

DÜŞÜNCENİN KÖKENİ
Beynimiz Nasıl Çalışır?
ANDREW KOOB

DÜŞÜNCENİN KÖKENİ
Beynimiz Nasıl Çalışır?
ANDREW KOOB

Alfa Yayınları 2242

Bilim/Beyin 5

DÜŞÜNCENİN KÖKENİ

Beynimiz Nasıl Çalışır?

Andrew Koob

Özgün Adı The Root of Thought

İngilizce Aslından Çeviren Nilgün Güngör

1. Basım: Ekim 2011

ISBN: 978-605-106-383-6

Sertifika No: 10905

Yayıncı ve Genel Yayın Yönetmeni M. Faruk Bayrak

Genel Müdür Vedat Bayrak

Yayın Yönetmeni Rana Alpöz

Dizi Editörü Kerem Cankocak

Redaksiyon Kiraz Özakin

Kapak Tasarımı Gökhan Burhan

Grafik Uygulama Kâmuran Ok

© 2009 by Pearson Education, Inc. / FT Press

© 2011, ALFA Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.

Orijinal İngilizce baskısı FT Press olarak Pearson Education, Inc. tarafından yapılan

"ROOT OF THOUGHT: UNLOCKING GLIA, THE BRAIN CELL THAT WILL HELP US SHARPEN OUR WITS, HEAL INJURY, AND TREAT BRAIN DISEASE, 1. basım, Andrew Koob"
adlı kitabın onaylanmış çevirisidir.

Kitabın Türkçe yayın hakları Alcalı Telif Hakları Ajansı aracılığı ile

Alfa Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.'ne aittir.

*Yayınevinden yazılı izin alınmadan kısmen ya da tamamen alıntı yapılamaz,
hiçbir şekilde kopya edilemez, çoğaltılamaz ve yayımlanamaz.*

Baskı ve Cilt

Melisa Matbaacılık

Tel: (212) 674 97 23 Faks: (212) 674 97 29

Alfa Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.

Ticarethane Sokak No: 53 34410 Cağaloğlu İstanbul, Türkiye

Tel: (212) 511 53 03 - 513 87 51 - 512 30 46 Faks: (212) 519 33 00

www.alfakitap.com

info@alfakitap.com

İÇİNDEKİLER

Teşekkür	vii
1 Kentler ve Otoyollar	1
2 Savaş Alanının Tozu Dumanı Yatışıyor	7
3 Vücut Elektrığının Şarkısını Söylüyorum	19
4 Astrositle Tanışın	35
5 Kalsiyum Dalgasına Binmek	49
6 Hey Nöron, Benim Ben, Glia	65
7 İlişkiler Geliştirmek	77
8 Zaman Makinesi	89
9 Yeni Bir Şarkı Söyle	103
10 Albert Einstein'ın Bereketli Astrositleri	115
11 Gliayı Düşlüyorum	129
12 Glia Dejenerasyonundan Kaynaklanan Hastalıklar	141
13 Bana Kötü Davranma	155
14 Taşkın ve Doğurgan Gliyoma	169
15 Yeniden Kentler ve Otoyollar	183
Dizin	187

Teşekkür

Bu kitap dört yerde doğdu. İlk yer, 2002 Sonbahar döneminde Purdue Üniversitesi'nde Dr. Arturo Alvarez-Buylla'nın Dr. Paul Collodi'nin nörobilim seminerinde verdiği bir konferanstı. Bu konferans hepimizin gözünü açtı.

İkinci yer, sıradan bir Salı gününün öğleden sonrasında, laboratuvar çalışmasından ve özellikle de farelere işkence etmekten kurtulmaya çalışırken, doktora öğrencisi arkadaşım Peter Cormie'yle gittiğimiz Harry's Chocolate Shop idi. Orada, bira eşliğinde glia hücresi araştırmalarına ilişkin görüş alışverişinde bulunduk. Glia hücresi üzerine araştırma yapmanın imkânsızlığına hayıflandıktan sonra, müzik kutusunda Appetite for Destruction CD'sinin tamamını dinleyerek, tam beş Guinness rekoru kırmamızın ardından, arkadaşım Pete "Peki ya glia hücreleri beyindeki bütün düşünceleri barındırıyorlarsa" dedi. İkimiz de öylece kalakaldık.

2004 Bahar dönemindeki NCAA turnuvası sırasında Las Vegas havaalanındaydım. DePaul oyununun bitmiş olmasına sıkılırken, Scientific American'da R. Douglas Fields'ın Einstein'ın beyni ve glia hücreleri ile ilgili yazdığı "Beynin Diğer Yarı" adlı makalesini gördüm. Makale, yalnız konusuyla değil, sunum tarzıyla da beni çok heyecanlandırdı.

Son olarak, bu kitap için bilgi toplarken, yakın zamanda yayınlanmış küçük yeşil bir kitabı fark ettim. Alexei Verkhratsky ve Arthur Butt'ın imzasını taşıyan Glia Nörobiyolojisi. Kitabın girişinde şöyle yazıyordu: "Nöral ağlar arasındaki ikili kodlu elektriksel iletişim, bir bakıma bilginin hızla taşınmasında üst düzeyde uzmanlaşmış kabul edilebilir, astroglia hücreleri ise bilgi işleme, bütünleştirme ve depolamanın gerçek mad-

desini temsil edebilir.” Glia hücreleriyle ilgili daha fazla şey öğrenmek istiyorsanız, tam da bu kitaptan başlayabilirsiniz.

İlk olarak bu çalışmanın, başından itibaren bir parçası olan karım Lisa’ya teşekkür ederim. Piliç pirzolarıyla kitaba enerji kattı.

Ebeveynlerime ve özellikle de kardeşim Alex’e Iowa Üniversitesi’ndeki bütün kitapları elden geçirdiği için teşekkür ederim. Bu onun tutkusudur.

Editörüm Amanda Moran’a da teşekkür etmek isterim. Onunla birlikte çalışmak harika bir şeydi ve bütün bu süreç boyunca Amanda inanılmazdı.

Lisansüstü danışmanım, Mark Twain ile Teddy Roosevelt’in mükemmel bir karışımı ve harika bir danışman olan Dr. Richard Ben Borgens’e teşekkürler. Dr. Borgens bilim sanatından anlar. Coşkusunun eşi benzeri yoktur. O olmasaydı bu alanda çoktan ıskartaya çıkmış olurdum.

Aynı zamanda büyüleyici projeler üzerinde çalışmak için beni Münih’e getiren ve kafamın durduğu zamanlara bana sabırla katlanan Dr. Thomas Klopstock ve Dr. Andreas Bender’e de teşekkür etmek isterim.

Son olarak, bu kitabın doğuş nedeni olan Jodie Rhodes’a özel olarak teşekkürler.

