilen kişi olacaksınız. Yani ilk zamanlardaki gibi çok rahat olmayacak bazı şeyler.

Umarım açıklayıcı olabilmiştir. Teşekkür ediyorum.

Fikret Küçükdeveci- Ben teşekkür ediyorum.

Gökhan beyden cevaplarını alalım.

Yrd. Doç. Dr. Gökhan Ertay- Ahmet beye teşekkür ederim. Çok güzel sorular sordu ve çok güzel değerlendirmeler yaptı. Şu an biyomedikal mühendisliğinde bu bahsettiğiniz dersler yok, ama bu böyle gidecek diye bir kaide de yok. Bizim de yakın dönemde, biyomedikal mühendisliği öğrencilerine yönelik, özellikle ürün tasarlama ve sertifikasyon konularında birtakım planlamalarımız var. Ama sırf bizim öğrencilerimiz mi faydalansın, yoksa bütün Türkiye'deki biyomedikal mühendisliği bölümü öğrencileri mi faydalansın? Gönül istiyor ki, herkes faydalansın. Bir yaz okulu veya içeriği yoğun bir kamp organizasyonu olabilir diye düşünüyoruz. Öğrencilerimizle beraber çözüm üretmeye çalışıyoruz. Ahmet beyin katkıları bizim için güzel bir motivasyon oldu.

Teşekkür ederim. Güzel bir değerlendirmeydi.

Fikret Küçükdeveci- Çok teşekkür ediyorum Gökhan hocamıza.

1981 yılından beri elektrik elektronik mühendisliği yapıyorum. 1983'ten bu yana biyomedikal mühendisliğinin birçok segmentinde profesyonel olarak da çalıştığım için, birtakım tespitleri siz genç arkadaşlarla paylaşmak istiyorum. Arkadaşımızın bu istihdamla ilgili sorularında olumsuz bir perspektif var tabii. Dünyada 7.5 - 8 milyar arasında bir nüfus var, Türkiye'nin nüfusu bunun yüzde 1'i. Türkiye'nin, çok ortalama, çok spesifik birtakım konular dışında, dünya pazarındaki konumu -üreticileri, satıcıları bir araya koyalım- yüzde 1'lik bir yerde. General Electric çok büyük bir firma. Bütün General Electric pazar perspektifi açısından yüzde 1'lik bir yerde.

Bu ortalama resimde şuna dikkatinizi çekiyorum: Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nin yaklaşık 300 milyon nüfusu var, 7.5 milyarlık dünyada yüzde 4'lük bir nüfus. Sektördeki büyüklüğü yüzde 35-40. Talep açısından böyle. Türkiye'nin talep açısından pozisyonu yüzde 1, Amerika Birleşik Devletlerinin yüzde 35-40. Avrupa Birliği benzer bir nüfus profili. Tabii, Avrupa Birliğinin şimdi daha az gelişmiş kesimleri de oluştu Doğu'nun entegrasyonu; ama genelde İngiltere, Almanya, Fransa, İtalya, Hollanda, Belçika açısından bakalım. İskandinav ülkeleri de dahil, onlar da Amerika'ya yakın bir resim çiziyorlar.

Söylemek istediğim şey şu: Dünyada, gerek arz, yani hizmet ve ürünlerin arzı, gerekse talep açısından homojen ve düzgün bir dağılım yok. Türkiye de gelişmişlik düzeyiyle, ekonomik büyüklüğü ya da küçüklüğüyle burada kendine bir yer edinmiş durumda. Bu da tam çan eğrisinin ortalarında bir yere denk geliyor. Sizlerden ricam, bunu bir bakış açısı olarak önümüzde tutalım. Bu hep aklınızda olsun.

Arkadaşımızın ifade ettiği o özel sektör ilanları, eleman tercihleri vesaire açısından, ülkemizde maalesef özel sektör ciddi ölçüde zayıf. Özel sektörün ürettiği tıbbi cihaz ve malzemelerin biyomedikal mühendis istihdamı konusundaki talep ve gereksinimleri bugün için maalesef beklediğimiz doğrultuda değil. Baktığımız zaman, özel sektörün ürettiği ürünlerin büyük çoğunluğu veyahut da önemli bir çoğunluğu şöyle birkaç konuya dağılıyor. Görece katma değeri çok yüksek olmayan, teknolojik eğitim gereksinimi çok fazla olmayan, ama alışılmış tekniklerle, bir kısmı doğrudan Batı'da geliştirilmiş uygulamaların bir araya getirilmesi şeklinde olan ve tamamına sistem entegrasyonu gözüyle bakabiliriz, ama alt birimlerinde öyle çok büyük katkı yapamadığınız birtakım birimlerden oluşuyor. Hakikaten teknolojik diyebileceğimiz, teknolojik Ar-Ge yapıyor diyebileceğimiz örnekler sınırlı. TÜBİTAK'ın da desteklediği biyomalzemeler konusunda hakikaten bilimsel ve teknolojik değeri yüksek olan birtakım çalışmalar var. Kendini bir yere koymak gibi bir şeyde değilim, ama firmamız elektronik tasarım konusunda bir yerlere gelmeye çalışıyor. Yaşadığımız zorlukları, bu toplantı gibi 50 tane daha toplantı yapsak kolay aşamayız. Burada hiç giremediğim konular da var.

Şunu özellikle vurgulamak istiyorum. Benim perspektifimle, sadece biyomedikal mühendisleri değil, elektronik mühendisleri için de bunu söylüyorum ya da bu konuya yakın olan diğer mühendislik disiplinleri için de söylüyorum. Hiçbir zaman için okuldaki eğitiminizin sizin için yeterli ve çok ileri bir aşamadan işe başlatacak düzeyde bir eğitim olduğunu düşünmeyin. Mutlaka bu dört yıllık lisans eğitiminizin üzerine başka eğitim aşamaları -mastır, doktora olabilir- bir yerde fiilen çalışarak, bir ekibin parçası olarak çalışmanın da eğitiminizin bir parçası olacağını hiçbir zaman için unutmayın. Böyle bir eğitim, ille de laboratuvara girip de bir yerde Ar-Ge yapmak şeklinde olmayabilir. Çok basit bir şey söyleyeceğim. Üniversitede, 'Ben Ar-Ge yapmak istiyorum' diyen insanların sonuçta küçük görebileceği bir satış, bir ürün temsilciliği becerisi edinmenin de bu konuda çok ciddi bir katkı sağlayabileceği, 2-3 yıl bir ürünü iyi öğrenerek yapılmış temsilciliğinin, daha sonra o konuyla ilgili ciddi bir Ar-Ge'nin çok önemli bir getirisi olacağını hiçbir zaman için unutmayın.

Bir şey daha söyleyeceğim. Biz böyle uğraşırken, tanıdığım biri, yabancı bir üst düzey firma yöneticisinin söylediği şeyi sizinle paylaşacağım. "Üniversiteyi bitiren herkes EKG yapar, bunda hiçbir zorluk yok; ama problem, pazarda satılabilecek bir cihaz yapmak..." Kayhan arkadaşımızın "Birisi kazandığı parayı veriyorsa o ürünü almak için, o başarıdır" dediği şey var ya, o noktaya gelebilmek. O noktaya gelirken, biraz önce İşbara arkadaşımızın söylediği, "Bakanlık olarak piyasa şartlarını koyuyoruz" dediği konu vardı. O kurallar şu an için ülkemizde daha çok öncelikle Avrupa Birliğinin ve Amerika, Kanada, Çin, Japonya'nın içinde bulunduğu bir dizi üst standart koyucunun tanımladığı kural ve gerekliliklerle ortaya çıkan bir şey. Türkiye, bunları temelde adapte ediyor,

kendi yasal gereklilikleri nedeniyle de Avrupa Birliği müktesebatının regülasyonlarını olduğu gibi çevirerek bizim sektörümüze uyguluyor. Belki bunun detaylarının tartışılması ayrı birkaç oturum konusu da olabilir. Bunu da paylaşıyorum. Niye paylaşıyorum? Sizlerin bu konuda arka plandaki dinamikleri anlayabilmeniz açısından bunlar da önemli.

Bütün arkadaşlarım, öğrenci veyahut da yeni çalışmaya başlayan tüm genç arkadaşlarım kendilerini çok iyi yetiştirerek, gerek kendi başlarına proje denemeleri ya da bir şirket bünyesinde böyle bir dinamik içinde olabilirler. Eğitimin bitmez tükenmez bir gereklilik olduğunu unutmamak lazım... Bakın, ben şu yaşında hâlâ sürekli bir eğitim çevriminde olduğumu ifade edeyim. Bunun sonu yok. Çok teşekkür ederim dinlediğiniz için.

Buyurun.

Prof. Dr. Barış Baslo- İstihdam konusundan bahsedildi. Ben doğduğumdan beri teknolojinin içindeyim. Dolayısıyla bazı şeyleri söyleme gereği duydum kendi kendime. Onur bahsetti; yüksek nitelik dedi. Yüksek nitelik nasıl kazanılır? Lisede hazırlanıyorsunuz, sınava giriyorsunuz; ama üniversite artık böyle bir yer değil. Üniversitede kendiniz bir şeyler yapmak zorundasınız, kendi kendinize. Üniversiteye girdiğimde bir hoca, 'Kaç yaşındasın?' diye sormuştu. Ben o zaman 16 yaşındaydım, üniversiteye başladığımda. Sınıfın en küçüğü bendim. Yok öyle dışarıdan gelen bir şey, ne yapacaksanız kendi kendinize yapacaksınız, kendiniz yükselteceksiniz niteliklerinizi. Aksi takdirde hiçbir şey yapamazsınız. Kendiniz çalışacaksınız. Ondan sonra artık bir yerlere gitmeye başlıyorsunuz. Ancak ve ancak kendiniz istediğiniz takdirde alabilirsiniz bir şeyleri, kimse size hazır hiçbir şey vermez. Bunu önce kafanıza yerleştirin.

En basit örnek, kaç kişinin ehliyeti var? Ne kadardır kullanıyorsunuz? 1.000 kilometre hiç durmadan gidebilir misiniz?

Bakın, eller ne kadar az. 'Kaç kişinin ehliyeti var?' dediğimde çok el vardı. Ehliyetinizi alırsınız, cebinizde durur; ama kullanmadıktan sonra bir anlamı yok. Onu kullanmak için de pratik yapmak zorundasınız. Bu, 1. sınıftan itibaren başlayan bir süreç.

Teşekkür ediyorum.

Fikret Küçükdeveci- Arkadaşımızın da sorusunu alalım. Son soru olsun.

Salondan- Çok basit bir bilgisayar yazılımı, bu bilgisayar yazılımında, doktor bu yazılımı ne kadar hızlı kullanabilir? Siz sağ köşede istiyorsunuzdur tamam tuşunu; ama doktor diyor ki, 'Biz hep sol üst köşede gördük bunu.' Bunu bilmezseniz, sizin yaptığınız ürün neyse, biyomalzeme olsun, biyomekanik bir çalışma olsun veya bir cihaz olsun, bu, sizin için en güzeldir; ama gerçekte güzel değildir. Dolayısıyla siz, hedeflediğiniz alanları tüm çalışanlarla, tüm meslek gruplarıyla beraber çalışmalısınız. Nedir mesela? Biz kanser alanında çalışıyoruz; radyologla çalışıyoruz, meme cerrahıyla çalışıyoruz, elektronik mühendisi var. Ama ben çok rahatlıkla söyleyebilirim: Böyle çalışıp, tek başına bir şeyler yapmak isteyen insanlar da var dünyada ve Türkiye'de; ama bunların alacakları mesafeler kısıtlı. Eğer fizyoterapi alanında bir cihaz yapıyorsanız -ki mesela bizim böyle bir doktora çalışmamız var- grubumuzda iki tane fizyoterapistimiz var, bir tane ortopedistimiz var. Sonrasında, belki bir biyoistatistikçi bize yön verecek. Cihazınızın düzgün çalıştığını göstermek için, bunu kaç tane hastada değerlendirmeniz lazım? Şimdi birçok firma var CE konusunda size kılavuz olabilecek. Şu anki çalışmamız bu firmalarla beraber, onları tanımak. Ürünü yapıyorsunuz, ama CE belgelendirmesi nasıl? Neden bu bizim için önemli? Biz prototipini yapıyoruz belki. Seri imalata geçmiyoruz, ama bunun prototipini yaparken de CE'sini kolay alabilecek yapıda bunu tasarlamamız lazım. Biz bunu bilmiyorsak, bir anlamı yok bizim için. Bir biyomedikal ürün kullanacak hedef hasta veya katılımcıyla başlıyor, çok farklı noktalara kadar gidiyor.

Daha neler var burada konuşmaya fırsat bulamadığımız. Mesela, yine bunların içinde bence işletmeci birisi olmalı. Bu cihazın maliyeti, bu cihazın bakım giderleri, bu cihaz kaç senede bir periyodik olarak bakıma gidecek, bu cihazın bozulma riskleri nedir? Hani diyoruz ya, en hoşlanmadığım tabir, "Adamlar yapmışlar bu cihazı, 10 bin dolara satıyorlar. Ben bunu 100 dolara mal ederim." Eğer onun

içindeki entegreyi, elektronik parçayı çıkıyorsanız, evet, 100 dolara mal edersiniz, doğru. Ama orada firma ne yapıyor; o cihazdan 1.000 tane yapıyor, aynı anda çalıştırıp, bu cihaz ne kadarda bir bozulur, bu cihazın periyodik bakımında maliyetler nedir, sarf malzemesi maliyetleri nelerdir, bu cihaz için benim teknik servis mühendisim yılda ne kadar ve kaç saat zaman harcayacak, bunları da düşünüyor. Siz bunları düşünmezseniz, o zaman pek gerçekçi olmaz ne yazık ki.

Fikret Küçükdeveci- Toplantıyı bitirmeden, panelist arkadaşlarıma belgelerini takdim etmek istiyorum. Sonra hep birlikte toplantıyı bitirmiş olacağız.

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU-IV

Oturum Başkanı: Prof. Dr. Osman Eroğul (TOBB ETU)

Prof. Dr. Osman Eroğul- Sayın hocalarım, değerli arkadaşlar, Elektrik Mühendisleri Odasının değerli yöneticilerine öncelikle, bu Kongreyi organize ettikleri için ve biyomedikal mühendislerine bu fırsatı tanıdıkları için teşekkür etmek istiyorum. Gerçekten biyomedikal mühendisleri her geçen gün hem Elektrik Mühendisleri Odasında, hem de sektörde varlıklarını hissettirmeye başladılar. Bu tür etkinlikler önemli.

Bu oturumda, biyomedikal mühendisliğinin farklı alanlarıyla ilgili, özellikle genç arkadaşların ufkunu açabilecek çalışmalarla ilgili, konusunda uzman arkadaşlardan sunumlar izleyeceğiz. O bakımdan, özellikle genç arkadaşların can kulağıyla dinlemeleri ve kendi geleceklerini şekillendirmeleri açısından, 'Ben ne yapabilirim, hangi alanda uzmanlaşabilirim?' sorusunu yanıtlamaları açısından önemli. Birbirinden farklı konuşmalar var. Faydalanacağınıza, kendinize büyük pay çıkaracağınıza inanıyorum.

İlk konuşmacımız Namık Kemal Üniversitesinden, aynı zamanda orada Biyomedikal Mühendisliğinin kurucularından hocamız. Kendisi, Boğaziçi Üniversitesinden sonra bu alanda çalışmaya devam etti. "Beyin Araştırmalarında Mühendislik Yaklaşımı" konulu bir sunum yapacak. Yaptığı çalışmaları ve dünyada bununla ilgili neler olduğunu özetleyecek bize.

Prosedür anlamında şöyle bir yol izleyelim: Önce konuşmacılar anlatırken, soracağınız soruları not alın, en sonunda tüm konuşmacıları buraya davet edelim, hem genel değerlendirme yapalım tüm konuşmacılarla birlikte, hem de toplu halde sorulara konuşmacılar cevap vermiş olsun.

Beyin Araştırmalarında Mühendislik Yaklaşımı

Doç. Dr. Rıfat Koray Çiftçi (Namık Kemal Üniversitesi)- Teşekkür ederim hocam.

Tabii, bu çok geniş bir başlık. Başlığın tamamını burada paylaşmam mümkün değil; zaten o kadar bilgi dağarcığım da yok. Ama kendi bilebildiğim ve bir kısmına dokunabildiğim bu beyin araştırmalarında mühendislik yaklaşımını sizlerle biraz tartışmak istiyorum.

Bir kısım araştırmacı bu şekilde bakıyor. Bu en doğru yaklaşım mıdır, bilemem; ama bir kısım araştırmacı beyne baktığı zaman, bir optimizasyon sürecinin ürünü görüyor. Bu bir açıdan mantıklı. Yani eğer bizim bugün hayatta kalmamızı ve şu an bütün hareketlerimizi sağlayan bir yapı varsa, bu, sonuçta bir şeylerin en iyilerinin sonucu ortaya çıkmış olmalıdır.



www.humanconnectomeproject.org

- Yaklaşık 10^{11} adet sinir hücresi
- ve bunların arasında yaklaşık 10^{15} adet bağlantı.
- Evrim süreciyle şekillenen bir optimizasyon.

Bu sayıları hepimiz az çok biliyoruz. Çok nöron var içinde, ama daha kesin konuşmak istersek, 86 milyar civarı nöron olduğu düşünülüyor. Her nöron ortalama 7-8 bin bağlantı yapabiliyor. Değişiyor bu. Toplam bağlantı sayısı, yani sinaps ve nöronlar arası bağlantı sayısı 1.015. Dolayısıyla ortada gerçekten büyük, karmaşık bir alan var. Dolayısıyla bu karmaşık alan, bir şeyleri, birtakım kriterleri sağlayan, birtakım kısıtları optimize eden bir yapı olması gerekiyor. Bu optimizasyona biraz bakacağız. Bu noktada, beyni aslında bir tümleşik devre tasarımı, çok geniş ölçekli tümleşik devre tasarımı mantığıyla düşünebiliriz. Yani farklı bölgeler var ve bunların birbirine bağlanması gerekiyor.

Peki, bu optimizasyon sürecinin sürükleyicisi ne; evrim süreci. Evrim süreci bir şekilde birtakım yapıları ön plana çıkararak, karşımıza bunu koyuyor. Bu, mühendisler için aynı zamanda bir meydan okuma. Optimizasyona yatkın insanlar, bir şekilde beynin de nasıl çalıştığını anlamaya çalışıyorlar. Tabii, burada mühendisler diyerek, biraz sınırlamış oldum. Mühendisliğin içinde bulunduğu gruplar demek daha doğru aslında.

Bu konuşmanın başlığındaki yaklaşım kelimesini de açıklayayım. Başta “Yöntem” demek belki daha doğru gibi gelmişti, ama yaklaşımı daha çok tercih ettim. Çünkü yöntem dediğimizde, daha durmuş oturmuş, kabul edilen birtakım süreçleri kastediyor; ama yaklaşım dediğimizde, biraz daha flu bir alan. Yani birtakım kişisel, daha sübjektif birtakım yanları da içerdiği için, yaklaşım kelimesi daha doğru ve bu yönden ilerlemeye çalışacağım.

İnsan beyniyle ilgili birçok şey duyarız, okuruz ve ilginç özellikleriyle ilgili çıkan popüler haberleri duyarız; ama sadece bizim beynimiz değil ilginç olan, enteresan olan. Bilim dünyasının yıldızı olan bir şey var *Caenorhabditis elegans*.



Caenorhabditis elegans adlı kurtçuğun

- yaklaşık 300 adet sinir hücresi arasındaki bağlantılar
- toplam bağlantı uzunluğunu en aza indirecek şekildedir.

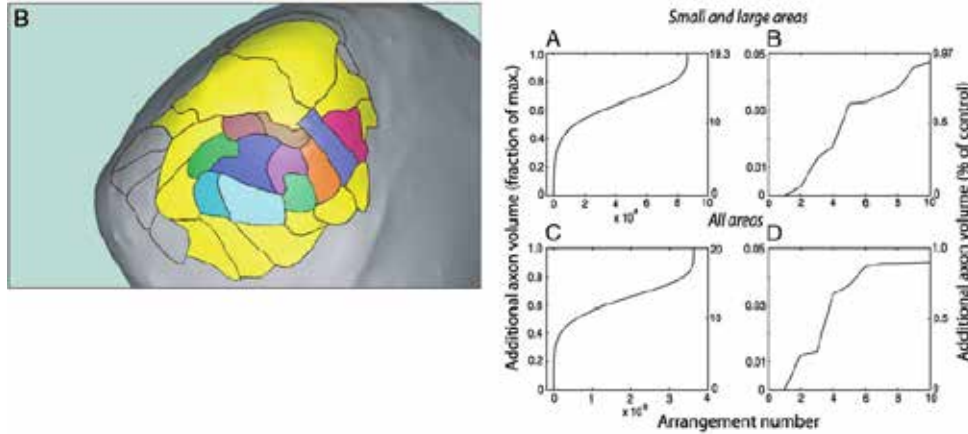
Cherniak, Component placement optimization in the brain, The Journal of Neuroscience, 1994.

Bu, yaklaşık 1 milimetre boyunda. Aynı zamanda konektomu (nöronlar ve nöronlar arası bağlantılar) da tamamen bilinmiyor, hâlâ bilinmeyen yanlar var gerçi; ama insan beyniyle karşılaştırdığımızda çok iyi biliniyor. Dolayısıyla pek çok sinirbilimci bazı basit modelleri bu tip yapılar üzerinde inceliyor. Burada, elimizde bildiğimiz küçük bir model var; bunun üzerine bir şey deneyebiliyor insanlar. Bu soru, yani 'İnsan beyni niye optimize?' sorusuna ilk verilen cevaplardan biri de bu kurtçuk olmuş ve çok da mantıksız olmayan bir şekilde, toplam bağlantı uzunluğunu en aza indirecek şekilde beynin organize olduğunu ortaya koymuşlar. Yani yaklaşık 300 tane nöron var, bunların arasında bağlantılar olması gerekiyor. Elinizde belli bir uzam var, bunu nörona yerleştirmelisiniz.

İddia şu ki evrim süreciyle ortaya çıkan bu yapı öyle bir yapı ki, bu nöronları bir adım oynatsanız bile toplam bağlantı uzunluğu artıyor, yani 'Olabilecek en kısa bağlantı uzunluğu budur' sonucuna varılıyor.

Daha sonra, direkt insanlarda beyin araştırmaları, doğrudan beyne müdahale çok katı bazı kurallara bağlı olduğu için, çok tartışmalı olmakla birlikte, el altındaki hayvanlar üzerinde deneniyor pek çok şey.

Sadece insana özgü olmayan bir yapı



Makak maymunlarında

- Prefrontal alandaki beyin bölgeleri arasındaki bağlantılar
- toplam akson hacmini en aza indirecek şekildedir.

Kylachko ve Stevens, *Connectivity optimization and the positioning of cortical areas*, PNAS, 2003.

Makak maymunları da bu anlamda üzerinde çok ciddi çalışılan hayvanlardan. 2003 yılında yapılan bir çalışmada, bu sefer daha sınırlı, ama ön bölgedeki beyin alanlarını, nöron seviyesini bu bölge seviyesinde ayırıyorlar ve bir yapboz gibi bununla oynuyorlar. Onda da ortaya koydukları şey benzer bir şey. Şu anda elimizde olan bu yapboz, yani makak için var olan bu yapı öyle ki, bu yapbozla biraz oynamaya çalışsak, toplam akson hacmi artardı sonucuna varılıyor. Dolayısıyla yine bağlantı uzunluğu veya hacminin en iyilendiği sonucuna varıyorlar. Ama sadece bu değil, yani, 'Neyi optimize etti bu süreç?' sorusuna başka yanıtlar verenler de var veya yan yanıtlar verenler de var. Yani sadece kablolama uzunluğu olmayabilir tek kriter, işlem basamakları da olabilir. Yani evet, bir noktadan bir noktaya ulaşmak istiyorsunuz; çok kısa kablolar kullanırsanız, en arkadaki arkadaşla ulaşmak istesem mesela, her sıraya bir kablo çeksem, evet, kablolama uzunluğu kısa olur; ama en arkaya bir şey iletmek için kulaktan kulağa gitmesi gerek bunun. Ama en arkaya bir tane kablo göndersem, bir adımda oraya gitmiş olurum. Maliyeti ne; uzun kablo. Orada diyorlar ki, 'Burada yeni bir dengeleme var.' Bir yandan kabloları kısaltmak istiyoruz, ama işlem basamaklarını da kısaltmak istiyoruz. Böyle çok kısa kablolar kullanıp da çok fazla kulaktan kulağa gitsin istemiyoruz. Bu ikisi de olabilir. Bunu da katmak lazım.

Dolayısıyla bir şekilde beynin farklı işlevleri yapan bölgeleri arasındaki bağlantıların bir en iyileme süreci sonucunda ortaya çıktığı ve karşımızda böyle bir yapı olduğu savlanıyor. Hâlâ da bu sav korunuyor aslında. Peki, ama neden kablolama uzunluğunu minimize etmeye çalışıyor, en aza indirmeye çalışıyor? Bu da şaşırtıcı değil. Yine bugün çoğu kişinin paylaştığı görüş, kablolama uzunluğunu ya da bağlantı uzunluğunu kısaltmanın amacının, beynin kullandığı enerjiyi azaltmak olduğu düşünülüyor ve bu söylediklerim çok çeşitli yanlarıyla ele alınan, tartışılan şeyler.

Beynimizin enerji kullanımıyla ilgili de çeşitli rakamlar genel olarak bilinir. Gram başına düşen enerji bakımından oldukça maliyetli bir organ beyin, yani enerjinin yüzde 20'sini oluşturuyor. Bebeklerde yüzde 50, yüzde 60'a kadar çıkabiliyor bu. Tek maliyetli organ da beyin değil, onu da söylemek lazım. Örneğin, kalp de tabii maliyetli bir organ enerji açısından. Karaciğer ve sindirim sistemimiz, bağırsaklarımız enerji bakımından maliyetli organlar. "Evrin sürecinin belirleyeni enerjiyse eğer, buradaki görüşlerden bir tanesi de, daha yüksek kalorili beslenmeyi başardığımız için, yiyecekleri pişirmeyi başardığımız için, sindirim sisteminden bir şeyleri feragat etmeyi becerebildik, bağırsaklarımız kısalabildi, belki de oradan kazandığımız enerjiyi beyne aktarabildik" gibi bir görüş

de var. Buna karşı çıkanlar, buna uymayan başka bir evrim süreci şekillenmesini savunanlar da var; ama bir şekilde enerji, enerjiyi verimli kullanmak, beynimizin önemli amaçlarından biri olarak gözüküyor.

Peki, beyin enerjiyi niçin kullanıyor? Maalesef, hiçbir şey yapmıyorken enerji sıfırlanmıyor. Hücrelerimizin sadece canlı kalması için bile sürekli enerji harcamamız gerekiyor. Dolayısıyla bir hücrenin varlığı dahi enerji. Çünkü biliyorsunuz, hücre içinde, dışına göre ortalama 70 bin voltluk bir voltaj farkı var. Bu voltaj farkını korumak için, sürekli bu iyonları pompalıyorsunuz, ters yönde sürekli pompalamanız gerekiyor. Dolayısıyla bu bir enerji demek. Yani eğer hiçbir sinyal iletimi olmasaydı -ki, bununla ilgili çalışma yapılıyor- dahi, beyin yaklaşık toplam kullandığı enerjinin yüzde 50'sini yine de kullanacaktı. Tabii, bu tüm beyin için böyle. Diğer yüzde 50'sini de sinir hücrelerimizin sinyalleri aldığı ve ilettiği kablolardan bu sinyalleri göndermeye harcıyor, ama bu değişiyor. Nöronların daha çok olduğu bölgelerde sinyali iletmek için harcanan enerji yüzde 75'e kadar çıkabiliyor. O zaman, beyin optimizasyon yapmışsa şöyle bir şey var: Bir, kaç tane nöron olmalı? Çünkü nöron sayısı arttıkça enerji de artar. Ama nöronun kendisi maliyetli. Bu nöronlar arasında ne kadar bağlantı olmalı? Dolayısıyla beyin ne kadar enerjisini sinyale, ne kadar enerjisini nöronlara harcamalı?

Bu enerji kısıtı altında beyin kendini nasıl organize ediyor? Baştaki sayıları hatırlarsak, yüksek sayılar; ama yine de beynimizdeki bağlantıları bir matrise yazsaydık eğer, bağlantı olanlara 1, bağlantı olmayanlara 0 yazsaydık, 0'lar oldukça yoğun olacaktı. Yani sayılar yüksek, ama aslında beyindeki bağlantılar oldukça seyrek. Burada söylendiği gibi, 1 milimetre mesafe olan nöronlar arasında yüzde 1 olasılıkla bağlantı var. Mesela bu, milyonda 1'e çıkıyor. Bu, bir yandan doğal, çünkü tüm bağlantılar bir maliyet.

Bu, yine insan beyninin bir küçük dünya özelliği gösterdiği, bugün çoğu kişinin öne sürdüğü ve kullandığı tezlerden. Küçük dünya özelliği şu demek: Bu, daha çok sosyal bilimlerde ortaya çıkmış bir şey; yani dünyanın herhangi bir yerine mektup göndermek istesem, hiç tanımadığım birine, "O mektubu göndermek için ortalama altı kişi yeter" diyor. Beyinde de bu özellik olduğu düşünülüyor. Yani beyinde bir yandan lokal olarak belli işleri yapan nöron grupları var, ama bu nöron gruplarının bazıları da daha uzak bazı bölgelerle iletişim halinde. Yaşadığımız yer gibi, kimi insanlar daha sosyal, kimisi daha kendi içine kapanık. Dolayısıyla daha dışadönük insanlar başka köylerle, başka kasabalarla haberleşiyorlar ve siz bir şey söyleyecekseniz ona söylüyorsunuz, o gidiyor, diğer tarafa aktarıyor gibi. Beynimizde biraz bu özellik olduğu düşünülüyor. Aslında bu sayılar da bize bunu söylemiş oluyor.

Peki, bu büyük yapı enerjiyi kullanırken nasıl davranıyor? Yapılan hesaplara göre, belli anda beynimizin yüzde 1-10'u arasında olabilir. Neden? Çünkü enerjinin bir kısıtı var; tüm beyni aynı anda ateşleyemez. Ateşlerse, çıkacak ısıyı belki soğuramaz. Ama beynin kullandığı enerjiye baktığımız zaman, aynı anda bu kadar aktif olabilir.

Belki, 'Yüzde 10'unu kullanıyoruz' hurafesinin de kaynağı bu. Hani, 'Beynin yüzde 10'unu kullanıyoruz' diye bir yaygın yanlış inanış var ya. Ortalama yüzde 10 civarı aktif olabiliyor gibi bir sonuç çıkıyor buradan.

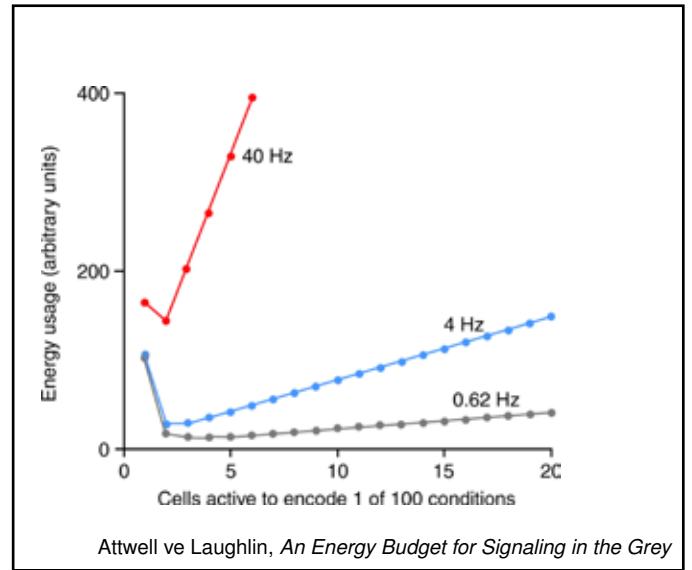
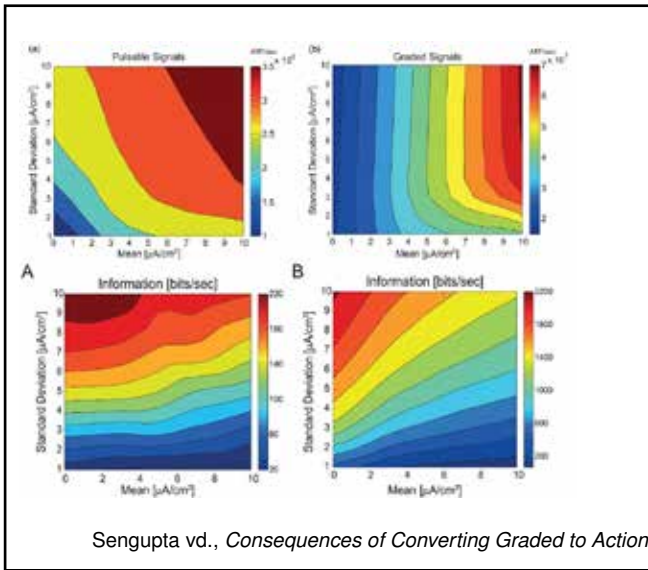
Beyinde de sinir hücreleri daha önceliklendiriliyor. Bu doğal biraz, ama beyin sadece sinir hücrelerinden ibaret de değil. Başta bu yapıştırıcı hücre olarak düşünülürdü, bugün ise daha başka işler yaptığı ortaya konuldu. Dolayısıyla beyne baktığımızda, her şeyi nöronlardan ibaret de görmeyelim. Sonuçta, nöronların çevresini saran, en az onlar kadar yer kaplayan, hacim kaplayan, ağırlık kaplayan ve önemli işler yapan milyarlar var ve beynimizin enerjisi oralara da gitmiş oluyor.

Bu noktada, yine yaygın bir bakış açısı, beyni belli bir hibrit haberleşme sistemi olarak görmek. Hibritten kastım şu: Anlık ve dijital bilgiyi aynı anda kullanan. Yine beyne dönük şeylerde genellikle dijital çalıştığına dair bir inanış vardır. Biliyorsunuz, beynimiz aksiyon potansiyeli üretir. Bu bize daha dijital bir bilgi çağrıştırır doğal olarak; ama beynimiz sadece dijital çalışmıyor, analog ve dijitali birlikte kullanıyor. Analog ve dijitali birlikte kullanmak, enerji açısından daha verimli olabilir,

enformasyon açısından daha verimli olabilir; çünkü analog sistemler birim zamanda enformasyon taşıma açısından daha kullanışlı, eğer ki sinyal oranlarının çok yüksek olması gerekmiyorsa. Dijitalleşmenin ana kazancı ne; gürültüye olan bağışıklık. Yani bugün de dijitalleşmenin bize sağladığı en önemli şeylerden bir tanesi, neredeyse gürültüsüz bir şekilde bir noktadan bir noktaya bilgi aktarma şansımız oluyor. Beyin de aslında bunu yapıyor. Beyin, yakındaki hücreler arasında analog birtakım işlemler yapıyor. Örneğin, aldığı sinyaller üzerinde analog işlemler yapıyor, ama daha sonra dijitalleştirip de gönderiyor. Hem onu, hem bunu birlikte kullanması, enerjiyi optimize etmek ve birim zamanda gönderilen enformasyonu optimize etme çabasının bir ürünü gibi gözüküyor. Buna şöyle bakmak lazım: Sanki baştan böyle bir erek vardı, amaç vardı da ona ulaştık diye bir şey yok; ama geçmiş bütün bu süreci böyle anlamlandırmaya çalışıyoruz.

Aşağıdaki grafikte analog ve dijital sinyalleri görebilirsiniz. Buradaki tam gözükmeyen rakamlarda, enformasyon ve enerji bakımından sinyallere göre çok daha verimli.

Bu grafiğin söylediği ise şu: Şöyle düşünelim: Beyinde farklı 100 tane durum tespit etmek istiyorsunuz,

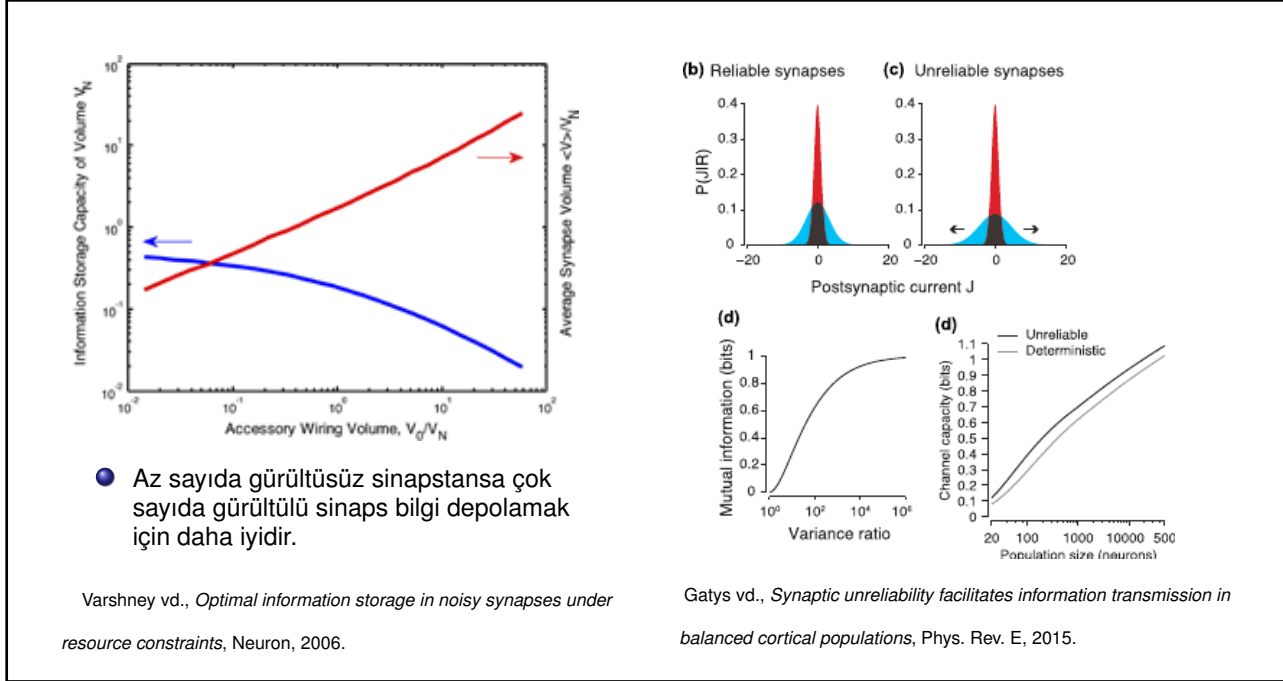


sadece 100 tane durum var, bir şekilde hayat 100 tane durumdan ibaret. Tersine ne olabilir; 100 tane nöronunuz olur ve hangisi aktifse o bir duruma karşılık gelir veya daha az nöron, örneğin on tane nöronunuz olur, iki tane aktif olsa, tam denk gelmez. Dolayısıyla aynı anda iki tanesi aktif olsun deseniz, bu sefer toplam nöron sayısını azaltabilirsiniz. Karşılığında ne kaybediyorsunuz; aktivasyon miktarı artıyor. Bu da yine bir optimizasyon problemi. Neyi optimize ediyorsunuz? Nöronun varlığı bir enerji, sinyalleme bir enerji. Dolayısıyla sinyal enerjisiyle varlık enerjisi arasındaki dengeye göre bir optimum nokta var; yani nöron sayısı ve bunların kaç kez ateşleneceğinin enerji hesabı yapılabilir. Bunlar da yapılmış ve burada bazı grafikler bulunmuş. Ateşleme sayısı arttıkça şu oluyor: Belli anda aktif olacak nöron sayısının azalması gerekiyor. Bu da normal. Çok sayıda nöron çok sayıda ateşleme yaparsa, enerji hızla düşer. Frekans arttıkça, beynimiz daha çok sayıda nöron, ama onları daha az kullanıyor. Ateşleme sayısı azaldıkça, daha az nöron var, ama onları daha fazla ateşleyerek kullanabiliyoruz. Burada 100 tane bölgeyi, diyelim ki sadece 2-3 tane nöronu aktive ederek çalıştırmalıyız gibi gözüküyor.

Bu, seyrek kodlamaya karşılık geliyor. Seyrek kodlamaların çok büyük olanları var. Beynimizin de bir şekilde seyrek kodlama yaptığı düşünülüyor. Seyrek kodlamanın temel esprisi, kaç tane aktif ve kaç tane dinlenme durumunda hücre, bunları bir dengeye getirmek ve bu, genelde seyrek kodlara doğru beyni yönlendiriyor.

Gürültüden kısaca bahsetmek istiyorum bunlarla bağlantılı olarak. Tüm bu tartışma, gürültüyü bir yana bırakarak mümkün değil. Enerjiyi kısmak isteriz, ama gürültü var. Enerjiyi çok kısarsan, bu sefer sinyal çok düşer, haberleşme problemleri başlayabilir. Her zaman gürültü sizi sınırlayan bir şeydir.

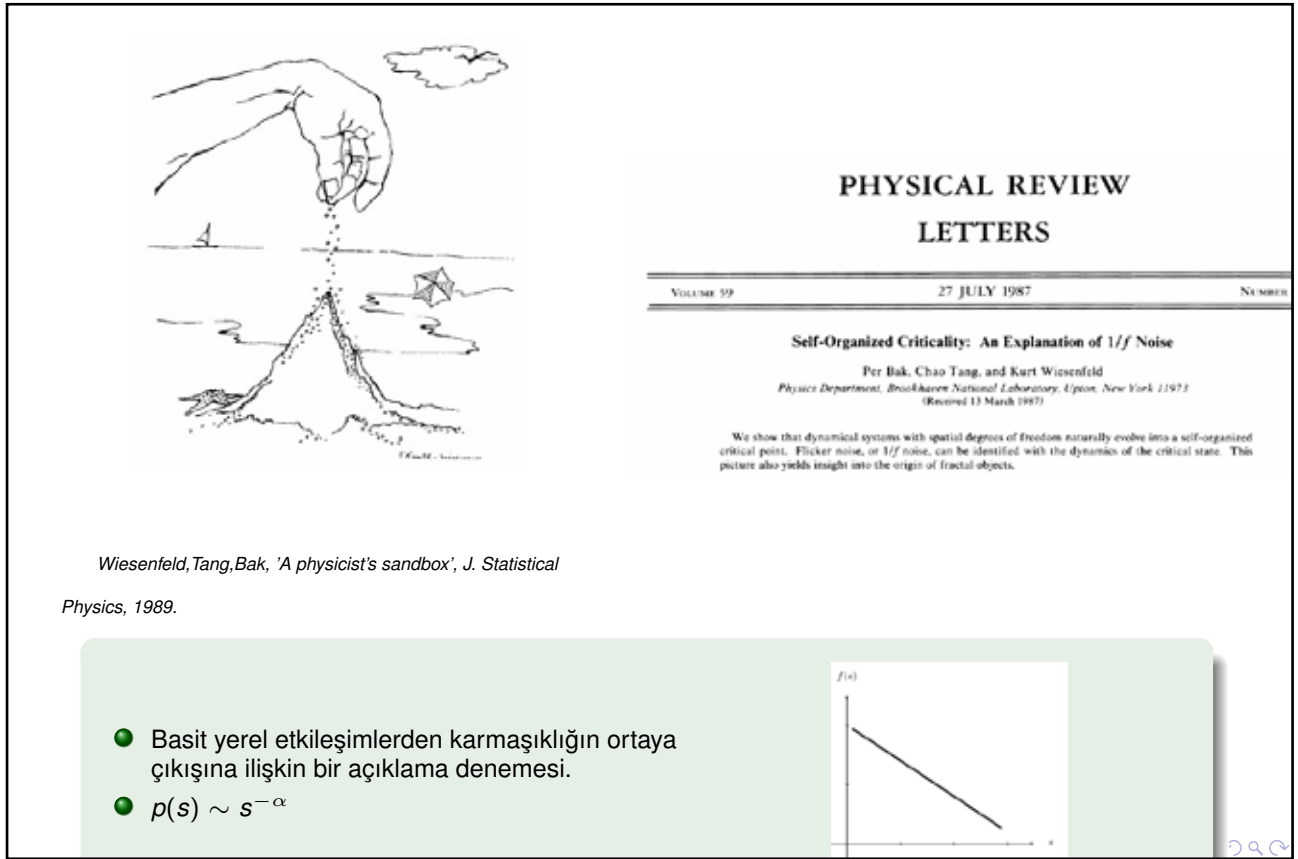
Beyinde de böyle bir şey var. Beynimiz de her zaman gürültülü. Aslında gürültüsüz hiçbir organımız olamaz, ama beyin hep gürültülü. Gürültü neden kaynaklanıyor? Çünkü beyindeki her türlü nöron hareketi aslında olasılıksal, olasılığı var; ama bu iyon kanalları çok sayıda olunca, otomatikman ses çıkartıyor. Ama tekil kanallarda olasılık var. Olasılık varsa, her zaman aynı tepkiyi üretmiyor bu nöron, aynı uyarıyı verseniz bile aynı tepkiyi alamıyorsunuz. Dolayısıyla bir gürültü var. Bu, akson gürültüsü ya da x sinyali iletim gürültüsü.



Onun ötesinde, bir de sinaptik gürültü var. Belki beynimizi mükemmel görmeye daha yatkınız, ama beynimizin şöyle tuhaf bir şeyi var: Bir nöron bir sinyali gönderiyor, sinir ucuna kadar geliyor, diğer sinir ucuna gelmiyor, geç geliyor, ama geçemiyor; çünkü bu nöron, salgılaması gereken nörotransmitter iletiliciyi salgılayamıyor. Böylece, o sinyal orada kalıyor, gidememiş oluyor. İlginç bir şey ve bu oran az değil, yani yüzde 50-90 arasında. Yani beynimiz, nöronlar arasındaki iletişimin yüzde 50-90 arası aslında sinapslarda yok oluyor. Bunun, aslında bizim beyne dönük çok mükemmel görüşümüzü biraz bozan bir yanı var. Neden böyle oluyor, neden yok oluyor sinyaller? Burada yine, 'Beyin bir şey yapmışsa, mutlaka iyi bir şey yapmıştır' düşüncesi devreye giriyor. Yapılan araştırmalar, bu gürültünün aslında iyi bir şey olabileceğini ortaya koyuyor. İki nöron arasındaki kanalı modelleyerek yapılan çalışmalarda, elinizde belli bir doku hacmi varsa, o doku hacmini büyük ve gürültüsüz sinapslardansa, çok küçük, ama gürültülü sinapslara bölmenin daha iyi olacağını söylüyor. Enformasyon depolama kapasitesi hacim azaldıkça artıyor. Birim hacimdeki azalıyor tabii ki, ama tüm hacmi böldüğünüz zaman ve tüm hacmi topladığımız zaman, bölerek yapmak daha iyi. 'Gürültü kötü, ama sanki beyin bu gürültüyü göze aldı' gibi gözüküyor.

Bununla ilgili çok çeşitli başka çalışmalar da var, yani gürültünün beyindeki önemiyle ilgili çok fazla şey var. Sonuçta, gürültü varyans yaratıyor ve varyans iyi bir şey. Çünkü varyansın enformasyonu artıran bir yanı var. Dolayısıyla gürültü sayesinde varyans ve enformasyon artıyor.

Biraz eleştiriyorum aslında "Beyin yaptıysa iyi yapmıştır" görüşünü, ama sonuçta biz de belki benzer bir noktaya varıyoruz. Biz de gürültünün kritiklik üzerindeki etkisine baktık. Kritiklik şu demek: Bu, bizim kompleks sistemler anlayışımıza fizikçilerin yaptığı önemli bir katkı. Biliyorsunuz, fiziğin en önemli şeylerinden biri buydu; yani kompleks sistemler nasıl ortaya çıkıyor ya da kompleks sistemler nasıl uyumlu davranışlar gösterebiliyor? Yani sonsuz sayıda parçacıktan oluşan sistem nasıl oluyor da kolektif bir davranış ortaya koyabiliyor? Bununla ilgili çeşitli çalışmalar yapıyordu.



Buna yönelik en büyük katkı, 1987'de yazılan bu makaleyle geldi ve arkasından pek çok makale patladı. Biliyorsunuz, bilim modalarla ilerliyor. Bir şekilde, moda olan şeyleri herkes yapıyor, istese de, istemese de. Bu da böyle oluyor. Yani bu ortaya çıktığından itibaren her alana yayıldı.

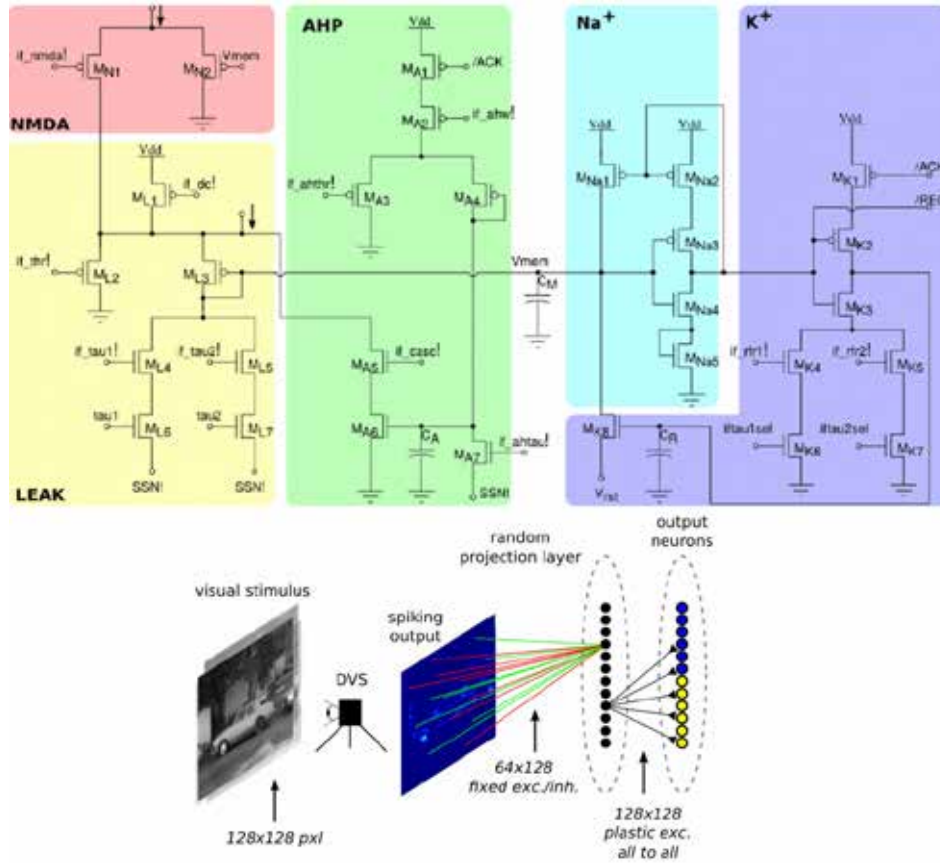
Bu makale çok basit bir şey diyor aslında. Bu önerdikleri düşünsel deney daha sonra gerçekten yapılıyor. Diyor ki, "Bazı sistemler öyledir ki, kendilerini kritik noktaya taşırlar. Siz bir masanın üzerine kum tanelerini tek tek bırakın, bir noktadan sonra artık öyle bir yere gelir ki bu, bir sonraki kum tanesi düştüğü anda, o kum tanesi tek başına yuvarlanacak mı; yoksa bu kum tanesi büyük bir kısmını aşağı indirecek şekilde büyük bir çıg mı oluşturacak, bunu kestiremezsiniz. Bazı sistemler kendini buraya doğru götürür." Bu, yerel bir olayın nasıl global etkiler üretebileceğini söylüyor bize, böyle bir hipotez ortaya atmış oluyor. Çünkü böyle sistemlerde, klasik sınırlı korelasyonlar biraz bozuluyor. Yani siz rasgele bir imge alsanız, uzaklık arttıkça korelasyon azalır; ama böyle sistemlerde, uzaklıkla korelasyon azalması tam beklediğiniz gibi olmuyor, yani çok uzun erimli korelasyonlar çıkabiliyor.

Biz de bunun üzerinde biraz durduk. Onun üzerinde çok basit bir model koşturduğumuz zaman, sinapsı tamamen gürültüsüz kıldık, daha sonra adaptif gürültü verdik. Aktif olup olmadığına göre gürültü miktarı değişiyor. Gürültü arttıkça, gürültü bu şekilde aktif hale geldikçe, daha kritiklik hissi veren bir yapı ortaya çıkmış oluyor. 'Böyle bir davranış vardır' diyemiyor kesin; ama 'varsa, bunda gürültü rol oynuyor olabilir' diyor bu yaptığımız şey.

Biraz daha somut, elle tutulur şeylerden bahsedeyim.

Beyni bu kadar optimize etmeye, anlamaya çalışan mühendislerin yapmaya çalıştığı şeyin aynısını yapmak, 'Ben de bir tane daha yapabilir miyim?' diye düşünmek. Bunun çok farklı örnekleri var. Nöromorfik mühendislik, popüler ve yükselen bir alan. Burada yapılan şey, bildiğimiz transistörlerle beyindeki pek çok yapıyı modellemek, dolayısıyla bunları yan yana getirmek ve ortaya çalışan bir şey koymak. Tabii, bu kolay bir problem değil; çünkü beynin üstünde çalışan ve enerjisi de mutlaka verimli olan bir sistem yapmak şu anda hâlâ mümkün değil ve yakın gelecekte mümkün olacak mı, tartışmalı.

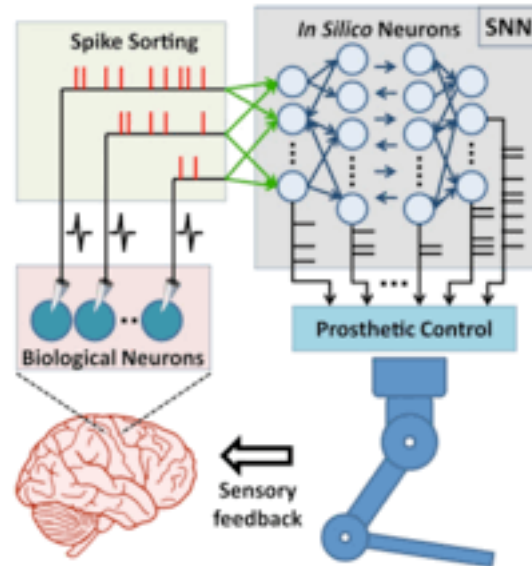
Silikon nöronlar



Bu bir örnek. Böyle bir sistem kurulmuş ve bu, bisikletle araba tanıma problemine uygulanmış. Tamamen sinaptik ve nöronal özellikler gösteren transistörlerin bu ayrımı yapabildiği gösterilmiş.

Günümüzde bu alanda yürüyen en büyük çaplı proje Avrupa Birliği projesi. İçinde çok geniş bir konsorsiyum var ve yaklaşık 1.2 milyar Euro'luk bir bütçesi var. Çok büyük bir bütçe. Bu projenin en büyük hedefi, insan beyninin tamamen dijital bir yeniden yapımını ortaya koymak. Burada öyle bir yapı ortaya koyacağız ki farklı ülkelerin nörobilimcileri gelecekler, bu yapıyla çalışabilecekler. O kadar ki ilaç denemelerini bile direkt dijital ortamda deneyebileceksiniz. Bu kadar iddialı. Tabii, bu kadar iddialı olunca, buna dönük büyük bir hareket de başladı. Çok basit olarak söyledikleri: 'Bu olmaz. Çok büyük bir para havaya uçacak' şeklinde ve buna karşı bir hareket başladı. Geçtiğimiz günlerde, 30 bin nörondan oluşan fare beyninin dijital rekonstrüksiyonunu ortaya koydular. Tabii, bir açıdan iyi; çünkü literatürle uyumlu, hepsine bakabiliyorsunuz, çok ayrıntılı görebiliyorsunuz. Ama sonuçta, üç milimetreküplük bir fare beyni. Dolayısıyla bunun insan beynine ulaşip ulaşamayacağı gerçekten bir tartışma noktası. Tabii, pek çok tartışma var; onu da hepimiz kestirebiliyorsunuzdur.

Silikondan beyin yapma çalışmaları var, bir de hibrit sistemler popüler. Bu da Boğaziçi Üniversitesinden bir ekibin yapmakta olduğu bir çalışma. "Madem beynimiz var, tamamen biyolojik, bir de silikon var, tamamen abiyolojik; bunların hepsini entegre edelim. Örneğin, engelliler için yapılan beyin makine ara yüzlerinde öyle bir şey yapalım ki direkt



o kişinin nöronlarıyla iletişim halinde olan silikon nöronlar yapalım. Beyin sinyalini alıp, onu bir motor hareketine dönüştürmeye çalışılıyor. Ama böyle yapmayalım, direkt beyin hücresine bir ara yüz yapalım silikon nöronlarla ve aradaki kopmuş olan motor bağlantıyı bu silikon nöronlar kursun” şeklinde. Baktığımız zaman, bu alanda nöromorfik mühendislik, silikondan nöron yapmak ve bununla birleşen hibrit mühendislik önemli, albenisi olan alanlar gibi gözüküyor.

Çok toparlayıcı şeyler söylememiş oldum, ama birtakım şeyleri tartışmaya açabildiğimi umuyorum.

Teşekkür ederim.

Prof. Dr. Osman Eroğul- Teşekkür ederiz.

Gördüğünüz gibi, 'nöro science' dediğimiz yeni bir bilim dalı aslında çok hızlı ilerliyor. Biyomedikal mühendislerinin hem ulusal, hem uluslararası düzeyde çalışabilecekleri, çok hızlı ilerleyen bir bilim alanı. Ülkemizde de bunu desteklemek amacıyla TÜBİTAK’ın en son beynin modellenmesiyle ilgili çağrılarını çıkı ve çok sayıda proje başvurusu oldu bu çağrıya. Bunlardan bir kısmı desteklendi. Yine beynin modellenmesiyle ilgili, bu iletişimin nasıl sağlandığı dahil olmak üzere, çalışmalar yürütülüyor ülkemizde de.

Koray hocanın hem felsefi, hem de enteresan bir sunumu oldu. Kendisine teşekkür ediyoruz.

İkinci olarak ben bir sunum yapacağım. Kişiyi özel implant ve Doku üretimiyle ilgili bir sunum yapacağım. Yine bunun içerisinde de beyin var; yani beyinden kaçış, kurtuluş yok.

Kişiyi Özel İmplant ve Doku Üretimi

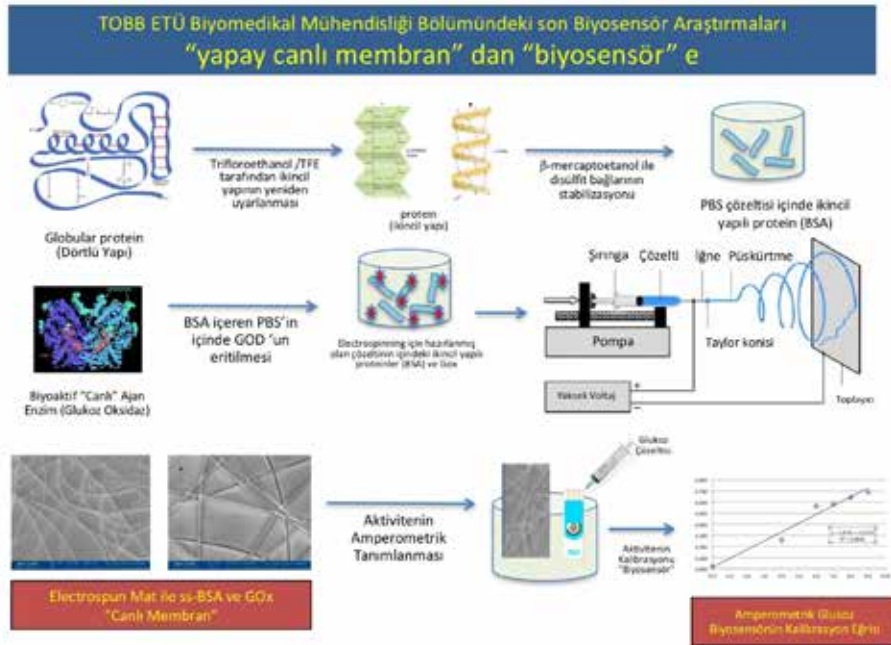
Prof. Dr. Osman Eroğul- Biyomedikal mühendisliği multi-disipliner yani çokdisiplinli bir alan. Sabah oturuma katılan arkadaşlardan biri, “Bu kadar geniş bir alanı biz nasıl öğreneceğiz?” diye sormuştu. "Bu kadar geniş bir alan var; biz nasıl bunları öğreneceğiz ve nerede yer alacağız?" sorusunu sordular. Bu sözün patenti de bana ait değil, Cüneyt (Prof. Dr. Göksoy) hocaya ait. Cüneyt hoca da yine beyin konusunda çalışan hocalarımızdan bir tanesi. O da şöyle cevap verdi: “Biyomedikal mühendisleri kök hücrelerdir. Önemli olan kök hücreyi yetiştirmek. Kök hücreyi yetiştirirseniz, nereye yönlendirmek, göndermek istiyorsanız oraya uyum sağlar ve orada büyür ve gelişir, kendisine bir yer bulur.” Gerçekten bu tanım çok hoşuma gitti. Hocaya da çok teşekkür ediyorum hepinizin huzurunda. Biyomedikal mühendisleri gerçekten multi-disipliner bir alanda çalışabilecek şekilde yetiştirilmeli ve multi-disipliner çalışmalı, bu alanlardan birisine yönelmeli ve o alanda kendisini geliştirmeli. Benim de burada anlatmaya çalışacağım konulardan, farklı alanlardan bir tanesi bu.



Biyomedikal mühendisliği, gerçekten de nanotiptan biyomekaniğe, biyomalzemelerden biyoteknolojiye, biyosensörlere, ilaç taşınımına kadar çok geniş bir yelpazeye hitap ediyor. Bizim üniversitemizde, bu alanlardan farklı konularda çalışan hocalarımız var. Bunlardan birkaç tanesini örnek olması açısından getirdim. TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümündeki hocaların çalışmış olduğu alanlar ve yürütmüş olduğu projelerle ilgili konular bunlar. Sözgelimi, bir hocamız moleküler biyoloji ve genetik alanında çalışıyor. Yaptığı çalışmalar daha ziyade beyinde inme diye ifade ettiğimiz, istemik alanda oluşması nedeniyle kişilerde felç, kısmi felç gibi problemlerin ortaya çıkması. 'Bunları nasıl tedavi ederiz? Bunların genetik bozukluklarla ilişkisi var mıdır? Bir genetik problem mi buna yol açıyor acaba?' şeklinde yapmış olduğu çalışmalar var. Yine polimorfizm konusunda yapmış olduğu çalışmalar var. Gözyaşı damlasından, genetik bozukluklar olup olmadığıyla ilintili yeni almış olduğu bir TÜBİTAK projesi var. Dolayısıyla bu tür çalışmalar, gelecekte yeni kan testlerinin yapılmasına, yeni biyosensörlerin geliştirilmesine, yeni ilaç ve tedavilerin ortaya çıkmasına yol açabilecek olan çalışmalar.

Bir başka hocamız biyosensörler konusunda çalışıyor. Biyosensör dediğimiz de, vücutta oluşan herhangi bir değişimi elektriksel yöntemle, kimyasal yöntemle, elektrokimyasal yöntemle, kapasitans değişimiyle, frekans değişimiyle nasıl algılayabiliriz? Algılamak çok ciddi bir problem. Yükseltmek ve bunu cihaz haline dönüştürmek, elektronik mühendisleri ağırlıklı çalışılan; ama biyomedikal mühendislerinin hem algılama safhasında, hem yükseltme, hem de cihaz haline dönüştürme safhasında ciddi katkıları ve birikimlerinin olması gerekiyor, diğer bir deyişle müşterek çalışmayı gerektiriyor. Gördüğünüz gibi, bu da çok disiplinli bir alan. Sadece biyosensör alanı dediğinizde, bunlar hep biyomedikal mühendisliğinin ilgi alanları haline geldi artık günümüzde.

Neler yapıyor? Özellikle sağlık alanında, çevre uygulamalarında, biyolojik savaş ajanlarının tespit edilmesinde, nanomekanik biyosensörlerin geliştirilmesinde veya gıda mühendisliği dahil olmak üzere, günümüzde birçok yerde biyosensör uygulamalarını artık görüyoruz.



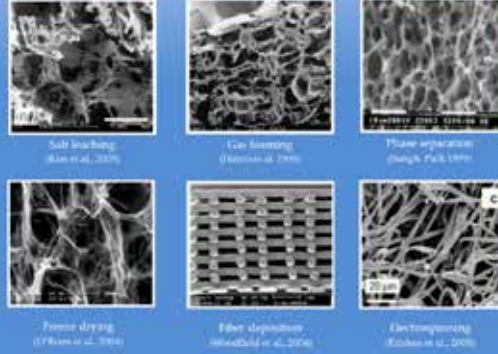
Bu hocamız, "Yapay, canlı membrandan biyosensör üretebilir miyim?" konusunda çalışmalar yapıyor. Diğer bir deyişle, grafikte gördüğümüz gibi, elinde bir canlı membran var; "Bu canlı membranı biyosensöre dönüştürebilir miyim ve bunu farklı amaçlarla kullanabilir miyim?" konusunda çalışmalar yapıyor.

Yine bir başka hocamızın yapmış olduğu, bugün de üzerinde benim çalıştığım alanla birleşecek olan bir konu, doku mühendisliği konusunda, özellikle yapı iskelelerinin, doku iskelelerinin üretilmesi, bunların tasarlanması ve doku üretilmesiyle ilgili çalışmalar yapılıyor. Biliyorsunuz, doku iskelesi veya yapı iskelesi diye ifade ettiğimiz yapılar, üzerine hücrelerin tutunup büyüyebileceği ve sonuçta da



Doku Mühendisliği Kapsamında Yapı İskelelerinin (Scaffold) Üretimi

- Çeşitli Bilim Alanlarındaki Nanoteknoloji Uygulamalarındaki Hızlı Gelişim
 - Nanofabrikasyon ve proses teknikleri: Doku mühendisliği çalışmaları için ilgi çeken güncel bir alan olarak nanoboyutlu yapıların sentezlenebilmesi
- Mikro ve Nano Yapıların Üretilmesindeki Teknikler



dokunun yerini alabilecek, doku nakli yapmamızı sağlayabilecek, bazılarında kalabilecek, bazılarında da biyobozunum malzemeden olması dolayısıyla bozunup, yok olup, tamamıyla o dokunun kendisinin ortadan kalktığı tipten uygulamalar.

Bunu yapmak için birçok yöntem var. Grafikte bu yöntemleri görüyorsunuz. Farklı yöntemler kullanılarak üretilmiş olan mikro ve nano yapıların üretilmesini görüyorsunuz. Bu yapıları karşılaştıracak olursanız, bu yapıların içerisinde, günümüzde özellikle biyoprinter konusunda çok ciddi ilerlemeler var. Artık üç boyutlu yazıcılar bir dokuyu oluşturabilecek ve bunun büyümesini sağlayabilecek şekilde tasarlanmaya başladı ve bu alanda çok ciddi çalışmalar var.

Elektrospinning yöntemi yine özellikle araştırmalarda, üzerine dokunun tutunabileceği çok yaygın kullanılan bir yöntem.

Eğer bir kıkırdak dokusu veya bir kas dokusu yapmak istiyorsanız veya bir tendon dokusunu yapmak istiyorsanız, ne kadar fiber kullanmanız gerektiği, iplikçik kullanmanız gerektiği, bunların boyutlarının ne olması gerektiği, demet haline getirdiğinizde bunların çapının ne olması gerektiği



İpliksi Nano Yapılar



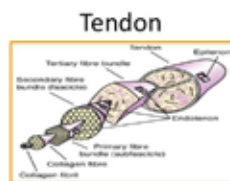
	İplikçik (nm)	Demet (μm)
Yüzey	60-90	-
Midi	60-80	55
Mineralize olmuş	80-100	10-15
Süngerimsi	80-100	1-1.5

(Minns&Steven, 1977)



Kas fiberleri: 5-50 μm (age: fetus-18y)
Miyofibril: 1-2 μm

(Aherne et al., 1971)



	Fibril (nm)
Supraspinatus tendon (insan)	57±3nm
Patellar tendon (fare)	114±38nm

(Wang et al., 2010)

(Alaseirli et al., 2005)

konusunda insanlar yıllardır araştırmalar yürütüyorlar. Elektrospinning dediğimiz yöntemde ne yapıyorlar? Bir polimer yapınız var; bu polimer yapıyı yüksek gerilim altında bir enjektör vasıtasıyla katotla anot arasında püskürtmek suretiyle burada biriktiriyorsunuz, istediğiniz şekilde bunu şekillendirebiliyorsunuz ve yapmış olduğunuz bu mikro yapı üzerinde, hangi alanda çalışmalar yapmak istiyorsanız yüzey modifikasyonu yapabiliyorsunuz. Bu yüzey modifikasyonuna uygun hücrelerin tutunmasını sağlayabiliyorsunuz. Çok yaygın kullanılan ve birçok da patent alınmış olan bir konu. Yine biyomedikal mühendislerinin çalışabileceği alanlardan bir tanesi. Bizde, bu hocayla beraber çalışan bir grup var, elektrospinning yöntemiyle bunları yapmaya çalışan bir grup var. Dolayısıyla biyomedikal mühendisliğinin farklı bir alanı bu alan.

Örnek olması açısından, kıkırdak kemik arayüzü yapmaya çalıştığımızda, kemik dokusuyla kıkırdak dokusu iki farklı doku grubu aslında. Bu iki farklı doku grubunu birbirine bağlayan kıkırdak kemik arayüzleri var. “Kıkırdakla kemik nasıl bağlanıyor birbirine?” diye sorduğumuzda, grafikte gördüğünüz gibi, tamamen bunların yapıları farklı, mineral konsantrasyonları değişiyor; ama siz, bu geçişi doku mühendisliği sayesinde yapmaya çalışıyorsunuz günümüzde. Bunlara fibroblast büyüme faktörleri ilave etmek suretiyle, doku iskelesinin üzerine farklı malzemeler tutundurmak suretiyle burada vücut dokuları geliştirip, insan vücudunda kaybolmuş olan dokunun yerine koymaya çalışıyorsunuz, yedirmeye çalışıyorsunuz diğer bir deyişle. Yapay kıkırdaklar, günümüzde yapay kalp adı altında en son Japonların yapmış olduğu bir kalbin attığını görebildik. Tabii, şu andaki yapılan çalışmalarda, bunun hiçbir zaman gerçek kalbin yerini tutma şansı yok. Yani biraz önce hocamızın ifade ettiği sinirler, sinirler arası iletişim, sinirlerin birbiriyle bağlantısı, enerji optimizasyonu, çözülmesi gereken şeylere baktığınızda, çok ciddi araştırma alanları var. Siz, bu yapmış olduğunuz doku iskelelerinin yüzeyini öyle tasarlamalısınız ki, burada, sözelimi kemik hücreleri tutunabilmeli ve vücudun bir parçası haline gelebilmeli. O halde, doku mühendisliğiyle kemik arasında, ikisini birbiriyle birleştirecek bir teknolojiye ihtiyacımız var. Sadece implant yapmak, vücuda bunu yerleştirmek değil; bu implantı acaba doku mühendisliğiyle nasıl birleştirebilirim, canlı implantı hastaya nasıl nakledebilirim, bugün artık bunun peşinde teknoloji.

Problem şu: Hastada bir kranial defekt var, kafatası parçalanmış. Ateşli silah yaralanmaları, patlamalar, depremler, göçük altında kalmalar, trafik kazaları gibi birçok nedenle çok karşılaştığımız vakalar bunlar. Dolayısıyla siz bunu nasıl eski haline getirebilirsiniz veya bu hastaya nasıl yardımcı olabilirsiniz veya kanser nedeniyle komple kalçasının bir kısmı yok olmuş bir hastaya nasıl destek sağlayabilirsiniz? Piyasadan böyle bir ürün alıp, bulup, hastaya takma şansınız yok. Piyasadaki kalça protezleri, diz protezi gibi standart ürünler bu tür yaklaşımlara cevap vermiyor, problemleri çözmiyor. Bunu hastaya takacaksınız, hastaya taktıktan sonra da hasta bir anlamda tamamen eski haline dönmese de, yatar vaziyetten mobil hale geçebilmeli ve o problemini kapatabilme şansına sahip olmalı.



Peki, nasıl yapacağız bu işi veya vücudun neresine bu parçaları yerleştireceğiz ve bunları nasıl tasarlayacağız, nasıl üreteceğiz, bu süreç nasıl olmalı? İki omurga arasına yerleştirebilir miyim ağırlığı taşıyın diye? Artık teknoloji, 'Evet, bunu yapabilirsiniz' diyor. Yani siz, ameliyat öncesinde büyük bir kranial defekte sahip olan bir hastayı ameliyat sonrasında bu hale getirebilir misiniz? Diğer bir deyişle, yine grafikte gördüğünüz gibi, kafatasının bir kısmı düzgün olmayan bir hastayı düzgün hale getirebilir misiniz? Sorunun cevabı ise 'evet, yapabiliyoruz günümüzde bunları'dır. Ama bunu yapabilmeniz için, yansıda gördüğünüz gibi, birçok alanla işbirliği yapmanız lazım, ortak çalışmanız lazım. İnanın, burada da biyomedikal mühendisleri başrolü oynuyor. Neden başrolü oynuyorlar? Burada, makine mühendisi anatomi bilmiyor, elektronik mühendisi fizyoloji bilmiyor veya doku mühendisi dediğiniz kişi de fizik mühendisliğiyle doğrudan bağlantılı değil veya güzel sanatlarla kısmen ilintili, ama malzemeyi çok iyi tanımıyor. Dolayısıyla biyomedikal mühendisleri, biraz önce ifade ettiğimiz gibi, kök hücre modelinde olduğu gibi, bu alanların hepsiyle ilgili dersler alıyorlar aslında, öğreniyorlar bunları, ders almadıysa bile öğrenmek zorunda kalıyorlar.

Kendi eğitim programımız açısından söylemem gerekirse, bunların hepsiyle ilgili temel konuları öğrencilerimize vermeye çalışıyoruz. Hangi alana yönelmek istediğine, daha sonra 4. sınıfta aldığı seçmeli derslerle kendisi karar veriyor.

Sahip olmanız gereken bir başka şey, “Uluslararası düzeyde bu işi yapabilirsin, üretebilirsin ve hastalara takabilirsin” yetkisini alabilmeniz için, uluslararası izlenebilirliğinizin olması lazım. Çünkü yaptığınız her implantı 75 yıl boyunca saklamanız lazım. Biz Avrupa Birliği regülasyonlarına tabiyiz, ama uluslararası düzeyde yapmak istiyorsanız, yetkilendirilmiş olmanız lazım. Artı, ISO 13485 sertifikasına sahip olmanız lazım, tıbbi cihaz ve malzeme üretebilmek için kalite belgelerine sahip olmanız lazım diğer bir deyişle.

Böyle bir merkez var mı; evet, var. Bizim bir hocayla beraber kuruculuğunu yaptığımız, şimdi de ortopedist hocamızın devraldığı, çok daha iyilerini yaptığı, Gülhane Askeri Tıp Akademisinde, Medikal Tasarım ve Üretim Merkezi adını verdiğimiz bir merkez var. O merkez 2011 yılında faaliyete geçti. Baktığınız zaman, multi-disipliner alanlarda çalışan bir yapıya sahip. Bunun içerisine beyin cerrahlarını, plastik cerrahları, ortopedistleri, göğüs cerrahlarını, birçok hekimi de ekleyebilirsiniz. Neden? Hangi alanla ilgili tasarım ve üretim yapacaksanız, o hekimle beraber çalıştığınız için, o merkezde onunla beraber tasarım yaptığınız için, onlar da hoca bazlı olarak bu merkezde çalışıyorlar. Bunu yapabilmenin bedeli ne yazık ki ucuz değil. 4 milyon 300 bin Euro civarında sadece ekipman yatırımı. İnsan yatırımından hiç söz etmiyorum ya da bu bina dahil değil bu rakamlara. Dolayısıyla ciddi bir mali yatırım da gerektiriyor bu iş. Ama şöyle düşünün: Burada bir kişinin tedavi olması demek, aslında bir insan hayatını kurtarmanız demek. Mali açıdan baktığınızda, mali yatırımı karşılamışsınız demektir. Yüzlerce hastaya hizmet verdiğinizizi düşündüğünüz zaman, yatırım kendisini kısa sürede karşılayabilecek yapıya sahip; yeter ki siz bunu iyi tanıttın ve üretim yapın.

Bununla ilgili şöyle örnek vermek isterim: Yaklaşık bir ay kadar önce televizyonda, hemen hemen her



Uygulama Alanları



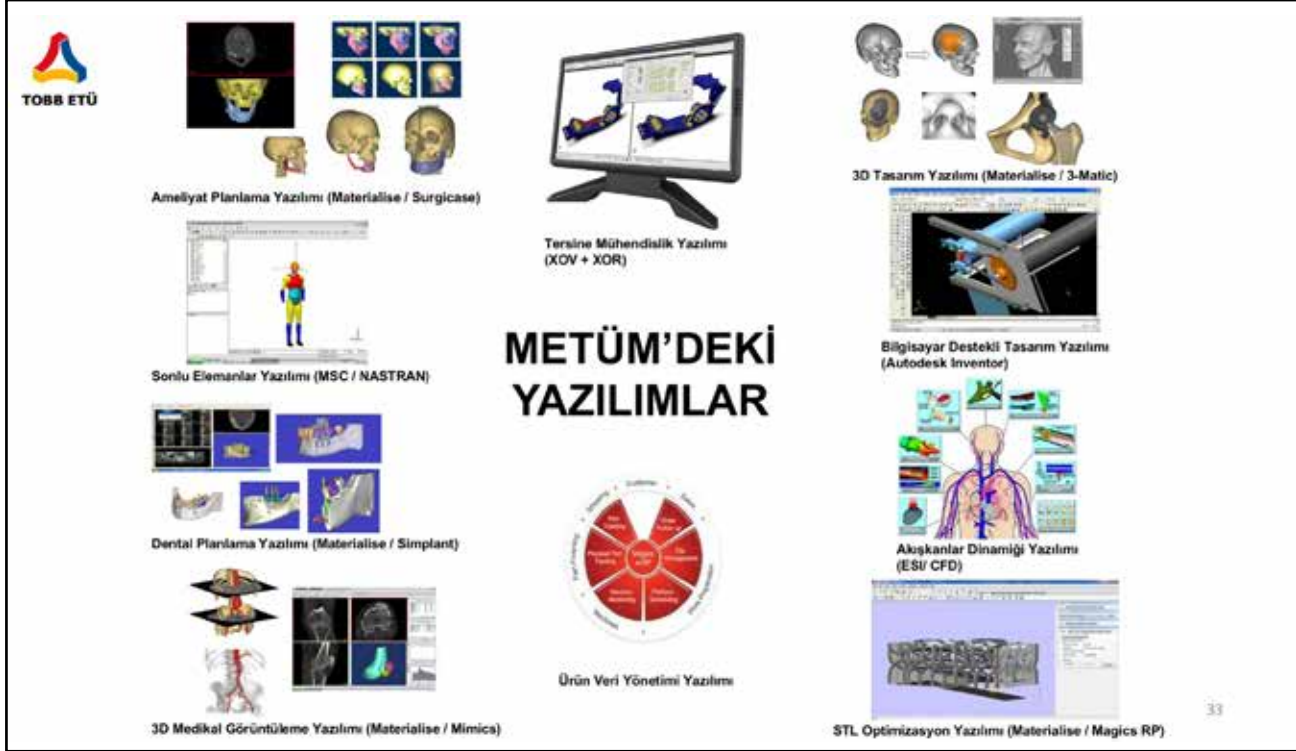
Kemik kaybı, hasarı ya da eksikliğinin tamamlanması

kanalda, “Dünyada ilk defa göğüs kafesi implantı yapıldı, yani göğüs kafesinin kısmi bir bölümü yapıldı” haberi yer aldı. Biraz sonra göreceğiz, aslında dünyada ilk defa değil; yıllar evvel yapmışız bunu, 4-5 yıl evvel tasarlamaya başlamışız ve bir de değil üstelik. Ama ne yazık ki, biz bunu kendi hastanemize

dahi duyuramamışken, bu tanıtım faaliyetleri sayesinde tüm dünya bunu ilk defa yapıldı sanıyor.

Şunu söylemeye çalışıyorum: Biz gerçekten bu teknolojilerin hem kullanımı ve hekimlik anlamında hem de sağlık hizmetleri ve beceri anlamında çok daha iyi durumdayız aslında.

Ne yapıyoruz burada? Hastanın tomografi, MR gibi görüntülerini alıyoruz ve bilgisayar ortamında üç boyutlu modelini oluşturuyoruz. Tabii, dijital görüntüleme teknikleriyle gelişmiş yazılımlar kullanarak. Bu üç boyutlu modeli oluşturduktan sonra, burada eksik olan parça hangisiyse, önce bunu bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak tasarlıyoruz.



Grafikte gördüğünüz gibi, bu iş için, dental bir işlem yapacaksanız, dental planlama veya üç boyutlu yazılım kullanacaksanız, trimatik gibi, akışkanlar dinamiği yazılımı STL optimizasyon yazılımları dahil olmak kaydıyla, yaptığınız tasarımı incelemek maksadıyla da sonlu elemanlar analizi yapabileceğiniz, 'Nereye ne kadar yük bindi, nasıl değiştirmeliyim' modeli gibi çalışmalarını yapabileceğiniz güçlü bir yazılım ekibinizin olması lazım, güçlü bir yazılım paketinizin olması lazım.

Biyomedikal mühendisleri bugün C++ gibi programlama dillerini bunun için öğreniyorlar, grafik tasarım konularını bunlar için öğreniyorlar, teknik resmi bunun için öğreniyorlar aslında.

Tasarım yaptınız, bunu ne yapmanız lazım; üretmeniz lazım. Bunun için, gerekirse topografik yüzey tarayıcılar vasıtasıyla yüzeyi taramanız lazım. Kişinin eksik olan parçası dahil, görebilmek için, kişiyi taramanız lazım. Simetrisini alıp diğer tarafta birebir oluşturabilmek için buna ihtiyaç var. Gradyal tomografi sistemlerine ihtiyaç var. Önce plastikten üreteceksiniz, çünkü metal maliyetli. Plastik model üzerinde, hekimle beraber, nereye, nasıl takacaksınız, nereye vidalayacaksınız, bunları kararlaştırdıktan sonra, hem kafatasının plastik modelini, hem de ürettiğiniz parçanın plastik modelini tasarlayacaksınız ki, buraya taktığınızda, nereden, nasıl tutturacağınız dahil olmak üzere, birkaç denemeden sonra, emin olunca, 'Tamam, bizim bu parçayı üretmemiz lazım' dediğinizde, metal modelleme makinesi yardımıyla bunun metalini üretebilirsiniz.

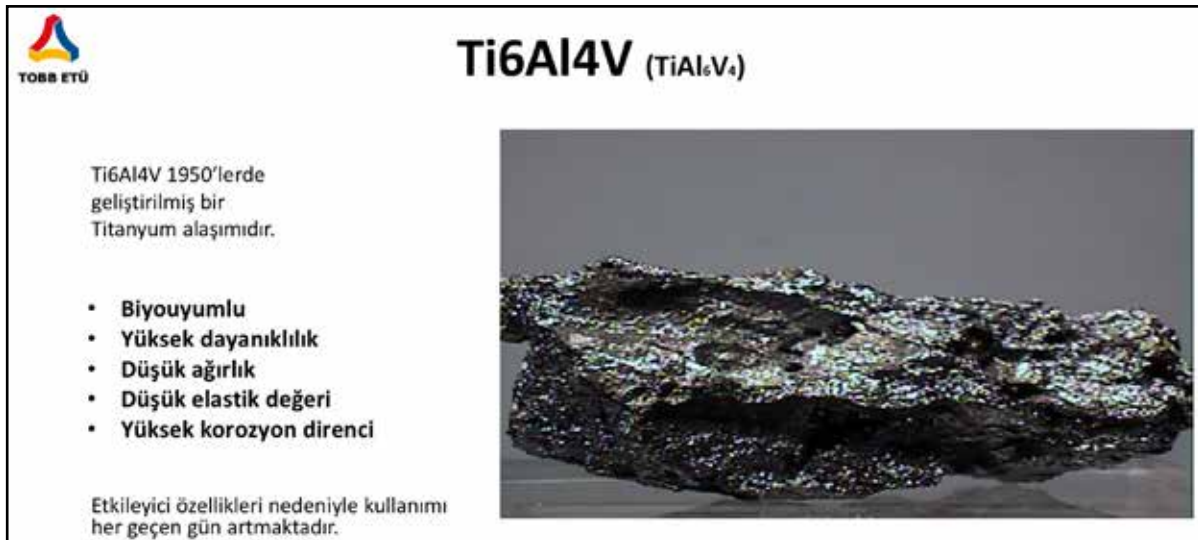
Problem burada bitiyor mu; hayır, bitmiyor. Daha sonra bunu sinterleme işlemleri; yani ısıl işlem dediğimiz, son derece önemli ve kritik know-how gerektiren bilgiler bunlar. Sadece ısıl işlemin nasıl yapılacağını öğrenebilmek için, Almanya'ya, Berlin'e bir hocamın yanına gitmek zorunda kaldım. Bu işi nasıl yaptığını, bir öğle yemeğinde ağzından neredeyse kerpetenle alabildim. Püf noktası denen şeyler vardır ya işte asıl bilgi birikimi orada yatıyor. Çünkü yapıyorsunuz, bozuluyor, deforme oluyor; ısıl işlem den geçiriyorsunuz, yapıyorsunuz, kararıyor. Ne kadar sürede ne kadar ısıtacaksınız? En

önemli proses de, nasıl soğutacaksınız? Soğutmak daha ciddi bir proses, daha kritik bir işlem.

Peki, ister metal, ister plastik olsun, sistem nasıl çalışıyor? 40 mikron kalınlığında titanyum, alüminyum, vanadyum alaşımı dediğimiz tozu seriyorsunuz, bu tozun üzerine lazer ışığı düşürüyorsunuz.



Lazer ışığı düşürdüğünüz yerler kaynıyor. Sonra ikinci katmanı seriyorsunuz, bu tozun üzerine bir lazer ışığı daha düşürüyorsunuz. Lazer düşmeyen yerlerde toz olduğu gibi kalıyor; ama diğer kısım kaynadı. Elde edilecek parçanın büyüklüğüne bağlı olarak, bu işlemi 5 bin 400 katmana kadar üst üste toz ekleyip lazer düşürmek suretiyle tekrarlayarak metal parçayı üretiyorsunuz. Kullandığınızın normalde 200 dolarlık bir malzeme, ama ürettiğiniz ürünün 70 bin lira olduğunu düşünecek olursanız, bilgi ve tasarım burada yatıyor. Dünyada bundan başka ikinci bir ürün yok, tek bu. Hangi fiyatı belirlediyseniz o fiyat. O bakımdan, özellikle biyomedikal mühendislerinin çalışabileceği alanlardan bir tanesi.



Şekilde görülen titanyum, alüminyum, vanadyum alaşımının temel özelliği, biyo uyumlu olması, yüksek dayanıklılık sağlaması, korozyona direncinin yüksek olması, elastikiyetinin farklı olması. Tek başına alüminyum kullanırsanız, dayanıklılık açısından yukarıda gördüğünüz değerlere sahip; ama bu yöntemle 35 binden 150 bine, 25 binden 140 binlere çıkartabiliyorsunuz malzemenin sertliğini ve dayanıklılığını.

Bu alaşımı aşağıdaki makineyle üretebiliyorsunuz. Sintering diye ifade edilen bir teknoloji. Malzemede oksitlenme olmasın diye Argon atmosferi altında çalıştırmak durumundasınız. Daha sonra yüzey parlatma, yüzey şekillendirme -tasarım safhasında kranial bir implant yaptınız- beynin iç yüzeyine bakacağı için pürüzsüz olmalı; ama dışı -hem saç dokusu tutunacak, hem de kemik dokusu bunun üzerine yürüyecek- hücrelerin tutunabileceği bir yapıya sahip olmalı.



Metal Modelleme Makinesi

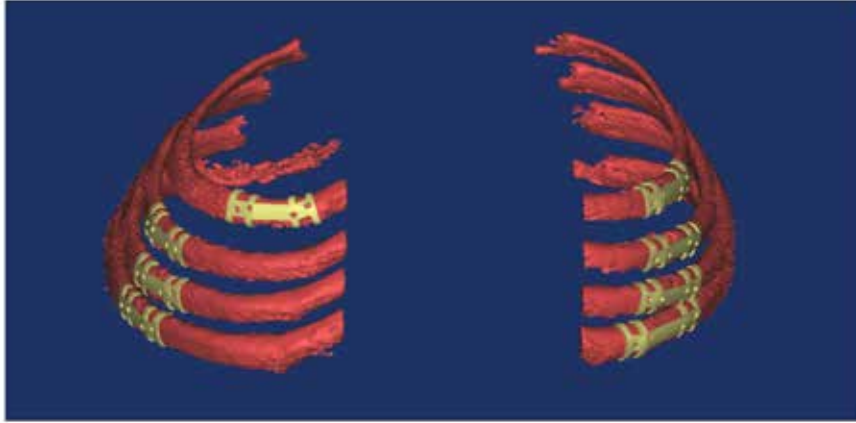


3 boyutlu geometrik sayısal veriler kullanarak, lazer cusing (sintering) tekniğiyle medikal ve dental metal yapıların üretimini yapar.

Argon atmosferi altında çalışır.

39

Örnekler vermek isterim burada. İlk göğüs cerrahisi için, kaburga kırığı olan, trafik kazası geçirmiş bir hastaya 2012 yılında çok sayıda kopta klipsleri yaptık (Bakın aşağıda), Sternokostal implantın yapılış tarihi 2016. Demek ki biz 3-4 yıl önce yapmışız. Cerrahpaşa göğüs cerrahisi için ürettiğimiz bir sternokostal implantı.

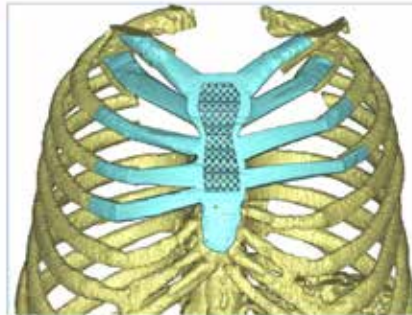


Hastanın tomografi görüntüleri sonucunda oluşturulmuş üç boyutlu görüntüsünü ve tasarladığımız sternokostal implantın üretilmiş halini ve bunun bir operasyonla hastaya yerleştirilmesi (iki aşağıda).



METÜM'de Üretilmiş Örnek Ürünler

2012 yılında üretilip Cerrahpaşa Göğüs Cerrahisi Anabilim Dalı'nda ameliyatla yerleştirilen Sternokostal İmplant



2013 yılında, yine kardiyovasküler cerrahide ameliyat olmuş, ama enfeksiyon nedeniyle tamamen Sterno-Kostalı deforme olmuş bir hastayı -sadece deri tutuyor diğer bir deyişle- bu pozisyondaki bir hastayı düşünün. Sizin yapmış olduğunuz şöyle bir implant. Önce dijital tasarım, daha sonra bunun plastik modellemesinden sonra implantın üretimi ve bu implantın cerrahi bir yöntemle hastaya takılıp, hastanın eskisine göre çok daha iyi olduğunu, problemlerinden kurtulabilecek hale geldiğini görebiliyoruz.



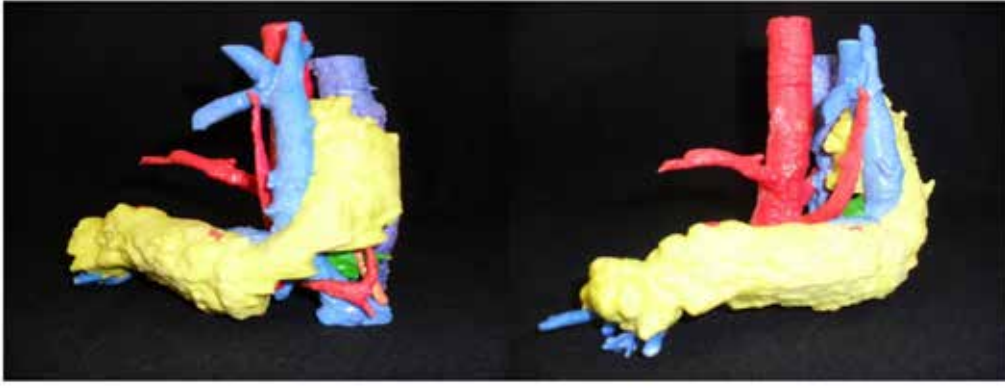
Siz bunu iyi tanıtamazsanız, dünyanın her tarafında “Dünyada ilk defa yapıldı” diye bütün TV kanallarında izlersiniz. Bizim ülkemizde çok güzel şeyler oluyor. Temel problem, biz bunları anlatamıyoruz.

Biraz önce hocamla konuşuyorduk. Bu konuda çok ciddi bir yatırım yapmak maksadıyla, özellikle havacılık, uzay sanayi dahil olmak üzere bir proje verdiklerini öğrenmiş bulundum. Gerçekten bu tür konulara ülkemizin şiddetle ihtiyacı var.

Çok sayıda kranial defekti bu tür ameliyatlara kapattık. Bunları tasarlayan, bu merkezde çalışan biyomedikal mühendisleri var, arkadaşlar. Şu zorunluluğu getirdik: Herkes A'dan Z'ye hekimle beraber tasarlamaya başladı, görüntüleri oluşturdu, implant oluşturdu, ameliyata gidecek, ameliyatta bulunacak ve yaptığı hataları yerinde görecekti. Aksi takdirde bunu düzeltme şansı yok. Kranial defekt için bir implant geliştirmişsiniz; ama şuraya iki tane delik koymayı unutmuşsunuz, kafatası oynuyor. “Dur, gideyim, şuradan iki tane delik açayım” deme şansınız yok o esnada. Bu hatayı yapmayacaksınız. Bunu nasıl öğrenirsiniz? Ancak ameliyat esnasında orada bulunduysanız ve bu hataları gördüyseniz öğrenirsiniz, ikinci kez yapmazsınız bu hatayı.



Yine plastik ve rekonstrüktif cerrahi için, mandibulayı düzeltmek için -yukarıda görüyorsunuz, kanser nedeniyle dağılmış- fibula kemiğinden kesip, yerleştiriyorlar. Sizin kılavuzları yapmanız lazım, ameliyat kılavuzlarını yapabilmeniz lazım ki bu yöntemle, bir cerrah grubu fibulayı çıkartırken, diğer grup da mandibula üzerinde işlem yapsın, düzgün kessin ve buraya yerleştirebilsin.



Çok sayıda plastik model yaptık.

Tomografi görüntülerinden veya röntgen filmlerinden veya MR şekilden bunu anlamak mümkün değil. Böyle bir modelde, tümörün nereye yerleştiği, hangi damarların geçtiği, 'Buraya hasarsız ulaşabilir miyim, ulaşamaz mıyım?' bilgisi varsa cerrahın elinde, o operasyonu yapıyor veya yapmıyor. 'Dokunmamak daha iyi' diyor o zaman, 'Daha büyük zarar vereceğim' diyor. Ameliyat yapmama kararı vermesi dahi o hasta açısından son derece kritik.

(Prof. Dr.) Erbil Oğuz hoca bizden görevi devraldı. O hocamız skolyoz cerrahisi konusunda çok iyi. Çok sayıda modeller ürettikten sonra -çünkü yanlış saptayacağınız bir yapı, vida, hastanın felç olmasına yol açabilir- önce modeller üzerine çalıştıktan sonra operasyonu birebir gerçekleştirmeyi tercih ediyor.

Yine benzer şekilde, çok sayıda tümör vakası, kranial defektlerin kapatılması vakası, yine özellikle diş hekimliğinde alt ve üst çene kemiklerinin rekonstrüksiyonuyla ilgili eklem çalışmaları, paleoantropolojik uygulamalar dahil olmak üzere, bu teknolojiden faydalanamayacağınız yer yok.

Bir hocamız da, milattan önce yaşamış bir kralın antropolojik incelemesini yaptı. Neden öldüğünü, yüzünün neye benzediğini, bu modelleri çıkararak ortaya koyabildi. Diş hekimliği uygulamaları çok sayıda mümkün.

Bakın, “Geleceğin teknolojisi” olarak ifade edildi bu teknoloji, “Üç boyutlu devrim” diye ifade edildi ve bundan çok sayıda olması gerektiğini ifade etti Obama, seçildikten sonra. Yine, “Advanced manufacturing project” adı altında Pentagon’un bunu desteklediğini ve çok sayıda çalışma yaptığını biliyoruz.

Sonuç olarak, sadece bunu kullanmak değil, bunları üretmek maksadıyla da TÜBİTAK’ın çağrılara çıktığını ifade etmek isterim. Bunları üreten cihazları yapmak maksadıyla da çağrıların çıktığını ve bunları yapacak proje firmaları olduğunu ifade etmek isterim.

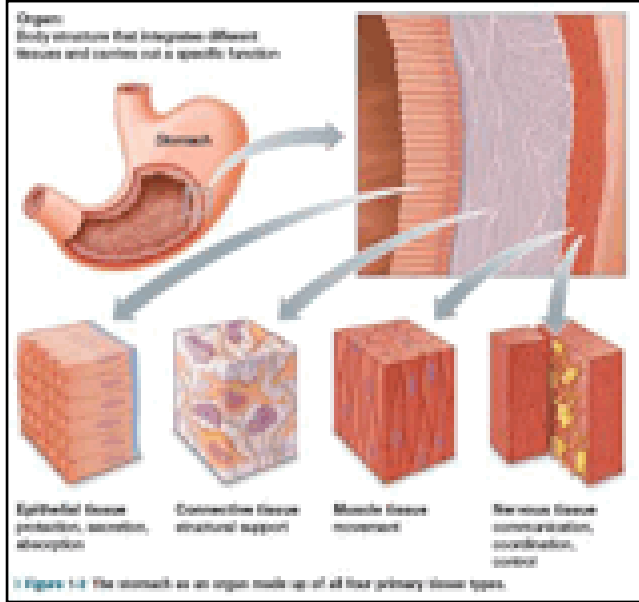
Sonuç itibarıyla son derece kritik ve hassas bir teknoloji söz konusu. Doku mühendisliği nerede devreye giriyor? Şimdi ne yapıyoruz; metal implant yapıyoruz hastaya. Halbuki hastadan aldığımız kendi kemik dokusunu bunların üzerine tutundurabilirsek ve hastaya nakletmeden evvel canlı hale getirebilirsek bu implantları, iyileşme süreci çok daha kısılacak. Bir anlamda canlı implantı hastaya yerleştirmiş olacaksınız ve bu, süreci inanılmaz hızlandıracak. O bakımdan, bütün bu söylediğim alanları şöyle bir düşünecek olursanız, bunların hepsini birleştiren, biyomedikal mühendisliği dediğimiz mühendislik alanı, multi-disipliner dediğimiz bir çalışmadır.

Dinlediğiniz için hepinize teşekkür ediyorum.

Şimdi, Yeditepe Üniversitesinden, biyomalzemeler, biyobenzetim konusunda çalışan hocamız. Yrd. Doç. Dr. Feride Şermin Utku, “Biyobenzetim Yoluyla Doğala Benzer Malzeme Üretimi” konusunda bir sunum yapacak.

Yrd. Doç. Dr. Feride Şermin Utku (Yeditepe Üniversitesi)- Değerli konuşması ve güzel tanıtımı için Prof. Dr. Osman Eroğul'a, EEMKON 2015 organizatörlerine ve EMO Yönetim Kurulu Yazman Üyesi Sayın Faik Kemal Özoğuz'a nazik davetleri için çok teşekkür ediyorum.

Çalışmalarımındaki hedef, titanyum implantların dokuyla biyouyumluluklarının iyileştirilmesi. Bunu, titanyum implant yüzeyinin modifikasyonu yoluyla, yüzeyde farklı yapılar oluşturarak veya yüzeyi kaplayarak gerçekleştirmeye çalışıyorum. Bu alanda çalışmalara öncelikle kemik dokusu gibi doğal dokuları inceleyerek başladım. Doğal yapılara öykünerek, benzeterek malzeme geliştirme konusunda araştırmalar devam ediyor.



Bu çok zorlu bir hedef, çünkü kompozit ve anizotropik yapıya sahip dokularda bulunan farklı arayüzler, mekanik, elektriksel ve kimyasal sonuçları olan farklı ortamlar oluşturuyorlar. Anatomik yapılardan kaynaklanan fizyolojik süreçler, organizmaların doğal evrimi süreciyle mükemmelleşiyor. Örneğin, mideyi ele alacak olursak, tek bir dokudan oluşmadığını, dört farklı dokudan; epitel, bağ dokusu, kas dokusu ve sinir dokusundan oluştuğunu ve bunların yine arayüzlerle birbirlerine bağlanarak, tutunarak, işlevsel bir yapıyı oluşturduğunu görüyoruz[1]. Doğal yapılar içinde kemik, üzerinde oldukça çok çalışılmış bir doku. Kemik, dokuz kademeli hiyerarşik yapıya sahip olan, Tip I kolajen fibrilleri, proteoglikan türleri, hidroksiapatit ve suyu da içeren bir kompozit malzeme

olarak modellendi[2]. Bu konuda çalışan araştırmacılar da bu modellere öykünerek, benzer yapılar oluşturmaya çalışıyorlar.