1

Kentler ve Otoyollar

1960'larda beynin yüzde 90'ının glia hücrelerinden oluştuğu keşfedildi. Nöronların oranı ise yüzde 10'du. Bu keşiften yola çıkılarak glia hücrelerinin sinir sisteminin asli bileşeni olma işlevi gördüğü sonucuna varılabilir, ama durum böyle değildi. Sonuç, beynimizin yalnızca yüzde 10'unu kullandığımızdı.

Eskiden beri bize beyindeki temel hücrenin nöron olduğu, nöronların beyindeki bütün bilgileri barındırdığı öğretilir. Lisansüstü araştırmalarda bile nörolojin çalışmasının temeli, nöronun merkezi bir öneme sahip olduğu şeklindedir. Fakat Nöron Doktrini, en aşikâr gerçekleri bile “beynimizin yalnızca yüzde 10'unu kullanıyoruz” gibi iddiaların örtbas edilmesiyle bilimsel bir gerçekten çok, dinsel bir dogmaya dönüşmüştür.

Bununla birlikte düşüncelerimizin kaynağını, hayal gücümüzün nereden doğduğunu, rüyalarımızın nasıl tutuştuğunu ve yaratıcılığın nasıl filizlendiğini açıklayacak hiçbir doğrulanabilir sav ya da buluş söz konusu değildir. Bunlar “rastgele nöron ateşlemesi” ya da “iç bağıntılılık” gibi düşüncelerle açıklanan gizemlerdir. Fakat gerçek şu ki, nöron, beyinde düşüncenin kökeni olma olasılığı en düşük hücredir.

Yakın zamana dek glia hücreleri, aktif nöronlar için beyni bir arada tutmaktan başka bir amacı olmayan boş bir alan, yapısal elemanlar, zihnimizin motorunun somunları, cıvataları ve çerçevesi olarak düşünülüyordu.

Nöronun önemi, alanda artık agresif olarak sorgulanıyor. Beyin yaralanmalarının iyileştirilmesi, dejeneratif beyin hastalıklarının nedeni, psikiyatrik bozuklukların tedavisi ve insan zekâsının kavranışı ancak ve ancak glianın incelenmesi ile tam olarak anlaşılabilir.

Gliya yönelik akış, üç temel nedenden ileri geliyor: Birincisi, glia hücreleri bilgi depolamaya yardımcı olacak şekilde birbirine sinyal gönderir. İkincisi, glia uzun süredir pek çok beyin tümörünün hücresel öz yapısı olarak bilinmektedir. Üçüncüsü, glianın beyindeki yetişkin kök hücreler olduğu artık araştırmacılar tarafından biliniyor.

Bir zamanlar beyinlerimizin erken bebeklik döneminde ve döl yatağında olduğu ve daha sonra biz ölene dek bu durumda kaldığı öğretildi. Yetişkinlik dönemi boyunca da hücre yenilediğimiz artık biliniyor. Beynin kök hücreleri, kendilerini ve gerektiğinde nöronları yenileyebilen glialardır.

Glia, daha fazla bilgi depolayabilmek için bölgesel olarak da yenilebilir. Son 30 yıldaki en çarpıcı çalışmalardan biri Albert Einstein'ın beyninin analiziydi. Farklı hücre tipleri analiz edildiğinde, Einstein'ın beyinde, matematiksel işlem ve dilden sorumlu olduğu düşünülen *angular girus* bölgesinde normal beyinlerden büyük ölçüde daha fazla glia bulunduğu keşfedildi.

Glia beyindeki bilgi depolama kütüphaneleriyse ve en yüksek zekânın da insanlarda bulunduğunu varsayarsak, bu durumda daha düşük yaşam formlarında daha az glia bulunması gerekir. Bu konudaki en çarpıcı araştırma sonuçlardan biri, sülükte her otuz nörona karşılık tek bir glia bulunduğunun keşfidir. Bu tek glia hücresi, nöronlardan gelen duyuşal girdiyi alır ve vücuttaki nöronların ateşlenmesini kontrol eder. Evrim merdiveninin üst basamaklarına çıktığımızda, geniş ölçüde araştırılmış bir solucan olan *Caenorhabditis elegans*'a glianın sinir sisteminin yüzde 16'sını oluşturduğunu görürüz. Meyve sineğinin beyindeki glia oranı

yüzde 20'dir. Fare ve sıçan gibi kemirgenlerde glia sinir sisteminin yüzde 60'unu oluşturur. Şempanzenin sinir sisteminde yüzde 80, insaninkinde ise yüzde 90 oranında glia bulunur. Glialın nöronlara oranı zekâyı tarif edişimize göre artar.

Glialın nöronlara oranı gibi boyutu da evrimle birlikte gelişir. İnsandaki *astroglial hücrelerin* hacmi, farenin beynindekilerden 27 kat büyüktür. İnsandaki katlı korteks, kedi, yunus ve diğer primatlar gibi daha üst türlere erişene dek, hayvanlarda fark edilmez. İnsanın korteksinde şempanzeninkine göre yüzde 35 oranında daha fazla glia vardır. Beynimizdeki bu glia fazlalığı insanların, düşüncelerin dağılmasına sebep olan Alzheimer ve Parkinson gibi dejeneratif beyin hastalıklarına karşı daha duyarlı olma nedenlerini de açıklamaktadır. Aslına bakılırsa, bütün dejeneratif beyin hastalıklarında koku duyusunun kaybı, hastalık semptomlarının başlamasından önceki ilk belirtidir. Kokunun doğasından ötürü, koklama soğanı, beynin bilinen en yüksek döngüye sahip hücreleridir. Sürekli değişim halindedir ve koklama soğanımızın da buna uyum sağlaması gerekir. Glia, bu döngü için gerekli kök hücrelerdir.

Bugün pek çok laboratuarda dejeneratif beyin hastalıkları incelenirken, hastalığın yan ürünü olan nöronlarda toplanmış proteinler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu bir yolun yarılmasının bir çukurdan kaynaklandığını düşünmeye benzer. Glial çoğalma mekanizması aşırı faal olunca glia kansere dönüşebilir. Tüm beyin tümörleri, gliadan oluşur. Glial yenilenme, edinilen ve bütünleştirilen bilgi miktarına bağlı olarak belli bir seviyede kalması gereken beynin, normal süreci olabilir mi? Glia yenilenmesi yeterli miktarda bulunmadığı takdirde dejeneratif hastalığın ortaya çıkması ve agresif olduğu takdirde de tümör oluşumu mümkün müdür?

Beynimizdeki nöronların biz büyüdükçe azaldığı düşünülürdü. Daha sonra, yapılan araştırmalar nöron sayısının aynı kaldığını gliada artış ve bozulma olduğunu gösterdi. Çok kısa bir süre önce glia hücrelerinin, kalsiyum iyonu akışı içeren yaygın ağlar aracılığıyla elektrik dalgaları halinde birbirleriyle iletişim kurduğu ortaya çıktı. Bu kalsiyum akışları glial ağlar aracılığıyla bölgesel olarak yayılabilir. Glialın, nöronlardan temel

girdileri almak ve nöronların kendilerine sinyal vermek için gerekli reseptörleri içerdiği kanıtlanmıştır. Nöronlar aksonlar denilen uzun çıkıntılar sayesinde iletişim kurarlar. Nöronlar ateşlenir ya da ateşlenmezler. Buna “ya hep ya hiç” fenomeni denir. Glialar çok daha karmaşıktır. Dalga tarzı iletişimleri sıvı bilgi işlemeye daha elverişli olabilir.

Eğer bilgiyi glia depolayıp işliyorsa, nöronlar nedir peki? Araştırmacılar glianın nöronlara sinyal verdiğini bildiğinden, nöronların yalnızca ilgili düşünceleri üretmek için yakılması gereken diğer glial bölgelere ateş etmeye hazır statik hücreler olduğu görülecektir.

Örneğin, sizin de aklınıza bu kitabın yazarı gibi pizza geliyor, sonra mozzarellayı düşünüyorsanız ve bunlar sizi İtalya hakkında düşünmeye yönlitiyorsa, beyninizde üç glial merkezi ateşliyorsunuz demektir. Eğer aralarında mesafe varsa, bir merkezden diğerine geçmek için, bir nöron aracılığıyla bağlantı kurmalısınız. Mozzarella ile ilgili glial merkez, pizza merkezinden güçlü bir nöral sinyal alınca ateşlenir ve o glial merkezde bulunan mozzarella ile ilgili her şeyi düşünmeye başlar.

Bilim insanları yüzyıldır nöronun hâkimiyeti düşüncesini pek az sorgulayabildiler. Bugün bile dünyada beyin üzerinde çalışan laboratuvarların yüzde 99'unun nöron araştırmalarında yoğunlaştığını söylemek abartılı olmayacaktır.

Fakat görüleceği gibi bu, uzaylıların dünyaya güney Kaliforniya'da inip, San Diego-Los Angeles otoyolunun bu şehirleri keşfetmekten daha önemli olduğu sonucuna varması ile eşdeğerdir.

Kaynakça

- Diamond, M.C., A.B. Scheibel, G.M. Murphy, and T. Harvey. "On the Brain of a Scientist: Albert Einstein." *Experimental Neurology*, 88: 198-204, 1985.
- Hatton, G.I. and V. Parpura. *Glial—Neuronal Signaling*. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- Kettenmann, H. and B.R. Ransom. *Neuroglia*, Second Edition. New York: Oxford University Press, 2005.
- Laming, P.R., E. Syková, A. Reichenbach, G.I. Hatton, and H. Bauer. *Glial Cells: Their Role in Behavior*. New York: Cambridge University Press, 1998.
- Murphy, S. *Astrocytes: Pharmacology and Function*. San Diego, CA: Academic Press, Inc., 1993.
- Verkhratsky, A. and A. Butt. *Glial Neurobiology*. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd., 2007.
- Volterra, A., P. Magistretti, and P. Haydon, *The Tripartite Synapse: Glia in Synaptic Transmission*. New York: Oxford University Press, 2002.

2

Savaş Alanının Tozu Dumanı Yatışıyor

Yakın zamana dek hayal gücümüz ve düşüncelerimizin tamamen nöronlara bağlı olduğuna inanılırdı. Beyinde en bol miktarda bulunan glianın aktif olmadığı ve nöronların elektriksel ateşlemesine bir tampon işlevi gördüğü düşünülüyordu. Nöron egemenliğinin keşfedilmesi, yirminci yüzyılın başında mikroskobun yaygın kullanımından sonra gerçekleşti. Bu dönemde nöron, insanlık tarihi boyunca yapılan beyin araştırmalarında elde edilen en büyük kazanım olarak görünüyordu. Glia hücrelerinin ne işe yaradığı ya da nasıl işlev gördükleri soruları ortada bırakıldı. Kendilerinden önceki meslektaşlarının, nöronların önemsiz olduğu üzerine düşüncelerini benimseyen önde gelen bilim insanları, küçük bir tereddüt taşımalarına rağmen, gliayı pek az göz önünde bulundurdular. Beyin bilimi araştırmalarının geçmişine bakmak bunun sebebini açıklayabilir.

Düşüncelerimizin, hayallerimizin, yaratılarımız ve rüyalarımızın kaynağına ilişkin ilk kavramlar eski Yunan ve Mısır'da kayıt altına alındı. Eski uygarlıklarda düşüncenin kalpten geldiğine inanılırdı. İçinizdeki kelebekler ve duyduğunuz öfke, karnınızda tepkilere yol açıyordu. Eski uygarlıklarda da kadavrası incelenen insanların kalbinin, vücuttaki hayat

sıvısı olan kanla bağlantısına dayanarak yaratıcılık, zekâ, dil ve duygularımızdan kalbin sorumlu olduğu sonucuna varıldı.

Fakat MÖ 460-379 arasında yaşamış olan Hipokrat bu görüşe karşı çıktı.

Hipokrat'a göre travmatik kafa yaralanmaları sonucu ortaya çıkan konuşma ve duygu bozuklukları, beynin, zekânın merkezi olmasından kaynaklanıyordu. Teorisinin bir kanıtı da trepenasyon idi. Bu işlem baskıyı atmak için kafaya delik açılması olarak açıklanabilir ve bugün de beyin cerrahları tarafından uygulanan bir tekniktir. Hipokrat, "İnsanlar bilmelidir ki neşe, haz, kahkaha, eğlence, acılar, keder, moral bozukluğu ile ağlamaların kaynağı sadece ve sadece beyindir. Böylelikle, özel bir tarzda bilgelik ve bilgiyi edinir, görür ve duyar; neyin hileli neyin hakça, neyin iyi neyin kötü, neyin tatlı neyin lezzetsiz olduğunu biliriz ... Bu şekilde benim görüşüm beynin insandaki en büyük gücü elinde bulundurduğudur." diye yazıyordu.

Hipokrat, beynin sıcak, soğuk, nemli ya da kuru olmasından rahatsız olduğumuz sonucuna da vardı. Deliliğin beynin nemli olmasından ileri geldiğini ve insanın ancak beyin "sakin" olduğu zaman sağlıklı düşünebileceğini söylüyordu. Bu son fikirleri tamamen doğru olmayabilir, fakat bunlar Aristoteles'i (MÖ 384-322) etkilemişti. Aristoteles, Hipokrat'ın çalışmalarını kalp üzerine yaptığı kendi çalışmalarına dahil etmeye çalıştı. Kalbin daha yüksek düşüncünün merkezi olduğuna inanmasına rağmen, duyguyla fazla ısındığı zaman beynin kalbi soğuttuğunu da düşünüyordu. Rasyonel insanlar, beyinlerinin soğutma kapasitesi daha yüksek olanlardı.