IX - Organ	Whole Bone		
VIII - Tissue	Trabecular Bone	Compact Bone	
VII - Tissue elements	Trabecula Lamellar packets	Osteon Cylindrically shaped lamellar bone	Fibrolamellar Unit
VI - Material patterns	Lamellar Bone Concentric lamellar bone	Woven bone Dentin types Cementum	Parallel-fibered Bone
V - Super-structure	Bundles	Cellular Network + Disordered Phase	
IV - Array patterns	Unidirectional Array	Fanning Array	Limited Alignment Transversely isotropic arrays
III - Arrays	Mineralized Collagen Fibril Ordered Array		Mineralized Fibrils and Interfibrillar Matrix
II - Structural components	Mineralized Collagen Fibrils		
I - Components	Collagens, c-HAP, H ₂ O, GAGs, NCPs		

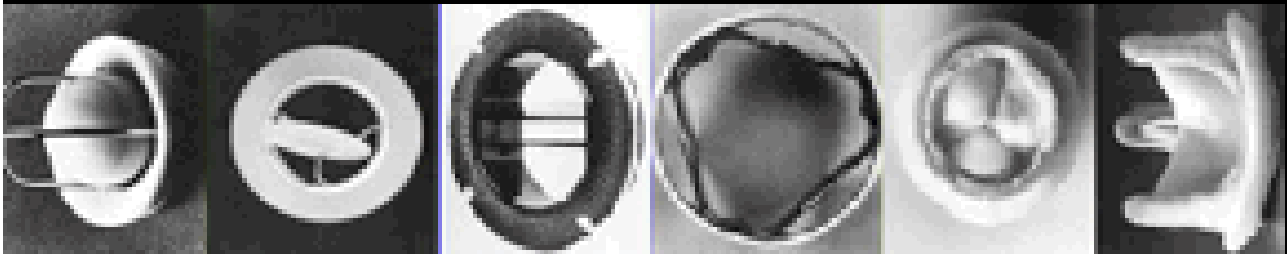
Biyomalzemelerin yerini almaya çalıştığı organlar bu kadar gelişmiş, karmaşık ve kapsamlıyken, biyomalzemeleri doğala benzetmeye yönelik çabalar da o ölçüde gelişmiş olmak zorunda. Biyomalzemeleri kısaca, prostetik, diagnostik, terapötik veya saklama amacıyla, kısa veya uzun süreli olarak kullanılabilen, geçici veya kalıcı olabilen, kan, doku ve vücut sıvılarıyla temas eden, biyouyumlu malzemeler olarak tanımlayabiliriz. Doğal dokular kompozit ve anizotropik yapılar olduklarından, biyomalzemelerin de benzer arayüzleri, kompozit ve anizotropik özellikleri bünyesinde bulundurması gerekiyor. Bu özelliklerin biyomalzemelere kazandırılması için,

metaller, seramikler, kompozitler, polimerler ve hidrojelers gibi farklı malzeme türleri tek başına ya da birlikte kullanılıyor. Vücudun farklı bölgelerinde farklı mekanik, biyolojik, kimyasal ve yüzey özellikleri gerekeceğinden, kullanım yerine göre farklılaşacak şekilde, malzemeler tek başına veya bir arada da kullanılıyor. Örneğin göz, diş, kalça ve diz implantları, vasküler protezler, stentler, ilaç salınım sistemlerinde kullanılan malzemelerin türlerinin ve özelliklerinin, yerini aldıkları organa veya implante edildikleri yere göre farklılaştığını görüyoruz.

Biyobenzetim (biyomimetik) yani doğala benzetim, doğadan esinlenerek malzemeleri tasarlamak, doğala benzer süreçler kullanarak malzemeler üretmek amacıyla çalışmalar yapıyoruz. Tasarım ve modellemeye birlikte, üretim süreçlerinin hangi aşamalarla ortaya çıktığı ve nasıl geliştiği de

önemli. üretim sırasında oluşan kimyasal yapılar sonucunda, içerisinde hücreleri de barındıran, hiyerarşik olarak yapılanmış dokular oluşabiliyor. Biyobenzetim gözetilerek geliştirilmiş biyomalzemelerde doğal malzemelerde görülen türde yapı-işlev bağıntısı olduğunu; yani, yapının işlevi belirlediğini, dolayısıyla işlevin yapıya entegre edilmiş olduğunu görüyoruz. Biyobenzetim yoluyla biyomalzemelerin yüzeylerini farklı kimyasallarla kaplayarak, doğala benzer kaplamalar elde edebiliyoruz. Buna ilaveten, benzer süreçlerle biyomineral içeren dokuları farklı yöntemlerle, örneğin üç boyutlu yazıcılar kullanarak, mikro boyutta, daha karmaşık ve daha ince dokunmuş yapılar elde ederek, vücutta kullanabiliyoruz.

Yapı-işlev bağıntısı açısından bakılınca, biyomalzemelerin mekanik, elektriksel, kimyasal, optik gibi farklı yönlerinin biyobenzetimi söz konusu olabilir. Mekanik özelliklerin biyobenzetimiyle ortopedik protezlerin, dental implantların; elektriksel özelliklerin biyobenzetimiyle, kalp pillerinin, kimyasal özelliklerin biyobenzetimiyle, ilaç salınım sistemlerinin veya vasküler ilaçlı stentlerin, optik özelliklerin biyobenzetimiyle de kontakt lenslerin geliştirilmesi mümkün olabiliyor. Bunlara ilaveten, kol/bacak protezleri, piezoelektrik yolla üretilmiş enerjiyle çalışan kalp pilleri gibi, iki farklı özelliğin birlikte kullanılmasıyla oluşturulan biyomedikal cihaz ve biyomalzeme uygulamaları da görülmekte. Kimyasal ve optik özelliklerin entegrasyonu, belirli organik ve inorganik yapılara sahip yüzeylere tutunabilecek şekilde seçilmiş kromofor proteinler içeren biyomalzemeler oluşturulabiliyor.



Yapı-işlev bağlamında biyomalzemelerin zaman içinde 'evrimleştiğini' de görebiliyoruz. Örneğin, 1960'lı yıllarda üretilen kalp kapakçığının, süreç içinde vücuttaki doğal yapılara benzetilerek, kalpte daha az burgaç oluşturacak, hücre parçalanmalarını en aza düşürecek şekilde hem tasarım, hem de malzeme açısından geliştirildiğini görüyoruz[3].

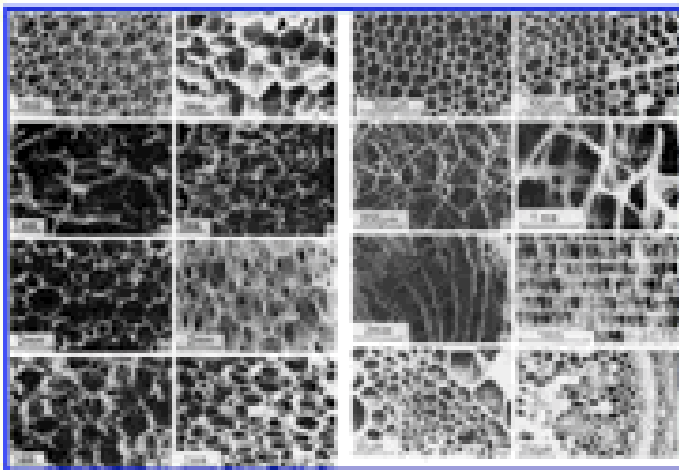
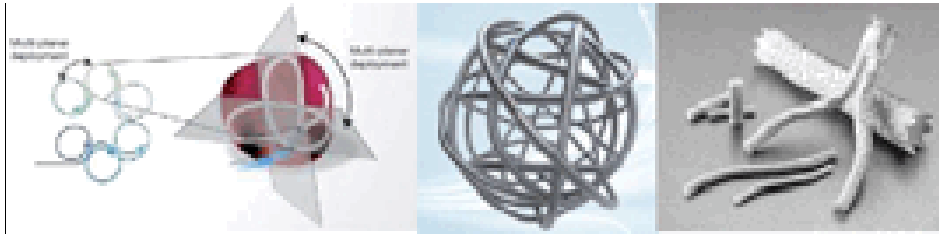
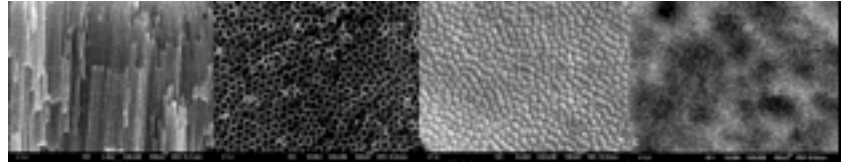


FIGURE 4.7 Cellular-scaffold structures, after Collins and Atkey (1998). Left: synthetic cellular scaffolds: (a) open-cell polyurethane, (b) closed-cell polyurethane, (c) foamed nickel, (d) foamed copper, (e) foamed aluminum, (f) foamed stainless steel, (g) foamed glass, (h) polymer foam with both open and closed cells. Right: natural cellular scaffolds: (i) cork, (j) balsa wood, (k) sponge, (l) cancellous bone, (m) coral, (n) cancellous bone, (o) iris leaf, (p) plant roots.

Yapı-işlevsel bağıntısı sadece biyomalzemeler üretmek için değil, var olan patolojik yapıları tedavi etmek amacıyla da kullanılabilir. Örneğin, anevrizma tedavisinde, damarda oluşan bir baloncuk, platin telle doldurularak, baloncuk içindeki basınç düşürüldükten sonra graftlı stent kullanarak baloncukun kandan izolasyonu sağlanabilir[3,4].

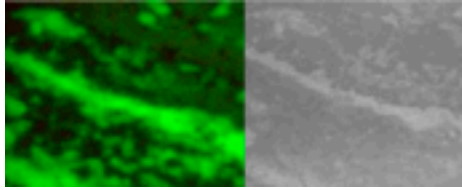
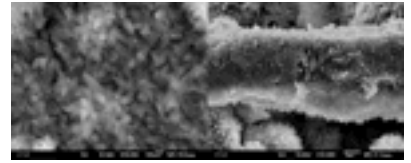
Doğal yapılarla sentetik olarak üretilmiş yapıları karşılaştırsak, doğal yapılarda, hücrelerin yaşamasını sağlayacak şekilde biyolojik veya mekanik unsurların, örneğin, gözenekliliğin bulunduğunu

görüyoruz. Hücreler, 'in vitro' ortamda etraflarına bir matris oluştururlarken; in vitro olarak biyomalzemelerin gözeneklerine yerleşerek, bu ortamda büyülebiliyorlar[3].



Bu gözenekliliği biyobenzetimle, yani doğal yapılara benzetecek şekilde oluşturmaya çalışmamız gerekiyor. Çünkü, titanyum implantlarla dokular elastik modüllerindeki, malzeme özelliklerindeki ve kimyasal yapılarındaki farklılıklar nedeniyle osteoentegre olamayabiliyor ve doku tarafından reddedilerek, zamanla gevşeyebiliyor. Bu nedenle, titanyum yüzeyinin özelliklerinin zenginleştirilmesi yoluyla osteoentegasyonun artırılması gerekiyor. Bu amaçla, anodizasyon yöntemi kullanılıyor. Asit, alkali, asit-alkali veya florür içeren çözeltilerle yüzeyde hücrelerin tutunmasına izin verecek şekilde gözeneklilik oluşturuluyor[5].

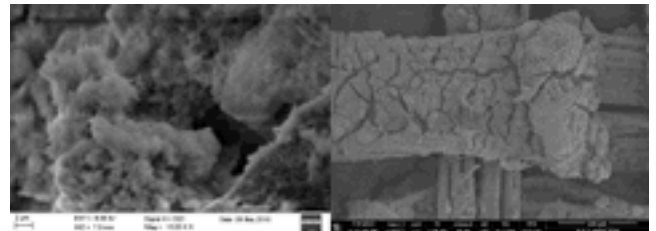
Farklı anodizasyon yöntemlerinin sonucunda birbirinden farklı yüzeyler, nanogözenekler, nanotüpler, mikro gözenekli, makro gözenekli veya mikro-mezo gözenekli yüzeyler dediğimiz farklı gözenek büyüklüklerine sahip yüzeyler ve nanotüplerin yüzeyden kaldırılmasıyla da nanoçukurlar elde edebiliyorsunuz[6].



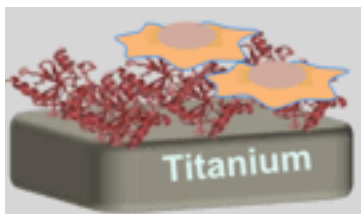
Sert doku implantının yüzeyini oluşturduktan sonra biyoyoumluluğunu arttırmak, hücre tarafından tanınmasını kolaylaştırmak amacıyla, katotik akımla nanokristalin hidroksiapatit minerali gibi biyoaktif malzemeler içeren yüzey kaplamalarıyla kapladığınızda, implant vücutla daha hızlı bütünleşebiliyor.

Üç elektrotlu bir sistemle, darbeli katotik kaplama yöntemi, kalsiyum ve fosfat içeren simüle vücut sıvıları kullanarak, nötr pH'ta, vücut sıcaklığında (37°C'da) çöktürme yaparak, hidroksiapatitle kaplanabiliyor. Katotik kaplama sırasında, katotta suyun indirgenmesiyle hidroksit iyonlarının oluşması ortamı alkali yaptığından, hidroksiapatit kaplama gerçekleşebiliyor[7]. Elde ettiğimiz kimyasal bileşiklerin istediğimiz bileşikler olduğunu XRD kullanarak test ettikten sonra, mekanik testler yaparak, kaplamanın yüzeye hangi mukavemette tutunabildiğine bakıyoruz.

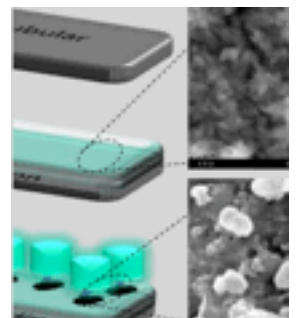
Hidroksiapatit yapılar ve kaplamalar, otogreft, allogreft ve ksenogreftlerle birlikte, alloplast olarak adlandırılan, sentetik olarak üretilen malzemeler de greft ve yüzey kaplaması olarak kullanılabilir. Örneğin, Kalsiyum ve Fosfat iyonlarının ardışık olarak implantın yüzeyinde çöktürülmesi yoluyla titanyum yüzeyler, iskele sistemleri, polimerler veya üç boyutlu yazıcılarla üretilen yapılar da kaplanıyor. Yüzeylerin elastik modülünü eşleştirmek amacıyla, ipek fibroin protein biyobenzetim yoluyla ve elektrokimyasal yöntemle, hidroksiapatitle çöktürülebiliyor[8].



Yüzeylerin özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kaplamalara fonksiyonel gruplar eklenebiliyor. Örneğin, titanya yüzeyin hidroksiapatit mineraliyle kaplanıp, bu inorganik kaplamaya spesifik olarak bağlanabilen, moleküler biyoloji teknikleri kullanarak seçilmiş özel proteinleri oluşturabiliyoruz. Bu proteinler yine moleküler biyoloji teknikleri kullanılarak oluşturulan, hem hidroksiapatite iyonik olarak bağlanan, hem de bir işaretleyici olan Green Fluorescent Protein (GFP) sekansını içeren kimerik (chimeric) proteinler.

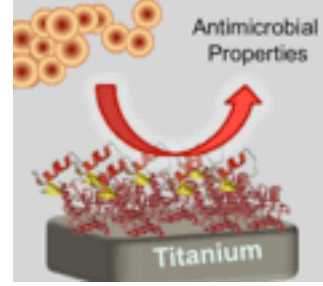


Hidroksiapatit yüzeyine kimerik protein gönderildiğinde, implant yüzeyinin iyonik bağ yapan protein tabakasıyla kaplandığını görüyoruz[7]. Hem hidroksiapatit kaplamanın gerçekten oluştuğunu göstermek, hem de bir arayüz oluşturmak amacıyla, bu yapıları kimerik



proteinlerle kaplayarak, dokuyla mekanik uyumu daha fazla olan bir yüzey oluşturabiliyoruz.

Doğala özdeş çeşitli unsurlar, moleküller ve yapılar kullanarak, değişik malzemeler elde edilebiliyor. Örneğin, çeşitli iskele sistemleri, büyüme faktörleri ve hücrelerin birlikte implante edilmesiyle, osteobiyolojik malzemeler olarak adlandırılan kemik replasman malzemeleri üretilebiliyor. Hücre dışı dokuda (ekstraselüler matris) bulunan peptitler hücre zarındaki yapılara bağlanarak, biyomalzemeyle hücre arasında kimyasal tanıma sistemi oluşturuyor. Bu yapıları kullanarak, üç boyutlu mineralize kemik dokusu oluşturulup, titanyum yüzeyine bağlanabiliyor. Yine benzer şekilde, belirli özel teknikler yardımıyla, titanyuma yüksek afinite gösteren peptidler moleküler biyolojik seleksiyon yöntemiyle seçilerek, ayrıştırılıyor. Bunlar hem titanyumu tanıyan yüzeyler, hem de içerdiği spesifik amino asid (RGD) sekansıyla hücrenin tutunmasını sağlayan yapılardan oluşuyor.



Bu amaçla, hücrenin titanya yüzeyine tutunmasını sağlayan RGD peptidler, mineralizasyonu sağlayan peptitler ya da olası mikropları yüzeyden uzaklaştıracak antimikrobiyal peptitler kullanılabilir. Doğal moleküllerle, doğala benzer yapılar ve istediğimiz işleve sahip arayüzler oluşturmak suretiyle yüzey mühendisliği yapılabilir.

Çok teşekkür ederim.

Kaynakça:

- [1] Hall, J.E., Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology, Elsevier, Philadelphia, 2013.
- [2] Reznikov, N., Weiner, S., Shahar, R., "Bone hierarchical structure in three dimensions", *Acta Biomaterialia*, DOI: 10.1016/j.actbio.2014.05.024
- [3] Park, J., Lakes, R.S., *Biomaterials, An Introduction*, Springer-Verlag, New York, 2007.
- [4] <http://www.terumo-europe.com/en-emea/interventional-oncology/peripheral-coiling-solutions/peripheral-coils>
- [5] Utku, F.S., Seckin, E., Goller, G., Tamerler, C., Urgen, M., "Electrochemically Designed Interfaces: Hydroxyapatite Coated Macro-Mesoporous Titania Surfaces", *Applied Surface Science*, 04/2015; 350. DOI:10.1016/j.apsusc.2015.04.131
- [6] Utku, F.S., Seckin, E., Goller, G., Tamerler, C., Urgen, M., "Carbonated Hydroxyapatite deposition at physiological temperature on ordered titanium oxide nanotubes using pulsed electrochemistry", *Ceramics International*, DOI: 10.1016/j.ceramint.2014.07.004, 2014.
- [7] Utku, F.S., Yuca, E., Seckin, E., Goller, G., Sarikaya, M., Yazgan-Karatas, A., Urgen, M., Tamerler, C., "Protein-Mediated Hydroxyapatite Composite Layer Formation on Nanotubular Titania", *Bioinspired, Biomimetic and Nanomaterials*, DOI:10.1680/bbn.15.00001
- [8] Basaran, K., Aksu, N.E., Yuksel, N., Sunar, Y., Celebioglu, H., Sahin, Y.M., Oktar, N.F., Utku, F.S., "Silkfibroin-Ca-P Composite Bone Replacement Material for Guided Bone Growth", 20th International Conference on Composite Materials, ICCM 20, 19-24 July 2015, Copenhagen, Denmark.

Prof. Dr. Osman Eroğul- Teşekkür ederiz. Biyomalzemelerle ilgili sunumdan sonra, Gazi Üniversitesinden Prof. Dr. Metin Salıncı, "Kanser Dinamiği, Optimum İlaç Miktarının Belirlenmesi" konusunda bir sunum yapacak. Bu da yine biyomedikal mühendisliğinin önemli konularından biri. Kontrollü ilaç salımı, ilaç etkileşimleri, yine ilaçla ilgili olarak, ilaç tasarımı ve modellemesi, aslında biyomedikal mühendisliği konusunda çalışan arkadaşların bilmesi gereken hususlar diye düşünüyorum. Hocamızı hep birlikte dinleyelim.

Kanser Dinamiği, Optimum İlaç Miktarının Belirlenmesi

Prof. Dr. Metin Salıncı (Gazi Üniversitesi)- Ben, esas itibarıyla Makine Mühendisliği

Bölümündeyim. Öğle yemeğinde, 19 Mayıs Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümünden bir hocamızla yan yana oturduk. Ne çalıştığımı sordu, “Kontrol çalışıyorum” dedim. “Biz Elektrik Mühendisleri Odası olarak, makine mühendislerinin kontrol çalışanlarından hiç hoşlanmayız” dedi. Ben de ona, latife olsun diye, “Hoşlanmadığınızı bildiğim için, ben de artık mühendislik sistemleri yerine biyolojik sistemleri kontrol sahası olarak seçtim” dedim, anlaştık güzelce.

Macera, yaklaşık sekiz sene evvel başladı. Esasında bir mühendislik macerasıydı bu. Ereğli Demir Çelik fabrikası, beş çeşit farklı evsafıta çelik ürettiyordu ve onun haricinde de bir çelik sac üretimi yoktu; ama endüstriyel uygulamalar gereği, ara evsafıta da, ara elastisitede olan çeliklerin de üretilmesi icap ediyordu. O konuyla ilgili olarak bizden bir çalışma yapmamızı istediler. Çalışmanın bir yerinde, konunun esas itibarıyla green ground denilen bir konuyla ilintili olduğunu gördük. Oradaki literatür taramasında da, bu konuyla ilgili olarak, Meksika’da çalışan bir kişinin ilginç hayat hikâyesine rasladık. Meksika’da, malzeme mühendisliğinde çalışan bir kişiye, Amerika’dan, kanserle ilgili bir enstitüden bir mektup geliyor. “Sizi enstitümüze davet etmek istiyoruz. Biz kanserle ilgili bir çalışma yapıyoruz. Teklifimiz şudur” falan diyen bir mektup. Hoca da mektubu yırtıp atıyor. “Bir yanlışlık var, herhalde isimler karıştırıldı” diye düşünüyor. Aradan bir müddet geçtikten sonra bir mektup ve arkasından bir de telefon geliyor. Meksika’daki mühendis, “Kusura bakmayın, mektubunuz yanlış yere geldi. Ben esas itibarıyla malzeme mühendisiyim. Mektup, kanser araştırmalarına ilişkin” diyor. Karşı taraf ise “Hayır, doğru kişisiniz. Sizin malzeme içerisinde yapmış olduğunuz green ground’la ilgili matematik modeller tam da bizim tümör büyüme modelleriyle örtüşen yaklaşımlar içeriyor. Bilerek, araştırarak sizi davet ediyoruz” diyorlar.

Kader bu ya, bizim Erdemir’e sunmuş olduğumuz proje, 2005’in başında Erdemir’in özelleşmesiyle birlikte yürürlüğe girmeden kalmış oldu. Ama o arada, biz bu konuyla ilgili olarak yavaşça ilerlemeye başlamıştık. 2 doktora öğrencim literatür taraması yapınca, 'Madem böyle, biz de kanser çalışmaya başlayalım' dedik. Öğrencilerimiz bir ortak danışmanlı çalışma kapsamında, doktoralarına 2007’de başladı, 2010 yılında ise çift danışman olarak tamamladılar.

Konumuz kanser dinamiği. Tabii, mühendislik tarafı çok ağır, matematiği de çok ağır. İzleyicilerin de sıkılmaması için, matematik dozajını mümkün olduğu kadar aşağıya çekip, ilgiyi maksimize etmeye çalıştım.

Esasında varmak istediğimiz şey, kanserli bir hastaya verilecek ilaç miktarını optimum bir şekilde belirlemek. Basitçe günümüzdeki yaklaşımı size söyleyeyim. Allah vermesin, bir hastalığınız varsa tümörle ilgili olarak, gittiğinizde, doktor size kemoterapi uygulayacaksa, boyunuzu ölçüyor, kilonuza bakıyor ve onunla orantılı olarak bir dozaj belirliyor. Halbuki bu yaklaşım doğru bir yaklaşım değil. Kişinin kendi iç dinamiği, kendi bağışıklık sistemi, kendi parametreleri birbirinden farklı. Dolayısıyla esasında olması gereken, özellikle 2013 - 2014’ten itibaren çok daha yaygın hale gelen, biraz evvel de hocamın bahsetmiş olduğu kişiye özel tedavi yöntemlerinin geliştirilmesi. Amacımız, kişiye özel ilaç miktarının geliştirilmesi.

Buradaki genç arkadaşlarıma bakıyorum, mühendislik çalışıyorlar. Mühendislikte bir şey değişiyorsa, bu değişim diferansiyel denklemlerle veyahut da fark denklemleriyle tanımlanır. Bu değişimin matematik modelini ortaya koymak mümkün. Buradaki matematik model de, kanser dinamiğiyle tümör büyümesi ve diğer hücrelerin birbirleriyle etkileşiminden ortaya çıkan bir matematik modelin ortaya çıkarılması. Tabii ki, bu konu daha çok mühendislerin ve matematikçilerin ilgisini çekiyor; çünkü doktorlar tarafında, tıbbi tarafta, tedavi, iyileştirme süreci birinci öncelik. Mühendisler için ise, özellikle ortaya çıkan diferansiyel denklemlerin non-lineer yapısı itibarıyla ilginç bir hem teorik, hem de pratik uygulama alanı olarak gözükmekte.

Konuyla ilgili olarak, Amerika’da ve yurtdışında, Avrupa’daki çalışma gruplarının içerisinde, doktorların yanı sıra, tıbbiyeden bilim adamlarının yanı sıra, biraz evvel hocamın bahsettiği gibi, inter disiplinler çalışma prensipleri çerçevesinde, mühendisler, özellikle kontrol mühendisleri ve matematikçiler de bir ekip olarak beraber yoğun bir şekilde çalışmaktalar.

Sorun nedir ki, bu konuyla ilgili olarak yoğun çalışma yapılıyor? Sorun şu: Kansersiz bir hastaya vereceğiniz, uygulayacağınız ilaç miktarını doğru bir şekilde belirlemezseniz, ya hastanın lüzumsuz yere aşırı dozajla hayat kalitesini düşürüyorsunuz, kendisini iyi hissetmiyor veyahut da düşük dozaj verdiyseniz tedavi süresini gereğinden fazla uzatmış oluyorsunuz. Tabii ki, mühendisler açısından, özellikle elektrik elektronik mühendisleri açısından bu bir kontrol problemi. Elinizde iyi bilinmiş bir dinamik denklem varsa, o dinamik denklemi alıp, onun içerisine ilaç etkisini bir kontrol girdisi olarak monte edip, kontrolün ne kadar olması gerektiğini ele almanız mümkün.

Kanser dinamiğiyle ilgili olarak yapılan çalışmaları üç ana başlıkta toplamak mümkün.

Bunlardan bir tanesi, üç boyutlu tümörün büyümesinin çalışılması. Bu konuyla ilgili olarak yoğun bir ekip var. Ortaya çıkan denklemler kısmi diferansiyel denklemler. Orada da, özellikle beyin tümörlerinde, tümörün, örneğin bir hafta sonra ya da 15 gün sonra ne kadar büyüyeceği, nereye doğru büyüyeceği, hangi yere bası yapacağı ve hastanın hangi organlarını daha kötü kullanacağıyla ilgili olarak bir keşif yapılmak isteniyor simülasyon ortamında. Bu maksatla da üç boyutlu tümör büyüme modelleri, yani kısmi diferansiyel denklemler kullanılıyor.

İkinci başlık ise, bizim de çalışma konumuz olan hücrelerin artış - azalış sayısına bağlı olarak ortaya konulan matematik modeller ki bunlar da diferansiyel denklemler halinde. Bunlar kesinlikle, birbirleriyle etkileşimi itibarıyla non lineer. GATA'dan Cüneyt (Prof. Dr. Göksoy) hocamızın sunumunu dinlerken, iki farklı kaynaktan gelen girdinin aynı kaynağa yöneltildiğinde, ikisinin toplamının farklı sonuçları olduğunu göstermişti. Biz bunu mühendislikte öğrencilerimize süper pozisyon kuralı olarak tanımlıyoruz. Halbuki, dün hocamın yapmış olduğu sunumda da olduğu gibi, kuvvetle muhtemel, orada da bir non lineer davranış biçimi var. Kanser dinamiğinde de keza aynı şekilde bir non lineer davranış biçimi var.

Buradaki bu diferansiyel denklemleri kullanma amacı, sayıların değişimini; yani tümör hücrelerinin sayısı ne kadar artıyor, immün hücresi ne kadar azalıyor ya da artıyor ve bir de özellikle matematikçilerin ilgi sahası olan kaotik davranış var mı, yok mu, bu konuyla ilgili olarak araştırma.

Önemli konulardan bir tanesi de "İyi huylu, kötü huylu tümör" dediğimiz tümör büyümesi bir yerde duracak mı? Bununla ilgili olarak, doğru bir matematik model oluşturduysanız, matematik modeller size çok doğru bilgi verebiliyor.

Tabii, kontrol mühendisi olarak bizim ele aldığımız konu ise, tedavide kullanılacak ilaç miktarının optimum olarak belirlenmesi. Bizim açımızdan ilgi çekici boyutu bu.

Kanser dinamiğiyle ilgili ya da tümör büyüme modeliyle ilgili üçüncü çalışma konusu sayısal modeller. Burada da bir simülasyon ortamındaki tümörün gelişimi, büyümesi, küçülmesiyle ilgili olarak sayısal modeller esas alınarak bir ortam oluşturmaya çalışılıyor.

Tümör Büyüme Modeli (Üç Hücre; Kemoterapi etkisi eklenerek)



- Chemotherapy kills all cells populations with different rate.
- the chemotherapy effects is considered with an additional state $M(t)$ which denote **drug concentration in the blood stream**.
- control input $u(t)$ denote **external injected drug**.
- The model with chemotherapy which proposed by Itik et al. (2010) is as following

$$\begin{aligned}\dot{N} &= r_2 N(1 - B_2 N) - C_4 T N - a_3 M N, \\ \dot{T} &= r_1 T(1 - b_1 T) - c_2 I T - c_3 T N - a_2 M T, \\ \dot{I} &= s + \frac{\rho I T}{\alpha + T} - c_1 I T - d_1 I - a_1 M I, \\ \dot{M} &= u(t) - d_2 M.\end{aligned}$$

Bir modelle başlayalım.

Bu model, 2003 yılında bu konuyla ilgili çalışan, biri matematikçi, biri mühendis iki bilim insanının önerdiği modeldir. Esasında ekip içerisinde tıp doktorları da var... Üç hücrenin birbirleriyle etkileşimini gösteren bir non lineer diferansiyel denklem takımı. Burada, her bir denklem bir hücrenin değişimini gösteriyor. Birinci denklem, normal hücre diye tanımladığımız hücreleri; ikinci denklem, tümör hücrelerinin değişimini; üçüncü denklem ise immün hücrelerin değişimini gösteriyor. Burada herhangi bir ilaç etkisi yok. Gördüğünüz gibi, bir sürü de parametre var. Bu parametreler, r_1 , r_2 , c_1 , c_2 , c_3 , c_4 , bir de s diye görmüş olduğunuz parametreler. Buradaki parametreler kesinlikle ve kesinlikle hastaya, hastalığa bağlı parametreler. Zor bir alan. Tıpçıların, doktorlarımızın ilgilenmek istemediği ya da çalışma konusu olmadığı için, bir nevi matematikçiler veyahut da başka bir ekip tarafından belirlenmesi gereken parametreler bunlar.

Tabii ki bizim için önemli olan, ilaç etkisini matematik modele entegre edip, ihtiyaç duyulan ilaç miktarını en az olacak şekilde belirlemek. İlaç etkisini matematik modele ilave ettiğimizde, gördüğünüz gibi, denklem sayımız 3'e çıktı ve renkli olarak görmüş olduğunuz ilave terimler geldi diferansiyel denklemlere. Örneğin, kemoterapi uyguladığınızda, dozaj olarak vermiş olduğunuz kemoterapi miktarı 4. denklemde " $u(t)$ " olarak verilmiş. Yani belirli zaman aralıklarıyla belirli kemoterapi dozajı veriyorsunuz ve bu, kanda belirli bir konsantrasyon oluşturuyor. O konsantrasyon miktarı ise M diye tarif ettiğimiz miktar.

Görüldüğü gibi, kandaki kemoterapi konsantrasyonu her 3 hücreyi de belirli bir katsayıyla, " a_1 , a_2 , a_3 " katsayılarıyla etkiliyor. Tabii ki, bizim için en önemli özellik de eczacılar tarafından dikkate alınması gereken parametre, a_2 parametresi. Çünkü geliştirmiş olduğumuz kemoterapi ilacının tümörü daha fazla etkilemesini istiyoruz ki tümör daha hızlı bir şekilde yok edilmiş olsun.

Burada, doktorların çok da ilgi duymadığı bu parametrelerin belirlenmesiyle ilgili olarak matematikçilerin yapmış olduğu, bir hastadan alınmış gerçek deney sonuçları var. Hastanın ismi silinmiş. Tabii ki etik kurallar çerçevesinde.

Yukarıdaki tabloda, a_1 , a_2 , a_3 dediğimiz parametreler, kemoterapinin her 3 hücreyi; yani normal hücreyi, tümör hücrelerini ve immün hücrelerini etkilemesiyle ilgili. Katsayı, bu ilaçtan kaynaklanan bir katsayı; yani farmakologların, eczacıların belirlemiş olduğu parametreler. Burada iyi bir ilaç olsa gerek ki, a_2 parametresi diğer parametrelerden daha büyük çıkmış; yani kemoterapide vermiş olduğumuz ilaç, tümör hücrelerini daha hızlı, daha büyük oranda yok ediyor. Diğer parametreler ise aynı şekilde, matematikçiler tarafından deneysel olarak belirlenmiş.

Şuna dikkatinizi çekmek istiyorum. Üç tane hücrenin birbiriyle etkileşimini gösteren matematiksel modelde, özellikle immün hücresi üzerinde bir s parametresi var. O s parametresi, vücudumuzun üretmiş olduğu bağışıklık hücreleri. Yapmış olduğumuz simülasyonlarda gördük ki s hücresi olmadan, yani bir bağışıklık hücresi üretilmeden, vermiş olacağınız yüksek dozajdaki kemoterapiyle tümör hücresi yok edilebilir; ama bir süre sonra gördük ki yeniden nüksediyor. Yani kaotik davranış analizinde görmüş olduğumuz şey. Tabii, bu bilinen bir gerçek. Bağışıklık sisteminin kanser tedavisinde ne kadar önemli bir unsur olduğu bilinen bir gerçek ve son zamanlarda immünoterapi; yani kemoterapiye ilave olarak, bağışıklık hücrelerinin de desteklendiği veyahut da doğrudan bağışıklık hücresi enjekte edilerek yapılan tedaviler de gündemde ve pratik olarak uygulamalar başladı. Bu nedenle ben, immünoterapiyle ilgili olarak da bir matematik model sunacağım sizlere ve benzetim sonuçlarımızı da, yaklaşık iki hafta evvel Almanya'da sunmuş olduğum benzetim sonuçlarını da sizlerle paylaşacağım.

Bu konuyla ilgili olarak da, açıkçası, konuşmanın başında söylemiş olduğum gibi, hekimlerin kemoterapiyle ilgili olarak ellerine verilen ağırlık ve boyla orantılı bir dozaj belirleme prensibine yakın bir prensiple, immün hücrelerinin ya da immünoterapinin uygulamasıyla ilgili olarak da benzer bir tedavi yaklaşımı var. Ortaya konulan tedavi yaklaşımının benzetimleri başka bilim insanları tarafından yapılmış; ama bu verilen dozajların, hem kemoterapiyi, hem de immünoterapiyi en azlayacak ve tedaviyi en kısa süreye indirecek şekilde, ne olması gerektiğiyle ilgili olarak somut bir sonuç yok elimizde. Bu toplantıda, bu sonuçlarla ilgili ilk verileri sizlerle paylaşacağım.

$$\begin{aligned}
\dot{T} &= aT(1 - bT) - cNT - DT - k_T(1 - e^{-M})T \\
\dot{N} &= eC - fN + g \frac{T^2}{h + T^2} N - pNT - k_N(1 - e^{-M})N \\
\dot{L} &= -mL + j \frac{D^2 T^2}{k + D^2 T^2} L - qLT + (r_1 N + r_2 C)T - uNL^2 - k_L(1 - e^{-M})L + \frac{p_I L I}{g_I + I} + v_L(t) \\
\dot{C} &= \alpha - \beta C - k_c(1 - e^{-M})C, \\
\dot{M} &= -\gamma M + v_M(t) \quad \text{Chemotherapy Drug} \\
\dot{I} &= -\mu_I I + v_I(t) \quad \text{IL-2 growth factor injection} \\
D &= d \frac{(L/T)^l}{s + (L/T)^l}
\end{aligned}$$

highly activated
specific immune cells

Burada, yine kanser dinamiğinde ya da tümör büyüme modellerinde, bu sefer hücre sayımızı biraz artırdık. Tümör hücre sayımız, normal hücre sayımız, stotoksik T hücreleri, alyuvarlarımız; ayrıca, kemoterapinin kandaki konsantrasyonu ve immünoterapinin kandaki konsantrasyonuyla ilgili olarak, her birisinin ayrı bir durum değişmeni olarak ele alındığı 6 tane değişkenden oluşan bir matematik model. Matematik modelimize ilaç etkilerini de kattığımızda, grafikte görmüş olduğunuz bir diferansiyel denklem takımı elde edilmekte.

Parameters	Units	Description	Estimated value Patient 9
<i>a</i>	day ⁻¹	Tumor growth rate	4.31×10 ⁻¹
<i>b</i>	cells ⁻¹	1/ <i>b</i> is tumor carrying capacity.	1.02×10 ⁻⁹
<i>c</i>	cell ⁻¹ day ⁻¹	Fractional (non)-ligand-transduced tumor cell kill by NK cells	6.41×10 ⁻¹¹
<i>d</i>	day ⁻¹	Saturation level of fractional tumor cell kill by CD8 ⁺ T cells. Primed with ligand-transduced cells, challenged with ligand-transduced cells.	2.34
<i>l</i>	None	Exponent of fractional tumor cell kill by CD8 ⁺ T cells. Primed with ligand-transduced cells, challenged with ligand-transduced cells.	2.08×10 ⁻⁷
<i>s</i>	None	Steepness coefficient of the tumor-(CD8 ⁺ T cell) lysis term <i>D</i> . Primed with ligand-transduced cells, challenged with ligand-transduced cells.	2.09
<i>e</i>	day ⁻¹	Fraction of circulating lymphocytes that become NK cells.	4.12×10 ⁻²
<i>f</i>	day ⁻¹	Death rate of NK cells.	1.25×10 ⁻²
<i>g</i>	day ⁻¹	Maximum NK cell recruitment rate by ligand-transduced tumor cells.	2.02×10 ⁷
<i>h</i>	cell ²	Steepness coefficient of the NK cell recruitment curve.	2.49×10 ⁻²
<i>p</i>	cell ⁻¹ day ⁻¹	NK cell inactivation rate by tumor cells.	3.66×10 ⁷
<i>m</i>	day ⁻¹	Death rate of CD8 ⁺ T cells.	2.04×10 ⁻¹
<i>j</i>	day ⁻¹	Maximum CD8 ⁺ T cell recruitment rate. Primed with ligand-transduced cells, challenged with ligand-transduced cells.	1.42×10 ⁻⁶
<i>k</i>	cell ²	Steepness coefficient of the CD8 ⁺ T cell recruitment curve.	3.42×10 ⁻⁶

Yine gerçek bir hastadan alınmış. Bir evvelki diferansiyel denklemde bir sürü parametre görmektesiniz. Bu parametreler de yine matematikçiler veyahut da mühendisler tarafından deneysel çalışma sonucu, elbette doktorlarla işbirliği halinde deneysel olarak elde edilmiş parametreler. Bu da 9 numara olarak kaydedilmiş bir hastanın gerçek parametreleri.

Mühendisler açısından sorun şu: Elimizde bir diferansiyel denklem takımı var; bu diferansiyel denklem takımında, her bir hücrenin değişimiyle ilgili olarak, doğru verilmesi gereken optimum ilaç miktarı ya da miktarları nedir, şayet sadece kemoterapi uygulayacaksanız o miktar nedir veya

immünoterapiyle, kemoterapiyi birlikte kullanmak istiyorsanız, bununla ilgili olarak uygulamanız gereken optimum dozaj nedir, bunu belirlemek. Bu tam bir kontrol mühendislik problemi.

Burada elbette, alışageldiğimiz, lisans derslerinde vermiş olduğumuz PID kontrolü uygulamamız beklenmemekte; çünkü böyle bir PID kontrol mekanizmasının diferansiyel denklemde istediğimiz sonuçları vermesi mümkün değil. Dolayısıyla biz, özel bir kontrol algoritması önerdik.

Şu denkleme biraz aşınayız. Denkleme, esasında lineer sistemler için, “x’in türevi = ax + bu” şeklinde aşınayız. Özellikle yüksek lisans, doktora öğrencilerimiz bu denklemi sıkça kullanırlar. Bununla ilgili olarak da software var. Ama denkleminiz non lineer olduğu için, biz de sistemimizi durum değişkenlerine bağlı bir matrise, non lineer matrise ve durum değişkenlerine bağlı bir giriş matrisine bağlı olarak tanımladık. Bildiğimiz lineer kuadratik regülatörü tasarladık, ama lineer kuadratik regülatörde geri besleme kazanç katsayımız durum değişkenlerine bağlı olarak sürekli değişiyor. Dolayısıyla durum değişkenlerine bağlı diferansiyel denklemini çözmek durumundayız.

$$k(x) = -R^{-1}(x)B^T(x)P(x)$$

$$u(x) = k(x)x = -R^{-1}(x)B^T(x)P(x)x$$

Where $P(x)$ is unique, symmetric, positive-definite solution of State-Dependent Riccati Equation

$$P(x)A(x) + A^T(x)P(x) - P(x)B(x)R^{-1}(x)B^T(x)P(x) + Q(x) = 0$$

For minimizing cost function of below

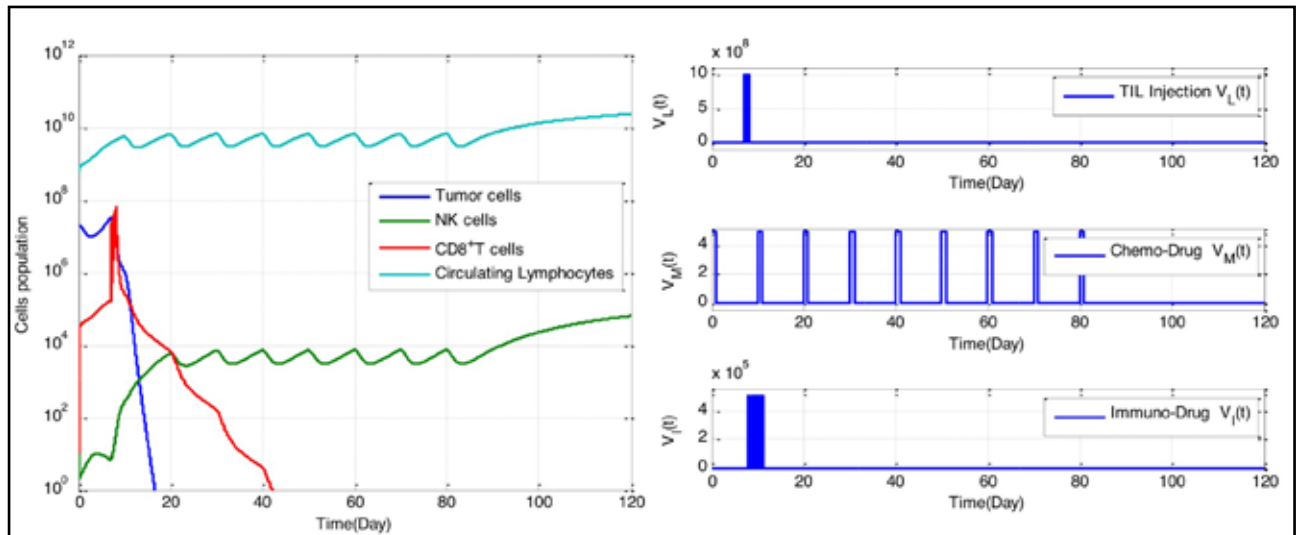
$$J = \frac{1}{2} \int_0^\infty \{x^T(t)Q(x)x^T(t) + u^T(t)R(x)u(t)\}dt$$

Yukarıda görüldüğü gibi, buradaki, bizim durum değişkenlerine bağlı kazanç katsayımız -bu da durum değişkenlerine bağlı kazanç katsayısındaki Px-, Px ise bir alttaki non lineer denklemini çözerek elde ediyoruz.

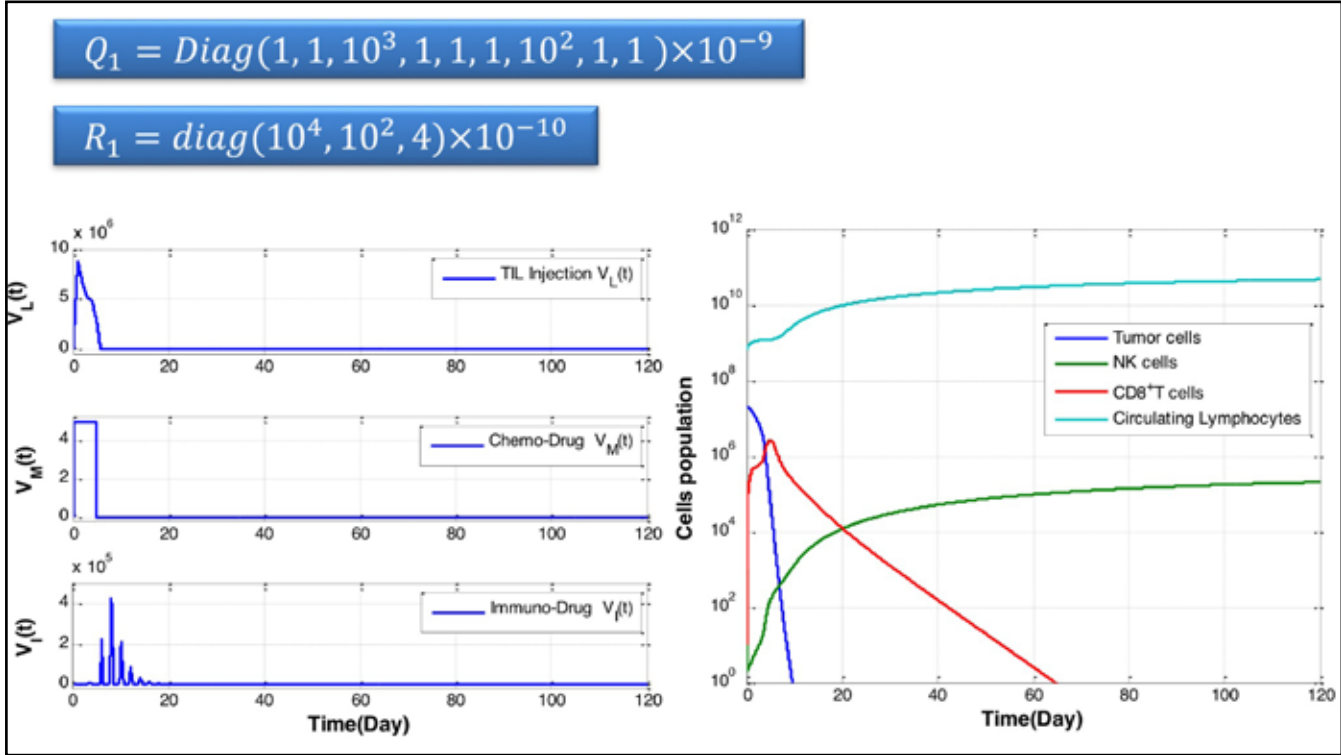
Daha altta ise, esasında bizim maliyet fonksiyonumuz var. Bu maliyet fonksiyonu da şu: Durum değişkenlerini ve vermiş olduğumuz ilaç

miktarlarını minimize etmeye çalışıyoruz. Buradaki durum değişkenlerimiz, tümör hücre sayısı, immün hücre sayısı, normal hücre sayısı ve diğerleri. U ile gösterdiklerimiz ise vereceğimiz ilaç miktarlarıdır. Buradaki bu maliyet fonksiyonuyla her ikisini de en uygun bir şekilde belirlemeye çalışıyoruz.

Şundan bahsetmem lazım. Vereceğiniz ilaç miktarıyla ilgili olarak, bir maksimum dozaj sınırı var. O sınırları da dikkate alarak, kontrol girişlerini, yani vereceğiniz ilaç miktarlarını uzunca bir süreden sonra belirledik. Görmüş olduğunuz gibi, bizden evvel yapılan çalışma ki, orada herhangi bir matematik hesaplama yok; sadece deneme-yanımla yapılmış. Yani ben, hastaya, örneğin 10. günde şu kadar doz, 1 doz immün tedavisi ve ayrıca belirli aralıklarla kemoterapi vereyim, haftada 1 gibi kemoterapi vereyim ve burada da yine immünoterapiyle ilgili olarak başka bir hücre enjektəsi yapıyorum 10. gün civarında.



Görüldüğü gibi, bu tedaviyle birlikte tümör hücrelerini, hakikaten çok kısa bir süre içerisinde tedavi etmekte, diğer hücrelerimiz de istenilen seviyeye gelmekte. Fakat özellikle normal hücrelerdeki değişim ve alyuvarlardaki değişim, hastayı müthiş şekilde rahatsız etmekte; yani kendisini bir iyi hissediyor, bir kötü hissediyor. Biz bunu ne yaptık? Biraz evvel size detayını vermiş olduğum matematik algoritmayla (yapılan) hesaplar sonucunda bu protokol çıktı. O matematiksel ifadelerin çözümü sonucunda, verilmesi gereken ilaç miktarları, üç tane ilaçla ilgili olarak bu protokol çıktı. Burada, elbette ki seçmiş olduğunuz parametreler çok çok önemli.

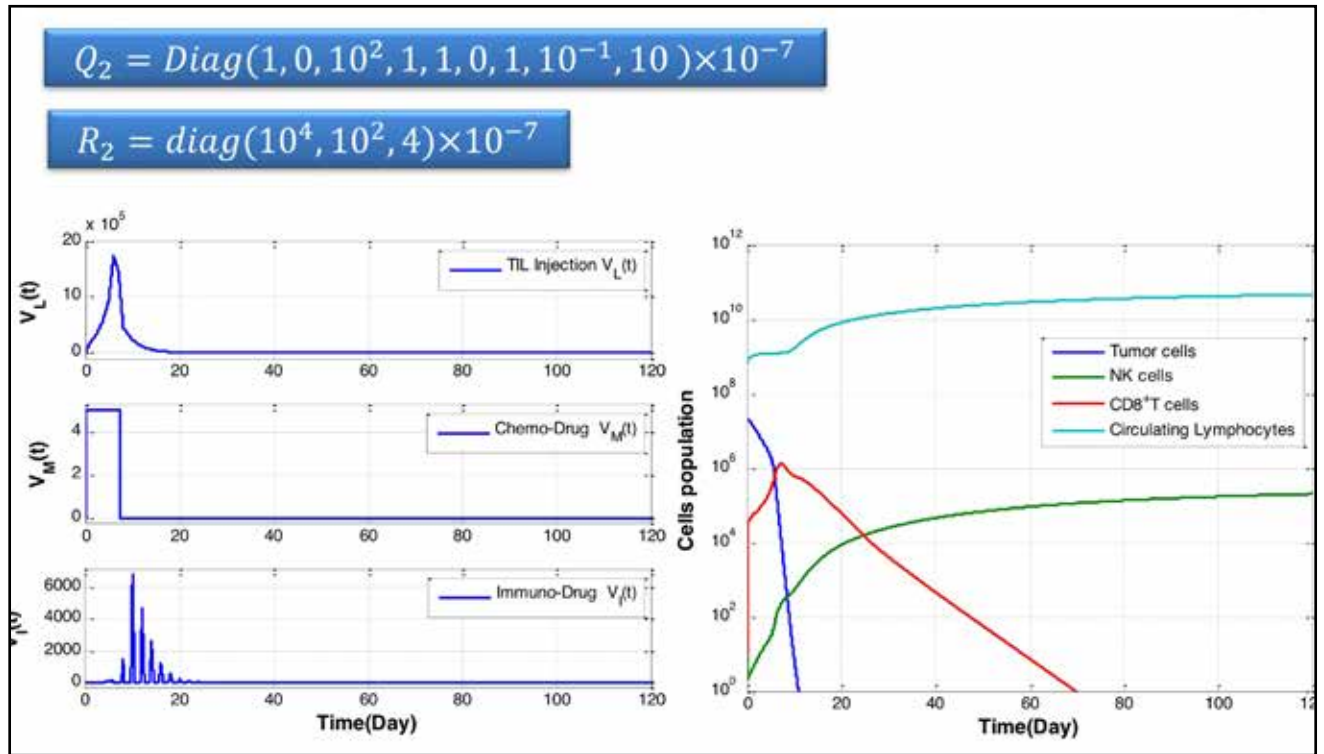


Bu parametreleri kullandık ve daha somut, daha uygun bir hasta cevabı elde ettik. Tümör hücrelerinin ise çok daha kısa süre içerisinde yok edilmesini görüyorsunuz. Aynı şekilde, başka bir parametre seti için simülasyonlar, benzetimler yapıldı. Sonuçta, farklı farklı durumlar için maliyet fonksiyonu da elinize geçti. Yani bir şekilde hastanın hızlı iyileşmesi ve buna mukabil vermiş olduğunuz ilaç miktarlarından -ki, onun da bir kıymeti var, bir maddi değeri var- yola çıkan bir performans indeksi bu.