Günümüzde bile çok tanınan biri olan Galen (MS 130-200), Romalılar zamanında gladyatörlerin doktoruydu ve yaşadığı dönemde de çok tanınmış biriydi. Galen Hipokrat'ın görüşünü savundu. Koyun kadvraları ve travmatik yaralar alan gladyatörler üzerinde etraflı incelemeler yaptı. Vardığı sonuçlar, beynin zekânın merkezi olduğunu kesin olarak tespit ediyordu.

Beynimizin ve omuriliğin merkezindeki ventrikül denilen boşluklar, serebrospinal sıvı içerir. Galen zamanındaki kavrayışa göre vücutta dört

yaşamsal sıvı bulunuyordu: Kan, balgam, siyah safra ve sarı safra. Galen'e göre ventriküller sarı safra içeriyordu. Beyin, düşünce ve eylemi kontrol etmek için vücuda uzanan sinirler boyunca sarı safranın bir şekilde çalkalanmasını sağlıyordu. Galen'in bu görüşü, Descartes'a (1596-1650) dek 1500 yıl boyunca egemen oldu.

Descartes tamamıyla farklı bir görüş geliştirmemekle birlikte, dinin algılanan inkâr edilemez gerçeklerine dayalı bir insan anatomisi görüşü arayışına girdi. Beynin ruhlar için merkez işlevi gördüğünü düşünüyordu. Ruhlar akışkandı ve Galen gibi Descartes da bunların düşüncelerimizi kontrol ettikten sonra hareketi oluşturmak için vücudumuzda dolaştığına inanıyordu.

Fakat Descartes, Galen'in insanları koyunlara benzeterek getirdiği açıklamasının, insanların Tanrının imgesinden yaratıldığı kavramıyla bağdaşmadığına inanıyordu. Zihnin vücut üzerinde etkide bulunan bir tutam esir¹ gibi, fiziksel vücuttan ayrı durduğunu düşünüyordu. Modern teknik buluşların beynin işleyişine ilişkin kavrayışımızı geliştirmesi gibi, dönemin Fransa'sında hidroliğin bulunuşu da Descartes'ın düşüncesini pekiştirdi. Zihnin balgam pompalaması, sıvının kaslara erişmesine ve kasların tıpkı pompalanan hidrolik aletler gibi kasılmasına yol açıyordu.

On yedinci yüzyılda mikroskobun bulunuşuyla birlikte bilim insanları, dikkatlerini ilk kez ruhların dolaştığı sinirleri görebilme arayışına topladılar. İnsan ruhundan neyin sorumlu olduğunu görebilirlerse, Tanrı'ya daha da yakınlaşacaklardı. On yedinci yüzyılın sonu ve on sekizinci yüzyılın başlarında Hollandalı bilim insanı Anton von Leeuwenhoek (1632-1723) mikroskopta sinir sistemini ilk kez analiz ettiğinde, iki cam arasındaki doku parçaları basılmış çamur gibi ezildi. Leeuwenhoek, çevresel sinirlerde silindirik biçiminde tünel gibi şeyler gördü. Descartes'ın ruhlar transferine yaradığını iddia ettiği, hidrolikten esinlenilmiş tüpler böylelikle teyit edilmiş oldu.

Bu inanç, on dokuzuncu yüzyılın başında mikroskop daha güvenilir hale gelene dek bir buçuk yüzyıl boyunca geçerliliğini korudu ve "hü-

1 A wisp in the ether. (E.N.)

re” terimi, diğer organların ve tek hücreli amipler gibi daha alt yaşam formlarının işlevsel birimini tanımlamak için kullanıldı. Beynin de hücrelerden oluşmuş olduğu kesinleşti. Daha sonra, Hermann von Helmholtz (1821-1894) beynin şarabın içine koyulduğunda çürümediğini ve bu şekilde dokunun analiz edilebilecek hücreler bırakan bir su saldığını bulguladı. Helmholtz’u bir başkasının çürümekte olan beykini şarabının içine atmasına yol açan ne olursa olsun bu, insan düşünce ve yaratıcılığının sınırsızlığının kesin bir kanıtıdır.

Bilim dini ikinci plana atınca, Descartes’ın ruhlar kavramı da tartışmalı hale geldi. Alkole (ve yirminci yüzyılın başında formaldehide) batırılmadan, ölümden hemen sonra çıkarıldığında beyin, uzun beyaz liflerle bağlı yapışkan gri bir kütle gibi görünüyordu. Liflere, Descartes’ın ruhlarının mekânı ve düşünme yönteminin merkezi olarak çok büyük önem atfedildi.

Glia, liflerin dışındaki her şeydir. Glia kelimesi eski Yunancadan gelir ve balçık gibi ya da yapışkan görünümlü demektir. Modern Yunanca’da, hatta belki de nöronların egemenliğine inananlara uygun olarak glia, kaba ya da ahlaki olarak düşük kişi anlamına gelen bir köke sahip bir sözcükte hâlâ varlığını sürdürmektedir. Tabii bu glia taraftarları için bir gurur işareti olabilir. Herodot’ta glia sözcüğü “sakız” anlamına gelirken, Aristophanes’in oyunlarında “yapışkan” ya da “uç kâğıtçı” anlamına gelir. Bu sözcüğü Yunanca ‘dan alıp beyine uyarlayan, Rudolf Virchow (1821-1902) olmuştur. 1858’de Virchow, glia hücrelerine bakarken bunların “sinir macunu” olduğunu düşündü. Beynin her tarafında bulunan bu hücreler, vücuda doğru uzanan sarı safranin ya da ruhların asli mevkii olan liflerin kökü gibi görünmüyorlardı. Ayrıca artık elektriği kesinlikle beyaz liflerin ilettiğine inanılıyordu. Fakat bunlar nereden geliyordu? Nihayet, 1859’da Darwin’in evrim teorisıyla, hücrenin tüm hayatın evrildiği fonksiyonel birim olduğu ortak bir bilimsel kanı haline gelmişti.

Bilim insanları artık, beyindeki düşünmeden sorumlu hücresel birimi keşfetmenin eşiğindeydiler. Bunlar, Darwin’in teorisini geliştirirken kullandığı hücrelerdi. Lifler düşünceyi yönlendiren bağlantılar olarak algılandığından, araştırmacılar bunların tam olarak ne olduğunu öğrenmek

istiyorlardı. Virchow'un öğrencilerinden Otto Deitters (1834-1863) ve Albreicht von Kolliker (1817-1905), uçlarında kuyrukları olan sinir hücrelerinin ilk eksiksiz çizimlerini yapmaya başladı. Sperme benzeyen bu yapılar ilgi çekiciydi, fakat kuyrukların lif olduğu kesin değildi. Öküzün sinir sistemini inceleyen Robert Remak'ın (1815-1865) omurilikteki hücre yapısının life bağlı olduğunu bulması, bilim insanlarını lifin hücrenin bir parçası ve uzandığı kuyruksu yapının da lif olduğuna inandırdı.