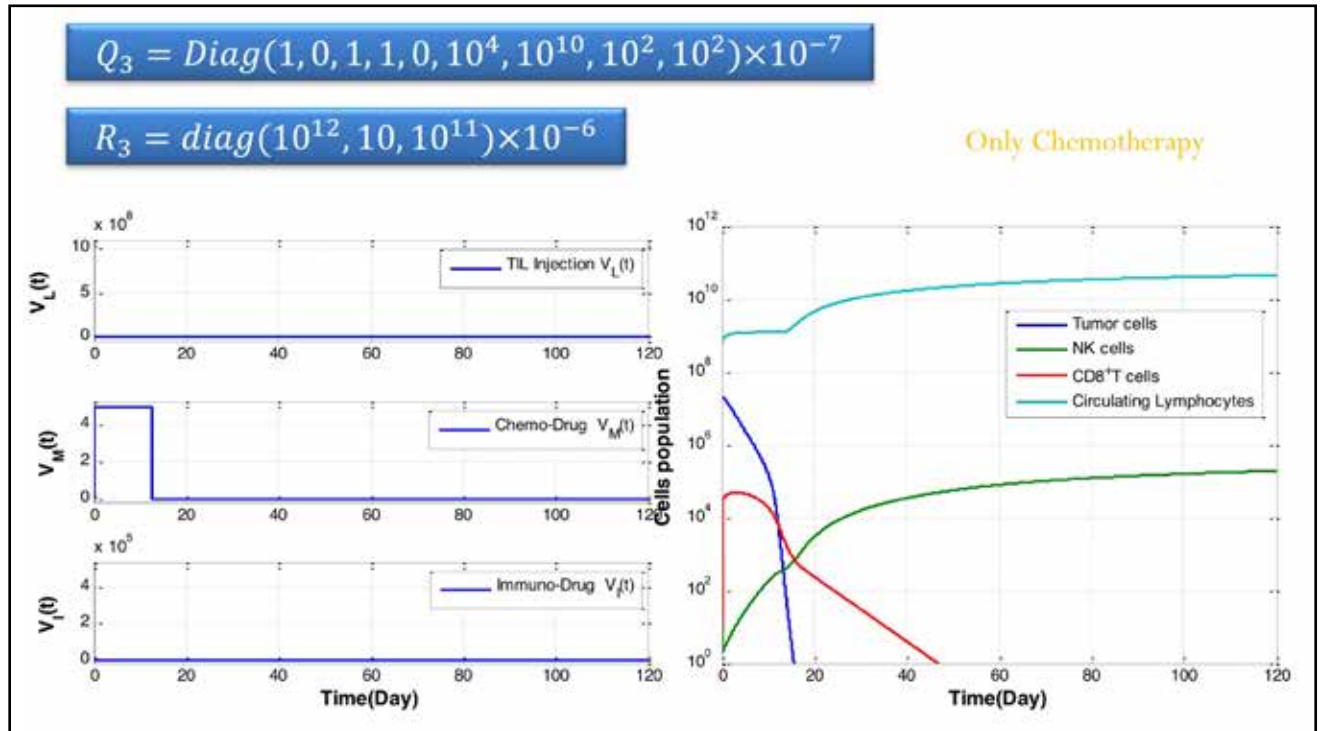
Görüldüğü gibi, en düşük performans indeksi, en düşük maliyet 5. durumda. Bir miktar kemoterapi ve az miktarda da immünoterapi vererek, hastayı en ucuz şekilde tedavi edebildiğimizi gösterdik.

Tabii, bu matematikçilerin ilgisini uyandırdı, simülasyonlar olarak mühendislerin ilgisini uyandırdı sonuçta. Elbette ki bu sonuçların bilimsel camiada bir şekilde yarıya dönüşmesi kadar doğal bir şey olamaz; ama önemli olan sonuca varmak, doktorların işine yarayacak bir sonuç elde etmek. Doktorların hiçbir şekilde bu parametreleri belirlemek ve bunun sonucunda böyle karmaşık bir algoritmayı çözerek sonuca varmak gibi bir meşgalesi yok, bilimsel altyapısı ve beklentileri de buna yönelik değil.

Biz ne yaptık? Önce şunu geliştirdik: Dedik ki, 'Matematikçiler olarak bizler çok iyi tedavi ettiğimiz bir hastayı referans olarak alalım, yani uğraşmış olduğumuz o çabalar sonucunda iyi etmiş olduğumuz hastanın sonuçlarını referans olarak alalım ve bilmediğimiz bir hastaya verilecek ilaç miktarını ise bu referansın iyileşme sürecini aynı şekilde takip edecek şekilde bir adaptasyon kuramıyla ilaç miktarını belirleyelim.'



Bu, bizim birinci aşamada tedavi ettiğimiz ve yoğunca çalıştığımız hasta.



Bu ise, artık doktorların bir daha böyle bir matematiksel model kurmak zorunda olmadığı herhangi bir hasta modeli.

Bununla ilgili olarak teori yoğun bir şekilde literatürde var. Onun için, bunları hızlıca geçeceğim müsaadenizle.

Somut sonuçlara geleceğim.

Grafik 1. Durumda, bu bizim referans hastamız; Grafik 2. Durumda ise, parametrelerini hiç bilmediğimiz, ama simülasyonda görmek üzere rasgele atadığımız parametreler var. Bakın, buradaki parametreler daha evvel çalışılmış parametreler. Bu parametrelere göre, önermiş olduğumuz kişiye özel tedavi süreci (uygularken), bilinmeyen hastayı da istediğimiz şekilde tedavi edebilmekteyiz.

Şu bilinmeyen hasta için tümör hücreleri kısa süre içerisinde sifira inmekte, yani tedavi edilmekte. Normal hücreler kısa süre içerisinde istediğimiz sağlıklı seviyeye ulaşmakta, immün hücreler de kısa süre içerisinde sağlıklı seviyeye ulaşmakta. Bu da o bilmediğimiz hasta için uygulamamız gereken ilaç yani kemoterapi miktarı.

Son grafikteki durumda ise parametreler birbirinden tamamen farklı ve başlangıç koşulları, evreleri de birbirinden farklı. Burada da beklenen iyileşme sürecini, önermiş olduğumuz kişiye özel tedavi protokolunu yakaladığını görüyoruz.

Uzun bir süreçti. İlk öğrencim Mehmet İtik, ikinci öğrencim Ceyda. Ne yazık ki, son üç öğrenci İran uyruklu. Yani Türklerin bu konuyla ilgisi maalesef İranlılardan çok daha az. üç İranlı bu konuyu çalışırken, maalesef, Türkiye'den sadece iki öğrenci bulabildik. Umuyorum ki, bu konuya ilginiz bu oturumdan sonra biraz daha artar ve istenilen beklentiyi hep beraberce yakalamış oluruz.

Bu çalışmanın ilk aşaması TÜBİTAK tarafından desteklendi. İkinci aşamada ise uygulama fazına geçiyoruz tıp fakültemizle birlikte. Onunla ilgili olarak da yakın zamanda fiili uygulamaya başlamış olacağız.

Dinlediğiniz için hepinize teşekkür ediyorum.

Prof. Dr. Osman Eroğul- Biz de hocamıza teşekkür ediyoruz.

Aslında ilaç düzeyi belirlemesi ve kontrollü ilaç salınımı biyomedikal mühendisliğinin önemli konularından birisi. Daha önce de söylediğim gibi, bizden de bir hocamızın bu konularda çalışmaları var ve matematiksel modelini de yapıyor ilaçların. Hocamın ifade ettiği gibi, biyomedikal mühendislerinin bu konuya ilgi göstermeleri ve hocamla beraber çalışmalarını öneririm.

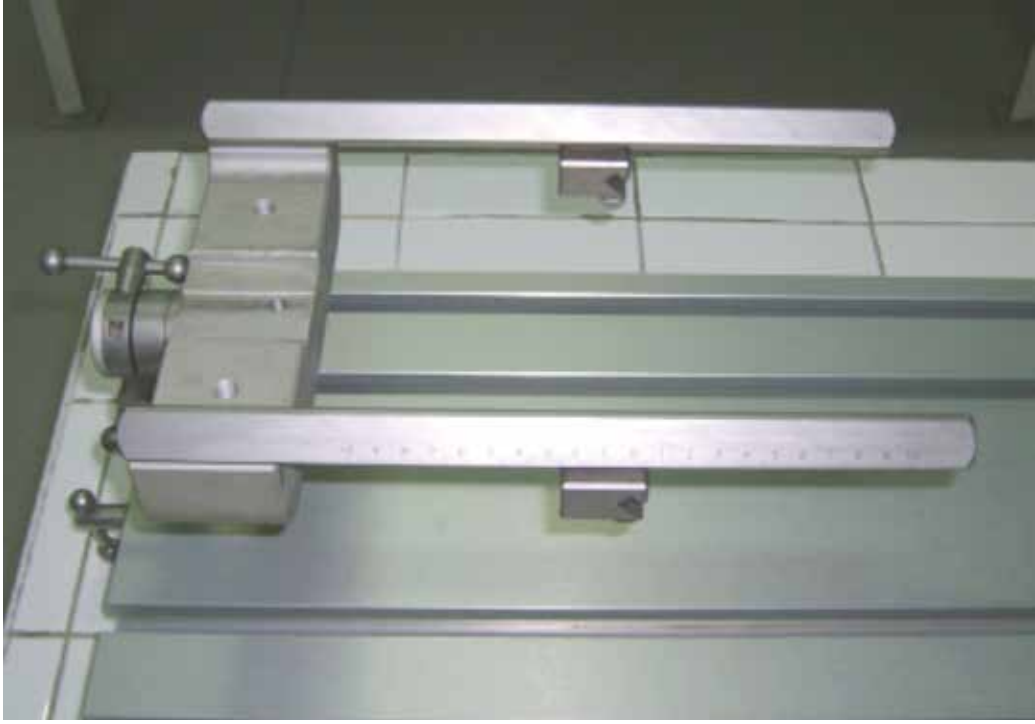
Son konuşmacımız, Gülhane Askeri Tıp Akademisinden Doç. Dr. Serdar Demirtaş hocamız. O da bize, “Deneysel Stereotaksik Cerrahi Yöntemleri” başlıklı bir sunum yapacak. Bu alanla ilgili çalışmalar yapıyor. Hem biyomedikal mühendisliği, hem de biyofizikle biyomedikal mühendisliğinin ilgisini, köprüyü yine görmüş olacağız bu çalışmayla birlikte.

Deneysel Stereotaksik Cerrahi Yöntemleri

Doç. Dr. Serdar Demirtaş (GATA)- Benim konum, deneysel stereotaksik cerrahi. Beyin araştırmalarında kullanılan beyin potansiyellerinin bir nevi mutfağında olan bir çalışma. Normal şartlarda biyomedikal mühendisliğinin en temel hedeflerinden birisi, hem tanı, hem tedavi olmak durumunda. Bunlardan en önemlisi, vücutta kaybedilmiş olan herhangi bir duyunun tekrardan kazandırılması. Bu, görme olabilir, işitme olabilir veya beyin potansiyellerini etkileyecek herhangi bir hastalığın tedavisi olabilir. Bunları hedeflediğimiz durumlarda, kompleks olan beyin cihazının nasıl çalıştığını anlamaya çalışmak ve meydana gelen bozuklukları da tekrardan düzeltmeye yönelik çalışmalarda kullanılabilecek bir sistem bu stereotaksik cerrahi.

“Stereotaksi” ne demek? Stereotaksi, Latince iki kelimeden oluşuyor; bir tanesi “stereo”, öbürü “taksi”. Stereo, sözlüğe baktığımız zaman, katı, sert bir cisim olarak tanımlanıyor; ama üç boyutlu anlamı da var. İkinci kelime olan taksi kelimesi ise, dokunmak ya da yaklaşmak anlamındaki kelimelerden türetiliyor. Bunu “üç boyutlu yaklaşım” olarak da tercüme etmek ya da yorumlamak mümkündür. Bu şekilde, beynin içerisindeki yapıyı anlamak; görsel, işitsel sistem nasıl çalışıyor veya ilaç salınımı, ilaçların etkisi nasıl oluyor? 'Bu olayları nereye, nasıl uygulayacağız, nasıl yorumlayacağız, nasıl bilgi alacağız?' gibilerinden olayların hedefine stereotaksik cerrahiyi oturtuyoruz.

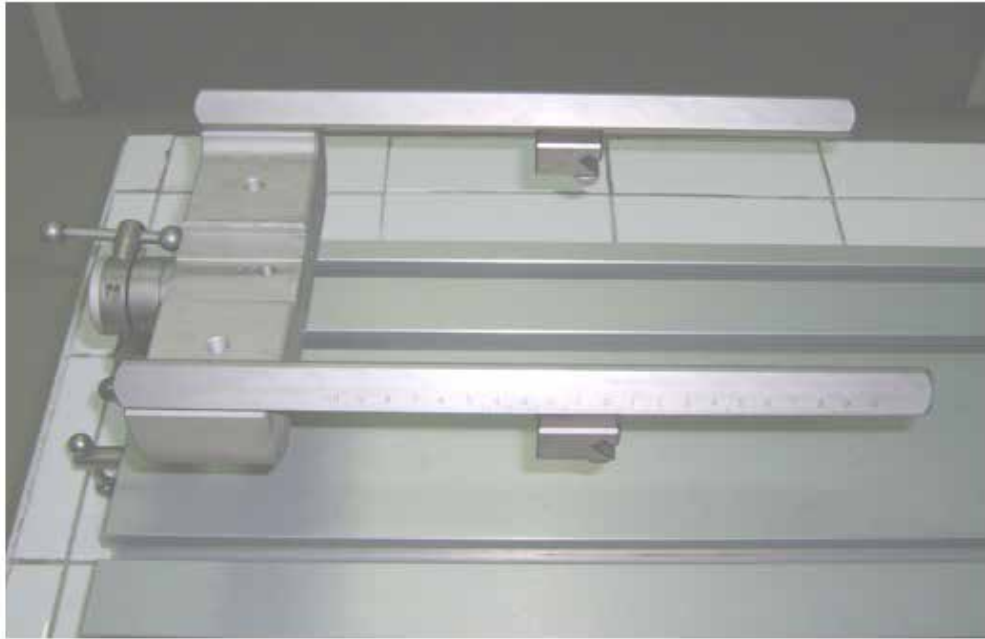
Stereotaksik ameliyathane, duruma göre, kullanacağımız deneysel hayvanları ameliyat edebildiğimiz bir ameliyathanedir. Burada en önemli parçalarımızdan bir tanesi, “U” frame dediğimiz ve duralüminyumdan üretilmiş olan, üzerinde hassas ölçüm yapıları bulunan, 10'da 1 milimetre hassasiyetle işlem yapılabilen bir yapıdır. Bu yapıda, bir sürü deneysel hayvanı ameliyat etmemiz mümkün.



Şekil 1 “U” Frame

Bu çerçevenin hareketleri, ameliyatın mümkün kılınabilmesi için çok önem arz etmektedir ve mümkün olduğu kadar çok eksenle hareket edebiliyor olması “flexibility” çok önemlidir. Bunlardan birincisi, en önemlilerinden bir tanesi, “U” frame’in ön-arka eksenle hareket edebiliyor olmasıdır. Bu, hayvanın büyüklüğüne, ağırlığına ve kafa yapısına göre mutlaka kullanılması gereken özelliklerden birisidir.

İkincisi çerçevenin sağa-sola dönme hareketleridir. Bunlar, kullanılacak olan hayvanın istenilen bölgesine daha kolay ulaşılabilmesi için önem arz etmektedir.



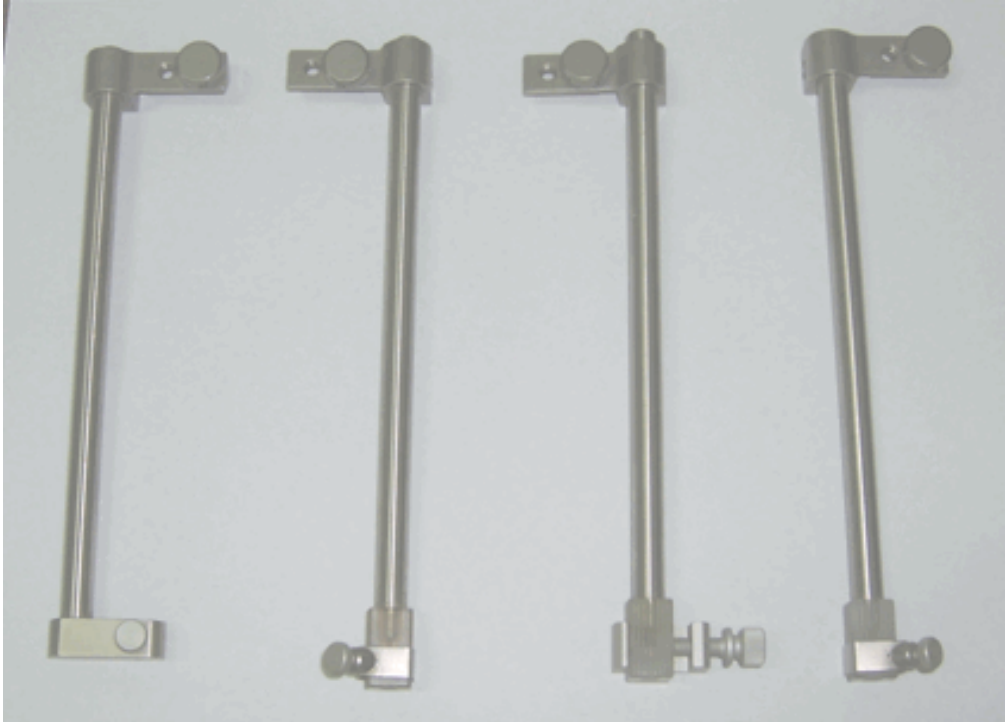
Şekil 2 "U" frame üstten

Daha sonra burada kullanılabilecek önemli parçalardan biri, burun tutamacıdır. Hayvanların beyinlerini çok iyi bir şekilde ulaşılabilir hale getirmemiz için, bazı referans noktalarını kriter olarak alıp, onları tam bir şekilde açığa çıkarabilmemiz ve oraya ulaşmamız için önemlidir. Burun tutamaçlarını aynı zamanda hayvanların kafataslarındaki sert dokuların pozisyonunu sağlayabilmek



Şekil 3 Burun tutamacı monte edilmiş şekli

için kullanıyoruz. Burun tutamaçlarının bir sürü çeşidi vardır. Bunlar hayvanların yapısına göre değişiklik arz etmektedir, bazıları dişlerin kenarına geçiyor, bazılarında gagalarını tutuyor veya bazılarında da göz çukurlarının kenarından tutmaya yarıyor. Burada mümkün olan en önemli özellik, hayvanlara kesinlikle zarar vermemeye çalışıp, hayvan hakları çerçevesinde, acı vermeden, düzgün bir şekilde, anestezi altında opere etmeye özen göstermemizdir.

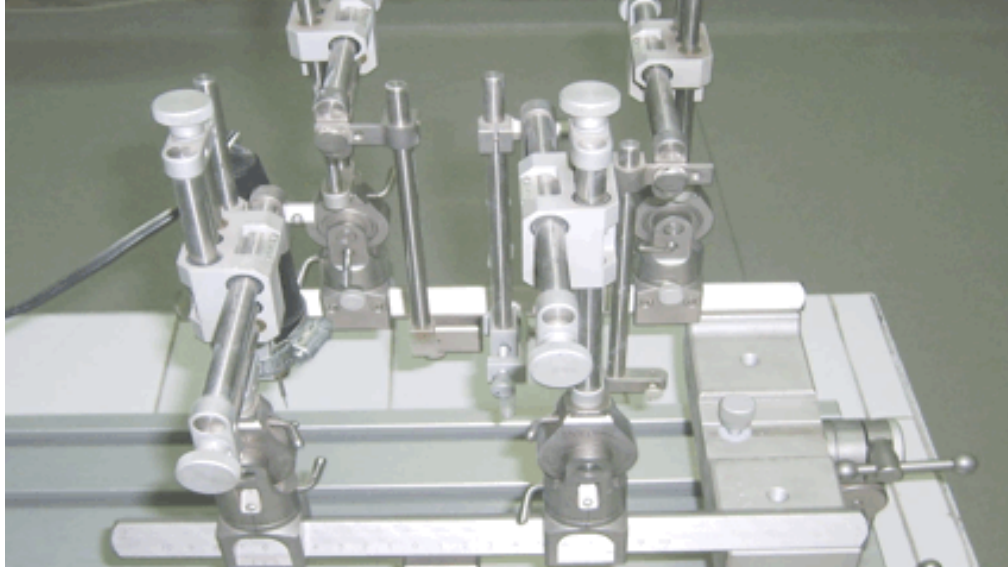


Şekil 4 Çeşitli tutucular

Sonra, sabitleme amacıyla kullandığımız çeşitli kulak çubukları var. Bunları iki taraflı olarak yerleştiriyoruz ve hayvanı fiks ediyoruz. Bazısının uçları daha sivri, bazısının daha kunt ve yuvarlak şeklindedir. Bazıları duruma göre, ameliyatın hassasiyetine göre, kulak zarını delebilen ya da delmeyen olarak ayırt edilebiliyor ve bunları da hayvanın kafatasını sabitleme amacıyla kullanıyoruz.

Yerleştirmek istediğimiz bazı elektrotların, vericilerin veya bazı ilaç aplikasyonları için kullanılacak enjektörlerin tutulması amacıyla bazı holder'lar (tutucu aparatlar) vardır. Bunlar vasıtasıyla kullanacağımız elektrotları istediğimiz beyin bölgesine hassas bir şekilde ulaştırabiliyoruz ve kullanabiliyoruz.

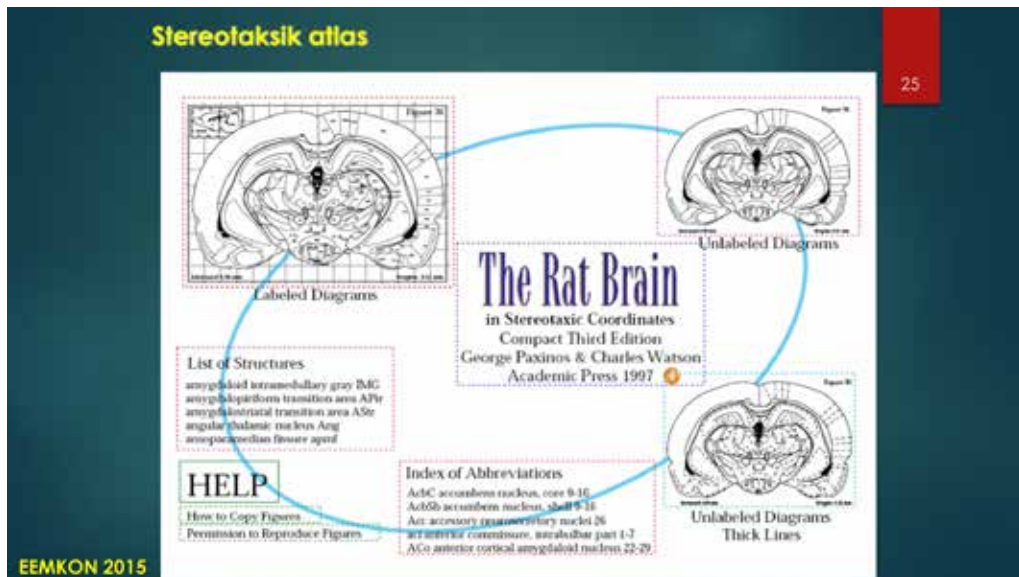
Bunların kullanılabileceği şekilde, üzerlerine takılabileceği manipülatörlerimiz bulunuyor. Holder'ları bu manipülatörlere bağlıyoruz. Bunlar çok hassas, yani meydana gelebilecek bir çarpma esnasında, eksenlerinin kayması sonucunda ölçümlerin bozulması mümkündür. Kullanılmadığı durumlarda bu manipülatörlerin zarar görmemeleri için, hassas bir şekilde, özel park cihazı üzerine konulmaları gerekiyor. Manipülatörler, bir sürü eksenle hareket etme imkânına sahiptir ve bunlar vasıtasıyla hassas bir şekilde ulaşımı sağlıyoruz. Mesela, x, y, z manipülatörleri önemli bir yere sahiptir.



Şekil 5 Manüplatörler ve bağlanmış holder'lar

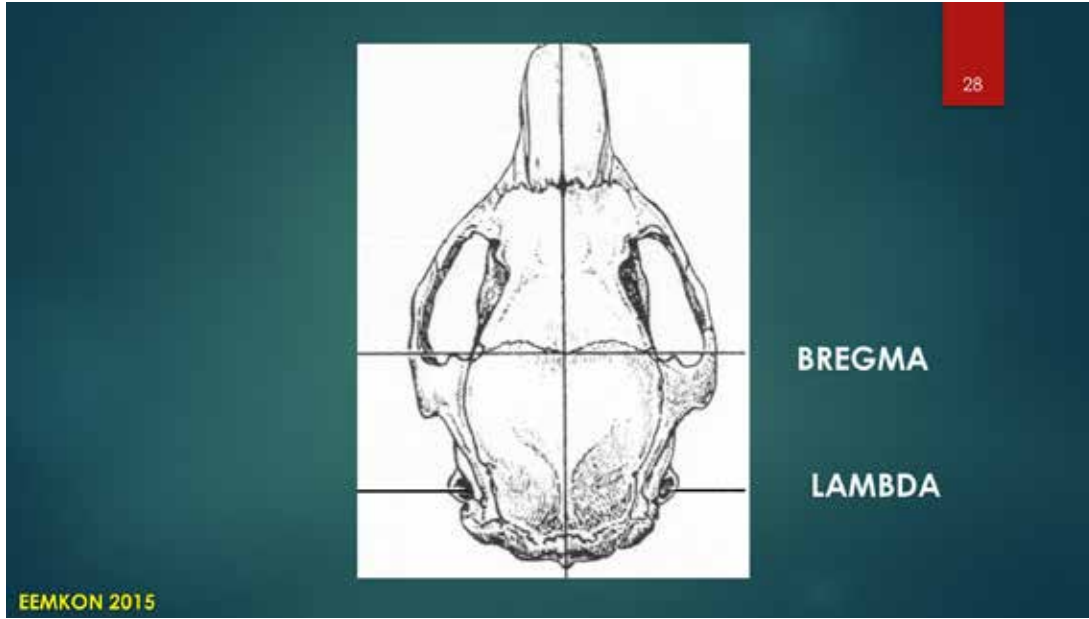
Hareketlerine bakacak olursak, bunlardan bazılarını ray üzerinde öne-arkaya hareket ettirmek veya bunlardan bazılarını kendi ekseninde sağa-sola hareket ettirmek mümkündür. Daha sonraki hareketimiz ise yukarı-aşağı hareket ettirmek. Açısal olarak döndürme hareketleri kullanılabilecek diğer seçeneklerdir. Bu stereotaksik atlas vasıtasıyla öğrenmiş olduğumuz ve çalışmak istediğimiz bölgeye daha önceden yapılmış çalışmalardan elde edilmiş tecrübeler vasıtasıyla başka beyin bölgelerine zarar vermeden, en optimum şekilde ulaşmak amacıyla mutlaka kullanmamız gereken hareketlerdir. Kullanabileceğimiz diğer hareket tipi ise manipülatörün açısal olarak yaklaşımı sağlayabilme kabiliyetidir.

Bu manipülatörlerin hareketlerine bakacak olursak, bir sürü eksenle hareket ederek, istediğimiz açıyla ve beyin içerisinde mümkün olan en kısa hareketle istediğimiz bölgeye ulaşmanın mümkün olduğu görülebilir

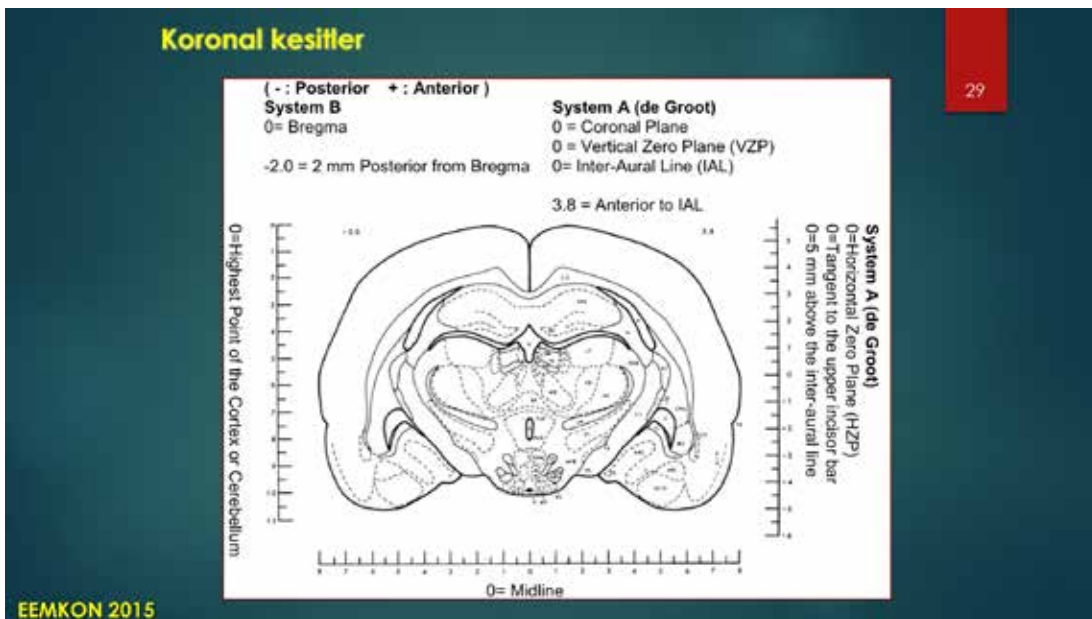


Şekil 6 Stereotaksik Rat beyin atlası

Ratlarda daha yoğun olarak çalışıldığı için, stereotaksik rat atlasını kullanıyoruz ve yıllar öncesinde üretilmiş olan kobay atlaslarını halen kullanabiliyoruz. Bu atlasların software olarak bilgisayarda kullanılabilen tipleri de vardır. Bu atlaslarda, sabitleme amacıyla kullanılan, insizör denilen, hayvanın ön dişlerinin altındaki bölgeye giren noktanın ve kulak çubuğunun içinden geçmiş olduğu noktanın referans olarak kullanıldığı, milimetrik olarak ve açısal olarak hangi bölgelere nasıl ulaşılması gerektiği görülmektedir. Kobay kelimesini Türkçemizde yanlış kullanıyoruz. Genellikle konunun dışında olan insanlara “Kobay” kelimesini sorduğunuz zaman, herkes “deney hayvanı” anlamına geldiğini zannediyor; fakat kobay kelimesi, kedi, köpek gibi Fransızcadan gelen ve İngilizcesi “Guinea pig” olan bir hayvan adıdır. Bizim çalıştığımız alanda, kobayı deney hayvanı olarak ilave bazı avantajlarının yanında, insan beyninin yapısına en benzeyen, tepkisel ve fonksiyonel olarak da en yakın beyne sahip hayvan olarak bulduğumuz için çok kullanıyoruz. Yaptığımız ameliyatlardan sonra, uygulamış olduğumuz elektrotlar vasıtasıyla aldığımız beyin potansiyellerini inceliyoruz.



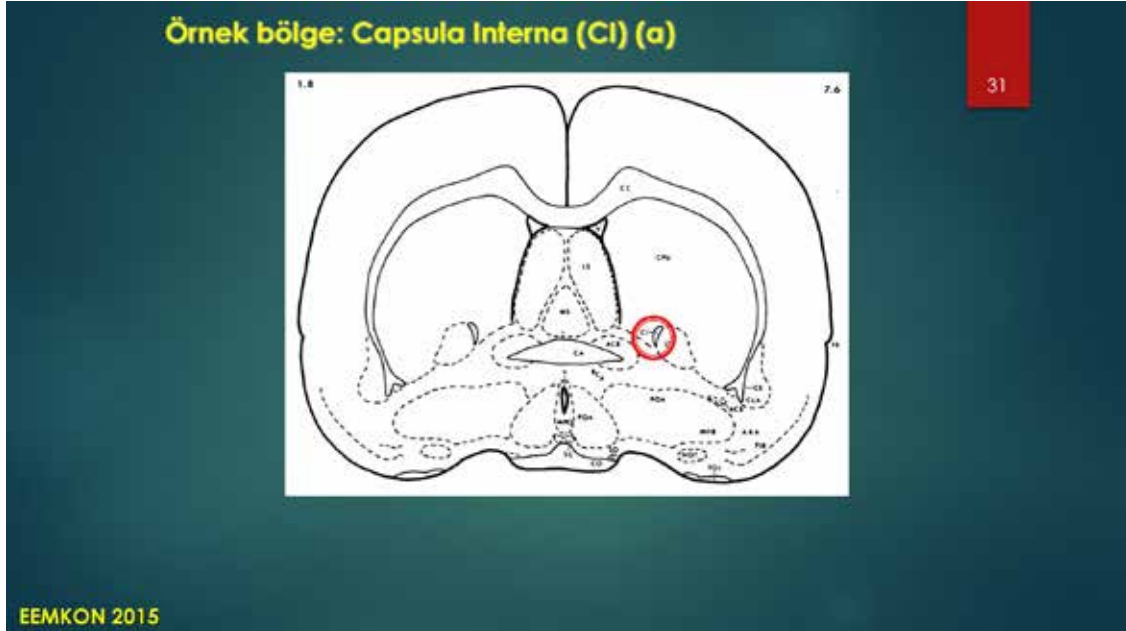
Burada ameliyat esnasında bregma veya lambda diye adlandırılan özel kafatası sturalarının arasındaki birleşim noktalarını referans olarak alıyoruz ve bunları girmemiz gereken noktaların bir kerterizi olarak kabul ediyoruz.



Şekil 7 Beyin atlasından örnek bir kesit

Koronal kesitlere bakacak olursak, şöyle bir beyin görüntüsü ile karşılaşırız. Koordinat sistemi

olarak birkaç tane sistem var. Bunlardan bir tanesi, sistem A diye adlandırılan, orta hattı referans ve sıfır hattı olarak kabul eden, sağa ve sola milimetrik olarak işaretli sistemdir. Hayvanlarda büyüklük ağırlık ve yaş açısından düzeltme ayarları katsayı belirleme tekniği ile yapılmaktadır. Ameliyatta girilmesi istenen nokta için; ön-arka, sağ-sol koordinatları yanında derinlik bilgisi de gereklidir. Belirlenen noktaya ulaşma esnasında başka yapılara zarar verilmemesi amacı ile eğer mümkün ise açı değiştirilerek başka noktalardan girmek mümkündür.



Şekil 8 Bir çalışmada hedef olarak seçilen capsula interna

Bir çalışmada, capsula interna denilen kırmızı yuvarlak ile gösterilen çok küçük bir yapı seçiciliğini varsayarsak o yapının içine elektrot indirildiğini garanti etmek amacıyla atlas üzerinde ön-arka eksende yer değiştirerek en büyük olduğu kesit seçilmektedir ve o bölgeye elektrotlar veya ilaç uygulanacaksa oraya bir enjeksiyon aparatı indirilmektedir.

Bu ameliyatlar anestezi altında yapılmaktadır. Anestezik olarak Rompun Ketalar kombinasyonu kullanılmaktadır. Bu kombinasyon intraperitoneal (karın içine) uygulanmaktadır. Hayvanını anesteziye girip girmediği kuyruk sıkma (tail pinch) testi ile kontrol edilmektedir. Bir şekilde hayvanın tepki gösterip göstermemesine göre, anesteziye tam girdiği öğrenildikten sonra, bu hayvanların kafatasının üzerinde bulunan derinin üzerindeki tüyler tıraş edilmektedir. Daha sonra hayvan düzgün bir şekilde stereotaksik çerçeveye sabitlenmektedir. Bu işlem burun kıskacı ve kulak tutamaçları vasıtasıyla yapılmaktadır. Anestezi altında olduğu için, hayvanlar herhangi bir ağrı hissetmedikleri için, daha sonra kafatasına yapılan bir kesiyle oradaki deri kısım açılmakta ve üzerindeki periostu sıyırdıktan sonra kemikle karşı karşıya kalınmaktadır. Daha sonra da hangi çalışmayı yapacaksa, daha önceden yapılmış olan ön hazırlık sonrasında, girilmesi planlanmış olan elektrotların -bunlar derin elektrot olabilir veya yüzeysel elektrot olabilir- yerleştirilmek istendiği yerler işaretlenmeye başlanır. Bu elektrotlardan bazıları topraklama ya da referans elektrotu olarak kullanılmaktadır. İşaretlenen bu noktalar özel matkapla, hız ayarlaması vasıtasıyla dikkatlice delinmektedir. Delme esnasında sadece kafatasının delinmesi beyne ve beyin zarlarına zarar verilmemesi gereklidir. Eğer normal vida elektrot kullanılacaksa durum daha kolaydır açılan deliğe ucuna kablo lehimlenmiş elektrot beyin zarlarına temas edinceye kadar vidalanır, işlem biter. Derin elektrot kullanılacaksa (az bir kısmının iletken olduğu, geri kısmının yalıtkan bir özel boyayla kaplanmış olduğu) holder'lara bağladıktan sonra, istenilen bölgeye milimetrik olarak hassasiyetle indirilmektedir.

Epidural vida elektrotların yerleştirilmesinde, elektronik mühendislerinin de kullandığı uluslararası renk kodlamasını kullanılmaktadır bu sayede hangi elektrotun nerede olduğu bilinmekte ve şematik olarak bir yere kaydedilmektedir.

Bu hayvanlar ameliyat edildikten sonra, eğer çalışmanın özel bir amacı yoksa hayvanlar kesinlikle öldürülmemekte normalde var olan ömürlerini sürdürmeleri amacıyla çok iyi bir şekilde bakılmaktadırlar. Ki, bazı çalışmalarda daha sonradan gerekli olduğunda bu hayvanlar kullanılabilir. Bu amaçla çoklu elektrot yerleştirme tekniği kullanılmakta bu hayvanlardan birçok çalışmada yararlanılmaktadır.

Temas ve kısa devre kontrolü yapıldıktan sonra, elektrotların üzeri, diş hekimlerinin kullanmış olduğu soğuk akrilikle kaplanarak, hem bir tutuculuk sağlanmakta, hem de kısa devre ihtimali ortadan kaldırılmaktadır. Üzerleri kapatıldıktan sonra kabloların üzerindeki kod renkleri vasıtasıyla hangi elektrotun nerede olduğu ve bağlantı kablosu ayrımı yapılabilmektedir. Daha sonra, Elektrotların amplifikatör sistemi ile bağlantısını sağlayacak olan D tipi konektörün montajı sağlanıyor ve üzerine de ikinci bir son kat atıldıktan sonra, hayvanlar bundan sonra deney çalışmalarında kullanılabilir hale getirilmektedir.

Deney hayvanlarının deney esnasında, restrainer vasıtasıyla fazla hareket etmemesini sağlıyoruz; ama kesinlikle de hareket etmesini engellemiyoruz, en azından biraz hareket etmesine müsaade ediyoruz.

Gözdeki özel LED'ler vasıtasıyla gözüne uyarı verebiliyoruz veya kulaklarına taktığımız özel kulaklıklar vasıtasıyla da kulağına ses vererek, uyarılmış potansiyel kaydetmek mümkün hale geliyor.

Bu çalışmalar sonrasında, yapmış olduğumuz bu preparatlar vasıtasıyla da, istediğimizde bu hayvanlardan uyarılmış potansiyel almamız mümkün hale geliyor.

Kayıt sonrasında çalışma gereği veya eğer mecbur kalınması durumunda bu hayvanlar dekapitasyon yöntemiyle öldürülürse, girilen yerlerin doğru olup olmadığının anlaşılması amacıyla, öldürülmeden önce o bölgelere elektrik akımı uygulanarak, mürekkeple işaretleme yapılarak, girilen yere daha sonradan kesitsel olarak bakılarak, doğru yerde olup olmadığının doğrulanması mümkün olabilmektedir.

Teşekkürler

Prof. Dr. Osman Eroğul- Serdar hoca resimleri gösterdikçe, özellikle kadınların yüzündeki ifadeleri buradan gözlemleyebiliyorum, ama bilim böyle bir şey. Yani deney hayvanları biyomedikal mühendisliğinde çok yaygın kullanılan bir uygulama. Bunları deney hayvanları üzerinde yapmazsanız, insanlar üzerinde yapmak durumunda kalacaksınız ne yazık ki. Buradan elde ettiğimiz sonuçlarla EKG'ler, EMG'ler, aklınıza gelebilecek diğer cihazlar bu sayede geliştiriliyor ne yazık ki. Buradan elde ettiğimiz bilgiler son derece kritik. Özellikle beyin çalışmaları konusunda, uyarılmış potansiyel diye ifade edilen, 'Beynin hangi bölgesi neye cevap veriyor?' sorusunu bu tür çalışmalar sayesinde öğrenebiliyoruz.

Hocamıza teşekkür ediyoruz.

Katılımcıların hepsine teşekkür ediyorum.

PANEL: BİYOMEDİKAL İŞARET VE GÖRÜNTÜ İŞLEME

Panel Yöneticisi: Prof. Dr. Nizamettin Aydın (YTÜ)

Prof. Dr. Nizamettin Aydın- Evet, günün son paneline hoş geldiniz.

Bu paneli, sunumlardan sonra interaktif bir şekilde, sizden gelecek sorulara göre yönlendirmeye çalışacağız. Vakti iyi kullanmak bağlamında, sunum yapacak arkadaşların önce kendilerini tanıtarak başlamalarını rica ediyorum.

Ben Nizamettin Aydın. Yıldız Teknik Üniversitesi Bilgisayar Bölümü Başkanıyım. Lisansımı Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesinden, yüksek lisansımı da yine aynı bölümden, doktoramı ise İngiltere’de medikal fizik alanında aldım. Tabii, ben bir mühendis olarak, doktoramı tıp fakültesinden aldım; ama bizim konuşmacılarımız arasında, tıp doktoru olup mühendislikten doktora yapan arkadaşımız da var. Dolayısıyla biyomedikal mühendisliğinin mahiyetini buradaki konuşmacılardan da anlayabilirsiniz.

Kısa bir giriş yapayım diye, medikal mühendisliği ve özel olarak da Biyomedikal İşaret ve Görüntü İşleme Panelinin mahiyeti hakkında bir fikir vermesi açısından, biyomedikal mühendisliğinin ne olduğuna dair dün ve bugünkü sunumları izlediniz; yani biyomedikal mühendisliğinin ne olduğu hakkında fikriniz vardır ama çok genel bir tanım yaparsak, biyomedikal mühendisliği, birçok mühendislik alanlarının kesişiminde veya birleşiminde bulunan bir mühendislik alanı. Elektronik, bilgisayar gibi bilim dallarının ilgi alanına giren bir bilim alanıdır.

Biyomedikal işaret işleme ifadesinde geçen işarete gelince, işaret nedir, bilen var mı?

Salondan- Bilgi içermesi.

Prof. Dr. Nizamettin Aydın- Püf noktası bilgi içermesi, bilgi taşıması. İşaret, bilgi taşıyan bir fiziksel değişken, herhangi bir fiziksel değişken. Akustik olabilir, elektriksel olabilir.

Bizim işaret işlemedeki asıl amacımız nedir?

Salondan- Bilgiyi kullanmak.

Prof. Dr. Nizamettin Aydın- Bilgi taşıyan bir değişken olduğu için, o taşınan bilgiyi algılama, anlama, işleme, değerlendirme. Tabii, bu iki türlü olabilir. Bir, işaretin geldiği kaynağa ait bilgi taşıdığı için, o bilgiyi almak için işaret işleme; bir de eğer biyomedikal alanında, bu bir tedavi amacıyla kullanılacaksa, işarete bilgi yükleme ve öyle gönderme. Genel olarak biz işareti tek boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu diye sınıflandırabiliyoruz. Normalde tek boyutluysa, buna işaret deyip geçiyoruz, ama bu iki boyutlu olursa ne oluyor; görüntü oluyor. Üç boyutlu olursa zaman ekleniyor ve bu video olarak adlandırılıyor.

Özet olarak, biyomedikal işaret ve görüntü işlemenin amacı, o işaretin geldiği organla ilgili bir veri taşıdığı için, o bilgileri anlamak için, değerlendirmek için, o işaretin genliğinin, frekansının, fazının bir şekilde manipüle edilmesi, değiştirilmesi şeklinde özetlenebilir.

Bu bağlamda, bu paneldeki değerli hocalarım kendi perspektifleri açısından işaret ve görüntü işlemenin mahiyetine dair sunumlarını yapacaklar.

İlk sözü, Ankara’dan üşenmeden kalkıp gelen Prof. Dr. Ergin Atalar hocama vereceğim. Öncelikle kendisini tanıttak, ondan sonra sunumunu yapacak.

Buyurun hocam.

Prof. Dr. Ergin Atalar (Bilkent Üniversitesi)- Teşekkürler.

Bilkent Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi, aynı zamanda Ulusal Manyetik Rezonans Görüntüleme Merkezinin direktörüyüm.

Hocamın söylediklerine benzer şeyler söyleyeceğim. Elektrik mühendisi olarak doğdum, büyüdüm diyebilirim. Elektrik mühendisi olduğum Boğaziçi Üniversitesinden, sonra mastırımı Ortadoğu Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliğinde yaptım. Doktoram yine elektrik mühendisliği (üzerine), bu sefer Bilkent Üniversitesinden.... Ondan sonra Amerika'ya gittim. Amerika'da, radyoloji bölümünde hoca oldum. Enteresan, değil mi? Yani radyoloji bölümünde profesör oldum. Ama aynı zamanda değişik iki bölümde de hocalığım vardı; birisi biyomedikal bölümüydü, birisi de hatırım kırılmasın diye elektrik mühendisliği. Sonra Türkiye'ye döndüğümde, tekrar elektrik mühendisliğine girdim; ama böyle bir ortamda yaşıyoruz, yani her tür insan var, herkese açığız.

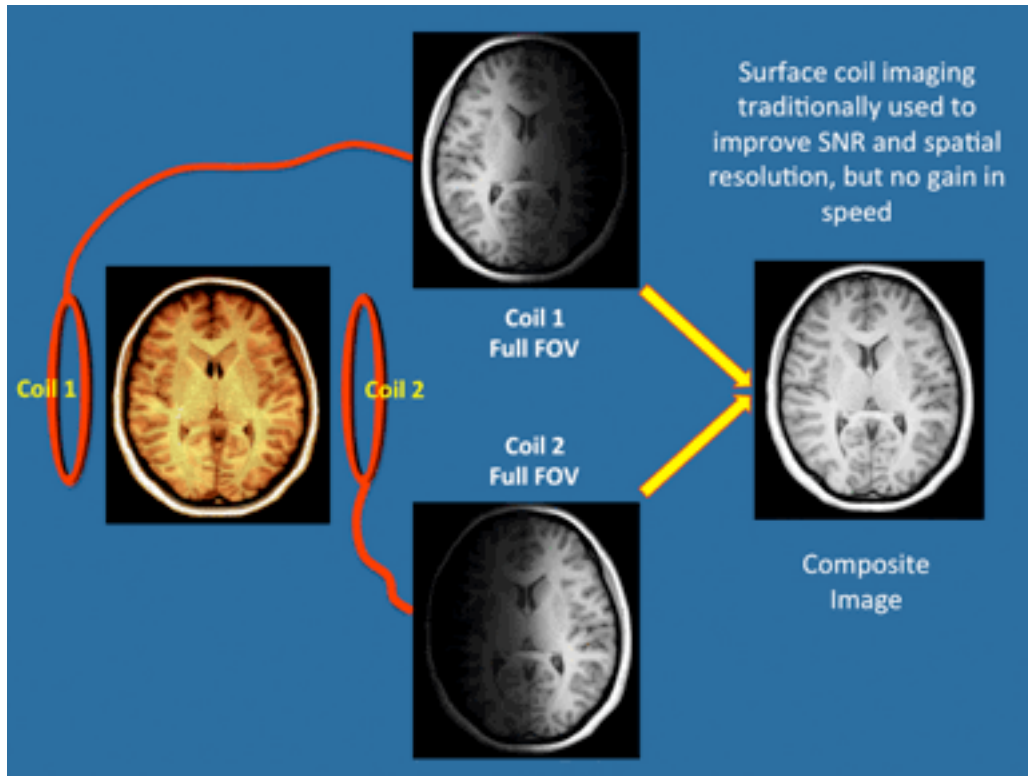
Biraz da Ulusal Manyetik Rezonans Araştırma Merkezindeki hocalarımı tanıtayım. Hulusi (Yrd. Doç. Dr. Kafalıgönül) hoca var; elektrik mezunu. O da doktorasını elektrikte yapmış, sonra psikolojide eğitim görmüş. Emine (Ülkü Sarıtaş) hocamız yine elektrikçi. Tolga (Çukur) hoca bir ara psikoloji bölümünde iki sene çalıştı. Hüseyin (Boyacı) hocamız fizikçi, hem de teorik fizikçi. Plazmalarla filan uğraştı. Şimdi psikoloji bölümünde hoca. Katya (Katja Boerschner), o da psikolojide hoca. Yusuf Ziya (Prof. Dr. İder) hocamız hepimizin hocası. O da benzer şekilde, değişik şeylerden gitmiş; ama şu anda elektrikte hoca. Oktay (Algın) hocamız yine radyo. Yani böyle çalışıyoruz işte, böyle garip bir yer.



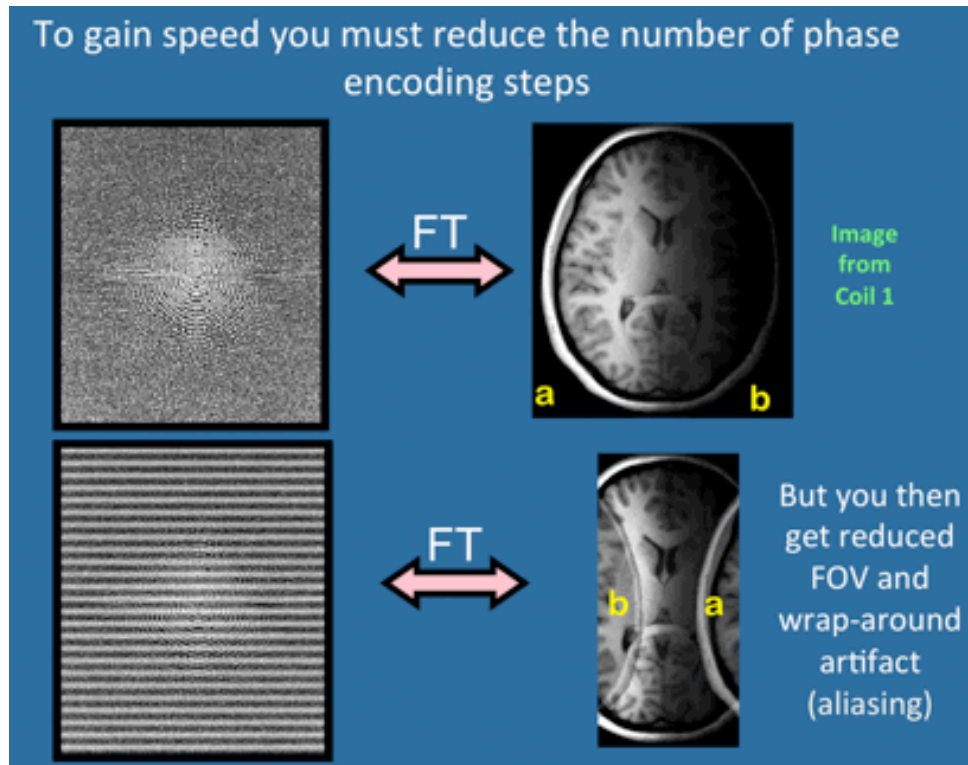
Araştırma Merkezimizin bir özelliği, şu (yukarıdaki) cihazın olması. Her yerde cihaz var, fakat bu cihazın en önemli özelliği araştırmaya açık olması. Klinik amaçlı kullanılmıyor ve içine girip değişik şeylerini bozup yıkabiliyoruz.

Merkezimizi buradan anlayamazsınız tabii, ama 700 metrekare gibi bir yerimiz var. Büyüyoruz, büyüyünce de adımız Ulusal Manyetik Rezonans Araştırma Merkezi olacak. Umarım, (2016) Şubat ayında orada olacağız. Burada amacımız, yeni öğretim üyeleri almak. Genellikle de tıp doktorları almak istiyoruz. Elektrikçilerden çok değişik konulara girmek istiyoruz. 4 MR cihazına ulaşma hedefimiz var. Birisi var, öbürü alınmak üzere, onun işlemleri sürüyor. Hayvan araştırma ünitemiz olacak. Fare, sıçan ve zebra balığı üzerine çalışacağız. Halen çalıştığımız hayvanlar bunlar. Tabii, bilgisayar önemli.

Sinyal ve görüntü işlemede söylemek istediğim şey, şu: Bizim için görüntü işleme, sinyal işleme bir yöntem. Bunu sadece böyle görmekte fayda var. Onu tek başına alıp, 'Ben sinyal işlemeciyim' demenin sakıncalarından bahsedeceğim biraz. Burada iki örnek çalışmadan bahsedeceğim. Oradan belki daha iyi anlarsınız. Tabii, MR'ın detaylarını anlatmak için hazırlanmış şeyler, ama ben mümkün olduğu kadar anlatmaya çalışacağım.

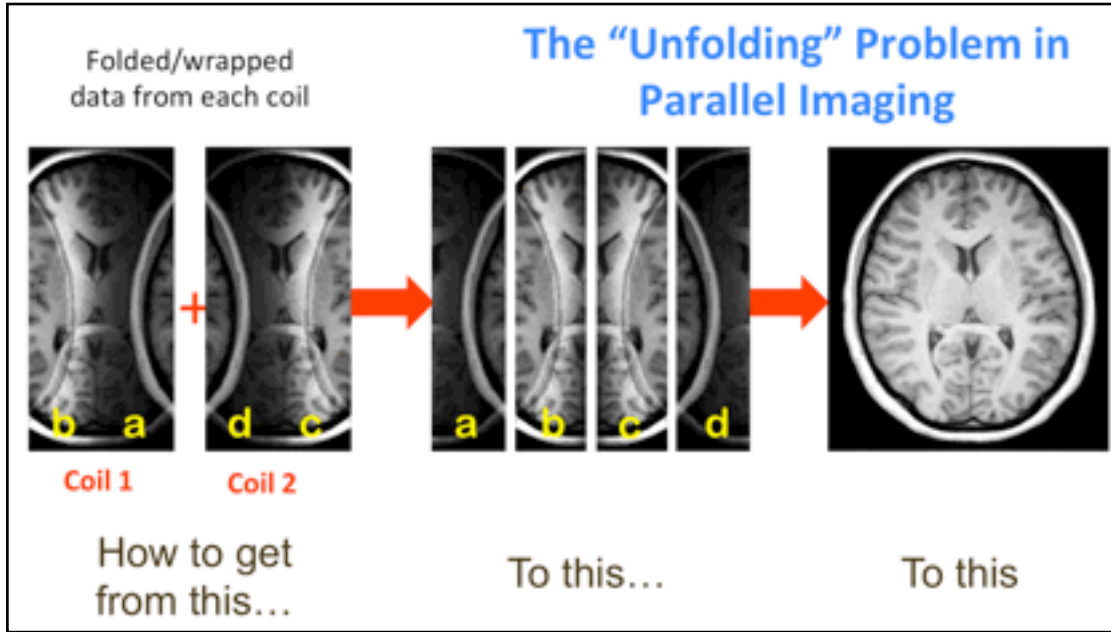


Burada almaya çalıştığımız bu görüntü var, iki tane de sargı var bunun etrafında. Bunlar alıcılar. Birisiyle (Coil1) alırsanız böyle bir görüntü çıkıyor, öbürüyle (Coil2) alırsanız şöyle bir görüntü çıkıyor. Çıkarttığınız görüntü de (Composite Image) şu. Bir anlamda bunu birleştirme işi görüntü işleme diyebilirsiniz. Yani bu iki tane yarı görüntüden tam bir görüntü çıkartıyorsunuz.

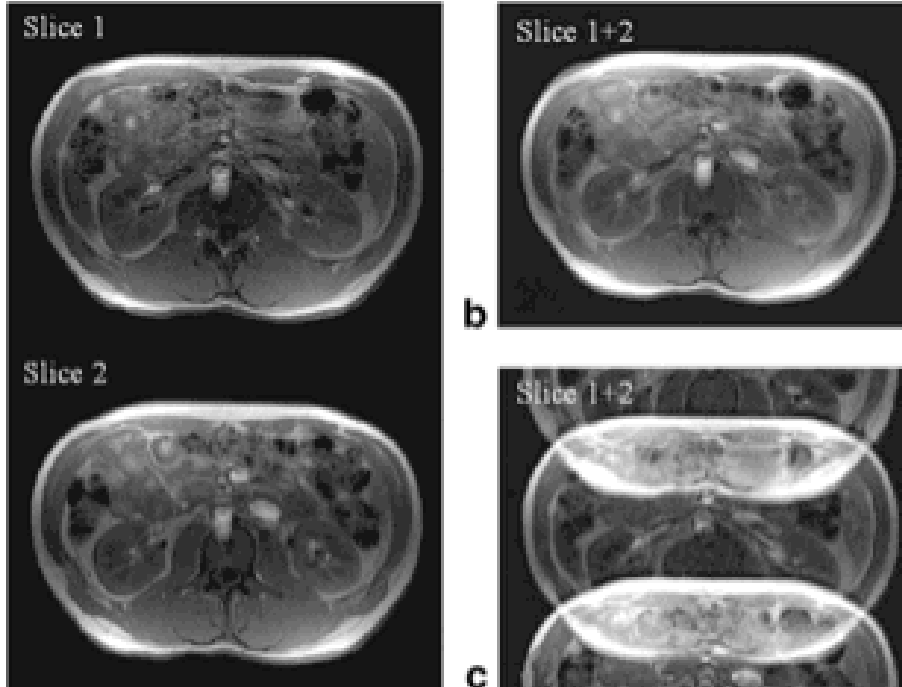


Buna da görüntü işleme sırasında görüntüleme denilebilir belki. Eğer böyle satır atlayarak alınırsa görüntü, bu hale geliyor, görüntü anlaşılabilir hale geliyor. İlginç olan şey, iki tane böyle görüntü alırsanız iki değişik sargıdan, anlaşılabilir gibi görünen görüntüleri, bunları birbirinden ayırt etmek mümkün, ayırmak mümkün. Bunu yapma işlemi de görüntü işleme.

Biraz daha ilerleyelim.

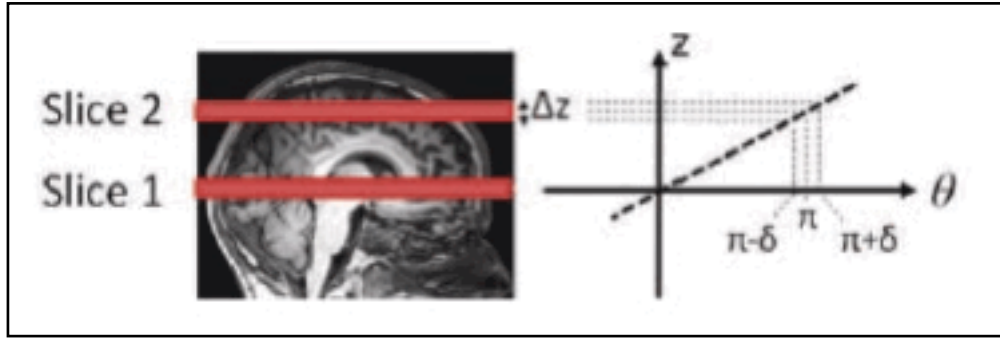


Burada da iki tane kesit görüntüsü alınıyor. Kafada gösterdim, ama bunu mesela vücutta yapmış. Böyle bir kesit, öbür kesit. Bu iki kesitte toplam var. Birbirinden ayırt etmek zor gibi gözüküyor, ama toplarken biraz kaydırıp toplarsanız filan daha iyi hale getirilebilir; ama yine de ayırt etmeniz zor gibi gözüküyor. Böyle görüntü işleme teknikleri kullanarak, bu iki görüntüyü ayırt etmişiz. Ne güzel, değil mi? İki görüntüyü aynı anda alabiliyorsunuz. Yani bu, şu demek: MR cihazı içinde on dakika kalacağınıza beş dakika kalacaksınız. Çünkü 10 dakika içinde bir görüntü alınıyor, sonra öbür görüntü alınıyor. Onun yerine, ikisini birden alıyorsunuz, yarıya iniyor. Mesela, birisi çalışmış, üç görüntü yakalamış.



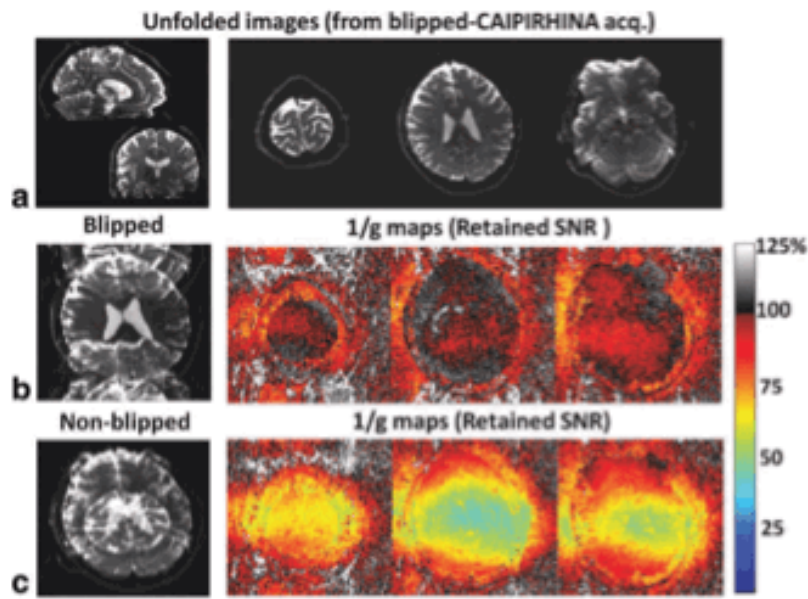
Bakınız, burada görünen üç tane görüntü. Bu görüntüler, üç tanesi üst üste gelmiş. Sonra da başarılı bir şekilde ayırt ettiğini ifade ediyor. Bunu yapabilmek için sinyal tasarımı yapmanız gerekir. Verici, birden fazla kesiti aynı anda uyarması lazım. Bunu uyuracak şey şöyle bir sinyal. Buradakiler demişler ki, “Bunu böyle yapsak da alabiliriz.” Buradaki amaçları da verilen gücü azaltmak; yani hem üç tane kesiti aynı anda seçeceksiniz, hem de daha az güçle yapacaksınız. Artık herkes bunun üzerinde çalışmaya başlıyor. Ne kadar az güçle, aynı kesitleri aynı anda uyurabilirim?

Nereden çıktı bunlar, nasıl oluyor? Dedğim gibi, bunları kısa zamanda anlatmam mümkün değil.



Burada, görüntüyle, frekansla uzay arasındaki ilişkiyi belirleyen, gradyan dediğimiz bir alan var; bu alanı şimdiye kadar hep lineer olarak yorumladık. Acaba bunu değiştirerek bunu çözebilir miyiz? İlginç bir şekilde, sinyal prosesinde... Biraz tartışma olsun diye böyle şeyler getirdim.

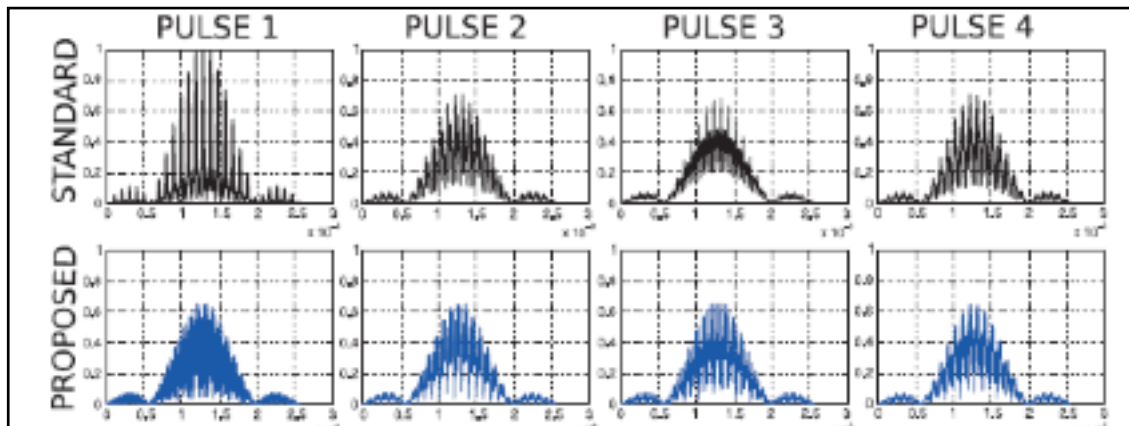
Bir başka konuya geçelim isterseniz.



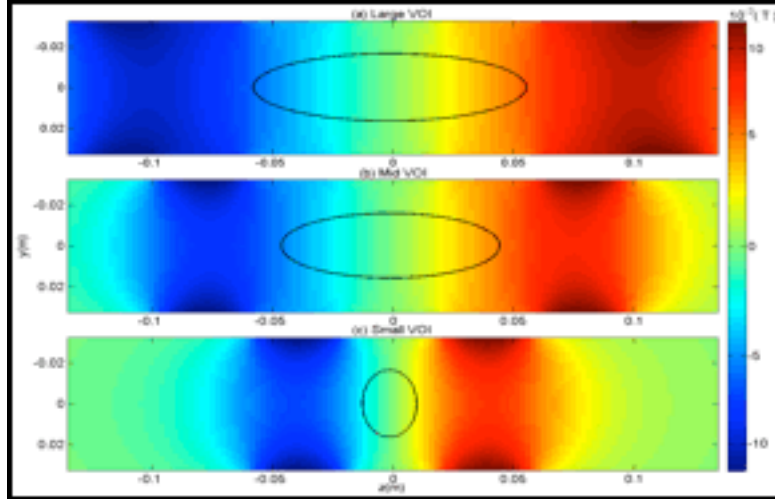
Kemikler görünmeye başlıyor. Böyle görüntüler var. Kaslar, lezyonlar görülmeye başlıyor. Böyle görüntüler çıkıyor. Tabii, bunlar bir sürü sinyal işleme yöntemi gerektiriyor. Ben bunu, alıcıyı aynı zamanda çalıştırabilirim. Eğer böyle çalıştırsam, sinyal işlemeye gerek yok, direkt bu işleri aynı anda alır bitiririm. Bunun üzerine bir çalışma yaptık. Bu, esasında bugün basılmış. Ben buraya gelirken, yayınlandığına dair haber aldım.

Bu çalışmayı da benim eski öğrencim yapıyor.

Burada, verici darbenin gücü 20 db. Bu logaritmik.



Bakınız, sinyal nerede; arada 80 db gibi çok fark var. Vericiyle alıcı o yüzden çalışmıyor, yani aralarında çok güç farkı var. Belki bilirsiniz, dağ başına çıkıp eko duymak isterseniz, bağırırsınız, sonra susarsınız. Susmazsanız, eko duyamazsınız. Sesiniz gelen sinyalden çok daha yüksektir ve kendi sesinizden dolayı duyamazsınız. Burada amaç, bağırıırken duymak. Buradaki öğrencimin yazdığı şey şu: Bir orkestra çalışıyor, aynı zamanda bir tane de yaprak yere düşüyor, yaprağın sesini duymak istiyorsunuz. Bunun için gücü düşürmeniz lazım. Bu da olacak gibi gözüküyor. Ama oturduk, bunun yöntemlerini geliştiriyoruz.



Bu mavi, ideal olanı, yapmak istediğimiz. Elde ettiğimiz kırmızı noktalar. Çok uğraşırsak, 60 db'ye filan çıkıyor. Anlatabildim mi? Burada da, 'Sinyal işlemeye hiç ihtiyacımız yok' diye başladık. Burada diyoruz ki, 'Gelen sinyali acaba sinyal işlemeye çıkartabilir miyim?' Sinyal işlemenin en üst tekniklerini kullanarak, böyle özel görüntüler elde ediliyor. Sonuçta çıkan şey sinyalin görüntüsü. Görüntüsü burada gösterdiğimiz gibi. Normalde görüntüsü çıkmaz, çünkü eko zamanı sinyal azalır; fakat bunu yapabildik, görüntüyü çıkarttık, hayvan görüntüsü çıkarttık. Hareket problemini de çözdük ve insan elinin görüntüsünü çıkarttık burada.

Sonuç olarak şunu diyorum: görüntü işleme problemleri sık sık karşınıza çıkıyor. Görüntü işleme amaç değil, araç; onu unutmayalım. Çözüm ararken diğer yöntemleri unutmamamız gerekiyor.

Teşekkür ederim.

Prof. Dr. Nizamettin Aydın- Çok teşekkür ederiz hocam.

İkinci konuşmacımız Prof. Dr. Cengizhan Öztürk, Boğaziçi Üniversitesinden.

Buyurun hocam.

Prof. Dr. Cengizhan Öztürk (Boğaziçi Üniversitesi)- Aslında sinyal ve görüntü işleme diye başladık; ama iki tane MR olunca, sanki bütün dünya MR'mış gibi olacak biraz. Ben de MR konusunda çalışan bir akademisyenim ama bir miktar daha genel bilgi vereceğim. Yani ilk giriş onun için faydalı oldu. Yanlış bir intiba yaratmayalım, 'Bütün elektrikçi arkadaşlar MR çalışıyor' gibi bir intiba yaratmamak lazım, ama ben de MR konusunda çalıştım. Ama Türkiye'de bir ağırlığımız var diyelim.

Ben, tıptan başlayıp biyomedikal mühendisliğiyle bitirerek doktora yapanlardanım. Onun için, kariyer açısından beni takip etmenizi pek tavsiye etmem; ama bu, konunun ne kadar disiplinler arası olduğunu gösteriyor. Görüntü destekli teknikler ve tıbbi görüntüleme üzerine çalıştım. Ben de Amerika'da 14 yıl bulundum. 2000 yılından beri de Boğaziçi Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliğindeyim. Oradaki Yaşam Bilimleri Merkezinin kuruculuğunu yaptım. Kısaca bilgi vereceğim. Onun da Üniversite-Sanayi İşbirliği Platformunu ve İstanbul Sağlık Endüstrisi Kümelenmesini de yaklaşık bir 4-5 senedir idare etmeye çalışıyorum.

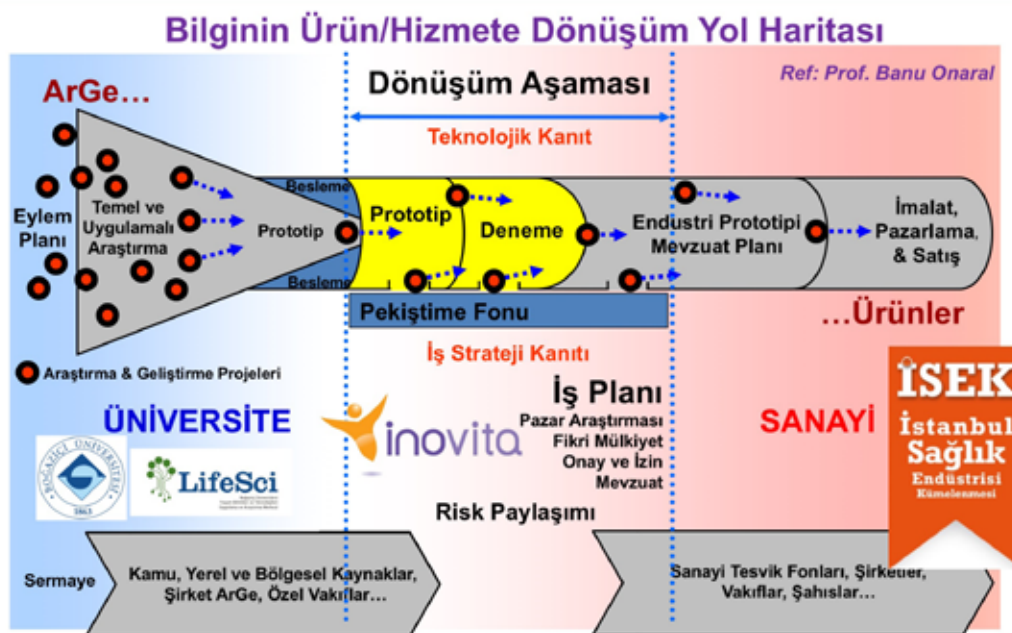
Burada ağırlıklı olarak öğrencilerin bulunduğunu tahmin ediyorum.

Öğrenci arkadaşlar ellerini kaldırıabilirler mi? Evet. O zaman, bir miktar daha reklam kısmına ağırlık vereyim.

Firmalardan gelip elektrik alanında çalışan veya biyomedikal alanında çalışan firma temsilcilerimiz var mı? Var. Teşekkür ediyorum.

Evet, bu Araştırma Merkezi, yaşam bilimleri konusunda. Dediğim gibi, üniversite-sanayi işbirliği de onun platformu. Platform, pek çok üniversitedeki ilgili konudaki insanları bir araya getiren bir platform. Ama eninde sonunda bu işi yaparken sektörü de yanınıza almanız gerekiyor. Biraz ondan bahsedeceğim. Çünkü ürettiğiniz şeyleri sağlıkta, biyomedikal alanda uygulamaya geçirmeniz lazım. Bunun için de yakın işbirliği içine çalışmanız lazım ve sonuçlarınızı da hayata geçirecek bir ortam lazım.

Elektirikte, sinyal işlemede ve bilgisayarda işler biraz karışık olabilir; ama burada 100 tane temel biyomedikal zinciri ortalıkta geliştirmelisiniz ki, eninde sonunda bir tane ürün çıkabilsin.



Araştırmalarla daha çok bu tablonun sol tarafıyla ilgileneceğiz. Sonra bir miktar daha insanların küçük firmalar kurması, teknoloji kanıtlamayla ilgili buraya doğru giden bir yol var. Yani bu konuda eğer girişimcilik tarafında olan arkadaşlar ve firma tarafında kalan arkadaşlar varsa, o konuda da Türkiye'de biyomedikal cihaz sektörüyle ilgili neler oluyor, neler bitiyor diye konuşabiliriz sunumdan sonra. Yani işin daha çok sol tarafında olan bir sunum olacak. Platform arayışını yapıyor, küme de hepsini kaplıyor.



Yaşam bilimleri çok geniş bir alan. İçinde biyomedikal var bana göre. Bu kapsamda, Boğaziçi Üniversitesinde kapsamlı bir grubumuz var, içinde biyomedikal, ilaç ve biyoteknoloji alanlarını kapsayan bir grup... Bu konuda bir temiz odamız var, test analiz laboratuvarımız var, hayvan merkezimiz var. 60'ın üzerinde akademisyen bize destek veriyor.

Bu, tıbbi cihaz geliştirilmesine yönelik, içinde plastik metal üzerine belirli çift işlemi koyabildiğimiz sistemler. Küçük de bir metal plastik fabrikamız var. Kateterler, stentler filan gibi işlemler yapmaya başladık. Klinik kalitede prototipleme yapıyoruz. Bunları Biyomedikal Mühendisliği Enstitüsü bünyesinde yapıyoruz. Biraz bu konuda bilgi vereyim. Bizim Boğaziçi'nin güzel kampüsleri olan Hisarüstü'nde

değil, karşı tarafında hemen; ama fena değildir. 13 tane öğretim üyemiz var. 25 seneyi geçen bir geçmişi var. 140'tan fazla öğrencisi var, 50'den fazlası da doktora öğrencisi. Bunların yarısının asker kaçağı olacağını düşünsek bile, geri kalan yarısı oldukça önemli bir yüzde oluyor. Bize disiplinler arası insanlar gelir, yüzde 30'u da biyolojik bilimlerden. Gerisi mühendislikten, fizik ve temel bilimlerden gelir. Ar-Ge altyapımız geliyor, yurtdışı fonlarımız iyi.

Biyomedikalden bahsedildi. Biz biraz daha uygulamacı taraftayız; yani uygulama ve ana sağlık biyomedikal konularına çözüm yapmak, burada kaliteyi artırmak, cihazlar, sistemler ve teknolojiler geliştirmek ve tabii ki araştırma yapmak. Elektrik mühendisliğinden gelen arkadaşlar var, bir de diğer mühendisliklerden gelen arkadaşlar olduğunu varsayıyoruz.

Biyomekanikten gelen arkadaşlar, makine mühendisleri burada sonlu elemanlar analiziyle genelde kaslar üzerine çalışıyorlar. Elektrik mühendisliğindeki arkadaşlar burada bir miktar zor yer bulur kendilerine; ama sinyal işlemedir, olabilir, makine sinyalidir, kasların kasılması üzerinedir. Hareket analizi üzerine çalışan bir laboratuvarımız var; buradaki sinyallerin alınması, vücut içindeki hareketin detaylı analizlendirilmesi buna uygun robotik cihazların geliştirilmesi için. Elektrik mühendisi arkadaşlarımız burada optik sinyalleri elektrik sinyalleriyle birlikte işleyerek, dokuların içinde uygun güçte optik enerjinin verilmesi ve bunun etkilerini inceliyorlar.

Hücrel görüntüleme ve elektrofizyolojik laboratuvarımızda, tek bir hücreden hücrenin elektriksel ölçümünü yapıyoruz; yani hücre içine küçük bir elektrot koyarak, oradaki elektriksel aktivitenin, küçük kanallarda sodyum, potasyum geçerken olan elektrik akımlarını direkt olarak ölçebiliyoruz. Bu daha çok temel araştırma üzerine bir çalışma.

Titreme, dokunma analizleri üzerine çalışan bir de psikofizik laboratuvarımız var. Burada da elektrik mühendisi arkadaşlar yer alabiliyor; çünkü buradaki sinyallerin detaylı incelenmesi, insan ve hayvanlarda yapılması ve insan arayüzü gibi uygulamalara sahip robotlar gibi uygulamalar konusunda çalışan arkadaşımız var. Elektrikteki arkadaşların, mekanik ve mekatronik arkadaşlarla birlikte cerrahi robot uygulamaları var.

Tabii, tamamen sinyal işleme, beyin elektrik sinyalleri üzerine işlev gören bir laboratuvarımız da var. Nasıl kalbin elektrosu varsa, beynimizin de elektrik sinyalleri var. Bunların detaylı analiziyle, uykuda, epilepside, bu sinyaller nereden geliyor, nasıl hastalıkları var, bunların tamamen işlenmesi sinyal işleme üzerine geliyor.

Tıbbi görüntüleme olarak ayrıca bir laboratuvarımız var. Ben bunu son 15 senedir koordine ediyorum. Ben MR tarafından geldiğim için, burada daha çok MR'da sinyal işleme ve uygulamalarına doğru gittim. Bir miktar daha girişimsel dediğimiz, yani görüntü destekli bir teşhis yapabilirsiniz, erken teşhis veya tedavinin takibini görüntüde kullanabilirsiniz, tıbbi görüntü analizinde veya görüntü destekli olarak bir tedavi uygulayabilirsiniz. Diyelim ki, bir x-ray görüntüsü altında, gidip tıkalı bir damarı açabilirsiniz. Burada hem görüntü var, ama teşhisin yanında bir tedavi de var. Yani görüntüleme, biyomedikal alanda, tıbbi alanda pek çok yerde kullanılıyor. Bu alanda tabii, daha çok girişimsel ve tedavi edici görüntülemede x-ray kullanıldığı için, önceki çalışmalarım daha çok MR'dı; ama Türkiye'ye geldikten sonra, hem MR'da, hem x-ray'de bu konuda çalışmalar yaptım. Görüntü işleme konusunda, hem nöro görüntülemede, hem kardiyal görüntülemede çalışmalar yaptık.

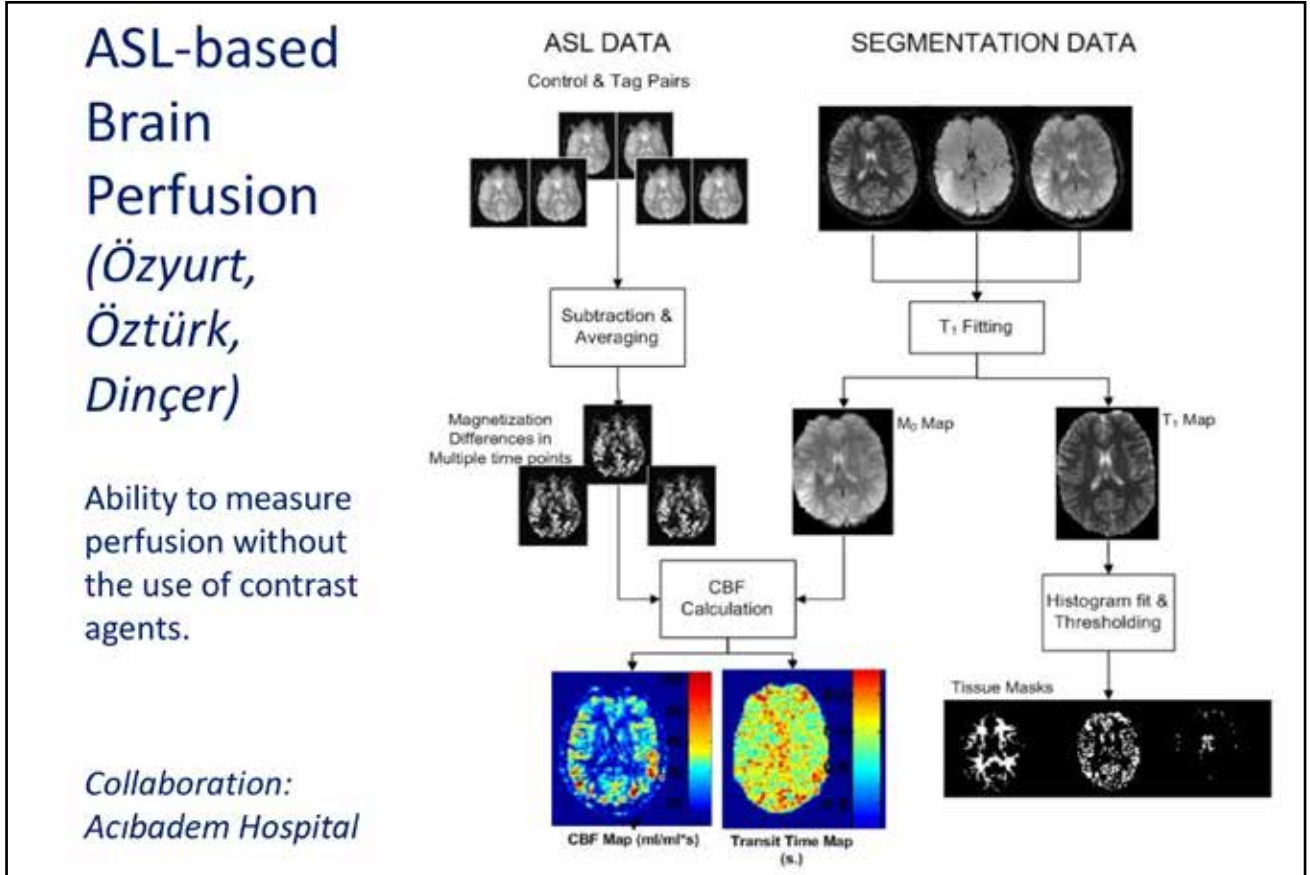
İmgelerin birbirleriyle birleştirilmesi, üç boyutlu ve dört boyutlu görüntüleme elde edilmesi, imge destekli gelişimler temel çalışma konumuz. Daha çok kardiyoloji; fakat kalp, beyin ve kanser konularında, girişimsel dediğimiz radyoloji konusunda çalışmalar yaptık.

Genelde mastır ve doktora seviyesinde eğitim veriyoruz, lisans seviyesinde değil. Bizde de aşağı yukarı 15, bazen de sayısı artarak 20 tane yüksek lisans veya doktora öğrencimiz oluyor. Şu anda da normal TÜBİTAK yurtiçi ve yurtdışı fonlarından destek alıyoruz.

Biyomedikal alanda genel trend, mümkün oldukça insanların içine girmeden, uzaktan görüntüleme yoluyla teşhis etmek ve açık ameliyat olmadan da tedavi etmek; ya stereotaksik olarak, ya kateterler kullanarak, insanları gününbirlik ameliyatlara, hemen sabah ameliyat edip ertesi gün veya akşama

çıkarmak. Normalde, açık ameliyatların devri geçiyor. Bunları da yapabilmek için, öncesinde detaylı görüntüler alıp, planlayıp, o gün bunları çıkartıp, hangi noktaya gitmek istediğinizden emin olup, oraya gidecek özel, minyatürize cihazlar geliştirip onları yapmak üzerine gideceğiz. Tabii, bunlar bir miktar pahalı sistemler olacak. Bizim için daha kolay olacak; ama bunu biz kendimiz yapabilirsek Türkiye'de, bu konuda katkı sağlayabilirsek, en azından bunu da ithal etmemiş olacağız. Onun için, işin gidişatına göre, pek çok konuda mühendisler ve özellikle elektrik mühendislerine iş düşüyor.

Burada x-ray görüntüleme ve tıbbi cihazlar konusunda çalışıyoruz.



“Arkadaşların çalışmaları ne sağladı?” diye kısa kısa başlıklar vereceğim. Zamana sığsın diye, değişik öğrencilerden seçerek yaptım.

Normalde, bu beyin görüntülerinin içinden bir damar yolu açarlar ve 'beyninizin neresine, ne kadar kan gidiyor' diye ölçmek için bir ilaç verirler. Çünkü bu ilaç indiği zaman beyindeki görüntü değişir ve nereye kan gidiyor diye ölçüm yapılır orada. Eğer damarlar tıkanmışsa, beyinde o noktaya kan az gidiyorsa, oraya acilen işlem yapmak gerekir.

Aşağıda, özel bir sekanslama ve analiz tekniğiyle MR’da alınmış görüntüler var. Herhangi bir ilaç vermeden, sadece biraz önce Ergin (Prof. Dr. Atalar) hocamızın da bahsettiği gibi, özel bir sinyal göndererek, görüntünün içindeki sıvıya, karakteristiğini değiştiriyorsunuz, kanın kendisi kontrast madde oluyor ve oraya ne kadar kan gittiğini ölçebiliyorsunuz. Ne yaptınız? Bir ilaç vermeden, insanın beynine ne kadar kan gidiyor, onu ölçebildiniz.

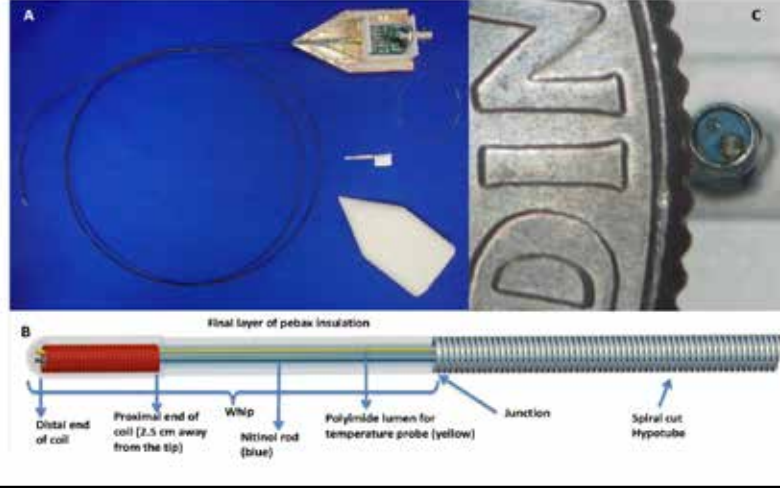
Kaslarda detaylı incelemeler yapmaya çalışıyoruz. Bu kasların kasılması ne şekilde, birbirleriyle nasıl etkileşiyorlar, farklı hastalıklarda bu kaslar nasıl gelişiyor, bunun için de yine şu ana kadar pek kullanılmamış olan MR tekniklerini kullanmaya çalışıyoruz.

Sadece görüntüleme değil, biraz değişiklik olsun diye bunu da buraya koydum.

Aynı zamanda bu işin cihazının da geliştirilmesi konusunda yapılacak çok iş var Türkiye’de. Tabii, bu konuda büyük firmalar var, ama işin tamamı elektrik mühendisliğine dayanıyor. Bu tür fizik temeli de olması lazım tabii.

Clinical grade MRI compatible single channel active guidewire design

- A loopless antenna based guidewire is manufactured in Class 7 cleanroom from biocompatible materials
- Tip signal is improved by solenoid coil attachment to the inner rod of the guidewire at the tip
- Guidewire incorporates a polyimide lumen for fiber optic temperature probe insertion



Yukarıda gördüğünüz küçük bir para. Tabii, tam gözüküyor; ama onun içinde yaklaşık 1 mm civarında bir kateter, kateterin üzerinde özel sarılmış sargılar ve sistemler var. Bu tür sistemler de biraz önce bahsettiğim, vücudun içine giren ve kendini gösteren, görüntü destekli tedavilerde uygulanabilecek özel kateterler ve teller. Bunların geliştirilmesi, buradan gelen sinyallerin de işlenmesi yine sinyal işlemeye giriyor tabii.

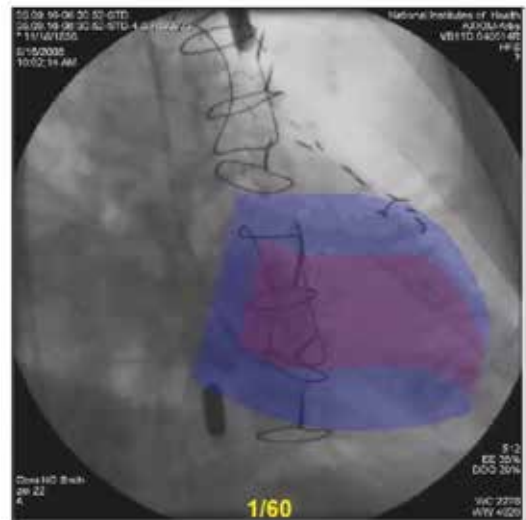
Bazen bir görüntüden aldığınız bilgi yeterli olmuyor. Neden? Çünkü her görüntünün kendine göre avantajlı ve dezavantajlı olduğu durumu var. Mesela MR, bazı durumlarda bir miktar yavaş. Bazen bir o dakika ses gelir, sonra bir görüntü elde edersiniz. Biraz sonra bahsedeceğim gibi, bunu daha hızlı alma yönünde teknikler de var.



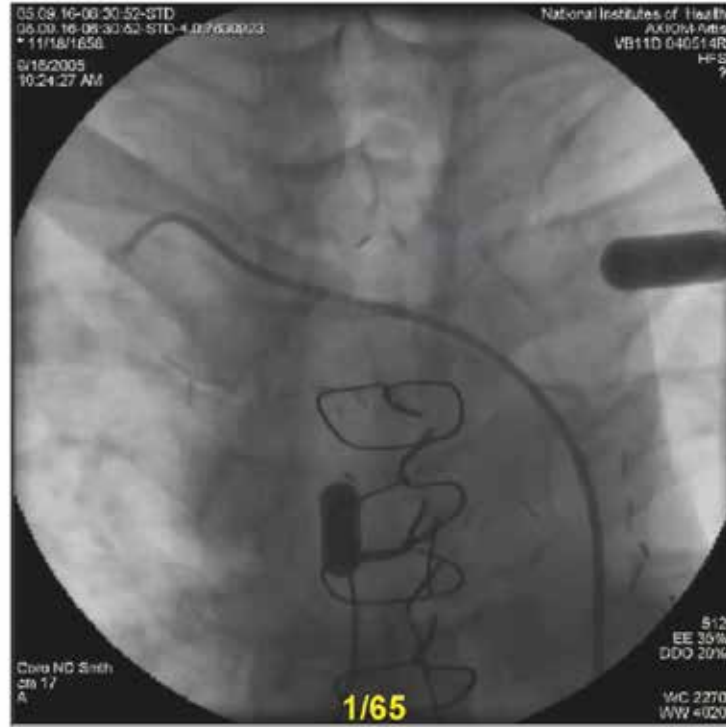
Burada mesela, gerçek zamanlı olarak x-ray'den aldığımız görüntüleri -şu gördüğünüz kaburgalar, bu kalbe giden bir kateter- belirli bir MR'dan daha önce aldığımız görüntülerin üstüne çakıştırarak, MR'da ölü bir noktaya bir ilacı vermek üzere yapılan bir çalışma. Yani x-ray'de gidiyoruz, ama MR'dan aldığımız görüntüleri de onun üzerine çakıştırıyoruz.

Burada bir kalp ve bir kateter görünüyor. Bu, aynı zamanda hızlı

görüntü alma sistemlerine denk geliyor. Buradaki özel bir kateter. Kendi sinyali renkli olarak gösterilmiş. Burada mesela, bir taraftan bir tarafa geçiyorsunuz, yani kateteri mevcut bulunduğu alandan başka bir alana doğru delerek geçiyorsunuz; çünkü görebiliyorsunuz bütün alanı. Anjiyoda bu durum söz konusu değildi; sadece kateteri görecektiniz veya ilaç verdiğiniz alanda etrafınızı görebilecektiniz. Yani görüntüleri gerçek zamanlı aldığınız zaman, özel cihazlar da tasarladığınız zaman,



vücut içine uzaktan müdahalelerle çok lokalize tedaviler uygulamanız mümkün. Bu da mesela kansere yönelik bir ilaç olabilir veya bir elektriksel aktiviteyle aritmiyi yok etmek olabilir veya belirli bir alanda tıkalı bir damarı açmak olabilir. Yani bu tür karmaşık girişimleri yapmanız için, hem görüntüyü analiz etmeniz gerekiyor; hem de gerçek zamanlı, bütün sistemi bir araya getirecek bir çözüm, yazılım geliştirmeniz gerekiyor.



Mesela bu, aynı anda üç kesiti alabilen bir çekim; yani hem kısa kesit, hem uzun kesit alınmış. Gördüğünüz gibi, gerçek zamanlı alınırken, her yönden kalbe bakabiliyorsunuz. Kateterler artık daha da gelişti. Bu 5-6 sene önceki bir çekim. Gördüğünüz gibi, kateterin tam profilini alamıyorsunuz, ama nerede olduğunu aşağı yukarı görüyorsunuz. Belirli bir noktaya ilacı vereceksiniz. -Ya bir ilaç olabilir ya da kök hücre olabilir- Oraya ne kadar verdiğinizi gözünüzle göreceksiniz ve bakabileceksiniz. Yani açık cerrahi yerine, tedavi artık bu yönlerde doğru gidiyor. Bu konuda da yaptığımız çalışmalar ilerliyor.

Bir miktar daha kapsamlı bir uygulamaydı. Dikkat ederseniz, ucuna kocaman bir boru giriyor; yani vücudu delmişiz burada, kalbe kadar girmişiz, soktuğumuz borunun içinden bir kapakçıkla aort kapakçığını tedavi edebiliyoruz. Burada da diğerindeki gibi tam olarak ne yaptığımızı görebiliyoruz, yumuşak dokuyu görebiliyoruz. Mesela, kas geliştirme bunun içinde var, öbür taraftan aldığınız sinyali ve diğer şeyleri üzerine çakıştırıyoruz ve bu tür işler yapıyoruz.

Benim kısaca sizlere sunmak istediğim şey şu: Genel olarak sağlık alanında, biyomedikal cihazlar alanında ülkemizin yapması gereken çok iş var. Bu alanda da biyomedikal mühendisliği ve genel anlamıyla yaşam bilimleri konusunda mühendislere ve elektrik mühendislerine çok değişik alanlarda iş düşüyor.

Ben burada bir miktar daha görüntü işleme, imge çakıştırma, gerçek zamanlı görüntüyü gösterme ve tedavi ederken belirli sistemler geliştirme ve buna özgü kateterler, cihazlar tasarlama konusunda bazı örnekler verdim. Değişik yerlerden alınan görüntülerin birbirleri üzerine çakıştırıldığı; böylece, biraz önce bahsedilen sinyaldeki ve görüntüdeki bilginin, pek çok kanaldan gelen bilginin derlendiği, daha kapsamlı bir şekilde klinisyene, girişimsel radyologa, kardiologa sunulduğu özel bazı çalışmalardan bahsettim.

Şöyle bitirmek lazım: Sağlık alanında, görüntü ve sinyal pek çok alanda kullanılıyor. Oradaki sistemleri geliştirmek mühendislerin ve tabii ki her işi yapan elektrik mühendislerinin işi. Onun için de bu konuda hem yüksek lisans ve doktora yapmak isteyen arkadaşlar, hem de bu konuda belki

ileride girişimci olarak, en azından bir şirket kurarak kendini kurtarmayı veya Türkiye'nin bu alandaki cari açığına katkı yapıp burada bir şeyler üretmek isteyen arkadaşlar bu yönde de bir kariyer düşünebilirler. Kolay değil, ama her zaman keyifli olacağını düşünüyorum.

Teşekkür ederim.

Prof. Dr. Nizamettin Aydın- Cengizhan hocama çok teşekkür ediyorum.

O anlatırken, aklıma şu geldi; biliyorsunuz, normalde '5 duyu organı vardır' denir, onun ötesindekiler altıncı his diye ifade edilirler. Soyut bir kavramdır aslında. Bütün bu işaret işleme, görüntü işleme sistemleri ve onunla ilgili bütün matematiksel ve algoritmik yapılar bu soyut olan altıncı hissi somut bir hale getirmenin bir yolu. Bütün bu görüntü işleme, işaret işleme sistemleri bunu yapıyor.

Bu bağlamda, Prof. Dr. Aydın Akan hocamı davet ediyorum.

Aydın Akan hocam İstanbul Üniversitesinden; ancak, duyduğuma göre İzmir'e gitmişsiniz bir süre için.

Buyurun hocam.

Prof. Dr. Aydın Akan (İstanbul Üniversitesi)- Çok teşekkür ederim hocam.

Ben çok uzun zamandır İstanbul Üniversitesindeyim. 1996'da Pittsburgh Üniversitesinde elektrik mühendisliği doktoramı tamamlayıp döndüğüm andan itibaren İstanbul Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde sinyal işleme alanında çalışmalar yapıyorum. Ancak bir yıl süreyle İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümündeyim.

İşaret işleme konusunda çalışmalar yapan bir araştırmacı olarak, biyomedikal sinyal ve görüntü işleme öğrencilerimizle yaptığımız çalışmalardan bahsetmeye çalışacağım kısaca. Dün sabahki panelimizde, tıp bilimcileriyle biyomedikalciilerin birlikte çalışmaları panelinde farklı bir deneyimimi paylaştım. İstanbul Üniversitesi Hastanelerindeki Biyomedikal ve Klinik Mühendisliği Merkezimizin faaliyetleri, sağlık kuruluşundaki biyomedikalciilerin hizmetleri ve görevleriyle ilgili bir konuşma yapmıştım. Şimdi yine İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü altında, aynı Boğaziçi Üniversitesinde olduğu gibi bizde de uzun senelerdir lisans üstü eğitim, biyomedikal yüksek lisans ve doktora programı var. Dolayısıyla çalışmalarımızı bu programdaki yüksek lisans ve doktora öğrencilerimizle yapıyoruz.

Bu faaliyetlerde, İstanbul Üniversitesi hastaneleri biyomedikal bölümündeki görevimizden dolayı, oradaki cihazlarla ilgili klinik mühendisliği anlamındaki çalışmalardan etkileşimler oldu. Dolayısıyla o da faaliyetlerin bir kısmını etkiledi. Diğer taraftan, yakın zamanda Biyomedikal Mühendisliği Uygulama ve Araştırma Merkezimizi kurduk, İstanbul Üniversitesinde. Bunun yanında, Yaşam Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi var. Tamer Demiralp hocamızın çalıştığı MR görüntüleme çalışmalarını bazı öğrencilerimizle birlikte tez yaptırıyoruz, çalışıyoruz. Dolayısıyla benim burada başlıklarını vereceğim, kısa kısa değineceğim şeyler bu değişik alt kümeler içindeki öğrencilerimizin tez çalışmaları olacak.