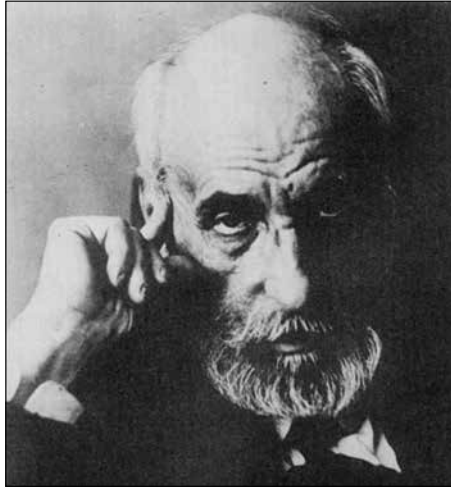
Beyindeki hücrelerin üzerinde lif şeklinde vücuda yayılan kuyrukların² bulunduğu düşüncesi, bu hücrelerin beyindeki tüm bilgiyi barındırdığı anlamına geliyordu. Ardından bunlar nöronlar olarak adlandırıldı ve herkes bu vargıya balıklama atladı.

Nöron savunusunda öne çıkan iki kişi oldu. Bunlardan biri, havacı ve kendisini öne çıkarmaya meraklı olduğu söylenen bir adamdı. Bakımlı saçları, Teddy Roosevelt gibi gür bıyıkları vardı. Kadınları, puroyu, içkiyi ve kendisini seven gösterişli bir İtalyandı. Bilim tarihinde pigment boyama tekniğiyle en önemli hücreleri açıklığa kavuşturan kişi o oldu. Camillo Golgi (1843-1926) adındaki bu adam, Kuzey İtalya'nın küçük bir kasabasında çalışırken gümüş nitrat boyama yöntemini keşfetti. Golgi, korunmuş doku üzerindeki gümüş nitrati kullanarak -bu düşüncesine kaynaklık eden, fotoğrafçılığın ilk dönemlerindeki film boyama tekniği- beyindeki tek tek hücreleri ve daha da önemlisi, beyin hücrelerini emsalsiz hale getiren hücre yapılarından uzanan kuyruksu uzantıları görüntülemeyi başardı Pavia Üniversitesi'nde histoloji ve patoloji profesörü oldu. Boyama tekniği bugün de Golgi'nin adıyla anılmaktadır.

Diğeri, Santiago Ramón y Cajal adında (1852-1934) Madrid Üniversitesi'nde histolog olan asık suratlı, ürkütücü bir İspanyoldu (Şekil 2.1). Cajal'ın sakin, sessiz biri olduğu söylenirdi. Vahşi doğada homurtuyla balık tutan bir ayağa benziyordu. Cajal, Golgi'nin boyama tekniğiyle mikroskopta gördüklerini ve kendisinin de altın kromid kullanarak ulaştığı sonuçları anlatan anlaşılması kolay, kısa ve özlü kitaplar yazdı. Kararlılık, titizlik ve sağlamlılık gibi bilim için değer taşıyan üç özelli-

2 Proses'ler (Ç.N.)

ğe sahip olan Cajal, çağdaşlarının büyük saygısını kazandı. O dönemde sanatsal yetenek bir araştırmacı için en önemli hünelerden biriydi. Mikroskopta ne görüldüğünü gösterebilmek için araştırmacının gördüğünü çizmesi gerekirdi. Golgi'nin sanatsal yeteneği rakip tanımıyordu, fakat Cajal da Golgi'nin çizimleriyle sergilediği cüretkârlıktan tiksiniyordu. Cajal, Golgi kadar iyi çizim yapamasa da, çizdiklerinin daha yanlışsız olduğuna inanıyordu. Kitaplarını beyin anatomisi çizimleri ve beyinde neler olup bittiğine ilişkin kavradıklarını yazarak renklendiriyordu.



Şekil 2.1 Asık suratlı ve aksi Santiago Ramön y Cajal.

Golgi (Şekil 2.2) ünlü boyama tekniğini geliştirene dek araştırmacılar, beynin dört bir yanındaki, şimdilerde akson adı verilen kuyruksu uzantıyı net olarak takip edemediler, bir hücre yapısından uzanan lifleri kavrayamadılar ve Remaks'ın bulgularını teyit edemediler. Galen'in eski düşüncelerine dayanarak Descartes'dan bu yana, bu hücre yapısının beyindeki önemli bir bilgi ve düşünce deposu olduğuna inanılıyordu. Beynin bir tarafından diğerine ve kaslara doğru uzanan aksonlar, bilgi depolamanın uzun mesafeli iletişimini sağlıyorlardı.



Şekil 2.2 Vizyon sahibi Golgi

Golgi'nin boyama tekniği glial hücrelerin de görüntülenmesini sağladı; bunlar beynin her tarafında büyük nöron ve akson hücre yapılarını çevreleyen küçük örümceklere benziyorlardı.

Golgi, beynin bir sınıfta³ ya da ağ gibi çalıştığına inanıyordu. Bütün hücrelerin bağlantılı olduğunu ve birbirlerinden görülebilir şekilde ayrılmadığını düşünüyordu. Hücreler ağ tarzında çalışıyordu. Başka bir deyişle, düşünceden sorumlu beyin hücrelerinin işleyişinin birbiri üzerine biriken şekilde değil birlikte ve geçişli olduğunu düşünüyordu. Golgi'ye göre glialın en önemli fonksiyonu, nöronları beslemektir. Bunun nedeni glial uzantıların kan damarları ve nöronlarla bağlantılı görünmesiydi.

Cajal ve Golgi birbirlerinden hiç hazzetmediler. Golgi, Cajal'ın tırtıllığına hoş olmayan bir tarzda laf sokuşturdu. Belki de bu küçük bir kıskançlık ya da sadece kör bir öfkeydi; fakat Cajal da Golgi'nin öne sürdüğü hiçbir görüşü dikkate almadı. Cajal'a göre, beynin vücudun geri kalanı gibi birbirine eklenen hücrelerden oluştuğunu boyama yöntemiyle her acemi bilim insanı rahatlıkla görebilirdi. Bunlar, iki ana hücre bile-

3 birkaç hücrenin kaynaşmasından oluşmuş çok çekirdekli iri hücre

şeni olan nöronlar ve glia şeklinde ikiye ayrılıyordu. Ortada hücre yapısı bulunuyor ve bilgiye ulaşan uzantılar ağaç dallarını andırıyordu. Bilginin akson denilen uzun bir gövde üzerinden iletiildiği açık olmakla birlikte, Cajal gliayı nasıl ele alması gerektiğini bilmiyordu.

Virchow'sun parlak bir öğrencisi olan Carl Ludwig Schleich (1859-1922) (Şekil 2.3) ustasıyla ters düştü ve glia ile nöronların birbirine sinyal gönderebildiğini ortaya atan ilk kişi oldu. Bu devrimci düşünce Galen'den bu yana var olan "lif-merkezli" anlayışını tümüyle hükümsüz kıldı ve beyin araştırmalarında devasa bir sıçrama oldu. Schleich, birbirine sinyal gönderen nöronlar arasındaki aralığın, glia hücrelerinin arasındaki bağlantıyı kolaylaştırmasını sağladığını düşünüyordu. Glanın nöronların sinyal göndermesini ketlemeye yardımcı olması gerektiğini varsayıyordu.

Elbette ki bu düşünceler, 1894'te lokal anestezinin tanıtımının yapıldığı bir yazının sonunda yer alıyordu. Schleich'in tıbbi asli katkısı lokal anesteziydi. Schleich'in çalışmasının yayınlandığı yıl, Sigmund Exner de (1846-1926) beyindeki hücre iletişiminin sadece nöron merkezli olduğuna ilişkin çalışmasını yayınladı.



Şekil 2.3 Carl Ludwig Schleich oturmuş soluklanırken

Üç yıl sonra, Wilhelm Gottfried von Waldeyer (1836-1921) uzun çıkıntıları bulunan spesifik hücreleri tanımlamak için nöron terimini ortaya attı. Exner, bu hücrelere bakıp onların beyinde bilgi depolamak açısından neden önemli olduklarını açıklayan koyan kişiydi. Exner, zekânın konumuna ilişkin hâkim görüşü küçümseyerek, kabataslak ağ çizimleriyle nöron aktarım metodunu açıklığa kavuşturdu. Cajal bu teoriyi olduğu gibi benimsedi ve onu yorumlayıp geliştirdi. Golgi'nin düşündüğünün aksine her hücre ayrıydı ve birbiriyle bağlantılı değildi.

Schleich'in glianın sinyal gönderdiği görüşü, Exner ve Cajal'a duyulan büyük hayranlığın gölgesinde kaldı. Nöron Doktrini, en büyük önemli nöronlara veriyordu. Dolayısıyla her doktrin gibi o da inanç üzerine kuruluydu.

Nöron Doktrini'nin önde gelen isimleri bu kadar çok sayıdaki glia hücrelerini, nöronu tahtından indirmeksizin nasıl açıklayacaklarını ele almakla işe başladılar. Carl Weigert (1845-1904) Virchow'un 1858'deki glianın sadece yapısal unsurlar ya da yapıştırıcı olduğu şeklindeki orijinal düşüncesine dayalı popüler bir teori ortaya attı. Beyinden omuriliğe ve oradan da kaslara uzanan uzun, kirişimsi filizlerin nöron uzantıları olduğu bilindiğine göre, glia hücreleri de sadece nöronların kaplamadığı alanı dolduran yapısal unsurlar olabilir miydi? Herkesin başlangıçta düşündüğü gibi glia nöron macunu muydu? Cajal ikna olmamıştı, fakat daha sonra kardeşi Pedro bu görüşü benimsedi ve glianın sadece nöronal uyarıların istenmeyen tarzda yayılmasını önleyen yalıtkanlar olduğunu öne sürdü. Cajal da onunla hemfikir olunca glia geri plana itildi. Bu düşünce bugün de okullarda öğretilmektedir.

Belki de zalim bir şaka gibi Nobel Ödül Komitesi 1906'da Nobel Tıp Ödülünü Golgi ve Cajal'a verme kararı aldı. Hesaplaşma vakti gelmişti. Golgi'ye Cajal'dan önceki gün konuşma yapma izni verildi, çünkü Golgi boyası olmasaydı Cajal'ın araştırması da olamayacaktı. Golgi'nin konuşmasını "Nöron Doktrini: Teori ve Gerçekler" başlığıyla sunmasından da anlaşılacağı gibi, konuşmalar gergindi. Golgi, teorisinin açılımını yaptıktan sonra sözlerine şöyle devam etti: "Meşhur İspanyol meslektaşımın

yüksek zekâsının, takdire şayan bir ürünü olan doktrininin parlaklığına inanmakla birlikte, anatominin yapısına ilişkin teorik açıdan temel önemdeki bazı konularda kendisiyle aynı fikirde değilim...” Golgi, ağ tarzi çalışan, hücrelerin fiziksel olarak bağlantılı bulunduğu ve kan dolaşımına erişimiyle nöronal takviye edici olarak gliadan oluşan bir sinirsel organa kesinkes inanıyordu.

Golgi’nin bilim insanları tarafından bir süredir el üstünde tutulmadığının farkında olan ve bir İtalyan senatörü olarak modern bilimle uğraşmaya daha az eğilimli olduğunu bilen Cajal, ertesı günkü konuşmasında tezlerini dikine savundu. Waldeyer, Exner, Deiters ve Kolliker’den alıntı yapan Cajal, Golgi’nin rastgele atışlarına takılmadı ve gerçekleri gördüğü gibi ifade ederek teorisini savundu. Daha sonradan Golgi’nin “gurur ve kendini beğenmişlik kokan gösterisi” nin tepesini attırdığını yazdı. Golgi’nin egosunun “entelektüel ortamda durmaksızın meydana gelen değişiklikler karşısında tamamen geçirimsiz” olduğunu belirtti.

Golgi de ikincil önemde olduğuna inanmakla birlikte, gliaya Cajal’a göre daha aktif bir rol biçiyordu. Yine de toz duman yatışınca Santiago Ramón y Cajal’ın kardeşi Pedro’nun parlak buluşunun yan ürünü olarak nöronlar kazanmış ve glia sonsuza dek unutulmaya terk edilmişti. Bu Billy Carter’a Jimmy’nin İran’daki rehinelere durumuna ilişkin ne düşündüğünü sorması gibi bir şey değildi⁴. Pedro özünde yeterli bir bilim insanıydı, fakat Cajal’ın titiz çalışmalarıyla aydınlatılmasına katkıda bulunduğu bir hücreyi bir kenara atması tuhaftır. Kaldı ki bunlar beyinde en fazla bulunan hücrelerdi. Nöron Doktrini uyumluydu, tam onun tarzıydı ve Cajal’ın tarzı olan nöron da Golgi’ye ters geliyordu.

Modern nörobilim çalışması doğmuş ve Santiago Ramón y Cajal da bu alanın kurucusu olmuştu. Cajal insanların neyin doğru, neyin yanlış olduğunu bilmelerini sağlamak için elinden geleni yaptı. Ve Nobel Ödül töreninde Cajal’ın Golgi’ye karşı yaptığı hamleler de aleyhinde konuşanları etkilemedi. Altmış yıl boyunca gliayı inceleyen olmadı.