Bir sinyal işlemeci olarak bulduğumuz yerdeki problemlere saldırıyoruz tabii ki. Biyomedikal sinyallerde parametre kestirmek, değişik biyolojik sistemlerin modellemesi için sinyal işleme tekniklerini kullanmak, yapmaya çalıştığım işlerden bazıları. 2015 yılında doktorasını tamamlayan bir öğrencimle EEG sinyal işleme çalıştık. Dolayısıyla EEG sinyallerinin hekimler tarafından daha iyi yorumlanabilmesi, okunabilmesi amacıyla gürültü temizleme üzerinde çalıştık. Tabii, epilepsi hastalarında atak olma durumunda, EEG sinyalinden birtakım işaretler bulup, öznitelikler bulup sınıflandırma yapabilmek amacıyla işaret işleme tekniklerine başvurduk; ama tezin önemli bir bölümü aslında EEG sinyallerinden duysal durum kestirimi konusundaydı. Bunun için, son yıllarda popüler olan Görgül Kip Ayırışımı yöntemini EEG sinyallerine uygulamış olduk.

Diğer bir çalışma Ahmet Mert'in doktora teziydi. Bir sonraki doktora tezinde İsa hocayla birlikte

çalıştık. Burada da aslında tomosentez mamografik görüntüleme, yani az sayıda kesitle yüksek çözünürlüklü bir geri çatım yapmak için yine sinyal işleme tekniklerine başvurduk. Seyreklik, toplam değişinti veya yerel olmayan gibi sinyal işleme tekniklerini uygulayarak, odak dışı bulanıklığı giderebilmeye çalıştık.

Başka bir öğrencimizle, bilgisayarlı tomografi görüntülerinde nodül tespit etmeye çalıştık. Tabii, verileri, İstanbul Üniversitesi veya başka hastanelerdeki hekimlerle birlikte çalıştık. Mesela, bu çalışmayı Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Radyoloji Anabilim Dalından öğretim üyeleriyle birlikte yaptık, hastalardan diğer bulgularla birlikte alınan bilgisayarlı tomografi görüntülerinde, radyologun görsel olarak koyduğu tanıyla birlikte. Biyomedikal mühendisleri olarak -sanıyorum, bugün başka bir panelde dikkat çekilmişti- hiçbir zaman yaptığımız işin hekimlik olmadığını; yani sinyal işlemeciler olarak, 'Teşhis ve tedavi için kullanılacak bir yöntem bulduk' dememeye çalışmak lazım. Hekimlere destek olacak sistemler geliştirmeye çalışıyoruz. Akciğer kanseri oluşumları oldukça büyük bir sağlık tehlikesi. Bilgisayarlı tomografi görüntülerinde, çok küçük çapta nodüllerin erken teşhisi ve yapabiliyorsak, iyi ya da kötü huylu tanısı koyabilme konusunda uygun sinyal işleme, görüntü işleme teknikleriyle görüntüden, bazen gözün de fark edemeyeceği öznelilikleri çıkararak, bunları çeşitli yöntemlerle otomatik sınıflandırma yapabilmek için yöntemler geliştirdik.

İstanbul Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalından yine (Prof. Dr.) Tamer Demiralp hocayla çalıştık. Anestezi altında hastanın uyku-uyanıklık durumunun tespiti üzerine uğraştık; yani anestezi derinliğini tespit etmeye çalıştık. O açıdan da çok kanallı EEG sinyallerinin yeterli olmadığı yerde geliştirmeye çalışarak, sinyal işleme tekniklerini uyarlayarak, hastanın bağlantısallık değişimini anestezi altında tespit etmeye çalıştık Koray Gürkan'ın doktora tezinde.

Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Göğüs Hastalıklarında, oldukça ilerlemiş durumda KOAH hastalarından ventilasyon altında solunum sinyalleri kaydederek (solunum parametrelerini mümkün olduğu kadar çok irite ve ağır bir şey yapılamayacak durumda olan hastalardan aldık. Zaten sağlıklı bireylerde bile birtakım akciğer parametrelerinin tespit edilmesi çok girişimsel bazı testler gerektiriyor. O hastalarda), sadece ventilasyon altında basınç akış sinyallerini kaydederek, buradan sinyal işleme teknikleri kullanarak, solunum sisteminin modern parametrelerini kestirmeye çalıştık. Oldukça klasik filtre modellerini -basit solunum sistemi modelleri varmış, zaten üzerinde daha önce çalışılmış- o modellere oturtup, model parametrelerini kestirmeye çalıştık.

Yine bu arkadaşlar o çalışmalarına bulundukları kurumlarda şu andaki kendi öğrencileriyle devam etmekte.

Yine yakın zamanda okulu bitiren bir öğrencim (Koray Gürkan) ile sinyal işleme tarafı çok olmayan bir projede, ultrasonik sensör tasarladık. Amaç, görme engelliler için hedef uyarı, engel uyarı sistemi, başa takılan bir kaskete monte edilen bir sensörle, uygun geometride bir sensörle, menzili yeterli olan, düşük güçlü böyle bir sensör tasarladı Koray.

Şu anda devam eden bir biyomalzeme çalışması yapmaktayız. Orada da mekanik özellikleri iyileştirilmiş biyoseramik sentezlemeye çalışıyoruz. Zirkonyum katkılı, gerçek sığır kemiklerinden çıkarılan, onların mekanik ve elektriksel özelliklerini tespit etmeye çalışıyor. Bu, sonuna yaklaştığımız bir doktora tezi.

Devam eden başka bir doktora tezi de, yine İstanbul Fizyoloji Anabilim Dalında (Prof. Dr.) Tamer Demiralp hocamla, görsel uyaranlar altında mental iş yükünü ve duyu durumunu kestirmeye çalışıyoruz. Bora, eğer yaza getirebilirsek devam edecek ve tamamlayacak.

Diğer bir öğrencim kardiyo gözlem sistemi yapmak istiyor. Hepinizin duyduğu, bildiği, evde hasta takip sistemleri çok yoğun, popüler. Annesi kalp hastası. Oradan kendisinin esinlenip gerçekleştirmek istediği bir şey. Ama zaten çeşitli projeler var bu konuda. Biz de sensörler tasarlayıp, hafif çeşitli fizyolojik parametrelerin takip edilmesi için böyle bir çalışma yapacağız.

Cengizhan (Prof. Dr. Öztürk) hocamın dediği gibi, insan sağlığına ve refahına doğrudan veya çok küçücük de olsa katkı yapabilecek olan bu çalışmalarda, biyomedikal mühendisliği mezunları, elektrik

elektronik, elektronik haberleşme, bilgisayar mühendisliği mezunları veya temel bilimlerde, biyoloji bölümü mezunu öğrencilerimle çok güzel tezler yaptım. Yani Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı gerçekten disiplinler arası çalışmaları gerçekten hayata geçirebildiğimiz çalışmalar. Dolayısıyla bütün meraklıları bekliyoruz.

Çok teşekkür ediyorum.

Prof. Dr. Nizamettin Aydın- Çok teşekkür ederiz.

Son konuşmacımız İstanbul Teknik Üniversitesinden Doç. Dr. İsa Yıldırım'ı sunumunu yapmak üzere davet ediyorum.

Buyurun.

Doç. Dr. İsa Yıldırım (İTÜ)- Merhabalar. Hepiniz hoş geldiniz.

Adet olduğu üzere, kısaca kendimi tanıtacağım.

2002 yılında, İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünden mezun oldum. O dönemde eskiden farklı olarak, bir alanda uzmanlaşma yerine birçok alandan seçmeli derslerinizi oluşturabiliyordunuz. Ben de farklı yerlerden dersler almıştım; radar aldım, biyomedikal dersleri aldım. Bu, benim biyomedikal mühendisliği alanına belki ilk girişim oldu.

Daha sonrasında, yüksek lisans için yine İTÜ'de kaldım, devam ettim. Yalnız, biraz farklı bir konuya, alana devam ettim. Orada bulunan yer uydu istasyonunda, uzaktan algılama görüntülerinin sınıflandırılması üzerine bir yüksek lisans çalışması yaptım; ama devam etmek istemediğimi anlamam çok sürmedi. Sonrasında doktoram için Amerika'nın yolunu tuttum ve Illinois Üniversitesinde 2004-2009 yılları arasında doktora için bulundum. Oraya gitmeden temas kurduğumuz bir hocanın projesinde başlama arifesinde, baktım, konu tamamen askeri. Her ne kadar prestijli bir proje olsa da, nedense, ikna edemedim kendimi ve biyomedikal alanındaki projeleri takip etmeye başladım. Biraz da yolumu kendim çizdim. O şansım da vardı, biraz şanslıyım. YÖK, o dönemde burslu doktora öğrencisi gönderiyordu yurtdışına; onlardan biriydim ve bu şansım sayesinde belki ya da özgürlüğüm, farklı projeleri takip etmeye başlayıp bir tanesiyle başladım. Bu, sonrasında hiç devam etmediğim, kısıtlı devam ettiğim kalp ve akciğer seslerinin analiziyle ilgili bir projeydi, Kanada'dan bir grupla ortaklı olan. Ancak, gözden uzaklık başka sıkıntılar da getirdi ve devam ettiremedim. Sonrasında, kendi Üniversitemizin Optomoloji Bölümünde, olabildiğince en az girişimsel olacak şekilde, geleneksel elektrotları kullanarak ve düşük çözünürlüklü görüntüleme yerine optik bir görüntüleme sistemiyle retina damarlarının oksijenlenmesini kestirmek üzerine bir proje grubuna dahil oldum ve doktora tezimi bunun üzerine yaptım. Bunun öneminden şimdi bahsetmeyeceğim, çünkü konumuzun ana motivasyonu bu değil. Ana motivasyonun ne olduğu konusunda çok da emin olarak da gelmedim; çünkü genel izleyici kitlemiz hakkında da en ufak bir fikrimiz yoktu, belki bir kestirimimiz vardı.

Doktoram bitip 2009'da İTÜ'ye döndüğüm zaman, bu konu üzerine doktora tezimi çalışmaya, doktoramda birlikte çalıştığım hocalarla ortaklığa devam ettim; ancak, bunun yanında, farklı neler var, neler olup bitiyor, bunlara da gözümü, kulağımı kapatmadım. Meme görüntüleme üzerine çok yeni ve hızla yükselen bir çalışmanın farkına vardım. Bu, birazdan bahsedeceğim memenin 3 boyutlu görüntülenmesine olanak tanıyan, geleneksel mamografinin, 2 boyutlu görüntülemenin yerini alma potansiyeli taşıyan ve yavaş yavaş da almaya başlayan meme tomosentezi görüntüleme üzerine çalışmalarımı devam ettirdim. Malumunuz, meme kanseri dünyada kadınlar arasında en sık görülen kanser ve bunun erken teşhisi, tedavinin verimliliği, maliyetini düşürme, başarı oranı ve yaşam süresini uzatmak için önemli. Bu bakımdan, bu alandaki çalışmalarda yeterli motivasyon sağlanmıştı o dönemde. Bu çalışmalarım devam etmekte.

Son 1.5 yıldır belki, İTÜ Makine Mühendisliğinden bir grupla, hocayla, akıllı nano parçacıkları kullanarak, kanser teşhis ve tedavisi üzerine TÜBİTAK destekli bir çalışmamız devam ediyor; ama henüz buradan sonuçlar sunacak durumda değilim, en azından bu sunum için.

Yine bir başka ortaklığımız, MR görüntüleme üzerine. Yalnız, teknik verinin geliştirilmesi üzerine

ya da donanımsal bir çalışma değil; sadece beyin MR görüntülerini kullanım üzerine. Bu, beni en az heyecanlandıran ve muhtemelen de çok uzun soluklu olmayacak bir çalışma. Elbette beyin kanserinin teşhisi çok önemli, zira 40'lı yaşlara kadar galiba bütün kanserler arasında en çok ölüme neden olan kanser türü bu. İlerleyen yaşlarda başka rahatsızlıklarla birlikte diğer kanserler öne çıkıyor belki. Yalnız, 70'li yaşlarda kanserden bir hastayı kaybetmek yine üzücü elbette; ama 10'lu, 20'li, 30'lu yaşlarda kanserden kaybetmek çok daha üzücü, yıkıcı.

Son bir yıldır da elbette İTÜ'de kalıyorum; yalnız, Abdullah Gül Üniversitesinde biyomühendislik kurulma çalışmalarına yardım ve destek anlamında orada bulunuyorum. Bir müddet daha orada devam edeceğim.

İTÜ'deki hocalarım genelde hep kurumlarından bahsettiler. Benim öyle çok güzel bir hikâyem yok İTÜ'deki biyomühendislik için. Hocalarım bilirler; yani İTÜ'nün potansiyeline, tarihine vesairesine çok ters orantılı bir biyomedikal kurumsal yapı ya da eğitim sistemi, araştırma yapısı var. Dedikodu yapmayayım, ama bizim güzel bir hikâyemiz yok; yani daha çok dram ya da hatta trajedi de diyebiliriz.

Yavaş yavaş sunumuma geçeyim.

X Işını Görüntüleme ve Tarihçesi: Bunu seçmemin iki nedeni var; bir, benim bu konu üzerine çalışmalarım; bir de x ışını görüntülemenin hiç eskimeyen, modası geçmeyen ve geçmeyecek olan bir görüntüleme modelitesi olması. Daha sonra meme görüntüleme tarihçesinden kısaca söz edip, son yıllardaki çalışmaların önemli bir kısmını oluşturan 3 boyutlu meme görüntüleme sisteminin meme tomosentezinden devamla yürütülen çalışmalardan bahsedeceğim. Zaman kalırsa da, medikal görüntülemede beklenen gelişmeler üzerine bir şeyler söylemek istiyorum.

Medikal görüntüleme yöntemleri deyince, bunları sınıflandırırken bir tane sınıflandırma yolu yok. Sizin hangi kriteri aldığınız, medikal görüntüleme yöntemlerinde farklı sınıflara, bazı kriterlerde aynı gruptayken, başka bir kritere göre farklı gruplara düşürebilir. Örneğin, kaynağınızın türünden tutun da, kaynağın içeride ya da dışarıda olmasına ya da kullandığınız kaynağın iyonlaştırıcı etkisinin olup olmamasına göre devam edebilir bu. Örneğin bir tanesi de, görüntülemenin anatomik mi olduğu.

Birazdan anlatacağım x ışını görüntüleme yönteminin size her iki imkânı farklı modeliteler ya da yaklaşımlar aracılığıyla sunabildiğini göreceğiz.

X ışını görüntüleme ismi nereden geliyor, niçin x? Tabii, görüntülemenin tarihi çok eskilere, 19. yüzyıla kadar, 1800'li yılların sonuna kadar uzanıyor. Bu alandaki en önemli tarihe gelmeden önce, onun hemen arkasından, 1800'lü yılların hemen sonuna, son beş yılına denk gelen sonuçlardan, çalışmalardan kısaca bahsetmek istiyorum. Bir tanesi, Fransız fizik öğretmeni Henri Becquerel'in 1896 yılında radyoaktiviteyi keşfetmesiyle başlıyor. Hemen bunu takip eden iki yıl sonra da, çok meşhur karı-koca Pierre ve Marie Curie'nin iki radyoaktif elementi, polonyum ve radyumu bulması. Polonyum ismi Polonya'da bulunmasından değil; Marie'nin Polonya doğumlu olması, sonra Fransa'ya göç etmesi ve belki ülkesine bir ithaf olarak Polonya isminin verilmesi.

Onlardan hemen önce Conrad Röntgen, 1895 yılında bir öğleden sonra yeni bir ışımının farkına varıyor; ama henüz o da bu buluşunun dünyayı nereye götüreceğinin ya da insanlığa ne katkılar sunacağını farkında değil. Elbette sevinmiştir; ama potansiyelini bilseydi, muhtemelen sevinci çok daha farklı boyutta olurdu. Yalnız, bilmediği bir ışım türü de olduğu için, matematikte bilinmeyi gösteren (x) adını vererek "X ışını" diyor. Seneler sonra kendisini onurlandırmak için Röntgen adı veriliyor. Günümüzde halen x ışınlarını adlandırmak için kullanıyoruz. İlk görüntüsü de eşinin el görüntüsü.

Bununla birlikte, beni çok şaşırtan, bir yerde de mutlu eden, x ışını görüntülemenin keşfinden çok kısa süre sonra, birkaç ay sonra, ülkemizde Esad Feyzi ve Rıfat Osman, o zamanki ismiyle Mekteb-i Tıbbiye-i Askeriye-i Şahane -askeri bir mektep elbette, tıp mektebi- fizik laboratuvarlarında ilk düzeneklerini kuruyorlar ve ilk röntgen görüntüsünü alıyorlar. O dönemde halen Esat Feyzi öğrenci.

Malum, o dönem savaşlar içindeyiz. Yunanlarla yaptığımız savaşta yaralanan Boyabatlı er Mehmet'in el görüntüsü çekiliyor.



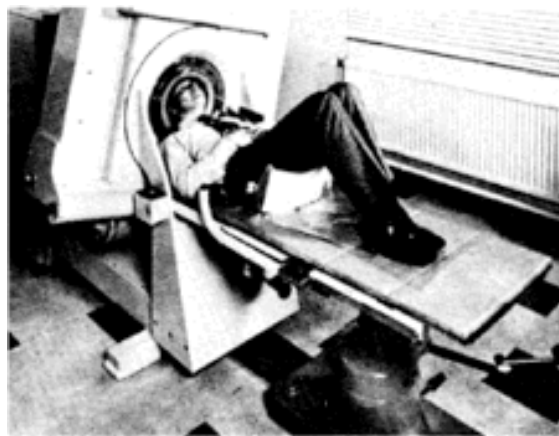
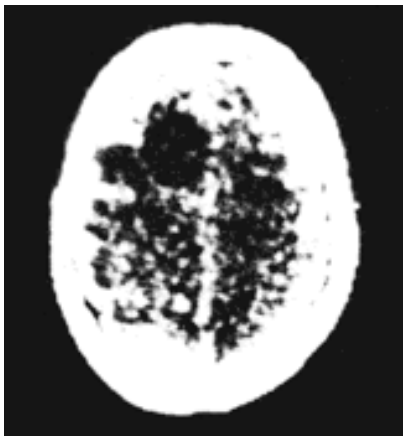
Görüntüde şarapneli görebiliyoruz. Bu röntgenin ya da x ışını görüntülemenin askeri alanda ya da savaşlardaki ilk kullanımı olarak da tarihte yerini alıyor bu sayede. Bu görüntü referans alınarak, modern cerrahinin kurucusu olarak bilinen çok ilginç bir karakter, fenomen Dr. Cemil Topuzlu Paşa ameliyat ederek, bu şarapnel parçasını alıyor.

X ışını görüntülemeyle birlikte, aynı zamanda tedavi için de eş dönemlerde kullanılıyor. 1900'li yıllarda, ülkemizde kanser tedavisi için bu topraklarda kullanılmaya başlanıyor. Ondan birkaç sene sonra, daha bir disipline edilmiş şekilde, yine Dr. Cemil Topuzlu Paşa ve Dr. Rasim Emin beyle 30 hastayı Yıldız Hamidiye Etfal Hastanesinde tedavi ediyorlar. Ancak, literatürde Fransa'da bir ressamın çizdiği, radyasyonla, x ışınıyla tedaviyi resmeden Paris'teki çalışmalar, radyasyon onkolojisinin başlangıcı olarak kabul ediliyor.

Az önce tanıttığımız Esad Feyzi bey, çalışmalarını günümüze kadar ulaşan bir kitapta topluyor o dönem. Kendi el çizimleri ve suluboya resimleriyle bu elyazması kitabını ülkemize o dönem bağlıyor.

Yalnız, burada biraz trajik bir hikâye var. Doğum ve ölüm yıllarına bakarsanız, biraz anlaşılıyor. Sadece 27 yıl yaşıyor. Bunun nedeni de, kendisinin bilime olan aşkıyla birlikte, ilk yıllarında x ışınının potansiyel zararlarının bilinmemesi. O kadar çok haşır neşir oluyor ki, henüz 27 yaşında, üç aylık evliken kanserden vefat ediyor.

O yıllardan 1970'li yıllara kadar x ışını tıpta hem teşhiste, hem tedavide kullanılıyor; ancak, çok önemli bir limitasyonu var. X ışını sadece belirli bölgeler için, sadece bir kesit görüntüsü, 2 boyutlu bir görüntü sunabilmekte. Örneğin, beyin için hiçbir şekilde kullanılamıyor. Hatta o dönem bilim insanları, beyin için x ışınlarının sessiz ve cevapsız kaldığını iddia ediyorlar. Bunu yıkan buluş, medikal görüntüleme tarihinin x ışınlarından sonra belki en önemli buluşu, bilgisayarlı tomografi diyeceğimiz, bir x ışını kullanarak, vücudun farklı bölgelerinin 2 boyutlu olarak görüntülenmesine olanak tanıyan buluş. Bu buluş mühendis Hounsfield tarafından gerçekleştiriliyor.



Bu, kullandıkları ilk sistem ve ilk hastanın görüntüsü. Solda, frontal lob tümörü olan bayan hastanın görüntüsü. İlk kez, beyni kesmeden içini görüntülediğimiz tarihi bir an. Operasyon yapıldığı zaman da bu görüntünün sonucunu destekleyen bir fiziksel durum ortaya çıkıyor. Housfield'in bu buluşu

elbette Nobel'le ödüllendiriliyor. Daha önceki isimler gibi, medikal görüntülemenin önemli isimleri. Röntgen, 1901 yılında ilk Nobel'i alan kişi aynı zamanda. Housfield hekim değil, bilim insanı da değil; bir mühendis ve belki de görüntüleme tarihine en önemli damgayı vuran bir mühendis. Housfield'le birlikte Allan Cormack, Avustralyalı bilim insanı, 1979'da, fizyoloji ve tıptaki Nobel Ödülünü alıyorlar. Peki, Cormack'ın Nobel Ödülü almasındaki neden nedir? Donanımsal kısımda hiçbir katkısı yok; ancak, bunun bazı prensiplerini ortaya koyan çalışmaları var 1963-1964 yıllarında.

Tabii, bunu tartışmak değil bu sempozyumun konusu; ancak, aslında bu alanda 1917 yılında ilk çalışma belki de Avusturyalı bilim insanı Radon'a ait. Radon şunu koyuyor matematiksel olarak: Sonsuz sayıda 2 boyutlu kesitlerden 3 boyutlu bir objenin görüntüsü tam eksiksiz olarak elde edilebilir ya da sonsuz sayıda bir boyutlu projeksiyonlardan 2 boyutlu bir hedef bölgenin görüntüsü eksiksiz olarak elde edilebilir. Yani bilgisayarlı tomografinin ya da kesitsel görüntülemenin matematiksel hikâyesine ya da tarihçesine baktığımız zaman, bunun aslında bir geçmişi var.

X ışını görüntülemenin tarihçesi için bu kadarı kâfi. Şimdi de meme görüntüleme tekniklerinin ya da yaklaşımlarının tarihçesine kısaca bir bakalım.

1913'te Salomon, x ışınını meme görüntülemeye ilk kullanan isim. 1949'da, Uruguaylı bilim insanı sıkıştırma tekniğiyle görüntülemeyi öne sürüyor ve bunun faydasını ispatlıyor. Ki, bu alanda çok önemli bir referans çalışmadır bu. Bundan sonra, yeni teknikle birlikte, x ışını kullanarak meme görüntülemeye ilgi daha da artıyor. Çünkü meme kanseri, günümüzün, son 20-30 yılın değil; aslında kanserin bilindiği bütün dönemlerde kadınlar için en baş belası kanser tipi ve onun erken teşhisi her zaman önemliydi. 1960'larda mamografi genel tarama yöntemi olarak kabul ediliyor. 2000'de FDA ilk sayısal mamografiyi onaylıyor. 2009 yılında, mamografinin, meme kanserine bağlı ölümlerin en çok zirve yaptığı tarihsel kronoloji, 1991 yılından bu yana yüzde 30 oranında azaldığını tespit ediyor. Bizim son yıllardaki çalışmalarımızın biraz odağı olan, 2011 yılında yine FDA, meme tomosentezi cihazına onay veriyor.

Tomosentez görüntülemeden bahsedelim. Meme ve diş görüntülemeye kullanılıyor şu an. Boğaziçi Üniversitesinde galiba bir grup, diş köklerinin görüntülenmesi için tomosentezi kullanıyorlar. Çok detaylarına girmeyelim, ama hemen kıyasladığımız zaman, birinde çok daha fazla bir sıkıştırma var. Dolayısıyla mamografide kaçınılmaz bir dokuların örtüşme problemi var. Bunu meme tomosentezi çözüyor. Ancak, burada da bir problem var; doz problemi ki, geleneksel tomografiye göre bir miktar daha fazla.

Eğer siz, meme içerisinde farklı lezyonlar, kitleler olarak düşünürseniz, sıkıştırılmış ve mamografi görüntüsü aldığınız zaman, gördüğünüz gibi, gözden kaçabilirken; dilim dilim aldığınız zaman bunu, o hedef dilimde mükemmel bir şekilde yakalama olanağı sağlayacaktır.

Tomosentezin mamografiden farkı, sınırlı açıdan (-15, +15) sınırlı sayıda projeksiyonlar alınarak, memenin 3 boyutlu görüntülenmesi sağlanıyor. CT'den farklı, çok dar açıda, düşük doz x-ray'lerle alınan projeksiyonların geri çatımıyla memenin 3 boyutlu görüntülenmesi. Burada, dar açının ve sınırlı sayıda projeksiyonun tabii ki somut kısıtları var; bir tanesi görüntülemenin geometrisiyle gelen kısıtlar, diğeri de radyasyonun limitasyonu durumu.

Son bir-iki dakikada, medikal görüntüleme nereye gidiyor, ondan bahsetmek istiyorum. Aslında benden önceki hocalarım bu konuda size bazı fikirler verdiler. Medikal görüntülemeye bir enstrümantasyon var; cihaz tasarımının, cihaz kalitesinin iyileştirilmesi. Ki, bu son yıllarda, son 15 yılda belki çok popüler olan. Duyuyorsunuzdur belki, bazı hastaneler reklamlarını yapmak için belki, "Bizde PET MR, PET CT cihazları var ve kanserin erken teşhisinde, yakalamada, mevcut geleneksel cihazlara göre çok daha iyi, önde, ileride" diyor.

Cihaz teknolojisi gelişmeye devam edecek, bu kuşkusuz, çalışmalar devam edecek; ama bunun bir sınırı var. Sadece cihazları daha iyi yaparak, örneğin sensörlerinizi daha iyi tasarlayarak ya da farklı alanları birleştirerek, mevcut bütün sorunları çözme olasılığınız yok. Bir de alınan verilerin anlamlı bir şekilde okunması, değerlendirilmesi, analizi, işlenmesi kısmı var.

Medikal görüntüleme, sinyal işleme alanında bugünlerde de devam edecek, önemi daha da artacak olan bir alan, bilgisayar destekli teşhis çalışması. Eldeki proses bile edilmiş olsa, radyologların okumasıyla elde edilen sonuç.

Tabii, burada biz mühendisleri bekleyen sorun şu: Bir görüntüyü aldığınız zaman, radyologun değerlendirmesini siz nasıl dijitize ya da formülize ya da modelleyebilirsiniz? Eskiden bir tane x ışınıyla belki belli başlı bazı hastalıkların teşhisi yapılabiliyordu; ama imkânlar arttıkça, görüntüleme merkezleri arttıkça, teknolojisi de iyileştikçe, şimdi çok fazla kesitten çok korkunç çözünürlüklerde görüntüler elde etmekteyiz. Radyologlara bırakırsanız bunu, onlar en iyi bile olsalar, bazı fiziksel kısıtlar tam anlamıyla değerlendirmelerine fırsat tanımayacaktır. Örneğin meme tomosentezinde, siz memeden 50 dilim arıyorsunuz bir hastadan. Bu dilimlere teker teker radyologun bakması, hepsini birlikte yorumlamasının olanaklılığını anlayabilirsiniz tahmin ediyorum.

Teşekkür ediyorum.

Prof. Dr. Nizamettin Aydın- İsa hocama teşekkür ederiz.

İşin doğrusu, bu tarih kısmını ben de bilmiyordum; bu şekilde öğrenmiş oldum.

Salondan- Benim Ergin (Prof. Dr. Atalar) hocama bir sorum var. Epilepsi hastalığı üzerine bir tedavi yöntemi geliştirildi. Bu tedavi yöntemi uzun süreli bir tedavi yöntemi. Bununla alakalı çalışmalarınızı gördüm; epilepsi krizlerini tahmin etmişsiniz gelecekte. Bizi, EMG üzerinden, yani elektromiyogram üzerinden birkaç bulguya eriştik. Hastaneyle ortak bir çalışmamız oldu. Epilepsi nöbetlerinde EMG üzerinden veri alabiliyorsunuz. Sizin bununla ilgili çalışmalarınız var mı hocam? Sadece EEG üzerine mi çalışma yaptınız? Mesela, deri iletkenliğini de gün boyu kayıt altına aldık, onda da anlamlı verilere ulaştık.

Prof. Dr. Ergin Atalar- Biz, EMG kayıtlarını ataklar için kullanmadık; ama dünkü konuşmalarda şey vardı. Dinleme şansınız oldu mu, bilmiyorum.

Salondan- Dün geledim hocam.

Prof. Dr. Ergin Atalar- Nöroloji Anabilim Dalından Prof. Dr. Barış Baslo, taramalı EMG konusunda güzel bir sunum yaptı. Hem ben, hem de Barış Baslo -öyle tahmin ediyorum- çalışmanızın detaylarını dinleyip, size faydalı olabilir.

Prof. Dr. Nizamettin Aydın- Başka sorusu olan var mı?

Bundan sonrası interaktif, her şeyi sorabilirsiniz. Biliyorsak cevapları; bilmiyorsak, beraber araştırırız.

Salondan- Akson sayımı üzerine bir projeniz var mı?

Prof. Dr. Ergin Atalar- Ben çalışmadım.

Salondan- Yine bu da hekimlerin çok şikâyet ettiği bir durum. 2-3 sene üstünde çalışıyorlar. ALS ve MS hastalığında, hastalığın ilerleme seviyesinin gösterildiği bir şey akson sayımı. Sadece EMG üzerinden bu veriyi alabilmek için 3 sene çalışmaları gerekiyormuş.

Prof. Dr. Nizamettin Aydın- Buyurun.

Salondan- Ben şeyi hatırlıyorum hocam; Yusuf Ziya hoca, 1985'den sonra 1990'lı yıllara yakın, Ankara'da, ODTÜ'de bir MR sistemi zaten yapmışlardı. MR üretilmesi sizce nasıl, yani Türkiye'de bir MR üretimi? Başka büyük firmalarla...

Prof. Dr. Cengizhan Öztürk- Kafamıza koysak, eninde sonunda her şeyi üretiriz; ama üretmeli miyiz meselesine iyi bakmak lazım. Çünkü Türkiye'de, en son sayılara göre 600 tane kadar MR var herhalde. MR başına çekimde de dünya birincisiyiz, MR başına hasta çekimi, yani yürüyen bant usulü. Çok hızlı MR çekmeyi de biliyoruz. 'Burada MR üretilmeli mi?' dersiniz, bence bir miktar teknik zorlukları var, çok az sayıda global firma oluyor. Bir miktar Hindistan, Uzakdoğu ve Çin'den yeni yeni firmalar çıkmaya başladı.

Bu gibi noktalarda, ürettiğiniz zaman satıp global seviyede bir firma olabilecekseniz üretmeniz lazım. Sınırları kapatıp, 'Türkiye'de MR ithal etmeyi bıraktık, MR'ı kendimiz yapacağız' deme şansımız yok bu saatten sonra. Onun için, ilk ondan başlamazdım ben, yani standart MR'dan. Ama çok farklı MR sistemleri var; mesela parmak MR'ı, diz MR'ı veya çok spesifik bir uygulamaya yönelik bir MR, böyle bir alan bulunabilir, yani MR temelli bir alan bulunabilir. Ama 1.5 Tesla, 3 Tesla bir MR'ı Türkiye'de yapmakla başlamazdım. Türkiye'nin tıbbi cihazda senelik 2 milyar dolar cari açığı var. MR kısmı bunun çok küçük bir kısmı. Devre kartlarıyla falan yapılabilecek binlerce tıbbi cihazı yapabilirsiniz Türkiye'de ve yurtdışına satabilirsiniz. O taraflardan başlamayı öneririm.

Prof. Dr. Nizamettin Aydın- Konu işaret ve görüntü işlemeydi, başka yerlere doğru kayıyor.

Buyurun.

Adem Polat- Tüm hocalarıma güzel sunumları için teşekkür ediyorum.

Konuşma içerisinde geçti belki cevapları ama Cengizhan hocama sormak istiyorum. Anlattığınız şeyler ülke adına aslında heyecan verici.

Yapmış olduğunuz çalışmaları endüstriye dönüştürme grafikleri vardı ya, endüstrileşmeye dönüşüm; amaç bu mu Türkiye'de? Eskiden, yerli uçak yapalım denildi Cumhuriyet'in ilk yıllarında, bir anda kapandı. Biliyorsunuz, meşhur Devrim otomobili, girişimde bulunuldu, vazgeçildi. Yani biyomedikalde böyle bir şey mi var? 'Yurtdışından alıyorsak eğer, ne gerek var mı' diyorsunuz.

Prof. Dr. Cengizhan Öztürk- Yok, öyle demiyorum, kesinlikle demiyorum. Ben öyle demedim. 'Ondan başlamazdım' dedim.

Adem Polat- Ne yapmalıyız o zaman?

Prof. Dr. Cengizhan Öztürk- Pek çok tıbbi cihazdan başlayabilirsiniz. Ben şunu söyleyeyim: Türkiye'de, görüntüleme, sinyal işlemeyle ilgili hastane ekipmanlarının önemli bir kısmını -Aydın (Prof. Dr. Akan) hocam da buna katkı verecektir- ithal ediyor durumdayız. Bunlarla ilgili yapılacak bir ton iş var. Gelişen sağlık sistemimizle birlikte ve yaşlanan nüfusla birlikte bu harcamalarımızın da artacağını öngörüyoruz. Şu anda açık 2 milyar dolar dedim; ama bu daha da artacak, ilaç kısmını da katarsanız daha da fazla olacak. Yani bu hızla devam ederse, biz bunu yerli olarak yapamazsak, ülke olarak batacağımızın garantisini ben verebilirim. Onun için, biz Boğaziçi Üniversitesi ve etrafımızdaki kümelenme olarak, İstanbul çapında, bu işi mevcut kamu teşviklerinden yararlanarak, mevcut bazı kamu politikalarından da ilham alarak ve bazı kamu politikalarına da rağmen yapmaya çalışıyoruz. Genç firmaların oluşumunu teşvik etmeye çalışıyoruz, büyük firmaların da daha büyük projelere girmesini sağlamaya çalışıyoruz. Yani hastane ekipmanlarıyla ilgili çok iş var.

Burada şöyle bir şey söylemek lazım: Kendi üretiminizi yapacaksınız, ama hiçbir zaman ithalat durmuyor; çünkü açık pazardasınız. Önemli olan, global seviyede, özgün, kullanılabilir ürünleri çıkarıp, peşinde durup, bunu yapabilecek güçte olup bütün dünyaya satmak.

Salondan- Teşekkür ederim.

Prof. Dr. Aydın Akan- MR konusunda kesinlikle çok doğru. Senede, Türkiye'de tüm sağlık kuruluşlarına alınan MR'ı toptasak, 9, 10, o civarda olabilir ve sönümlenecektir o. Ama biz, Türkiye'de imal edilen tıbbi cihazların da sağlık kuruluşlarında tercih edilebilir şekilde üretilmesine uğraşmalıyız. Hasta parametrelerini monitörize eden monitörler, bizim sağlık kuruluşlarımızda onlardan çok sayıda kullanılıyor. Bütün hasta yataklarının yanında bulunması gereken cihazlar. Bunları da yurtdışı kaynaklı kullanıyoruz. Yani onların Türkiye kaynaklı olanları var, tercih edilmiyor. Demek ki, aslında dünyada rekabet edebilecek kalitede. Hekimlerimizi suçluyoruz, yani cihazı kullanmak istemiyor. İhaleyle bazen zorla alınıyor, maliyetten dolayı o cihaz tercih ediliyor; ama kullanılmıyor. Bunda şey var; yani arzu edilen kaliteyi yakalamak var, dünya standartlarında ürün üretmek var. Onları yaptığımızda, aslında adet olarak çok sayıda tüketilen cihazları, daha basit olan cihazları yaparak başlamak ve onları gerçekten dünyaya da satabilir duruma gelmek lazım.

Salondan- Teşekkür ederim hocam.

Prof. Dr. Nizamettin Aydın- Başka sorusu veya yorumu, katkısı olan var mı?

Buyurun.

Salondan- En düşük dediniz de, hangi cihazı tavsiye edersiniz?

Prof. Dr. Aydın Akan- Mesela, basit masa üstü sterilizatör; yani belli bir sıcaklıkta, belli bir basınçta cerrahi aletleri çeşitli şekilde sterilize etmek. Yapılacak olan şey teknolojisi çok basit ama onları da yurtdışı kaynaklı kullanıyoruz. Ülkemizde üretilenler var tabii ki. Belli bir tane söylemem zor, ama bunlar seçilebilecek olanlar.

Salondan- Onların çok daha basit olanları var. Onlar yurtdışından geliyor ve son derece basit.

Prof. Dr. Aydın Akan- Çok kolay bir şekilde üretilmesi lazım.

Prof. Dr. Cengizhan Öztürk- Ultrasonun analizi, yani RF'ten sinyal çıkımı için oldukça yüksek derece gerekiyor ve bunlar için özel donanımlar, yani kartlar geliştirilmiş durumda. Üreticilerin çoğu da bu kartları hazır alıyorlar ve kendi sistemlerini tasarlıyorlar. Türkiye'de ultrason üretilmiyor bildiğim kadarıyla. Yani çok değişik ultrason firmaları var, bir kısmı da çok düşük fiyatlara Çin'den geliyor. Yani ultrason belirli bir uygulama için olabilir. Ben genel olarak arkadaşlara, bu alanda teknolojinin gittiği yönleri gözlemlemelerini tavsiye ederim. Yani mümkün olduğu kadar hastanelerden değil; evlere doğru, yaşlıların takibine yönelik sistemler geliyor. Demek ki, bir miktar direkt kullanıcının da kullanabileceği, kronik hastalıkların takibine yönelik sistemleri düşünürseniz, bu yeni mobil teknolojileri ve akıllı sistemlere entegre şeyleri düşünürseniz, en azından siz hazırlayana kadar, Türkiye'de de insanlar ve genelde dünya yaşlandıkça, bir miktar daha fazla şansınız olacak demektir.

Bunun ikinci bir faydası da şu. Türkiye'de yüzde 90'ın üzerinde alıcı devlet. Eğer siz cihazınızı direkt kullanıcılara da satabilecek bir hale gelerseniz, hiç olmazsa tek kullanıcıyla değil de, pek çok kullanıcıyla muhatap olursunuz. Tabii, bu oldukça daraltıyor belki marketi, ama en azından direkt satılabilecek bir üründe piyasa şartları oynuyor. Türkiye açısından düşünüyorsanız, devletle herkesin bir iş bağlaması kolay değil. Yani ben, Türkiye açısından düşünmeyin derim, genel olarak global seviyede girişimci olmayı düşünün. Çünkü bugün buradasınız, yarın atlayıp bir yere gidersiniz, iyi bir fikriniz varsa satarsınız, firmanızı alırsınız, herhangi bir yere gidersiniz. O açıdan, eğer girişimci olacaksanız, Türkiye'ye bağlı kalmayın derim.

Prof. Dr. Nizamettin Aydın- Biraz klişe olacak, ama şu inovasyon denilen kavram var ya, o bağlamda bir şeyler yapabilirseniz, dünya çapında yer bulursunuz. Yoksa, ultrason aletini yapmak son derece basit. Ülkenin politikası, 'Yok, ille biz yapacağız' olursa, yapılır.

Salondan- Millilik duygusuna çok kapılmamak lazım, yani 'Tamamen Türk olacak, Türkiye'de yapılacak, her şeyi Türkiye'de üretilecek, bütün çalışanları Türk olacak.' Bütün büyük şirketlerin farklı ülkelerde merkezleri var, bütün dünyadan bilim insanları katkı sunuyorlar ve bir cihazı bütün olarak kendi markalarını basıp ürettikleri zaman, bütün alt parçalarını kendi Ar-Ge'leri, kendi mühendisleri, kendi fabrikaları üretmiyor. Yani biz, kafayı sadece bir tane "MR cihazı üretelim" düşüncesiyle bozmak yerine, bunun alt komponentlerinden, katma değeri yüksek ya da rekabet edebileceğimiz bir parçasını üretmek olabilir.

Bundan da öte, MR çok pahalı; ama kaç tane var ve Türkiye'de kaç tane alınıyor? Benzer şekilde, PET CT vesaire için de geçerli bunlar. Yani siz ne kadar şırınga üretiyorsunuz ya da kullanılan şırıngaların ne kadarı Türkiye'de üretiliyor ya da bir şırınga pompası? Türkiye'de şırınga pompası üretiliyor mu? MR'dan, CT'den başlamanız muhtemelen çok başarılı bir sonuç da vermeyecektir. Bu, aslında araba üretme konusuna çok benzer. Bunları söyleyebilirim.

Salondan- Peki, parçalarını üretmek nasıl?

Salondan- Tabii, teknolojiye hâkim olmanız lazım, parçalardaki gelişmeleri takip etmeniz lazım. Sizin yetenekleriniz ve rekabet gücünüzün yüksek olduğu, satabileceğiniz parçaları üretmeniz lazım. Hiçbir şey üretmeseniz bile, fikrinizi satabilirsiniz, yani bazen bir fikir bile çok para edebilir.

Salondan- Milli dediniz ya, aslında benim düşüncem öyle değil, en azından bütün dünyaya yayılmak.

Salondan- “Kısa vadede CI çıkacak Türkiye'den” diye hayale kapılmamak lazım bence.

Prof. Dr. Aydın Akan- Çıkabilirse memnun oluruz, yani onu da söylemek lazım.

Salondan- Bir miktar da sermayen varsa...

Salondan- Siemens 1800'lü yıllara dayanıyor.

Salondan- Bazı teknolojiler var; iki yılda da yakalayabiliyorsunuz. Mobil teknolojiler var bununla ilgili, geçmişi çok değil. Böyle bir noktadan başlarsanız olabilir.

Prof. Dr. Cengizhan Öztürk- Doğru strateji ve rüzgârlar yakalanırsa, Çin'de ucuz işgücünü, devlet desteğini ve yatırımlarını filan hepsini arkasına aldı, birçok gruplar birleşti. Bu tür hikâyeler olabiliyor çeşitli ülkelerde, Türkiye'de de bu işler olabilir. Ama MR örneğinde, mesela MR bobinleri, MR aksesuarları, MR donanımları, MR EKG'si filan yapmak çok mantıklı şeyler. MR uyumlu cihazlar yapmak bence mantıklı. MR diyelim ki bir milyon dolarsa, bütün aksesuar, yazılımlarıyla 2.5 milyon dolara filan geliyor. Bunun bakımı yüzde 10'u. Yani sonuç olarak, MR etrafında yapılabilecek bir trilyon iş olabilir. Diyelim ki, ona uyumlu anestezi cihazı.

Mesela benim bir doktora öğrencim, nöro görüntülemede destek verebilecek fonksiyonel MR donanımları satıyor. Onları bir miktar araştırmacılara sattı. Şimdi de MR içerisinde video izleyebileceğimiz bir sistem geliştirdi. Tabii, yurtdışında da var; ama o bir miktar daha iyi yaptı, ucuz yaptı. Onu şimdi hem yurtiçi, hem yurtdışına satıyor, fena da para kazanmıyor. Doktorası biraz az hızla ilerliyor bu yüzden. Yani bu tür şeyler olabilir. Bir yerden başlayıp gelişime bırakmak lazım. Uygun fırsatlar yakalanırsa her noktaya gidilebilir. Bir miktar sermaye desteği, bir miktar şans, ulusal politikalar sizleri geleştirecektir.

Salondan- Tabii, bunlar için iyi bir altyapı, eğitim, Ar-Ge gerekiyor bence. Sabahki bir-iki oturuma da katıldım, eğitimi tartışıyoruz. Siz de konuşmanızın başında belirttiniz, yani çok disiplinli hocalarımızdan bir araya gelen bir oluşum biyomedikal. Yani tıp doktoruyken elektrik mühendisliği alanında veya tersi olmuş. Yani şunu demek istiyorum: Beni en heyecanlandıran kısım akademi dünyası. İlk önce ben orada heyecan duymalıyım ki... Ben kendi adıma, ticari boyutunu asla düşünmedim. İşin akademik tarafı beni çok heyecanlandırıyor. O olmadan, matematiği olmadan, diğer şeyleri zaten üretemeyeceğiz.

Salondan- Bazı şeyler süreç içidir. Şöyle düşünün: Eğer kayalık bir araziye tohum atarsanız, hiçbir zaman bitmez. Mümbit bir toprak gerekir. O mümbit toprağın oluşması için de hazırlık gerekiyor.

Ben kendimden şöyle örnek verebilirim. Ben doktora 1987'de başladım, Yıldız Teknik Üniversitesinde. Biraz meraklı olduğum için, Boğaziçi'nin kütüphanesine giderdim, IEEE yayınlarını okurdum. Abartmıyorum, kafamda şu soru vardı: Bu kadar yazıyı kim yazıyor? Doktora başlamış biri olarak, o zaman o soruyu soruyordum. Buradan bir şey çıkmaz deyip yurtdışına gidince, o yayınların benim gibi doktora yapanların eserleri olduğunu o zaman öğrendim. Bu bir süreçtir. Araştırma-geliştirme de öyle. Düne kadar araştırma bir şey değildi; ama bugün, yarın daha da önemli olacak. Maalesef, henüz araştırma akademik değerlendirme kriteri içinde değil; ama yarın öbür gün bu da olacaktır. Öyle değil mi hocam?

Prof. Dr. Cengizhan Öztürk- Burada herkesin söyleyeceği bir şey olabilir. Ben iki şeyi birbirinden ayırıyorum. Bir tanesi, sizlerin, mezunlarımızın birkaç tanesinin, 'Ben bu memlekette bir şeyler üreteceğim ve biyomedikal alanda cihazlar ortaya çıkaracağım' diye ortaya çıkması lazım. Aksi takdirde batacağız diyorum. Bunu ilaç grubu, biyoteknoloji için de söylüyorum. Yani bu şekilde bir üretime yönelik, birilerinin zor da olsa bunu başarması lazım diye söylüyorum.

Akademik tarafta da, tabii, mevcut desteklerle akademik anlamda, global seviyede araştırma yönünde de gelişen altyapılarımızla artık daha iyi çalışmalar yapılıyor ve altyapılarımız da, uluslararası seviyelerde Bilkent'teki MR merkezi gibi, Boğaziçi gibi, burada temsil edilen üniversitelerdeki altyapılar belirli konularda gayet iyi. Demek ki, artık illa yurtdışına kapağı atmanız gerekmez. Burada da bir şeyler yapılabilir. Yurtdışına gitmeli gelmeli programlar, ortak doktoralar ve o tür işler de var. Yani bu işler gelişiyor. Ama 'Akademisyen olacağım, sonra da gideceğim, bir şirkette bu işi

yapacağım' gibi, iki tane full-time işi aynı anda yapabileceğinizi zannetmek çok gerçekçi değil. Onun için, insanlar akademik oldukları zaman insan yetiştirirler, temel araştırmalar yaparlar, belirli fikirler oluştururlar, sonra onu uygulayacak insanlara lisanslarlar. Bu tür girişimciler de bunu alıp götürür, uygular, satar ve eğer tutarsa, onlar daha çok para kazanır. Yani bu iki şapkayı birbirinden ayırmak lazım.

O açıdan, pek çok insanımız, mezun olan elektrik mühendislerinin hepsi akademisyen olmayacak. Şu anda bulunduğu mevcut üniversite koşullarında, Türkiye'de de, her akademik ortamda da gerekli altyapıya sahip olarak, ilk girdiği günden itibaren global seviyede araştırma yapmayacak ne yazık ki.

Demek ki, akademik çalışmak istiyorsanız, kendinizi en iyi noktaya getireceksiniz, o noktada altyapıya bakacaksınız, hocanızla bakacaksınız, bazen hocanızdan bile kısa zaman içinde daha iyi bileceğinizi fark edeceksiniz. Hocalarınıza rağmen global seviyede bir araştırma yapacak kişi olarak kurgulamanız gerekir kendinizi. Öbür taraftan, eğer girişimci olacaksınız da, mevcut koşullar içinde, mevcut desteklerle bunu global seviyede yapmanız yine size kalmış olur yani heyecanlanabilirsiniz, ama eninde sonunda, akademik olarak başarının yanında, sırf yayınlar değil, hafif biyomedikal şapkamla, uygulanabilir şeyler yapmanızı tavsiye ederim. Temel bilimlerinde sağlam çalışacak arkadaşlara da şapkamı çıkarırım.

Prof. Dr. Nizamettin Aydın- Teşekkür ederim hocam.

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ OTURUMU - III

BİLDİRİLER

Oturum Başkanı: Öğr. Gör. Onur Koçak (Başkent Üniversitesi)

Oturum Yöneticisi: Öğr. Gör. Dr. Onur Koçak (Başkent Üniversitesi)

ECG Sinyallerinde Kaotik Gürültüyü Giderebilmek İçin Dalgacık Paket Dönüşümünün Kullanılması

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Üstündağ (Bingöl Üniversitesi)

Yrd. Doç. Dr. Ahmet Güner (Bingöl Üniversitesi)

Biyoalgılama Uygulamaları ve Nano-Biyosensörler

Aytaç Onur (Erciyes Üniversitesi)

Semih Korkmaz (Erciyes Üniversitesi)

Doç. Dr. Mustafa Türkmen (Erciyes Üniversitesi)

Yrd. Doç. Dr. Sabri Kaya (Erciyes Üniversitesi)

Bilgisayar Kontrollü Damar Yolu Bulma Cihazı

Tasarımı ve İmalat

Büşra Özgöde (Başkent Üniversitesi)

Ulaş Umut Tarhan (Başkent Üniversitesi)

Deniz Cengiz (Başkent Üniversitesi)

Barış Çoruh (İBÜTEM)

Öğr. Gör. Dr. Onur Koçak (Başkent Üniversitesi)

Öğr. Gör. Arif Koçoğlu (Başkent Üniversitesi)

Üç Osilatörlü Kalp Sistem Modeli Kullanarak EKG İşaretlerinin Üretilmesi

Prof. Dr. Mahmut Ün (Yeni Yüzyıl Üniversitesi)

Manolya Ün (Medical University Of Pleven)

ECG Sinyallerinde Kaotik Gürültüyü Giderebilmek için Dalgacık Dönüşümünün Kullanılması

Mehmet ÜSTÜNDAĞ¹, Ahmet GÜNER¹

¹Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Bölümü, 12000, Bingöl, Türkiye
mustundag23@gmail.com aguner2003@gmail.com

Özet

Bu çalışmada, biyomedikal sinyallerden biri olan ECG sinyallerinde kaotik gürültüyü gidermek için Dalgacık Dönüşümü (DD) yöntemi ve bu yöntemin etkinliği sunulmuştur. Bu yöntemde, kaotik gürültü ile bozulmuş ECG sinyali çeşitli seviyelere ayrıştırılarak gürültülü bileşenler tespit edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra kaotik gürültülü katsayılar eşikleme yöntemi kullanılarak sıfıra çekilmiştir. Başarım kriteri kullanılarak yöntemin etkinliği gösterilmiştir.

Abstract

In this work, wavelet transform and its efficiency is represented for denoising of ECG signal which is known as a biomedical signal that is corrupted by chaotic noise. The corrupted ECG signal with chaotic noise is firstly decomposed into various levels, in order to detect the noise components. Then, the chaotic noise coefficients set to zero by using thresholding method. Effectiveness of this method was approved with the help of criteria of performance.

1. Giriş

Kaos kavramı, matematikçiler, fizikçiler ve mühendisler için son yıllarda araştırma konusu olmuştur [1]. Kaotik sinyaller, gürültü benzeri geniş bantlı spektruma sahip olan ve başlangıç şartlarına aşırı duyarlı olan önceden tahmin edilmesi zor olan sinyallerdir [2]. Kaos alanında bilimsel anlamda ilk çalışma, 1963 yılında havanın basitleştirilmiş bir modeli ile ilgili Edward Lorenz tarafından yapılmıştır [3]. Lorenz yaptığı çalışmalarda hava tahmininde başlangıç koşullarında çok küçük değişiklikler olduğu zaman büyük farklılıklara neden olduğunu fark etmiştir [2]. Sonuç olarak kaotik sistemlerin başlangıç şartlarındaki çok küçük değişim büyük farklar oluşturmakta ve tahmin edilebilmesi imkânsız olmaktadır [4].

ECG (Electrocardiogram) sinyali, kalp rahatsızlıklarının belirlenmesinde kullanılan önemli biyomedikal sinyallerden biridir [5-6]. Hastalık teşhisinde bu sinyaller oldukça önemli olmaktadır. Bazı durumlarda, sinyaller bozucu giriş olarak adlandırdığımız gürültü nedeniyle bozulmaktadır. Bu gürültüler, kas gürültüsü, cihaz kaynaklı gürültüler ve çeşitli gürültüler olabilmektedir [7].

Son zamanlarda, bozucu giriş olan gürültüyü gidermek için birçok yöntem önerilmiştir. Wiener ve Kalman filtreleme yöntemleri bu alandaki ilk çalışmalardır [8]. ECG sinyali durağan olmayan bir sinyal türü olduğundan frekans alanında çalışan filtreler sinyalin geçici durumlarında bozulmalara sebep olabilir [9]. Bu durumlarda kaos tabanlı yaklaşımlar çok mükemmel gibi gözükse de, gürültünün çok güçlü olduğu durumlarda hesaplama karmaşıklığından dolayı etkin olmayabilir [10]. Bu nedenle Dalgacık Dönüşüm tabanlı yöntemler bu problemleri ortadan kaldırabilmek için oldukça fazla kullanılırlar [9, 12-16].

Bu çalışmada, kaotik gürültü ile bozulmuş ECG sinyalinden gürültüyü giderebilmek için Dalgacık Dönüşümü yöntemi önerilmiş ve başarımlı test edilmiştir.

2. Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık Dönüşümü, durağan ve durağan olmayan ve geçici durum özelliği olan sinyaller için kullanılan sinyal işleme yöntemidir [17-18]. Bu yöntem sinyali, farklı ölçeklerde çözünürlük seviyelerine tek bir fonksiyonu genişleterek ayrıştırır [17-18]. Dalgacık Dönüşümü'nde sinyal zaman-frekans gösterimi ile analizini gerçekleştirir ve geleneksel sinyal işleme yöntemleri tarafından belirlenemeyen detayları ortaya çıkarır. ECG sinyali durağan olmayan bir sinyal türü olduğundan analizi için oldukça önemli bir yöntem olmaktadır. Aynı zamanda DD'de kullanılan pencerenin ölçeklenebilir olması da önemli bir üstünlük olarak görülebilir [19]. Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD) [20-21];

$$SDD_{(a,b)} = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \bar{\psi}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1)$$

Burada $f(t)$ dalgacık dönüşümü yapılacak giriş sinyalini, $\psi(t)$ pencere fonksiyonunu, a ölçekleme parametresini, b ise zaman (öteleme) parametresini göstermektedir. DD'de parametre seçiminde, küçük ölçek değerlerinde yüksek frekans bileşenleri, yüksek ölçek değerlerinde ise küçük frekans bileşenleri daha iyi analiz edilir [20-21].

2.1. Kaotik Gürültünün Elde Edilmesi

Bu çalışmada, ECG sinyaline bozucu giriş olarak kaotik gürültü eklenmiştir. Kaotik gürültü elde edebilmek için Lorenz Denklemleri kullanılmıştır. Kaotik Lorenz Denklemi iki boyutlu akışkan davranışı için öne sürülen ve yaygın bir şekilde kullanılan kaotik sistemdir [2]. Kaotik Lorenz sistemi [2];

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= -ax + ay \\ \frac{dy}{dt} &= cx - y - xz \\ \frac{dz}{dt} &= -bz + xy\end{aligned}\quad (2)$$

Bu denklemde, a, b, c, Lorenz sistemine ait parametreler, x, y ve z dinamik değişkenlerdir. Eşitliklerden de görüldüğü gibi bu kaotik sistem, 3.dereceden bir sistemdir. Bu özelliklerinden dolayı geniş bir frekans bölgesine yayılmış periyodik olmayan salınımlar üretir [2].

2.2. Gürültü Giderimi

Gürültü giderimi algoritması için gürültü ile bozulmuş sinyalleri gürültüden gidermek için kullanılan yöntemlerdir denilebilir. Gürültü ile bozulmuş asıl sinyalin yüksek frekanslı bileşenleri olabilir dolayısıyla klasik gürültü giderim algoritmaları asıl sinyali koruyamayabilir. Bu nedenle Dalgacık Dönüşüm algoritmaları bu tip sinyaller için oldukça önemli olmaktadır [22-23]. Gürültü giderimi için Dalgacık Dönüşümü kullanılan algoritma aşağıda adımlar halinde verilmiştir [22-23].

- İlk olarak gürültü ile bozulmuş olan asıl sinyalimize (gürültülü sinyale) en uygun l seviyeli DD uygulanarak dalgacık katsayıları elde edilir ($D_{j,k}$).
- Daha sonra elde edilen katsayılar kullanılarak gürültünün varyansı hesaplanır.

$$\sigma^2 = \frac{\text{med}|D_{j,k}|}{0,6745}\quad (3)$$

Bu denklemde, $\text{med}(\cdot)$ medyanı ifade ederken $D_{j,k}$ ise dalgacık katsayılarını göstermektedir.

- Gürültülü sinyale ait varyans hesaplandıktan sonra eşik değeri aşağıda verilen denklem yardımıyla bulunur.

$$E = \sigma^2 \sqrt{2 \cdot \log(n)}\quad (4)$$

Burada E eşik değerini ifade ederken n ise örnek sayısını temsil etmektedir.

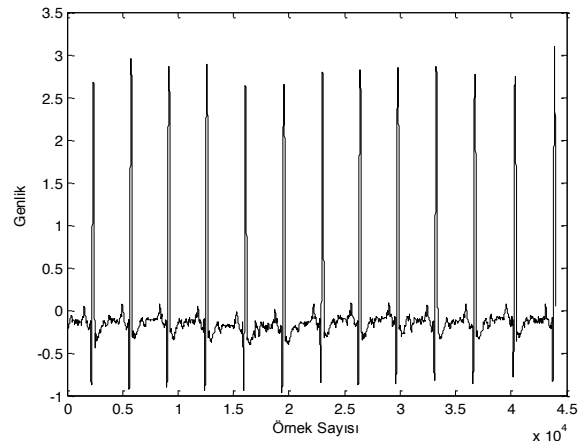
- Eşik değeri hesaplandıktan sonra uygun bir eşikleme yöntemi (Sert eşikleme veya Yumuşak eşikleme) kullanılarak adeta filtreleme yapılır. Bu işlem sonucunda

gürültü olarak kabul edilen tüm dalgacık katsayıları sıfır yapılmıştır.

- Eşikleme işleminden sonra elde kalan yani gürültü olarak kabul edilmeyen dalgacık katsayıları tekrar birleştirilerek asıl sinyal elde edilir.

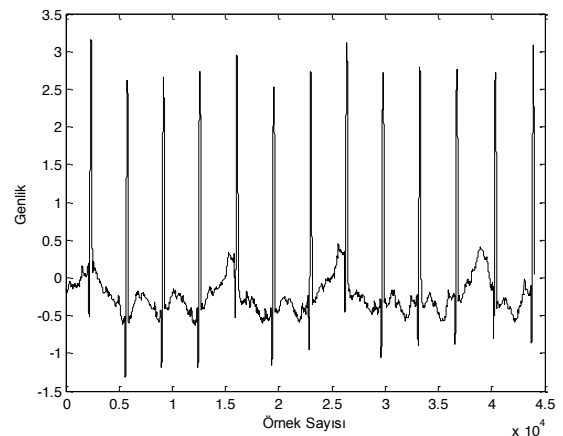
2.3. Benzetim Çalışmaları ve Sonuçları

Bu makalede, biyomedikal sinyallerden biri olan ECG sinyalinin gürültüden arındırılması ile ilgili çalışma yapılmıştır. Bozucu giriş olarak kaotik gürültü sinyale eklenmiştir. Daha sonra Bölüm 2.2’de verilen algoritma yardımıyla gürültülü ECG sinyalinden gürültü bileşenleri imha edilmiştir. Ancak başarımlı belirli SGO (Sinyalin Gürültüye Oranı) oranlarında daha fazla olmaktadır. Bu çalışmada kullanılan ECG sinyali Harvard-MIT Division of Health Sciences and Technology veri tabanından faydalanılarak alınmıştır [24]. Alınan ECG sinyali örnek sayısı 44000 olacak şekilde tekrar örneklenmiştir. Çalışmada kullanılacak gürültüsüz ECG sinyaline ait grafik Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1: Gürültü eklenmemiş ECG sinyali

Şekil 1’de verilen ECG sinyaline SGO oranı 7.65 dB olacak şekilde gürültü eklenirse Şekil 2’de gösterildiği gibi gürültülü ECG sinyali elde edilir.

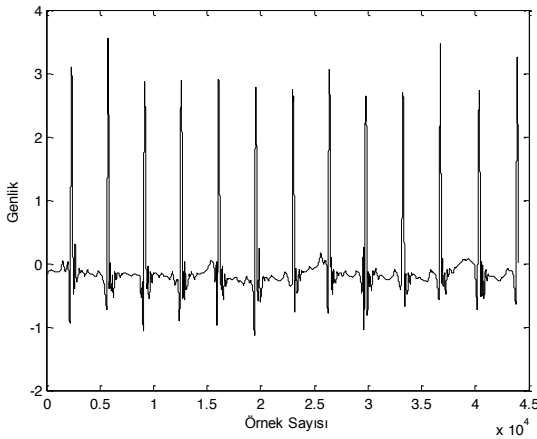


Şekil 2: Gürültü eklenmiş ECG sinyali

Bölüm 2.2’de önerilen algoritma ile; 8 seviyeli ayrışım ağacı, dalgacık ailesi türlerinden biri olan Daubechies 3 (db3) dalgacığı seçilerek gürültülü sinyale uygulanmıştır. Çeşitli SGO oranlarında gürültü eklenerek başarımları test edilmiştir. Başarım kriteri olarak Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (OKHK) kullanılmıştır. Bu değerlendirme kriterinin matematiksel gösterimi aşağıda verilmiştir.

$$OKHK = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (G(i) - T(i))^2} \quad (5)$$

Bu eşitlikte, $G(i)$ asıl sinyali $T(i)$ ise gürültüsü giderilmiş sinyali göstermektedir. n ise örnek sayısını ifade etmektedir. Şekil 3’de gürültü oranı SGO=17.19 dB için gürültülü ECG sinyalinin gürültüden giderilmiş grafiği verilmiştir



Şekil 3: Gürültüden giderilmiş ECG sinyali

Çizelge 1’de çeşitli gürültü oranları için elde edilen başarımlar verilmiştir.

Çizelge 1: Çeşitli Gürültü Oranları için Elde Edilen Başarımlar

SGO (dB)	OKHK
1.63	0.778
2.23	0.796
3.21	0.825
5.15	0.871
6.31	0.894
7.65	0.914
9.23	0.933
11.17	0.950
13.67	0.963
17.19	0.974
23.21	0.980

Çizelge 1’de ECG sinyaline çeşitli oranlarda kaotik gürültü eklendiği zaman elde edilen OKHK değerleri verilmiştir. SGO oranının düşük kaldığı durumlarda değerlendirme kriterinden başarımlarında düşük olduğunu anlıyoruz. İncelenen yöntemle benzetim çalışmaları yapılan kaotik gürültülü ECG sinyali için

yaklaşık 17 dB değerinden sonra başarımın istenilen değerlere geldiği ifade edilebilir.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada, kaotik gürültüye maruz kalmış ECG sinyalini gürültüden giderebilmek için Dalgacık Dönüşümü yöntemi incelenmiştir. DD yöntemi ile birlikte db3 dalgacığı seçilmiştir. Ayrışım ağacı 8 seviye olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda eşikleme yöntemi olarak Sert eşikleme seçilmiştir. Yapılan benzetim çalışmalarında yöntemin etkinliği belirli SGO oranlarına kadar tespit edilmiştir. Yöntemin etkinliğini artırabilmek için eşikleme yöntemi teknikleri ile birlikte farklı dalgacık türlerinde değerlendirilip başarımı test edilebilir.

4. Kaynaklar

- [1] Fattah, A., Elramly, S., Ibrahim, M. ve Abdel-h-Hafez, A., “Denoising Algorithm for Noisy Chaotic Signal by Using Wavelet Transform: Comprehensive Study”, *6th International Conference on Internet Technology and Secured Transactions*, 2011, 79-85.
- [2] Yardım, F.E. ve Afacan, E., “Lorenz-Tabanlı Diferansiyel Kaos Kaydırmalı Anahtarlama (DCSK) Modeli Kullanılarak Kaotik Bir Haberleşme Sisteminin Simülasyonu”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 25., 101-110, 2010.
- [3] Gündüz, G., “Kargaşa Kaos ve Şekil Oluşumları”, METU Press, 538-556, 2002.
- [4] Pamuk, N., “Dinamik Sistemlerde Kaotik Zaman Dizilerinin Tespiti”, *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi*, 15(1), 77-91, 2013.
- [5] Üstündağ, M., “ECG Sinyallerinde Gürültü Gidermek için Dalgacık Dönüşümünün FPGA Tabanlı Donanımsal Gerçekleşmesi”, *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(2), 63-68, 2013.
- [6] Borries, R.V., Pierluissi, J. H., and Nazeran, H., “Redundant Discrete Wavelet Transform for ECG Signal Processing”, *Biomedical Soft Computing and Human Sciences*, 2., 69-80, 2009.
- [7] Wu, Y., Rangayyan, R.M., Zhou, Y., and Ng, S.C., “Filtering electrocardiographic signals using an unbiased and normalized adaptive noise reduction system”, *Medical Engineering & Physics*, 1., 17-26, 2009.
- [8] Sayadi, O. and Shamsollahi, M.B., “ECG denoising and compression using a modified extended kalman filter structure”, *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, 9., 2240-2248, 2008.
- [9] Sivannarayana, N. and Reddy, D.C., “Biorthogonal wavelet transforms for ECG parameters estimation”, *Medical Engineering and Physics*, 21., 167-174, 1999.
- [10] Kantz, H. and Schreiber, T. *Nonlinear Time Series Analysis*, 2nd ed. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2004.
- [11] Lalley, S. P. And Nobel, A. B., “Denoising deterministic time series”, *Dynam. PDE*, vol. 3, 259-279, 2006.
- [12] Bahoura, M. and Ezzaidi, H., “FPGA-Implementation of Wavelet-based Denoising Technique to Remove Power-Line Interference from ECG Signal”, *IEEE*, 978-1-4244-6561-3/10, 2010.
- [13] Zhidong, Z. and Min, P., “ECG denoising by sparse wavelet shrinkage”, in *Bioinformatics and Biomedical Engineering*, 786-789, 2007.

- [14] Alfaouri, M. and Daqrouq, K., "ECG denoising by sparse wavelet shrinkage", *American Journal of Applied Sciences*, 5(3), 276-281, 2008.
- [15] Sayadi, O. and Shamsollahi, M.B., "ECG denoising with adaptive bionic wavelet transform", in *28th Annual International Conf. of IEEE on Eng. In Med. and Biology Society EMBS'06*, 2006, 6597-6600.
- [16] Donoho, D.L., "Nonlinear wavelet methods for recovering signals, images, and densities from indirect and noisy data", *Proceedings of Symposia in Applied Mathematics*, 1993, 173-205.
- [17] Strang, G. and Nguyen, T., *Wavelets and Filter Banks*, Cambridge Press, Wellesley, 1996.
- [18] Uyar, M., Yıldırım, S., Gençoğlu M.T., "Güç kalitesindeki bozulma türlerinin sınıflandırılması için bir örüntü tanıma yaklaşımı", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26, 1, 41-56, 2011.
- [19] Uyar, M., Yıldırım, S., Gençoğlu, M.T., "Güç kalitesi problemlerinin analizi için işaret işleme yöntemlerinin karşılaştırılması", *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25 (1), 21-31, 2013.
- [20] Goswami J, C. and Chan A. K., *Fundamentals of Wavelets Theory, Algorithm and Applications*, John Wiley & Sons, USA, 1999.
- [21] Fliege, N.J. *Multirate digital signal processing*, John Wiley & Sons, Chichester, 1996.
- [22] Üstündağ, M., Avcı, E., Gökbulut, M., Ata, F., "Dalgacık Paket Dönüşümü ve Genetik Algoritma Kullanarak Zayıf Radar Sinyallerinin Gürültüden Arındırılması", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29., 375-383, 2014.
- [23] Üstündağ, M., Gökbulut, M., Şengür, A. ve Ata, F., "Denoising of weak ECG signals by using wavelet analysis and fuzzy thresholding", *Network Modeling Analysis in Health Informatics and Bioinformatics*, 1., 135-140, 2012.
- [24] Internet: Harvard-MIT Division of Health Sciences and Technology, <http://ecg.mit.edu/>.

Biyogölleme Uygulamaları ve Nano-biyosensörler Biosensing Applications and Nano-biosensors

Aytaç Onur^{1,2}, Semih Korkmaz², Mustafa Türkmen², Sabri Kaya²

¹İdari Hizmetler Başkanlığı
Nevşehir İli Kamu Hastaneleri Birliği Genel Sekreterliği
aytac.onur@saglik.gov.tr

²Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Erciyes Üniversitesi
smhkorkmaz@gmail.com, turkmen@erciyes.edu.tr, sabrikaya@erciyes.edu.tr

Özet

Biyosensörler, bünyesinde biyolojik bir duyargacı bulunan ve bir fiziko-kimyasal çevirici ile birleştirilmiş cihazlardır. Bir biyosensörün amacı, bir veya bir grup analitin (analiz edilecek madde) miktarı ile orantılı bir elektrik sinyali üretmektir. Teknolojinin hızlı gelişimi ile nano boyutta biyosensörler üretilmekte ve bu sayede daha hassas, daha hızlı ve daha seçici bir algılama yapılabilmektedir. Son yıllarda biyomedikal uygulamalarda sıkça tercih edilen nano-biyosensörler hastalıkların erken tanısında ve böylece yaşam kalitesinin yükseltilmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmada ülkemizde bu konuda yapılacak araştırmalara ışık tutmak amacıyla literatürde biyo-algılama uygulamalarında kullanılmakta olan nano-biyosensör yapıları incelenmiş ve algılama performansları tartışılmıştır.

Abstract

Biosensors are devices having a biological sensor inside and combined with a physico-chemical conversion. Purpose of a biosensor is producing an electrical signal proportional with the quantity of one or a group of the analyte (substance will be analyzed). Biosensors in nano size are produced due to rapid development of technology, and thus more sensitive, faster and selective detection can be performed. In recent years, nano – biosensors are often preferred for biomedical applications and thus plays an important role on improving the quality of life by early diagnosis of diseases. In this study structures of nano- biosensors used in bio-sensing applications are examined in order to be shed light to researches on this subject in our country and detection performances are discussed.

1. Giriş

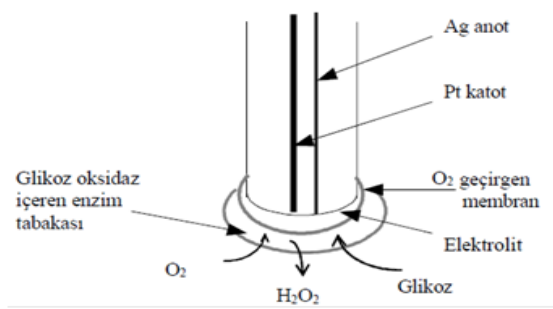
Biyosensörler; sıklıkla biyolojik analizler için kullanılan bir çeşit özel sensörlerdir. Biyosensör sistemi üç temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlar, seçici tanıma mekanizmasına sahip “biyomolekül, biyoajan” bu biyoajanın incelenen madde ile etkileşimi sonucu oluşan fiziko kimyasal sinyalleri elektronik

sinyallere dönüştürülebilen “çevirici” ve “elektronik” bölümlerdir. Bu bileşenlerden en önemlisi, tayin edilecek maddeye karşı son derece seçimli fakat tersinir bir şekilde etkileşime giren, duyarlı biyolojikajandır. Biyosensör yapıları genel olarak insanların doğayı bir çeşit taklit mekanizması şeklinde oluşmuştur. Tüm canlılar yaşadıkları ortamdaki fiziksel yada kimyasal değişimleri derhal algılayıp yaşamlarını sürdürebilmek için bu değişimlere uymaya ve adapte olmaya çalışırlar. İşte bu algılama mekanizması biyosensörlerin gelişiminde temel oluşturmıştır. Canlılar bilim insanlarının hayal bile edemeyeceği düzeylerde duyarlılık performansı gösterirler. Örneğin bazı köpeklerin koku alma duyuları insanlardan 100.000 kat daha fazladır. Yılan balıkları binlerce metre küp su içerisinde ilave edilen birkaç damla yabancı maddeyi hemen algılayarak tespit edebilirler. Benzer şekilde kelebeklerde partnerlerinin yaydığı birkaç molekül tanesini bile havada hemen hissedebilirler. Bu tür üstün özellikler insanoğlunun biyosensörler alanında çalışmalarına ilham kaynağı olmuş ve doğayı taklit etme unsuru burada tekrar gerçekleşmiştir. Bu çalışmada biyosensör yapıları ve nano-biyosensörlerin özellikleri ile tanıma mekanizmalarının yapı taşlarını oluşturan nano boyutlu malzemelerden bahsedilecektir [1-4].

2. Biyosensörlerin Tarihsel Gelişimi

Biyosensörlerin tarihi 1950'li yıllara dayanmaktadır. Amerika'da L.C. Clark'ın Cincinnati Hastanesinde bir ameliyat sırasında kandaki Oksijen (O₂) miktarını bir elektrod ile izlemesiyle biyosensörlerin tarihsel gelişimi başlamıştır. 1962 yılında Clark ve Lyons, Glukoz oksidaz (GOD) enzimini O₂ –elektrodu ile kombine ederek kanın glukoz düzeyini ölçmeyi başarmışlardır [5]. Böylece yeni bir analitik sistem oluşmuş ve ilk biyosensör sistemi rapor edilmiştir. Bu sistem bir yandan biyolojik sistemin yüksek spesifikliğini (enzim) diğer taraftan ise fiziksel sistemin (elektrod) tayin duyarlılığını birleştirmiş ve geniş spektrumlu bir uygulama olanağına sahip olmuştur [6]. Şekil 1'de Clark'ın enzim biyosensörü görülmektedir. 1969 yılında Guilbault ve Montalvo, üre algılamada kullanılmak üzere ilk potansiyometrik biyosensörü rapor etmişlerdir. 1980 yılında Peterson tarafından kan gazları

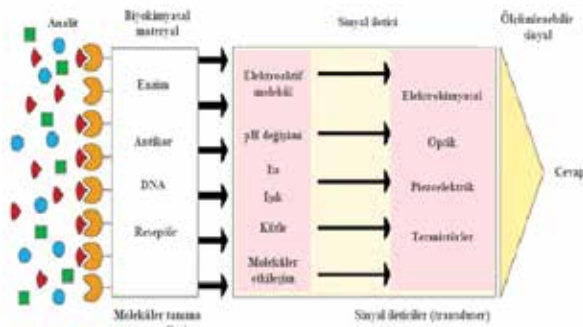
için ilk fiber optik pH sensörü geliştirilmiş, 1982 yılında ise glikoz tayini için ilk fiber optik bazlı biyosensör kullanılmaya başlanmıştır. 2000'li yıllarda nano teknolojinin gelişimi ile üretilen nano malzemeler biyosensörlerde kullanılmakta ve bu alanda hızlı bir gelişim sağlanmaktadır [7].



Şekil 1 : Clark'ın enzim biyosensörü

3. Biyosensör Yapıları ve Kullanım Alanları

Şematik yapısı Şekil 2'de verilen biyosensörlerin genel yapılarını inceleyecek olursak; hedef analit ile etkileşime girerek tanıma olayını gerçekleştirecek biyokimyasal materyaller yapının ilk ve en önemli parçalarından birini oluşturur. Bu materyaller genellikle, DNA, enzim ya da antikor olabilir. Bu moleküler tanıma materyalleri hedef analitle yaptıkları etkileşim sonucu bir fiziksel ya da kimyasal etki meydana getirirler. Isı değişimi, kütle değişimi, pH değişimi vb. etkiler; sinyal iletici olarak adlandırılan bölümde, optik, elektrokimyasal, piezoelektrik, ya da manyetik sinyaller üretirecek bir ölçülebilir cevap oluştururlar. Biyosensör tarafından üretilen bu sinyal ve cevap algılama işleminin yapılmasını sağlar. Biyosensörlerde ölçüm prensibi ya da ölçülen özelliğe göre çeviri türü belirlenmektedir. Örnek olarak; potansiyometrik, voltametrik ya da amperometrik ölçümler için elektrokimyasal çeviri; floresans, yansıma, kırılma indisi ve ışık saçılması gibi ölçümler için ise optik çeviriciler kullanılır. Günümüzde biyosensörler; klinik teşhislerde ve tıbbi uygulamalarda, gıdaların kalite kontrollerinde, ilaç üretiminde, endüstriyel atık su denetiminde ve askeri savunma sanayii gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Günlük hayatta yaşam kalitesini yükseltecek birçok uygulama ve araştırmada vazgeçilmez bir analiz ve tayin cihazı olarak kullanılmaktadırlar [8].

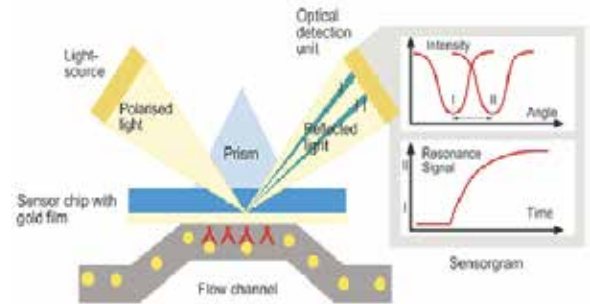


Şekil 2 : Biyosensörlerin şematik yapısı

4. Nano-Biyosensörlerde Kullanılan Ölçüm Teknikleri

4.1. Yüzey Plazmon Rezonans (SPR)

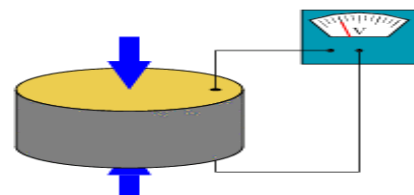
Yüzey Plazmon Rezonans (SPR), metal yüzeyine yakın ortamın kırılma indisindeki değişimleri ölçen optik bir tekniktir. SPR hızlı, işaretlemeye ihtiyaç duymayan, yüksek duyarlılığa sahip, gerçek zamanlı ölçüm yapabilmektedir. Şekil 3'te görüldüğü gibi SPR sisteminde; polarize ışık, yüzeyi altın kaplı bir prizmaya gönderildiğinde ışığın bir kısmı soğurulmakta, bir kısmı da yansımaktadır. Geliş açısı değiştirilip yansıyan ışığın şiddeti izlendiğinde yansıyan ışık şiddetinde bir miktar azalma görülür. Yansıyan ışığın şiddetinde maksimum kaybın gerçekleştiği açıya rezonans açısı ya da SPR açısı adı verilir. Bu geliş açısında ışık, yüzey plazmonlarını (elektron paketçikleri) harekete geçirecek, yüzey plazmon rezonans olayı gerçekleşecektir. Yüzey plazmon rezonansı iki optik ortamın ara yüzeyine ince iletken bir film yerleştirildiğinde meydana gelir. Spesifik bir geliş açısında metal yüzeyindeki elektron frekanslarının eşleşmeleri nedeniyle gelen ışık ile rezonans durumuna gelecektir. Bu rezonans durumunda enerji soğurulacağı için yansıyan ışının yoğunluğunda bir azalma meydana gelmektedir [9].



Şekil 3 : SPR sistem görüntüsü

4.2. Kuvars Kristal Mikroterazi (QCM)

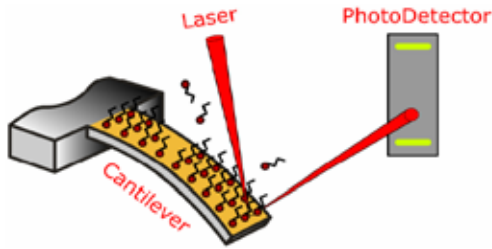
Kuvars kristal mikroterazi kütleye bağlı ölçüm yapan hassasiyeti oldukça yüksek olan sensörlerdir. QCM teorisi kuvars kristal yüzeyindeki etkileşimler sonucunda kütle artışı ile orantılı olarak değişen frekansın ölçümüne dayanmaktadır (Şekil 4). QCM piezoelektrik özellikte olup kuvvet uygulandığında elektrik, elektrik uygulandığında ise fiziksel boyutta değişim oluşturan algılayıcı sensördür. Kuartz kristal uygun bir elektronik devreye bağlandığında belli bir frekansta rezonans yapmaktadır ve bu rezonans frekansı çok küçük kütle değişimlerine duyarlıdır [10].



Şekil 4 : QCM ölçüm mekanizması

4.3. Kantilever Sistemler

Kantilever sensörler, üzerlerine bağlanan moleküllerden kaynaklanan kütle değişimi ile kantileverin sallanma frekansının değişmesi ilkesine göre çalışmaktadır. Kantilever üzerine tutunan moleküllerin, yada Şekil 5’de görüldüğü gibi bir lazer ışık demeti gönderilerek üzerinden kopartılan moleküllerin kütsel değişimi, kantileverde bir sallanma frekansı oluşturmakta ve bu frekans değişimlerinin ölçümüyle algılama yapılabilmektedir [11].



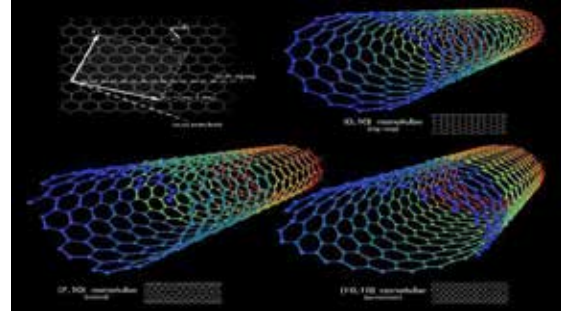
Şekil 5 : Kantilever sistemi

5. Biyosensörlerde Nanomalzeme Kullanımı

Nanomalzemeler boyutları 100 nanometrenin altında olan malzemelerdir. Biyosensörlerde nanomalzeme kullanımı ile birlikte ölçüm sistemleri ve hassasiyet dereceleri büyük oranlarda artmış ve nano-biyosensör sistemleri oluşmuştur. Nano-biyosensörler daha önceki biyosensör sistemlere göre birçok avantaja ve birçok üstün özelliklere sahip nanoelektromekanik sistemler haline gelmişlerdir. Hassasiyet dereceleri arttığı gibi kararlılıkları, tayin limitleri ve seçicilik özellikleri de ciddi oranlarda artmıştır. Katalitik aktiviteleri iyileştirilmiş, sistemlerde minyatürizasyon olanağı kazanılmıştır. Kullanılan nanomateriyal çeşidine göre de oluşturulan biyosensör sistemlerinde büyük ölçüde maliyetler azalmıştır. Bu bölümde biyosensörlerde kullanılan nanomateriyallerden ve bu materyallerin kullanımı ile oluşturulmuş bazı nano-biyosensör yapıları anlatılmıştır.

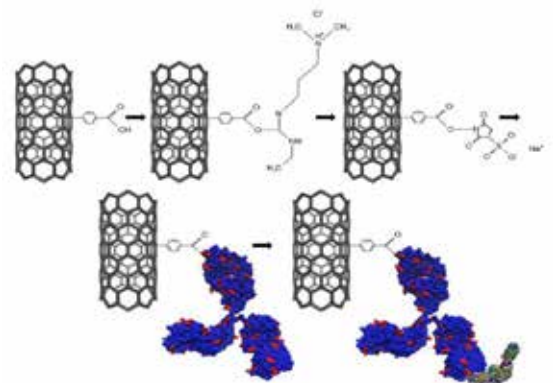
5.1. Karbon Nanotüpler

Karbon nanotüp, karbon elementinin uzunluk-çap oranı $28 \times 10^6:1$ olan silindirik yapıli allotropudur [12]. Tek katmanlı (tek duvarlı) ya da çok katmanlı (çoklu duvarlı) karbon nanotüpler mevcuttur. Tek katmanlı nanotüpler zikzak, koltuk ve kiral olarak üç tipte yapıldır. Bu karbon nanotüp yapıları Şekil 6’da görülmektedir. Karbon nanotüpler nano-biyosensör uygulamalarında sıklıkla kullanılan materyallerden biridir. Elektriksel özelliklerinin ve iletkenliklerinin yüksek olması, kararlı yapıda olmaları ve mekanik dayanımlarının iyi olması, kararlı kimyasal yapıları, ve yüksek yüzey hacmine sahip olmaları gibi avantajları sayesinde biyoalgılama uygulamalarında sıklıkla tercih edilen materyallerdir. Sağlık alanında, endüstride, gıda analizleri ve çevre analizlerinde kullanılan biyosensörlerde fazlaca kullanılmaktadırlar [13].



Şekil 6 : Karbon nanotüpler

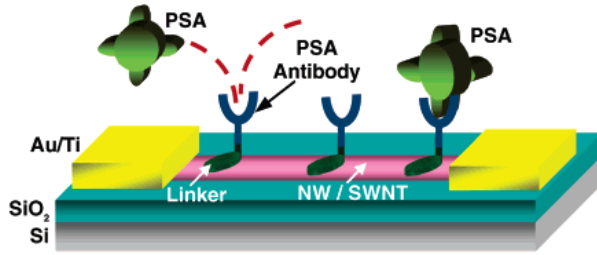
Şekil 7’de karbon nanotüp tabanlı bir biyoalgı uygulaması görülmektedir. Oluşturulan nano-biyosensör yapısında, Lyme hastalığına neden olan virüsün tayini yapılabilmektedir. Lyme hastalığı tayini için geliştirilen karbonnanotüp temelli bu biyosensör yapısında karbonnanotüp yüzeyinde asit grubu ile aktifleştirilen karboksil grupları oluşturulmaktadır. Ardından karboksil grubunun 1-Etil-3-[3-dimetilaminopropil] karbodiimid (EDC) ve N-Hidroksi süksinimid (NHS) çiftiyle aktivasyonu gerçekleştirilmektedir. Hedef analite spesifik antikorun immobilizasyonu gerçekleştirilerek analitin tayini yapılmaktadır [14].



Şekil 7 : Karbon nanotüp tabanlı nano-biyosensör uygulaması

5.2. Nanotel Yapılar

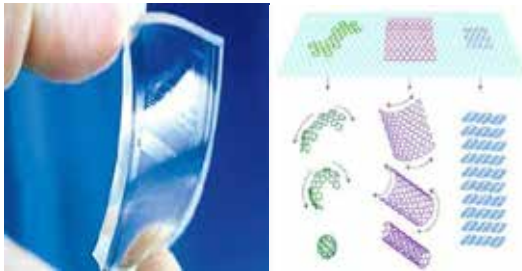
Nano-biyosensör yapılarda sıklıkla kullanılan materyallerden birisi de nanotellerdir. Nanoteller moleküler birleşmelerin elektriksel olarak algılanmasını sağlayan nano yapılarıdır. Metal, polimer yada yarı iletken yapılarda oluşturulabilirler. Şekil 8’de yer alan nano-biyosensör yapıda, hedef molekül, nanotel/nanotüp yüzeyiyle etkileşime girmektedir. Bu etkileşim sonucunda tellerden akan akım şarj tipine bağlı olarak artar ya da azalır. Bu şekilde biyosensör, sistemden ölçülen akım değerlerindeki değişim ve üretilen sinyal ile hedef analitin varlığına yönelik bir netice sunar. Elektrot üzerinde gerçekleşen elektriksel değişim ile ampermetre üzerinde bir değer okunarak sinyal elde edilmiş olmaktadır. Oluşturulan nano-biyosensör yapı ile PSA proteini varlığı tespit edilmekte, prostat kanserinin büyümesini izlemek için onkolojide kullanılmaktadır [15].



Şekil 8 : Nanotel temelli biyosensör uygulaması

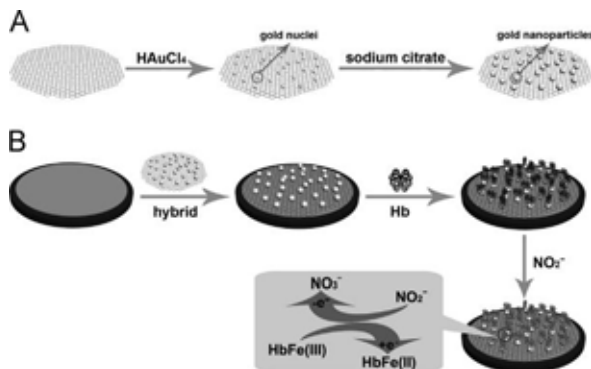
5.3. Grafen

Grafen karbon atomunun bal peteği örgülü yapılarından bir tanesine verilen addır. Bal peteği kristal yapısında, sp^2 melezleşmesi yapan grafitin, nanotüpün ve C_{60} 'ın ana yapı taşı olan grafen 2004 yılında sentezlenebilmiştir [16]. Grafen yüksek elastik yapıya sahip bir materyal olup elektriksel ve termal iletkenliği yüksektir. Mekanik dayanıklılığı iyi olan grafen maliyeti oldukça düşük ve Şekil 9'da görüldüğü gibi renksiz ve elastik yapıya sahip bir materyal olarak; biyolojik uygulamalarında özellikle elektrokimyasal, empedans ve floresans biyosensörlerde kullanılmaktadır.



Şekil 9 : Grafen görüntüsü ve karbon yapısı

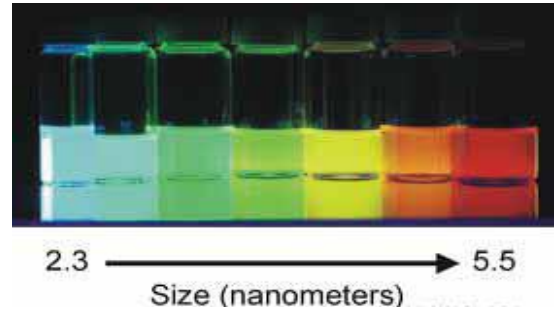
Şekil 10'da grafen tabanlı bir nano-biyosensör yapısı görülmektedir. Bu uygulamada nitrit tayini için geliştirilen bir sistem oluşturulmuştur. Grafen tabakası üzerine sodyumsitrat çekirdekleri ve onlarla birlikte altın nanoparçacıklar grafen tabaka üzerine entegre edilmiştir. Ardından, oluşturulan kompozit yapı materyal elektrot üzerine yerleştirilerek altın nanoparçacıklar üzerine hemoglobinin sabitleme işlemi yapılmıştır. Sonraki aşamada hemoglobinin burada meydana getirdiği katalitik aktivite sayesinde nitrit tayininde kullanılmak üzere bir biyosensör yapısı meydana getirilmiştir [17].



Şekil 10 : Grafen tabanlı bir nano-biyosensör yapısı

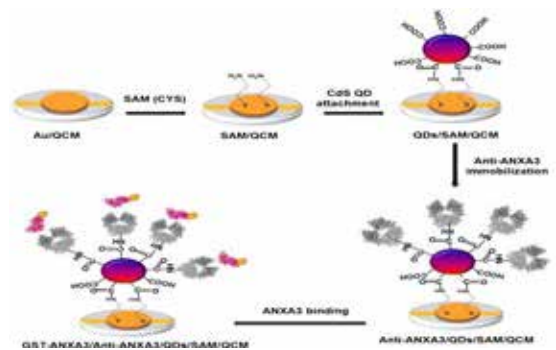
5.4. Kuantum Dotlar

Kuantum dotlar 1-10 nanometre boyutlarında genellikle yarı iletken yapıda olan inorganik nanokristallerdir. Kuantum dotlarda boyut kontrol edilebilen bir parametredir. Bu parametrenin 'kuantum sınırlaması' etkisi ile birleştirilmesiyle kuantum dotlar yüksek optik ve elektriksel özelliklere sahip yapılar haline gelirler (Şekil 11). Fotokimyasal kararlılıkları ve hassasiyetleri çok yüksektir. Maliyetleri düşük olan kuantum dotlar yüksek seçiciliğe sahiptirler. Hızlı analit tayini sağlayabilen yapıları minyatürizasyona çok uygundur [18].



Şekil 11 : Kuantum dotların boyutlarıyla renklerinin değişimi

Şekil 12'de kuantum dotların biosensörlere uygulanması ve sistemin yapısal oluşum adımları görülmektedir. Quartz kristal microbalans (QCM) çipin üzerine SAM tabakası oluşturulmakta ve bu işlemin ardından kuantum dotlar ile yüzeyine bir karboksil grubu ilave edilmektedir. Karboksil grubu aktifleştirilerek amino grubuyla kovalent bağ yaptırılmakta ardından diğer aktivasyon adımıyla Anti-ANXA3(antikör) immobilizasyonu yapılarak nano-biyosensör oluşturulmaktadır. Bu nano-biyosensör yapısı ANXA3 biyomarker tayininde kullanılmaktadır. Bu biyomarker akciğer ve prostat kanserlerinde ortaya çıkmaktadır ve oluşturulan biyolojik sistemi ile bu hastalıkların erken teşhis ve tanı işlemlerinde kullanılabilir [19].

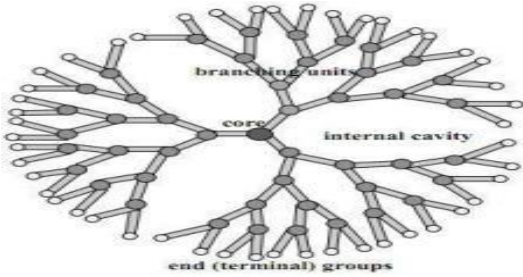


Şekil 12 : Kuantum dot temelli biyosensör uygulaması

5.5. Dendrimerler

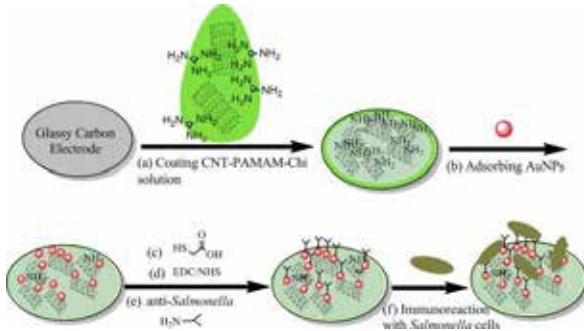
Dendrimer, bir çekirdek, çekirdek etrafındaki dallanma birimleri ve dallanmış fonksiyonel grup olarak da adlandırılan yüzey gruplarından oluşurlar. Tekrar eden, dallanmış küre şeklinde geniş moleküllerdir. Şekil 13'de dendrimerin dallanmış yapısı görülmektedir. Dendrimerlerin çeşitliliği fonksiyonel gruplarla sağlanmaktadır. Dallanma birimleri ise

dendrimlerin tekrarlı bir şekilde büyümesini sağlamaktadır. Hassasiyeti yüksek ve kararlı yapıları malzemelerdir. Dendrimlerin eş yüzey grupları, mükemmel kapsüllenme özellikleri ve büyük oranda kontrol edilebilir kimyaları ile belirli ilaç taşıma uygulamalarında kullanıma uygundur [20, 21].



Şekil 13 : Dendrimerin yapısal görünümü

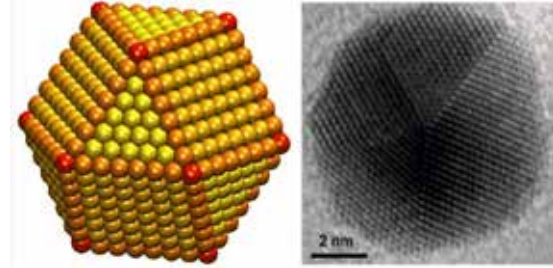
Şekil 14'te dendrimlerin biyosensör uygulamalarında kullanımına bir örnek görülmektedir. Elektrokimyasal bir elektrot, karbon nanotüp PAMAM ve Kitosan çözeltisiyle kaplanarak üç farklı nanopartikülden kompozit bir yapı oluşturulmaktadır. Bu yapı üzerine altın nanopartiküller ilave edilmekte, sonraki aşamada yüzeydeki amino gruplarının HS-EDC/NHS gruplarıyla karboksil gruplarının aktivasyonu ve anti-Salmonella antikorunun immobilizasyonu gerçekleştirilerek Salmonella hücrelerinin varlığını tespit eden bir nano-biyosensör yapısı oluşturularak biyoalgılama yapılmaktadır [22].



Şekil 14 : Dendrimer temelli biyosensör uygulaması

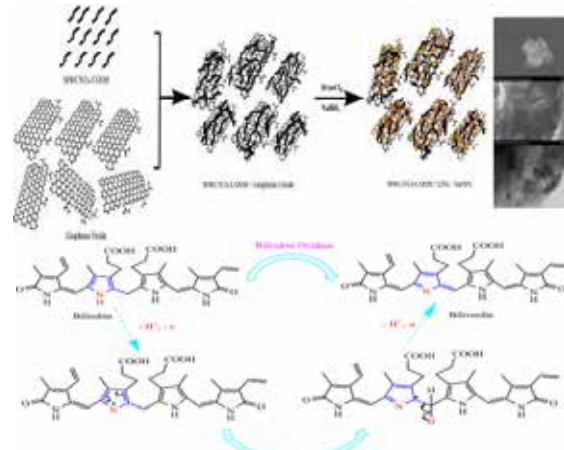
5.6. Altın Nanoparçacıklar

Altın nanoparçacıklar biyoalgılama uygulamalarında sıklıkla kullanılan materyallerdendir. Altın nanoparçacıkların; biyosensör maliyetlerini artırmasına rağmen, kararlı yapıları sayesinde diğer materyallerle etkileşime girmemeleri tercih edilmelerinde en önemli etken olmaktadır. Şekil 15'de görülen nano boyutlu altın parçacıkların elektriksel, kimyasal ve optik özelliklerinin iyi olması üstün özelliklerinden bazılarıdır. Altın nanoparçacıklar, görünür bölgedeki plazmon rezonanslarından dolayı ışınların çok iyi emilimini veya saçılmasını sağlarlar. Bu da onların optik olarak kullanımlarına olanak sağlar. Bu durumun sağlayabileceği en büyük avantajlardan biri ise altın nanoparçacıkların kontrollü ilaç taşıma sistemlerinde kullanılabilmeleridir. Bu yolla istenilen ilaç, vücudun istenilen bölgesine, istenilen miktarda ulaştırılabilmektedir [23].



Şekil 15 : Altın nanoparçacık görüntüleri

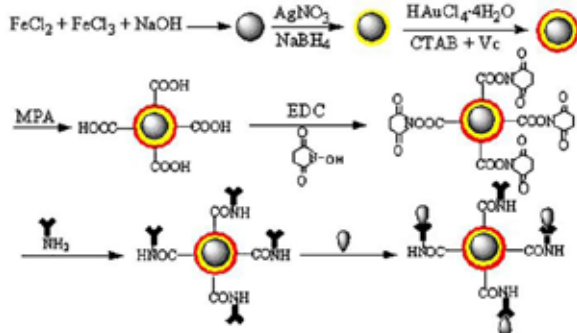
Altın nanoparçacıkların biyosensör yapılarında kullanımına dair bir örnek uygulama Şekil 16'da yer almaktadır. Bu nano-biyosensör uygulamasında, altın nanoparçacık, karbon nanotüpler ve grafen tabakası birlikte kullanılmaktadır. Oluşturulan bu kompozit yapı uygun bir elektrot üzerine entegre edilmekte ve karboksil gruplarının aktivasyonu ile Bilurubin tayinini yapılmaktadır [24].



Şekil 16 : Altın nanoparçacık temelli biyosensör uygulaması

5.7. Manyetik Nanoparçacıklar

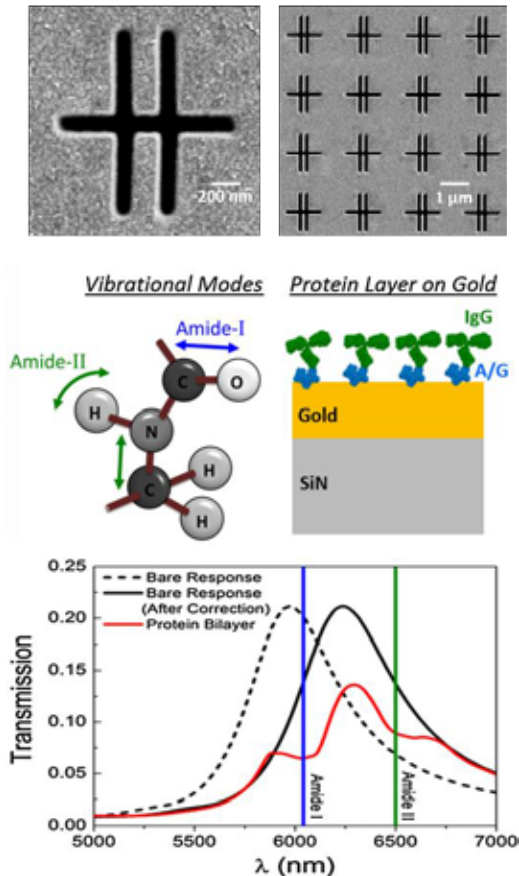
Manyetik nanoparçacıkların sentezi biyosensör uygulamalarındaki avantajlarından dolayı ilgi çekmiştir. [25]. Şekil 17'de yer alan biyoalgılama uygulamasında manyetik nanoparçacıkların kullanılmasıyla üretilen bir biyosensör sistem yapısı görülmektedir. Manyetiğin etrafı önce gümüş ile kaplanmaktadır. Ardından gümüşün üzerine altın nanoparçacıklar entegre edilmekte ve oluşan materyalin yüzeyi asit grubuyla sentezlenmektedir. İlave edilen karboksil gurubu EDC grubu ile aktifleştirilerek protein tayinlerinde kullanılmak üzere bir nano-biyosensör oluşturulmuş olmaktadır [25].