4 Billy Carter, başkan Jimmy Carter’ın erkek kardeşi ve rehine krizi sırasında basında eğlence anlarında çekilmiş fotoğrafları yayımlandığı için eleştirilmiştir

Kaynakça

- Azmitia, E.C., J. Defelipe, E.G. Jones, P. Rakic, and C.E. Ribak. *Progress in Brain Research: Changing Views of Cajal's Neuron*. Elsevier, New York: Elsevier Science, 2002.
- Clarke, E. and L.S. Jacyna. *Nineteenth-Century Origins of Neuroscientific Concepts*. Los Angeles, CA: University of California Press, 1987.
- De Vellis, J. *Neuroglia in the Aging Brain*. Totowa, NJ: Humana Press, 2002.
- Finger, S. *Origins of Neuroscience: A History of Explorations into Brain Function*. New York: Oxford University Press, 1994.
- Kettenmann, H. and B.R. Ransom. *Neuroglia*, Second Edition. New York: Oxford University Press, 2005.
- Ramön y Cajal, S. *The Neuron and the Glial Cell*. Springfield, IL: Charles C. Thomas Publisher Ltd., 1984.
- Shepherd, G.M. *Foundations of the Neuron Doctrine*. New York: Oxford University Press, 1991.
- Verkhratsky, A. and A. Butt. *Glial Neurobiology*. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd., 2007.

3

Vücut Elektrığının Şarkısını Söylüyorum⁵

Eski Romalılar muhtemelen, başları ağrıdığına doktora gitmeyecek kadar zekiydiler. Zamanda yolculuk edip de eski Roma'ya gitseniz ve yolda başınız ağrısa yalnızca dişinizi sıkıp ağrıyı çekmeyi tercih ederiniz. Çünkü gittiğiniz doktor tuzlu su tankının içinden büyük bir dikkatle bir elektrik balığı çıkarır (elleriyle değil tabii), balığı başınıza geçirip ağrınızı elektrik şokuyla keserdi. Tam olarak bilinmemekle birlikte insan türünün, evrimleşen ilk insanın gökyüzünde çakan şimşekleri görmesinden bu yana elektriğin varlığından haberdar olsa gerektir. Birkaç taşın birbirine çarpılmasından ve metalürjinin gelişimiyle de kılıçların çarpışmasından kıvılcımlar çıkmıştı. Elbette ki elektrik balıkları üzerine ta eski Yunanlılar zamanında kafa yoruldu. Romalıların balıkla elektrik şoku verince, baş ağrısının iyice azmak yerine kesilebileceğini nasıl olup da düşündüğü ise bu kitabın konusu değil.

Glianın, hücrelerin boyanmaya başlanmasından sonra keşfedilmesi, hemen ardından da gözden düşmesi on sekizinci ve on dokuzuncu yüzyılda elektriğin özelliklerinin belirlenmesinin doğrudan sonucuydu.

5 Walt Whitman'ın 1855'te yazdığı *I Sing the Body Electric* şiirine atıfta bulunmaktadır. (Ç. N.)

Ramón y Cajal'ın Nöron Doktrini ve ardından da Pedro'nun glia teorisinin kabul edilmesi, nöronların elektrik sinyali göndermesinin büyük öneme sahip olduğu görüşüne dayanıyordu. Artık bütün hücrelerin elektrik potansiyeline ve kuvvetine sahip olduğu biliniyor.

On sekizinci yüzyılda elektrik bilimde moda oldu. Elektrik, bugünkü kuantum fiziğinin eşdeğeri idi. Bilim alanındaki herkesin, elektriğin kökeni ve uygulamalarına ilişkin bir teorisi ve anlayışı vardı. Elektrik, Tanrı'nın gazabı, bir meleğin altından gözyaşlarının dökülüşü ya da kıyametin yanıp sönen kıvılcımı gibi esrarengiz bir olguydu. Bugün artık elektriğin esas olarak atomlardan oluşan bir dünyada yaşamının normal bir sonucu olduğuna ve kullanılmasının insanlık tarihindeki en önemli ilerleme sayılabileceğine inanıyoruz.

Biyoloji alanında fiziksel varlıkların nasıl elektrik ilettiğini tespit etmeye yönelik ilk deneyler, elektrikli yılan balıkları ve torpil balıkları üzerinde yapıldı. Torpil balığının anatomisi 1773'te John Hunter (1728-1793) tarafından tanımlandı ve onunla aynı dönemde John Walsh da (1726-1795) elektrik balığının ya da diğer adıyla vatozun elektriksel özelliklerini betimledi.

Walsh, balığın elektriksel aktivitesini, elektrik potansiyelini yoğunlaştırmak için kullanılan bir cihaz olan Leyden kavanozuna aktardı. 1740'ların sonlarında Pieter Van Musschenbroek'in (1692-1761) Hollanda'da icadını gerçekleştirdiği şehrin adını verdiği Leyden kavanozunda sürtünmeyle oluşturulan elektrik, kablolar kullanılarak bir sıvı şişesine iletiliyordu. Sıvı, elektrik potansiyelini oluşturuyor ve kavanozdan uzanan bir tel aracılığıyla da şok uygulanabiliyordu. Walsh, balığın elektrikli sıvıyı dışarı alıp kendisinde yoğunlaştırarak bir diğer balığa bir çırpıda elektrik şoku verebildiğine inanıyordu. Balığın elektrik kuvvetine "haiz" olabileceğini düşünüyordu.

Leyden kavanozunun insanlarda elektrik çarpmasına yol açabileceğini bilen bilim insanları, doğal olarak bu düşüncüyü kadvralar üzerinde denediler. En iyisi, güneşli bir pazar günü, öğleden sonra ölü bir adama elektrik vermektir. Elektrik şoku verilen ölünün kasılmaları, insandaki

elektrik iletkenliğinin yapısına ilişkin pek çok yoruma neden oldu. Yine de vücudumuzun sıvı içerdiği bilindiğinden, bu düşüncenin daha derinlemesine araştırılması gerekiyordu, çünkü vücutlarımız Leyden kavanozunun dibindeki sıvı gibi hareket ederek elektriği sert kaslar aracılığıyla pasif tarzda iletebilirdi.

Leyden kavanozunun eğlence amaçlı kullanıldığı da oldu. XIV. Louis'in Versailles'daki bahçesinde, 180 Fransız askeri yan yana dizildi ve avuç içlerinde metalik diskler varken birbirlerinin ellerini tuttular. Bir uçtaki asker Leyden kavanozunun ağzına dokununca, öbür uçtakilerin tümüne elektrik iletilmiş oluyordu. Çıplak eliyle en uçtaki adama dokunan bir garibanı da elektrik çarpıyordu. Bu olay vücudumuzun iletkenlik gücünü kanıtlamak için Paris'teki bir manastırda 700 rahip tarafından tekrarlandı.