Şekil 17 : Manyetik nanoparçacık temelli biyosensör uygulaması

5.8. Nanoaçıklıklar

Asılı membran üzerine oluşturulan nanoaçıklık dizileri biyoalgılama uygulamalarında kullanılabilir. Nanoaçıklık dizileri ile oluşturulan biyoalgılayıcılarda yüksek lokal elektromanyetik alan biyomoleküllerin örtüşmelerini arttırdığından hassasiyeti de arttırmaktadır. Çünkü geniş lokal elektromanyetik alanlar bu tür nanoaçıklıkların hedef biyomoleküllerle optik alanların etkileşimini artırmasını sağlamaktadır. Yapılan bir çalışmada Şekil 18'de görülen altın kaplanmış SiN membran üzerine H şeklindeki nanoaçıklık dizileri kullanılarak iki katmanlı proteinlerin biyoalgılama uygulaması gerçekleştirilmiştir [26].



Şekil 18 : H-şeklindeki nanoaçıklık dizisi ve biyoalgılama sonuçları

6. Sonuçlar

Biyoalgılama uygulamaları sağlık sektörü başta olmak üzere bir çok alanda önemini artırmaktadır. Yıllardır kullanılan ve geliştirilen biyosensörlerde nanoparçacıkların kullanımı ile büyük gelişme ve ilerlemelerin gerçekleştiği görülmektedir. Nano-biyosensörler hızla gelişen bir yapı içerisinde günlük hayatta bir çok uygulamada yer almaktadır. Nano boyutlu cihazların üretilmesi, maliyetlerin düşürülmesi, hedefe yönelik spesifik özellikte ve kararlılığı yüksek ürünlerin elde edilmesi, tanı ve teşhis ve analiz çalışmalarına bir çok avantaj sağlamıştır. Nanoteknolojide yaşanan hızlı gelişmeler bir çok alanda olduğu gibi biyoalgılama çalışmalarında da gelişimin en önemli ögesi olmuştur. Nanomalzemelerin çeşitliliği biyosensörlerin de farklı yapı ve özelliklerde olmasını sağlamaktadır. Birkaç farklı nanomalzemenin bir arada kullanılarak oluşturulan bütünleşik sistemler ise bu materyallere ait bir çok üstün özelliğin bir arada kullanılabilmesi olanağını sunmaktadır. Nano-biyosensör çalışmalarının gelişime açık bir alan olduğu ve algılama sistemlerinin sürekli elde edilen yeniliklerle daha kaliteli, güvenilir ve hassas yapılar haline geldikleri görülmektedir.

7. Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmektedir (Proje No: 115E209)

8. Kaynaklar

- [1] Otlu, B., "Biyosensörler: Biyoreseptör Moleküller", *6th International Advanced Technologies Symposium*, 2011
- [2] Bulut, Y., "Biyosensörlerin Tanımı Ve Biyosensörlere Genel Bakış", *6th International Advanced Technologies Symposium*, 2011
- [3] Sagadevan, S., Periasamy M., "Recent Trends In Nanobiosensors And Their Applications – A Review", *Rev. Adv. Mater. Sci.*, 36, 62-69, 2014
- [4] Sang, S., Zhang, W., Zhao, Y., "Review on the Design Art of Biosensors", *State of the Art in Biosensors-General Aspects*, 4, 89-110, 2013
- [5] Clark, L. C., Lyons, C., "Electrode System For Continuous Monitoring In Cardiovascular Surgery", *Annals of The New York Academy Of Sciences*, 102, 29-45, 1962
- [6] Mert Toprakçıran, N., "İçeceklerde Kafein Tayini İçin Yeni Bir Biyosensör Hazırlanması", *Yüksek Lisans Tezi Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2010
- [7] Abasıyanık, M., Şakalar, E., Şenel, M., "Biyosensörlere Genel Bir Bakış Ve Biyosavunmada Kullanılan Biyosensörler", *Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik, Nükleer (KBRN) Kongresi*, 2008, 135-149
- [8] Bögrekci, İ., Demircioğlu, P., "Biyosensörler", *Çeviri - Li, Yanbin. 2006. Section 2.3 Biosensors*,
- [9] Kara, M., Kolaylı, S., "Kloramfenikolün Gıda Güvenliği Amaçlı Tayininde Yüzey Plazmon Rezonans ve Moleküler Baskılama Tekniklerinin Kullanımı", *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt 5*, 2010
- [10] Özen, P., Ebeoğlu, M.A., "QCM Tabanlı Sıvı Ortam Algılama Sistemi Tasarımı", *ELECO'2012 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 2012

- [11] Godin, M., "Surface Stress, Kinetics, and Structure of Alkanethiol Self-Assembled Monolayers", *Department of Physics McGill University, Canada, Ph.D dissertation*, 2004
- [12] Wang, X., Li, Q., Xie, J., Jin, Z., Wang, J., Li, Yan., Jiang, K., Fan, S., "Fabrication of Ultralong and Electrically Uniform Single-Walled Carbon Nanotubes on Clean Substrates", *Nano Letters*, 9 (9), 3137–3141, 2009
- [13] Balasubramanian, K., Burghard, M., "Biosensors based on carbon nanotubes", *Anal Bioanal Chem*, 385, 452-468, 2006
- [14] Lerner, MB., Dailey, J., Goldsmith, BR., Brisson, D., Charlie Johnson, A.T., "Detecting Lyme Disease Using Antibody-Functionalized Single-Walled Carbon Nanotube Transistors ", *Biosensors and Bioelectronics*, 45, 163-167, 2013
- [15] Li, C., Curreli, M., Lin, H., Lei, B., Ishikawa, F.N., Datar, R., Cote, R.J., Thompson, M.E., Zhou, C., "Complementary Detection of Prostate-Specific Antigen Using In₂O₃ Nanowires and Carbon Nanotubes", *Journal of The American Chemical Society*, 127, 12484-12485
- [16] Novoselov, K.S., Geim, A.K., Morozov, S.V., Yiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S.V., Grigorieva, I.V., Firsov, A.A., "Nomenclature and terminology of graphite intercalation compounds". *Science*, 306, 666, 2004
- [17] Jiang, J., Fan, W., Du, X., "Nitrite Electrochemical Biosensing Based On Coupled Graphene And Gold Nanoparticles ", *Biosensors and Bioelectronics*, 51, 343-348, 2014
- [18] Durmuşoğlu, E.G., "Kuantum Nokta ", *Metalurji*, 160, 31-34, 2011
- [19] Kim, Y.J., Rahman, M.M., Lee, J.J., "Ultrasensitive and Label-Free Detection Of Annexin A3 Based On Quartz Crystal Microbalance ", *Sensors and Actuators B: Chemical*, 177, 172-177, 2013
- [20] Akar, E., Bulut, M.O., "Dendrimerlerin Önemi Ve Kullanım Alanları ", *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 2, 5-11, 2012
- [21] Namırtı, O., Atav, R., "Tekstilde Yeni Bir Konsept Olan Dendrimerlerin Tarihçesi, Sınıflandırılması, Molekül Yapısı Ve Özellikleri", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt 17 Sayı 2*, 2011.
- [22] Dong, J., Zhao, H., Xu, M., Ma, Q., Ai, S., "A label-free electrochemical impedance immunosensor based on AuNPs/PAMAM-MWCNT-Chi nanocomposite modified glassy carbon electrode for detection of Salmonella typhimurium in milk ", *Food Chemistry*, 141, 1980-1986, 2013
- [23] Dağlar, B., Ergül, N.E., Aydoğan, N., "Vesikül Yapıları İçine Entegre Edilmiş Nanopartiküllerin Konumlarının Yönlendirilmesinde Yüzey Kimyasının Etkisi", *11. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi*, 2014,
- [24] Feng, Q., Du, Y., Zhang, C., Zheng, Z., Hu, F., "Synthesis of the multi-walled carbon nanotubes-COOH/graphene/gold nanoparticles nanocomposite for simple determination of Bilirubin in human blood serum", *Sensors and Actuators B: Chemical*, 185, 337-344, 2013
- [25] Wang, J., Song, D., Zhang, H., Zhang, J., Jin, Y., Zhang, H., Zhou, H., Sun., Y., "Studies of Fe₃O₄/Ag/Au composites for immunoassay based on surface plasmon resonance biosensor", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 102, 165-170, 2013.
- [26] Cetin, A.E, Turkmen M., Aksu S., Etezadi D., Altug, H. "Multi-resonant compact nanoaperture with accessible large nearfields", *Appl. Phys. B*, 118, 29–38, 2015

Bilgisayar Kontrollü Damar Yolu Bulma Cihazı Tasarımı ve İmalatı

Design and Construction Computer Controlled Device for Vein Path Finding

Büşra Özgöde¹, Ulaş Umut Tarhan¹, Deniz Cengiz¹, Barış Çoruh² Onur Koçak¹, Arif Koçoğlu³

¹Mühendislik Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
Başkent Üniversitesi

busraozgode@gmail.com, ulashhevi@hotmail.com, deniz-535@hotmail.com, okocak@baskent.edu.tr

² İBÜTEM – İleri Biyomedikal Mühendislik Teknolojileri Merkezi AR&GE LTD.ŞTİ.
Gazi Üniversitesi Teknopark
bariscoruh@ibutem.com.tr

³ Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Programı
Başkent Üniversitesi
arif@baskent.edu.tr

Özet

Hemşireler, özellikle kritik hasta bakım süreçlerinde ve acil servislerde planlanan ilaç ve intravenöz sıvı uygulamalarını gerçekleştirebilmek için çok kısa sürede etkin bir damar yolu açmak zorundadırlar. İntravenöz uygulama tekniğinde başarılı damar yolu için anatomik bilginin yanı sıra hastanın venlerinin de görülebilir ve hissedebilir olması gerekir. Hemşirelerin bu konuda karşılaştığı büyük problemlerden biri olan damar yeri tespitine yönelik gerçekleştirilen çalışmada, cilt altındaki yüzeysel kan damarlarının tespit edilmesi ve kanın akışı görüntüsünün deri yüzeyine kızılötesi ışık yardımıyla yansıtılması hedeflenmiştir. Bu amaçla kanın içerisinde bulunan hemoglobin ve deoksihemoglobinin yakın kızılötesi ışını soğurma özelliğinden faydalanılmıştır. Daha sonra kızılötesi ışını görüntüleyen kamera ile oluşan kontrast farkının görüntüsü elde edilmiştir. İntravenöz venin seçiminde bu teknolojinin kullanılması, venöz girişimin başarısını büyük oranda etkilediği gibi, hasta ve hemşireler açısından sözü edilen olumsuzlukları da ortadan kaldıracaktır.

Abstract

Nurses must establish an effective vascular access in a very short time to realize drug and intravenous fluids delivery which planned in critical care medicine and the emergency service especially. In intravenous administration techniques, the patient's veins can be seen and felt. As well as anatomical knowledge to successful vascular access. In this study that one of the major problems faced by nurses for the veins localization; it is aimed to detect of superficial blood under the skin and to reflect the image of the shape of the blood flow to the skin surface with the aid of infrared light. For this purpose, near infrared ray absorption property of hemoglobin and deoxyhemoglobin that located in blood was utilized. Then, the contrast difference image is obtained with the camera can display the infrared rays. Using this technology in the selection of intravenous veins will greatly increase the success of the venous intervention and will also be eliminated the drawbacks for the patient and the nurse.

1. Giriş

Çalışmanın amacı, cilt altındaki yüzeysel damarları tespit etmek ve kanın akış şekline ait görüntüyü, deri yüzeyine yansıtarak sıklıkla karşılaşılan damar yolu bulma problemini ortadan kaldırmaktır.

Kanama, akut böbrek yetmezliği, hipotansiyon, şok ve kalp durması gibi tıbbi acil durumlarda hastanın damarına hızlı bir şekilde erişmek gerekir. Ancak sağlık görevlileri ya da hekimler damar yolunu tespit etmede başarılı olamayabilirler. Bunun dışında obezite, geriatri ve pediatri hastalarında da damar yolu görülemeyebilir [1].

- Obezite hastalarında, deri altı yağlanmaları nedeniyle damar yolunun bulunması için dokunma ya da görsel olarak bulmaya çalışmak oldukça zordur.

- Geriatri hastalarında damar elastikiyetini kaybeder bu durumdan dolayı damar bulunması oldukça zordur.

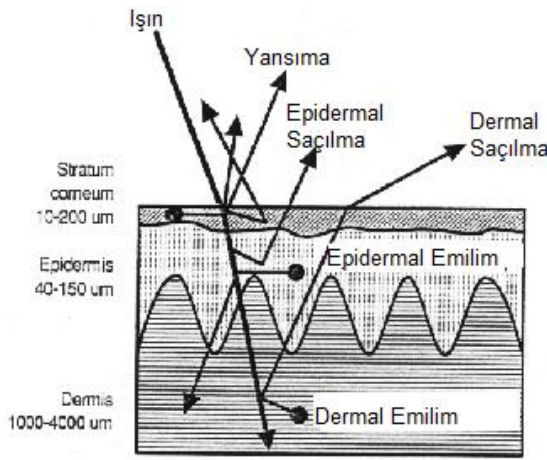
- Pediatri hastaları ise damar yolunun bulunması sırasında endişe eder veya korkarlar. Bu durumla birlikte kan basıncı artar ve damarlar daralır. Bu yüzden damar yeri bulmak zorlaşmaktadır.

Deri, epidermis, dermis ve hipodermis olarak bilinen üç alt tabakadan oluşur. En dıştaki epidermis tabakasında kan damarları bulunmadığından ışık bu tabakadan kolay bir şekilde geçer. Orta tabaka olarak bilinen dermis tabakası ise, kılcal damarlar, bezler ve kıl foliküllerini içerir. Besin kaynağını sağlamak için dermis ve epidermis arasında difüzyon gerçekleşir. Kas ve kemik üzerinde bulunan hipodermis tabakasında, yağ hücreleri, damarlar, arterler ve sinirler bulunur. Bu tabakadaki yağ miktarı doku altındaki ışığın nüfuz oranını belirler [3].

Deri üzerine doğrudan gönderilen ışınlar, derinin farklı katmanlarında ve derinliklerinde absorbe olmakta, dağılmakta

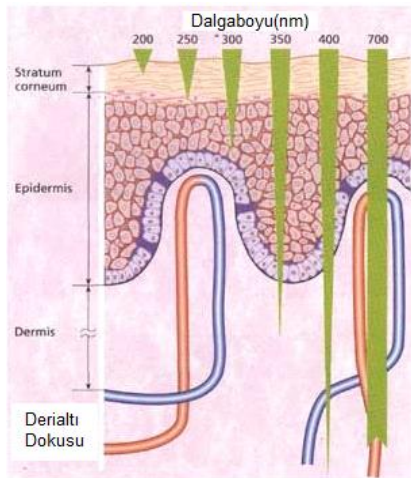
ya da yansımaktadır [2]. Derinin her tabakasında ışığın yayılma özellikleri farklılık gösterir. Deri yüzeyinden yansıyan ışığa düzgün yansıma denir. Bu düzgün yansıma ışığın iç dokuya yayılmasına izin vermez bu yüzden parlamaya neden olur [1].

Epidermis, dermis ve hipodermis tabakalarından oluşan deride, epidermis ışığın bir kısmını absorbe ettikten sonra alt katmana ışığı yayar. Işığın deride yayılması Şekil 1'de görülmektedir. Gelen ışık hipodermis'e ulaşmadan büyük bir kısmı dermis'te absorbe edilir. Yağ ışığın büyük bir kısmını absorbe eder ve az bir kısmı kan damarlarına ulaşır ve hemoglobin (Hb) tarafından absorbe edilir.



Şekil 1: Işığın deride yayılması.

Şekil 2'de görüldüğü gibi ışık, dalga boyuna göre farklı derinliklere ve katmanlara nüfuz etmektedir. Görünür (400-700 nm) kızılötesi ışın ise 700- 106 dalga boyu arasında bulunur. 300 nm ve 400nm arasındaki ışık epidermal ve dermal tabakaya kadar ulaşır fakat damarların bulunduğu katmana ulaşmaz. Yakın kızılötesi (700-1000nm) ışın bir kısmı absorbe olarak kan damarlarına kadar ulaşır [4].



Şekil 2: Işığın farklı dalga boylarında deride yayılması.

Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde edilen damar yeri tespit etme cihazı, damar görüntüsündeki kontrast farkından yararlanarak damar yerini tespit etmektedir. Üretilen cihaz sayesinde tahmine dayanan sonuçlar süreç dışına çıkarılmıştır. Cihaz çeşitli cinsiyet ve yaş gruplarındaki gönüllüler üzerinde test edilmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Profesyonel cihaz geliştirilmesi öncesinde ön çalışma olarak planlanan bu cihazın gerekli fonksiyonu yerine getirdiği bu sonuçlar ile kanıtlanmıştır. Bu doğrultuda cihazın gelecek çalışmalara referans oluşturulacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metod

Damar yolu tespiti problemini ortadan kaldırmak için uygun dalga boyuna sahip yakın kızılötesi ışık ile hipodermis tabakasına ulaşabilecek uygun elektronik bir devre tasarımı amaçlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda uygun power ledler ve kamera yardımıyla damar görüntüsü elde edilmiştir.

2.1. Power Led

LED, kelime olarak Light Emitting Diode (Işık Yayan Diod)'un baş harflerinden oluşmaktadır. LED'ler, aslında bir yarı-iletken diod olmakla birlikte normal diodlardan farklı olarak jonksiyon bölgelerinde yayımladıkları fotonlar aracılığı ile ışık verirler. LED'ler diğer akkor flamanlı lambalar veya flouresan tüplerde olduğu gibi herhangi bir termik veya kimyasal işlem sonucu ısınım yapmazlar. Bu sebeple ömürleri, verimleri çok daha yüksek ve fiziksel boyutları ise tam tersine çok daha küçüktür. Ve yine bu sebeple yüksek ısı yaymadıkları, kırılma olasılıkları bulunmadığı için düşük aktivasyon enerjili patlayıcı sıvıların ve gazların bulunduğu yerlerde ve diğer kazaların ortaya çıkabilecekleri yerlerde kullanılmak için en iyi çözümdür. LEDler çok çeşitli kimyasal maddelerden üretilmektedir. Farklı maddelerin bileşimi ışığın rengini belirlemekte ve böylelikle ışığın rengi elde edilmektedir. Infra-Rouge (Kızıl altı) dan Ultra-Viole (Mor Ötesi) ye kadar çok geniş bir spektrumda ışık verebilecek şekilde üretilmektedirler [5].

Power ledler yüksek akımla çalışmaktadır ve yüksek akımla çalıştıklarından ısınma problemi ortaya çıkmaktadır. Isı etkisiyle LED'in elektriksel özelliklerinde önemli değişiklikler olmakta ve kullanım ömrü düşmektedir. Bu durumda led sürücü devre kullanılarak akım sabitlenebilir. Böylece ısınma sorunu olduğunda bile akım değişmeyeceğinden sorun çıkmayacaktır [6].

LED'lerin alüminyum bir soğutucu üzerine monte edilmesi de ısınma sorunu büyük ölçüde azaltmaktadır. LED'leri hazır alüminyum PCB'ler üzerine monte etmek de mümkündür. LED'lerin ışık dağılımını iyileştirmek ya da LED'in ışığını uzak bir noktaya odaklamak gerektiğinde ise çeşitli lensler kullanılmaktadır.

2.2. CMOS Kamera

Günümüzde bir çok entegre devrede CMOS elemanları karşımıza çıkmaktadır. CMOS teknolojisi sadece bununla kısıtlı kalmayıp, mikroişlemci, mikrodnetleyici, statik-RAM ve birçok dijital lojik devrede kendini göstermektedir. Ayrıca bu teknoloji N-tipi ve P-tipi olarak adlandırılan NMOS ve PMOS transistörlerin aynı devre üzerinde gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır.

Birim silisyum alanda en fazla sayıda transistör gerçekleştirilmesine olanak sağlaması, gerçekleştirilen devre açık durumda fakat işlem yapmazken neredeyse hiç güç tüketmemesi gibi önemli özelliklere sahiptir. Bu gibi özelliklerinin yanı sıra elektronik endüstrisinin düşük maliyet ve düşük güç tüketimi ile uzun pil ömrü sağlanması isteği en çok CMOS elemanlar tarafından karşılanmaktadır. Özellikle dijital fotoğraf makinelerinde tercih edilen CMOS teknolojisi, dijital video çekimine az ısınma özelliğinden dolayı en uygun teknolojidir [7].

CMOS elemanları genel olarak elektronik gürültüye karşı dayanıklı olmalarına rağmen çok hassas bir yapıya sahip olmaları ile bilinmektedirler. Bünyelerinde koruma sistemleri mevcuttur ancak bazı CMOS türleri statik elektrikten bile etkilenecek kadar hassastırlar.

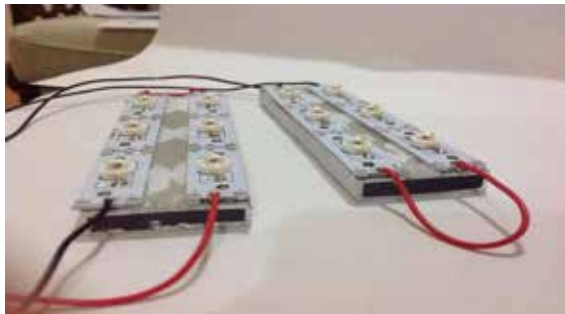
3. Tasarım ve Uygulama

Bu çalışmada iki farklı tasarım gerçekleştirilerek test edilmiştir. Bunlardan ilkinde 12 adet power led kullanılırken, ikincisinde 6 adet power led kullanılmıştır.

3.1. 12 Power Led ile Tasarlanan Sistem

Devre tasarımında 12 adet 850 nm dalga boyunda power led, 12 adet alüminyum PCB, bir led sürücü devre, bir araç kamerası ve alüminyum soğutucu kullanılmıştır.

Tasarlanan devrede 850nm dalga boyuna sahip power ledlerle 3x2'lik matrisler şeklinde iki adet devre kurulmuştur. Devrenin kurulma aşamasında power ledler 3'lü şekilde yan yana alınan 4 adet PCB'nin üzerine lehimlenmiştir. Daha sonra her bir 3'lü power ledler 2şer olarak seri bağlanarak iki adet alüminyum soğutucu üzerine bağlanmıştır. Seri olarak bağlanan power ledlerin akım değerini sabitlemek ve ledlerin bozulmasını engellemek amacıyla da led sürücü devre dizayn edilmiştir. Oluşturulan 3x2'lik power led devresi Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3: 3x2'lik power led devresi.

Damar yeri tespit cihazının en önemli bileşenlerinden biri olan power ledlerden çıkan kızılötesi ışınlar belirlenen açılar ile deri yüzeyine gönderilmektedir. Venlere ulaşan infrared ışığın bir kısmı hemoglobinin aracılığı ile soğurulmaktadır. Böylelikle damar görüntüsü elde edilmektedir. Uzun süreli kullanımlarda karşılaşılabilecek problemlere karşı devrenin akımını sabitlemek için led sürücü devresi kullanılmıştır.

12 power led ile gerçekleştirilen tasarım ile alınan damar görüntüsü Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4: İlk tasarım ile alınan damar görüntüsü.

3.2. 6 Power Led ile Tasarlanan Sistem

İkinci devre tasarımında 6 adet 850 nm dalga boyunda power led, 2 adet üçlü alüminyum PCB, bir led sürücü devre, bir full HD web kamerası, 2 adet alüminyum soğutuculu spot kasa kullanılmıştır.

Tasarlanan ikinci devrede 850nm dalga boyuna sahip power ledlerle 3x1'lik matrisler şeklinde iki adet devre kurulmuştur. Devrenin kurulma aşamasında power ledler 3'lü şekilde yan yana alınan 2 adet lamba yuvası içerisinde bulunan PCB'lerin üzerine seri olacak şekilde lehimlenmiştir. Daha sonra her iki devre birbirine paralel bağlanmıştır. Oluşturulan devrede power ledlerin akım değerini sabitlemek ve ledlerin bozulmasını engellemek amacıyla her ışık kaynağı için 350 mA sabitleyici led sürücü devre kullanılmıştır. Tasarlanan ikinci devre ve devre üzerinden alınan kamera görüntüleri Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5: İkinci devre tasarımı ve görüntü alınması.

Yapılan çalışmada, ışığın hipodermis tabakasına kadar ilerleyebilmesi için 850 nm dalga boyundaki power ledler kullanılmıştır. Kullanılan bu dalga boyu kızılötesi ışık olduğu için çıplak gözle gözlenememektedir. Dolayısıyla oluşan bu görüntüyü gözlemleyebilmek için kızılötesi ışığa duyarlı bir kameraya ihtiyaç duyulmaktadır. Kızılötesi kamera kullanmak yerine web kamerası da bir kızılötesi kameraya çevrilebilmektedir.

Fotoğraf makineleri de dahil olmak hemen hemen her kameranın lensinin önünde kızılötesi filtreler bulunmaktadır. Bunun sebebi ise güneş ışınlarıyla gelen kızılötesi ışınların kameranın görüntü kalitesini etkilemesidir. Web kamerasındaki lensi sökerek kameranın kızılötesi ışınları da algılayabilmesi sağlanmıştır. Böylelikle deride damarların görüntüsünün oluşturduğu kontrast farkı rahatlıkla gözlemlenmiştir. Şekil 6'te web kameradan alınan damar yolu görüntüsü görülmektedir.



Şekil 6: İkinci tasarım ile alınan damar yolu görüntüsü.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada damar yolunu tespit etmenin kolaylaştırılmasına yönelik cihaz tasarımları gerçekleştirilmiş ve gerçekleştirilen tasarımların damar yolu görüntülemeadaki başarıları karşılaştırılmıştır. Çeşitli dalga boylarındaki farklı ledlerle farklı devre tasarımları gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, kullanılacak kızıl ötesi ışığın derideki hipodermis yapısında bulunan damarları görüntüleyebilmesi için en uygun dalga boyunun 850 nm (yakın kızılötesi ışık) olduğu tespit edilmiştir. 850 nm dalga boyundaki yakın kızılötesi ışık gözle görülememesinden damar tespitinde kızılötesi ışığa duyarlı kamera kullanılmıştır. Böylece bilgisayar kontrollü bir damar yolu görüntüleme cihazı oluşturulmuştur.

Çalışma sonunda çeşitli yaş ve cinsiyete sahip gönüllüler üzerinde cihazın testleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen testlerde 3x2'lik power ledlerle kurulan ilk tasarımın 3x1'lik matrisler şeklinde tasarlanan power ledlerle kurulan ikinci tasarıma göre görüntüleme imkanının daha düşük kaldığı gözlemlenmiştir. Şekil 4 ve Şekil 6'daki damar görüntüleri arasındaki bu sonucu gözler önüne sermektedir. Bu sonucun ledlerin yerleştirilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tasarlanan devre sayesinde herhangi bir tıbbi müdahale esnasında damar yapısı rahatlıkla görüntülenebilecek ve acil müdahale gereken durumlarda zaman kaybı engellenebilecektir. Elde edilen bu görüntülerin bilgisayar yardımıyla görüntülenmesi sayesinde bebeklerde, yaşlılarda ve çeşitli hastalıklar sebebiyle damar yapısı bulunamayan hastalarda zorlu bir hal alan damar yolu açma işlemi daha kolay bir hale getirilebilecektir.

Bilgisayar kontrollü damar yolu bulma cihazının bu alanda bir ön çalışma olarak kullanılacağı ve damar tespitine yönelik olarak geliştirilebileceği düşünülmektedir.

Bu amaçla çalışmanın ön prototip tasarımında farklılığa gidilebilir. Ayrıca damar görüntüsünün elde edilmesi ve deri yüzeyine yansıtılması istendiği takdirde gerekli yazılım ve görüntü işleme teknikleri kullanılabilecektir. Böylelikle acil tıp hizmeti gerektiren durumlarda damar yolu açma problemi tamamen ortadan kaldırılmış olacaktır.

4. Kaynaklar

- [1] Ganesh, S., "Depth And Size Limits For The Visibility Of Veins Using The Veinviewer Imaging System", Diss. The University of Memphis, 2007.
- [2] Hosoi, Yutaka, et al. "A new method for the assessment of venous insufficiency in primary varicose veins using near-infrared spectroscopy." *Journal of vascular surgery* 26.1 (1997): 53-60.
- [3] Strehle, Eugen-Matthias, "Making the invisible visible: near-infrared spectroscopy and phlebotomy in children", *Telemedicine and e-Health* 16.8 (2010): 889-893.
- [4] Paquit, Vincent, et al. "Combining Near-Infrared Illuminants To Optimize Venous Imaging" *Medical Imaging, International Society for Optics and Photonics*, 2007.
- [5] Erol, Y., "Power Led Sürücü", *Bilim ve Teknik*, 104-105, 2008.
- [6] Chen, Liukui, et al. "Near-infrared dorsal hand vein image segmentation by local thresholding using grayscale morphology." *Bioinformatics and Biomedical Engineering, The 1st International Conference on IEEE*, 2007.
- [7] Chen, Liukui, et al. "Near-infrared dorsal hand vein image segmentation by local thresholding using grayscale morphology." *Bioinformatics and Biomedical Engineering, The 1st International Conference on IEEE*, 2007.

Üç Osilatörlü Kalp Sistem Modeli Kullanarak EKG İşaretlerinin Üretilmesi

Generation Of ECG Signals Using Heart System Model With Three-Oscillators

Mahmut Ün¹, Manolya Ün²

¹Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi
İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi
Mahmutun908@gmail.com

²Medicine Faculty
Medical University of Pleven
Manolya.un3@gmail.com

Özet

Bu çalışmada, fizyolojik veya patolojik şartlar altında gözlemlenebilen ve kalp aritmileri olarak bilinen, kalp ritmi bozukluklarını düzenlemek amacıyla bir yöntem önerilmiştir. Model abnormal ana elektriksel işaretleri değiştirmek için ikincil işaretler üreten bir referans sistemden ve normal elektrokardiyogram işaretini temel alan bir denetim kuralından yararlanmaktadır. Denetim algoritmasının iki ana parametresi vardır, bunlar sırayla denetleyici kazancı ve hata izleme işaretinin normudur. İlk koşulların belirlenmesi için kaotik sistemin denge durumları incelenmiştir. Kalbin iletim sistemi kendi kendini uyarıcı ve osilatör davranışı gösteren birimlerden oluştuğundan, birimler herhangi bir devrede doğrusal olmayan osilatörler tarafından temsil edilebilir. Zaman gecikmeli kuplajlarla bağlı üç Vander Pol osilatörünü kullanarak kalp ritimlerini açıklayan bir matematiksel model önerilmiştir. Böylece kalp dinamikleri zaman gecikmeli bir diferansiyel denklem sistemiyle gösterilmiştir. Kardiyopatolojiler ile ilgili farklı dinamik davranışları modelleyen altı gecikmeli diferansiyel denklemden oluşan bir matematiksel model kullanarak, bilgisayar benzetimleri yapılmıştır. Ek olarak sistemin kaotik durumları ve iki kaotik sistemin senkronizasyonu göz önünde bulundurulmuştur. Bütün bu problemler referans işaretini bir değişkenin izlemesiyle açıklanmış ve sistem senkronizasyonu yardımıyla çözümlenmiştir. Önerilen denetim kuralının uygulanmasıyla, farklı tipte kalp aritmileri uygun koşullar altında analiz edilmiş ve bilgisayar benzetimlerinde biyolojik gözlemlerle örtüşen başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Abstract

In this study, a method for controlling the cardiac rhythm is proposed, in order to correct physiologically or pathologically occurring irregularities in cardiac dynamics, known as arrhythmias. The model makes use of a reference system, which generates a signal to modify an abnormal primary electrical pattern and a control law, based on the normal electrocardiogram signal. The control algorithm relies on two major parameters, the controller gain and the norm of tracking error signal, respectively. To set the initial

conditions, equilibrium states of chaotic systems are extensively examined. Since the cardiac conducting system is naturally composed of a network of self-excitatory units with oscillatory characteristics, they can be feasibly represented by nonlinear oscillators. A mathematical model is, then, proposed to describe cardiac rhythms in general, where three Van der Pol oscillators are connected with time delay couplings. Therefore, cardiac dynamics are represented by a system of differential time delayed equations. Simulations are carried out using a mathematical model composed of six differential delayed equations, which provide different dynamic behaviour related to cardiopathologies. Equilibrium states and the synchronization of two chaotic systems are also considered. All these issues are interpreted as a tracking problem of a variable set-point signal and are overcome by means of system synchronization. Using the proposed control law, different types of cardiac arrhythmias are analyzed under the specified conditions and satisfactory results in agreement with the biological observations are obtained in computer simulations.

1. Giriş

Elektrokardiyogram(EKG) yardımıyla tanısı yapılabilen bazı kalp rahatsızlıklarında, kalp atış dinamiklerine senkronizasyon ve denetim uygulanmalıdır. Elektrokardiyogram, kalp kaslarının gerilmesine ve tekrar eski durumuna dönmesine neden olan iyonik akım akışını yansıtan zamanla değişen bir işarettir. EKG işareti deri yüzeyine yerleştirilen iki elektrod arasında kaydedilen gerilim farkıyla elde edilir.EKG'nin tek bir normal periyodu, her kalp atışında ardışıl olarak oluşan kulakçığın depolarizasyonu/polarizasyonunu ve karıncığın depolarizasyon/polarizasyonunu gösterir. Bunlar yaklaşık olarak, EKG dalga şeklinde P, Q, R, S ve T olarak etiketlenen tepe değerleri belirler. Dalganın maksimum tepe değeri R-tepe değeri olarak isimlendirilir ve R-R aralığı ardışıl gelen iki tepe değer arasındaki zamandır ve RR aralığının tersi ani kalp hızını verir. Normal kalp atış ritmi, normal kalp pili olarak düşünülen SA düğümünün bulunduğu sağ kulakçıktaki hücrelerle üretilir. Ek olarak AV düğümü olarak isimlendirilen diğer bir kalp pili de bulunmaktadır [1, 2, 3].

Kaotik ve düzgün olmayan kalp atışları, suni kalp pillerinin klinik ve deneysel kullanımının anlaşılması kardiyolojide anahtar konulardan biridir. Kaotik dinamiklerde periyodik yörüngelerin kararlı yapılmasında, küçük bozucuların ve periyodik dış kaynakların kullanılması temellerine dayanan farklı denetim stratejileriyle ilgili yayımlar literatürde bulunmaktadır [4,5,6,7]. İki sistemin senkronizasyonu sürücü ve sistem yanıtına karşı düşen denetlenmiş süreçle, referans işaretlerinin üretildiği denetimin özel bir problemi olarak düşünülebilir. Denetim mühendisliği teknikleri ve kaotik sistemlerin özelliklerine dayanan belirli yöntemler senkronizasyon problemine uygulanmaktadır.

Bu çalışmada, daha sonra kullanılmak üzere referans işaretinin üretildiği kalp atış denetimi problemine çözüm arandı. Önerilen yöntemim uygulamak amacıyla, referans EKG işareti ve üç Vander Pol osilatörünü temel alan, normal ve bazı kalp hastalıkları durumunda kalp ritminin genel davranışını gösteren bir matematiksel model kullanıldı.

2. Matematiksel Model, Denetim ve Senkronizasyon

Bu bölümde, aşağıdaki alt bölüm başlıkları altında sırayla, benzetimlerde kullanılan dinamik modeller, denetim ve senkronizasyon problemleri ve benzetim sonuçları sunulacaktır.

2.1. Matematiksel Model

Van der Pol denklemi, genel olarak elektronik devrelerde sönüm osilatörlerini modellemede kullanılır ve ayrıca kalp ritminin dinamik modellenmesinde de çok sık kullanılmaktadır[8]. Normal kalp ritmi normal kalp pili olarak düşünülen SA düğümüyle üretilir. Buna ek olarak, AV düğümü olarak isimlendirilen diğer bir kalp pili vardır. Bunların her biri, kalp dinamiklerinin temeli olan hareket gerilimlerini sağlar. Her aktivasyon kalbin farklı bölgesine karşılık düşer ve sonuç olarak farklı genlikte akım üretir. Bu nedenle, kalbin her bir farklı bölgesinden gelen aktivasyon dalgalarının birleşimi EKG işaretini oluşturur. Diğer taraftan bu bölgeler SA ve AV düğümlerinin aktivasyonunu çok yakın izlerken, EKG işaretindeki katkıları kalp pili işaretinin bir göstergesidir.

Bu varsayımlar altında, her biri farklı kalp bölge işaretini gösteren kuplajlı osilatörler genel kalp atış dinamiklerini modelleyebilir. Genel olarak iki osilatörün sırayla SA ve AV düğümlerini temsil ettiği düşünülür, fakat bu iki osilatörün EKG işaretini tekrar üretmede yeterli olmadığı gözlenmiştir. Çünkü birinci osilatör işareti SA düğümü ve kulakçığının aktivasyonuna karşılık düşer ve ikinci osilatörün işareti ise karıncık depolarizasyonuna karşı düşer. Bu varsayım altında, P dalgasını tekrar üretmek mümkündür, fakat QRS işareti üretilemez. Çünkü bu aralık bütünüyle karıncık repolarizasyonuna karşı düşer [8, 9,10].

Genel bir model üretmek amacıyla, bütün osilatörler arasında çift yönlü asimetric kuplajların olduğu varsayılmıştır. Bundan başka, her bir osilatör için periyodik sürme terimleri olarak düşünülen dış uyarmalar sisteme eklenmiştir. Bu kavramsal model, matrisel formda doğrusal olmayan bir doğrusal olmayan tümleşik diferansiyel denklemle aşağıda sunulmuştur.

$$y''=f(y, y') + L(t) + Ky \quad (1)$$

Bu eşitlikte; değiştirilmiş Van der Pol osilatörü ile ilgili olan $f(y, y')$ genel formu, $L(t)$ sürme terimi ve K kuplaj matrisi terimi bulunmaktadır. Burada $y = [x_1 \ x_2 \ x_3]^T$ ve $y' = [x_4 \ x_5 \ x_6]^T$ sistemin durum değişkenlerini göstermektedir. Eğer düğümler arasındaki zaman gecikmeleri ve osilatör sürücü girişleri düşünülürse, aşağıdaki gecikmeli diferansiyel denklem sistemi yazılabilir [11].

$$\begin{aligned} x'_1 &= x_2 \\ x'_2 &= -a_{SA}x_2(x_1 - w_{SA1})(x_1 - w_{SA2}) - x_1(x_1 + e_{SA})(x_1 + d_{SA}) + r_{SA} \sin w_{SA}t - K_{SA-AV}(x_1 - x_3^{TdSA-AV}) - K_{SA-HP}(x_1 - x_5^{TdSA-HP}) + u_1 \\ x'_3 &= x_4 \\ x'_4 &= -a_{AV}x_4(x_3 - w_{AV1})(x_3 - w_{AV2}) - x_3(x_3 + e_{AV})(x_3 + d_{AV}) + r_{AV} \sin w_{AV}t - K_{AV-SA}(x_3 - x_1^{TdAV-SA}) - K_{AV-HP}(x_3 - x_5^{TdAV-HP}) + u_2 \\ x'_5 &= x_6 \\ x'_6 &= -a_{HP}x_6(x_5 - w_{HP1})(x_5 - w_{HP2}) - x_5(x_5 + e_{HP})(x_5 + d_{HP}) + r_{HP} \sin w_{SA}t - K_{HP-SA}(x_5 - x_1^{TdHP-SA}) - K_{HP-AV}(x_5 - x_3^{TdHP-AV}) + u_3 \end{aligned}$$

Burada işaret zaman gecikmesi için $x_i^T = x_i(t-T) = x(t) - Tx'(t)$ birinci mertebe Taylor açılımı kullanıldı ve T zaman gecikmesini göstermektedir. Genelde iki osilatör SA ve AV düğümlerini göstermektedir, fakat bu iki osilatör EKG işaretini tekrar üretmek için yeterli değildir. Bütün karıncıklar içinden darbenin yayılması için üçüncü osilatöre gereksinim vardır. Bu nedenle üçüncü osilatör olarak, His-Purkinje (HP) sistemi alınmıştır. Üç kuplajlı osilatörden oluşan bu matematiksel modelle, aşağıda verilen toplam EKG işareti oluşturulabilir.

$$EKG = (a_0 + a_1 x_1 + a_3 x_3 + a_5 x_5) \quad (3)$$

Burada a_i $i=0,1,3,5$ sabit katsayı değerleridir.

2.2. Denetim ve Senkronizasyon

Senkronizasyon ve denetim hiçbir zaman farklı anlamlarda kullanılmayan iki eşdeğer terimdir. Denetim terimi mühendislikte otomatik denetim sistemleri için kullanılırken, senkronizasyon ise, daha çok kaotik sistemlerin dinamikleri anlamında kullanılır. Kaotik sistemlerin senkronizasyonu ile ilgili bir çok uygulama ve çalışmalar vardır. İki temel durumdan birincisinde, parametrelerin az farklı olması haricinde sürücü ve yanıt sistemlerinin aynı matematiksel modelleri vardır. İkinci durumda sürücü ve yanıt sistemleri farklıdır. Duruma bağlı olarak, tam(CS), faz(PS), ritm(RS), frekans(FS) ve genelleştirilmiş (GS) senkronizasyon gibi birkaç tür senkronizasyon bulunmaktadır [4,5,6,7]. Otonom doğrusal olmayan dinamik sistemler n adet adi diferansiyel denklemle gösterilebilir.

$$X' = F(X) \quad (4)$$

Burada X n boyutlu bir vektör ve $F(X)$ aynı boyutta bir alan vektörüdür. Kaotik davranışlı denetim sistemleri için matematiksel model

$$X' = F(X, u) \quad (5)$$

olur ve sistem artık otonom değildir. Burada $u(t)$ sisteme dışarıdan uygulanan skaler veya vektörel denetim girişidir. (2) denklem sistemiyle önerilen modelde denetim girişleri

$$u_i = K_p (EKGr - EKG) \quad i=1,2,3 \quad (6)$$

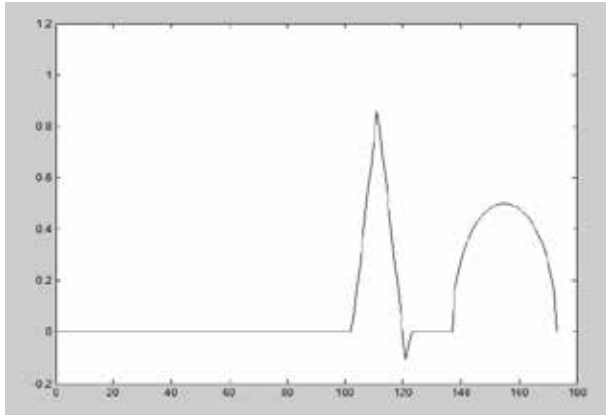
olarak alınmıştır. Burada K_p kazanç sabitini, EKGr referans sistem tarafından üretilen referans EKG yi ve EKG ise normal elektrokardiyogramı göstermektedir. Bu eşitlik kazanç sabiti X hata şeklinde orantılı bir denetleyici şeklinde yorumlanabilir. Kontrol edicinin orantı kazancı, yeteri kadar küçük bir izleme hatası elde edilinceye kadar ayarlanmalıdır.

2.3. Benzetim Sonuçları

Benzetimlerde [11,12,13] 'de önerilen model parametre değerleri alındı ve. normal kalp fonksiyonun benzetiminde ise, aşağıda verilen parametre değerleri kullanıldı.

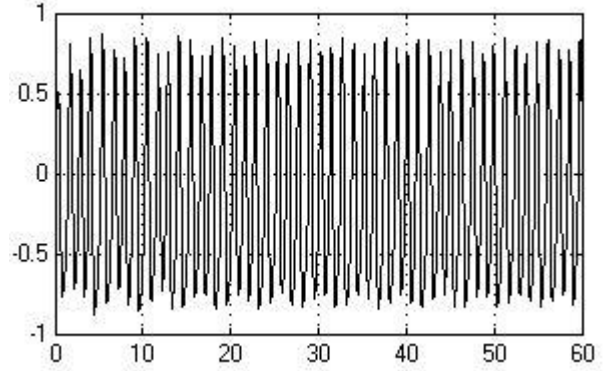
$A_{SA}=4.5$, $W_{SA1}=0.2$, $W_{SA2}=-1.9$, $d_{SA}=3$, $e_{SA}=4.5$, $a_{AV}=3$, $W_{AV1}=0.1$, $W_{AV2}=-0.1$, $d_{AV}=3$, $e_{AV}=3$, $a_{HP}=5$, $W_{HP1}=1$, $W_{HP2}=-1$, $D_{HP}=3$, $e_{HP}=7$, $r_{SA} = r_{AV} = r_{HP} = 0$, $T_{dSA-AV} = T_{dAV-HP}=0$, $T_{dAV-SA}=0.8$, $T_{dHP-AV}=0.1$, $K_{SA-HP}=0$, $K_{AV-SA}=5$, $K_{AV-HP}=0$, $K_{HP-SA}=0$, $K_{HP-AV}=20$, $W_{SA} = W_{AV} = W_{HP} = 70$ bpm
 $A_0=16$, $a_1=0.1$, $a_3=0.05$, $a_5=0.4$

Benzetimlerde, referans sistemi tarafından üretilen referans EKG işareti Şekil.1'de gösterilmiştir. EKGr referans sinyalinin üretilmesinde ecgsyn.m Matlab dosyası kullanıldı [14,15].

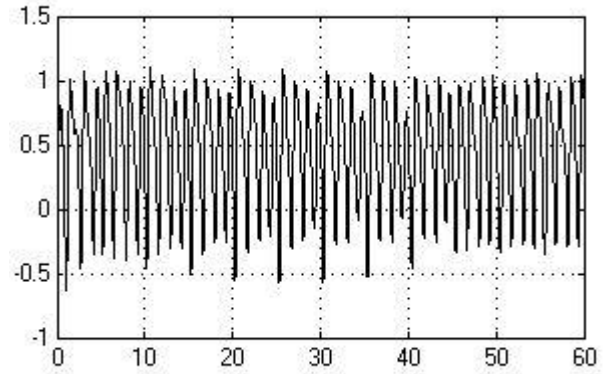


Şekil.1: Üretilen referans EKG işareti

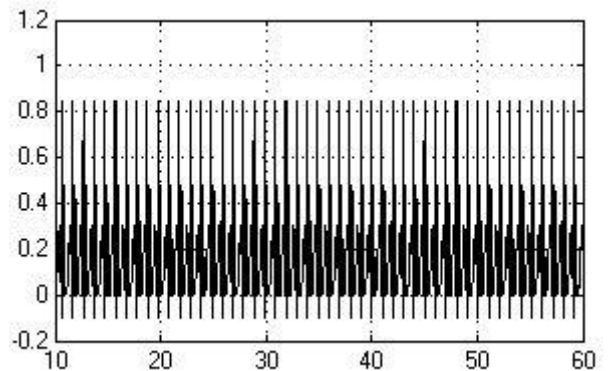
Denetim girişlerinin uygulanmadığı durumda elde edilen EKG işareti Şekil.2 'de ve denetim girişleri uygulandığında elde edilen EKG işareti ise Şekil.3'de gösterilmiştir. Şekil.4'de ise SIMULINK benzetiminde kullanılan EKGr referans işareti gösterilmiştir. Benzetimlerde (2) ile verilen matematiksel model ve SIMULINK kullanıldı. Benzetim sonuçlarında, model ve denetleyici parametrelerinin tam olarak ayarlanamaması nedenleriyle istenilen amaca tam olarak ulaşılammıştır. Bu arada sistemimizin kaotik bir yapısı olduğunu unutmamak gerekir. Bilindiği gibi kaotik yapıların davranışı ilk koşullara çok bağlıdır. Daha geliştirilmiş denetim algoritmaları kullanılarak bu problemlerin tam olarak çözümlenebileceği söylenebilir.



Şekil.2; Denetim uygulanmadan önceki EKG işareti



Şekil.3: Denetim uygulandıktan sonraki EKG işareti



Şekil.4: Referans EKGr giriş işareti

3. Sonuçlar

Zaman gecikmeli kuplajlarla bağlı üç değiştirilmiş Van der Pol osilatörü kullanılarak, kalp ritim dinamiklerinin analizi için matematiksel bir model geliştirilmiştir. Ayrıca kalp sisteminin kaotik davranışı, kararlılığı ve senkronizasyonu da

incelenmiştir. Normal EKG işaretini referans giriş alan bir denetleyici kuralı önerilmiştir. Denetleyicinin kazanç ve maksimum izleme hatası gibi iki önemli parametresi vardır. Gecikmeli altı diferansiyel denklemle gösterilen matematiksel model kalp ritim dinamiklerinin benzetiminde kullanılmıştır. Farklı bazı istenmeyen davranışlar, önerilen denetim algoritmasıyla test edilmiştir. Kalp atış ritminin anamoli davranışından normal ritme geçirme amacı, uygulanan benzetim çalışmaları sonucunda başarılmıştır. EKG olarak bilinen kalp ritminin genel davranışının elde edilebileceği ve farklı patolojik ritimlerin tanısının yapılabileceği, üç osilatörlü kalp modeliyle yapılan benzetim sonuçlarıyla doğrulanmıştır.

4. Kaynaklar

- [1] Enderle J. S. Blanchard, Bronzino J. , Introduction to Biomedical Engineering, Elsevier, 2005.
- [2] Ottesen J. T., Olufsen M. S. , Larsen J. K., Applied Mathematical Models in Human Physiology, SIAM (Society for Industrial and Applied Mathematics), 2004.
- [3] Khoo M. C. K., Physiological Control Systems; IEEE Press, 2000
- [4] Pecora L. M., Carrol T. L., Synchronization in chaotic systems, Physical Review Letter, 64, pp821-824.
- [5] Gonzales-Miranda J. M., Synchronization and control of chaos, Imperial College Press, 2004.
- [6] Pikovsky A. M. Rosenblum, J. Kurths, Synchronization. A universal concept in nonlinear sciences, Cambridge University Press, 2001.
- [7] Guckenheimer J. P. Holmes, Nonlinear oscillations, dynamical systems, and bifurcations of vector fields, Springer, 1983.
- [8] Signorini M. G., S. Cerutti, Simulation of heart beat Dynamics: A nonlinear model, International J of Bifurcation and Chaos, 8, pp 1725-1731, 1998.
- [9] Di Bernordo, M. G. Signorini, s. Cerutti, A model of two nonlinear coupled oscillators fort he study of heart beat Dynamics, International J of Bifurcation and Chaos, 8, pp 1075-1985, 1998.
- [10] Brandt M. E., G. Wang, H-T shih, Feedback control of a nonlinear dual oscillator heartbeat model, Bifurcation Control, Eds. G. Chen, D J Hill, X Yu, pp 265-273, Springer, 2003
- [11] Grudzinski K., J J Zebrowsk, Modeling cardiac pacemakers with relaxation oscillators, Physica A 336, pp 153-162, 2003.
- [12] Santos dos, A M , S R Lopes, R L Viana, Rhythm synchronization and chatic modulation of cooupled Vander Pol oscillators in a model fort he heartbeat, Physica A 338, pp335-355, 2004.
- [13] Gois S R, F S M A , M A Savi, An analysis of heart rhythm Dynamics using a three coupled oscillator model, Chaos , Solitans and Fractals, 41, pp2553-2565, 2009.
- [14] McSharry P E, Clifford G D, Tarassenko L, Smith L A, A dynamic model for generating synthetic electrocardiogram signals, IEEE Transaction on Biomedical Engineering, Vol.50, No.3, pp 289-294, 2003.
- [15] Matworks. Matlab&Simulink. www.matworks.com.