Bununla birlikte, bir yaşam formundaki içsel elektrik, elektrik balığına özgü bir durum olarak görülmeye devam ediliyordu. İnsanlar Yıldız Savaşları'ndaki İmparator Palpatine gibi birbirine elektrik şoku vererek dolaşp durmuyordu tabii; fakat kedilerin tüylerinin el ya da parmak değdiği zaman elektrik çarpması sonucu havaya dikilmesi de bunun mümkün olabileceğinin düşünülmesini sağladı. Çoğu bulgu, elektriği toplayamayan, sadece varlığımız aracılığıyla onu pasif tarzda ileten ıslak vücutlar olduğumuza işaret ediyordu.

Elektrik olgusunun yarattığı heyecan, büyük ölçüde Benjamin Franklin'in (1706-1790) araştırmalarına dayanıyordu. Franklin, iri kıym, toparlak vücudu, görkemli tavırları, burnunun ucuna indirdiği gözlükleri, yaptığı önemli işten arada bir gözlerini ayırarak fırlattığı bakışlarıyla sizi hemen etkilerdi. Fakat Franklin, bu pörsümlüş gözlerle sevgiyi de paylamayı da aynı anda ifade edebiliyordu. Daha ilk bakışta bile insan düşüncesinin sorgulayıcılığındaki son noktayı temsil ediyordu. Franklin, yirmi bir oyunu masasına yüz dolarlık bir banknot koyduğunuzda sizi dikkatle süzüp duran tuhaf bir adamdı. Elektrik olmasaydı Amerika Birleşik Devletleri de olmazdı, çünkü yıldırım Franklin'e bir devrimin sesi olma saygınlığını kazandırdı.

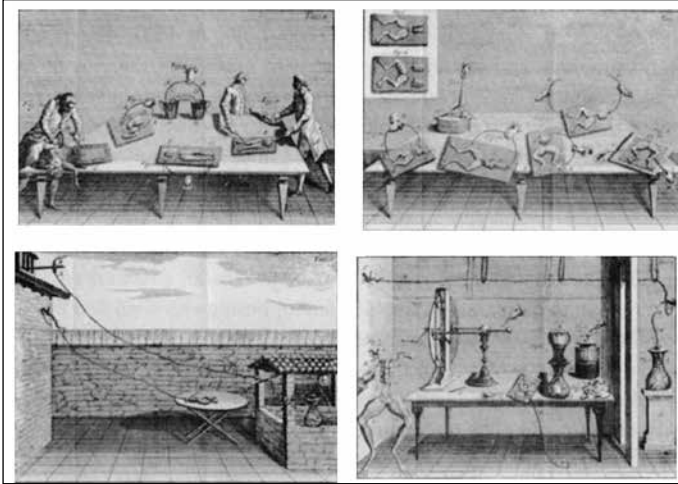
Franklin eşit ve zıt elektriksel hareketi kanıtladı ve “pozitif” ve “negatif” elektrik terimlerini üretti. Franklin’e göre Leyden kavanozunun iç tarafı pozitif, dış tarafı da negatifti. Franklin arabasını “zıplatma” konusunda hiç zorluk çekmezdi. Elektrik ileten bir metal plaka tasarladı. Plakaya Franklin karesi adı verildi.

Ölü bedenlerin elektrikle uyarılarak kasılmalarının ve Franklin’in çalışmalarının ardından bilim insanları, elektriği hayvan hareketinin doğası olarak incelemek için gerekli imkânlara ulaşmış oldular. Elektrik, nihayet Galen’in salgılarını ve Descartes’in ruhlarını açıklamaya ve doğrulamaya aday görünüyordu. Newton bile buna benzer bir görüşe sahipti. Sinirlerimizdeki esirin (*ether*) yaşamın her alanını kapladığını ve insanların esiri sinir dokularında kontrol edebildiğini iddia ediyordu. Elektrik Newtoncu görüş açısıyla da uyumluydu.

1780’de, Franklin’in Leyden kavanozuna ilişkin teori ve tanımları Avrupa’nın her yerinde genel kabul gördü ve yaygın olarak okundu. On dokuzuncu yüzyılın sonlarında Thomas Edison gibi Luigi Galvani de (1737-1798) Franklin’in bilgi birikimini alıp elektriğin anlamını kökten değiştirdi. Pavia Üniversitesi’nde münzevi bir bilim insanı olan Galvani, Golgi’nin aynı üniversitede boyama tekniklerini keşfetmesinden 100 yıl sonra Franklin’in teorilerini parçalara ayrılmış kurbağalara uygulayarak hayvanlarda içsel elektriğin varlığını ve daha spesifik olarak da içsel elektriğin fiziksel harekete yol açan iletken olup olamayacağını araştırdı.

Galvani kurbağanın bacaklarına ve bacak kaslarına dokunmadan omuriliğini kesti. Onun deneylere ilişkin çizimleri, Kurbağa Kermit’in bacaklarının çılgın bir kitle katliamcısı kuklacı tarafından kesilmiş halini andırır. Efsaneye göre bu düşünce Galvani kurbağa bacaklarını hasta olan karısına akşam yemeği olarak hazırlarken, bacakları dalgın dalgın aşağı yukarı eğip bükerken aklına geldi. Neyse ki, karısının o akşam yiyeceği başka şeyler vardı. Dehşet verici bir isme sahip Hollandalı bir biyolog olan Jan Swammerdam (1637-1680), kurbağa bacağındaki kas ve sinirleri kesen ilk kişi oldu. Galvani ise bacaklarına elektrik şoku veren ilk kişiydi. Galvani, kurbağanın bacakları kasılmış vaziyetteyken Leyden

kavanozunu ya da sihirli kare dediği Franklin karesini kullanarak alüminyum folyoya sarılı omurilikten akım geçirdi. Galvani ayrıca atmosferin bacaklar üzerindeki elektriksel etkilerini gözlemlemek için bacakları bahçesindeki bir demir parmaklığın üzerindeki bir tele kancayla tutturdu. Fakat İtalya'da fırtınalar emirle başlamadığı için beklemekten sıkılıp paratonere farklı metaller uygulamaya başladı ve bacaklardaki kasılmaları gözlemledi. Bu deneylerden yola çıkarak hayvanda içsel potansiyel bulunduğunu fark etti.



Şekil 3.1 Doktor Galvani'nin kızarmış kurbağa bacakları

Galvani'nin teorileri ilginç bir gelişmeye yol açtı. Kontrol meraklısı fizikçi Alessandro Volta (1745-1827), Galvani'nin, Franklin'in ilk çalışmasını yayınlamasından bu yana geçen 40 yılda elektrik üzerine yapılan araştırmaları kavramadığına inanıyordu. Başlangıçta Galvani'nin safında yer alan Volta, artık bacaklardaki kasılmaların vücuda elektrik akımı verildiğinde gerçekleşen kasılmalarla benzer nedenlerden ileri geldiğini ve bunun hayvandaki içsel elektrikten kaynaklanmayabileceğini düşünüyordu. Volta, akımı iki zıt metalin yarattığını ve tıpkı daha önce