

Keyifli Okumalar Dileriz

Binlerce kategoride milyonlarca PDF e-kitap, ders kitapları, dergiler ve romanlara platformumuz üzerinden ücretsiz ulaşabilirsiniz.

RESMİ WEB SİTEMİZ

<https://rantey.org>

Yedek ve Duyuru Kanallarımız

Sitemize erişim engeli gelmesi veya adres değişikliği durumunda aşağıdaki kanallardan güncel giriş adresine erişebilirsiniz:

- Telegram: <https://t.me/birkitapbir>
- WhatsApp Kanalımız : <https://whatsapp.com/channel/0029VbDHv8uE50Us4lvMoc0Y>

SUSAN GREENFIELD



İNSAN

bedenimizin kumanda
merkezinde bir gezi

BEYİNİ



VARLIK / BİLİM

Oxford Üniversitesi'nde farmakoloji, Londra'daki Gresham Koleji'nde fizik profesörü olan Susan A. Greenfield, Oxford'daki Lincoln Koleji'nde de eğitim veriyor. *Independant on Sunday*'in on beş günde bir yayımlanan bilim köşesi de dahil olmak üzere pek çok dergide yazıları çıkıyor, ayrıca *Journeys to the Centers of Mind* adlı bir kitabı var. 1994'te, BBC tarafından naklen yayımlanan Kraliyet Enstitüsü Noel Konferansları'nın 165 yıllık tarihinde ilk kadın konuşmacı olan yazar, İngiltere'de Oxford'da yaşıyor.

Bilim dizisi / “Bilimin Ustaları”
Varlık Yayınları, Sayı: 921
İkinci basım: 2006

“The Human Brain”
© Brockman, Inc. New York / Varlık Yayınları, İstanbul, 2000

[“Bilimin Ustaları” (Science Masters) başlığı ve amblemi, Brockman, Inc’a aittir ve Türkiye’de kullanım hakkı Varlık Yayınları’na verilmiştir.]

ISBN 975-434-223-7

Kapak düzeni: Ekin Nayır
Ofset hazırlık: Varlık Yayınları
Baskı: Kurtiş Matbaacılık, İstanbul

VARLIK YAYINLARI A.Ş.
Piyerloti Cad. Ayberk Apt. No.7-9 Çemberlitaş 34400, İstanbul
Tel: 212-516 20 04 - Faks: 212-516 20 05
e-posta: varlik@isbank.net.tr
http//: www.varlik.com.tr

İNSAN BEYNİ

SUSAN A. GREENFIELD



Türkçesi: Burcu Çekmece
Redaksiyon: Rahmi G. Ögdül



VARLIK / BİLİM

İÇİNDEKİLER

Giriş		7
1	<i>İç İçe Beyinler</i>	11
2	<i>Sistemlerin Sistemleri</i>	41
3	<i>Vurum, İtki (Puls, İmpuls)</i>	73
4	<i>Üst Üste Hücreler</i>	100
5	<i>Zihni Aklımızda Tutarak</i>	127
Sonuç	<i>İleriye Bakmak</i>	152
Kaynakça		156

Beyin birçok kişide merak uyandırıyor. Ancak bu insanlar, en temel ve bilinen olguları bile keşfetme olanağını bulamıyorlar. Piyasada ancak, biyomedikal öğrenimi gören ve gerekli temel bilgiye sahip olan öğrencilerin anlayabileceği teknik kitaplar bulunabiliyor; buradaki özel terminoloji ise ortalama okur için caydırıcı oluyor. Ayrıca beyin herkesi etkileyen bir konu, çünkü hepimizin en azından birine kişisel ilgi duyduğumuz geniş bir konu yelpazesini kapsıyor: Bebeklerin gelişimi, uyuşturucu kullanımı ve bağımlılığı, inmeler, şizofreni, beyin taramaları ya da bilincin fiziksel temeli gibi.

Bu kitabı, biyolog ya da öğrenci olmayan kişileri kafataslarının içindeki şeyle tanıştırmak için yazdım. Amacım, insanlara beyin ve zihin hakkında neler bildiğimizi ve halihazırdaki uzmanlığımızla hangi soruları gerçekçi biçimde yanıtlayabildiğimizi göstermek. Böyle bir kitap yazmayı uzun süredir düşündüğüm halde, sonuç olarak beni, yaşadığım iki deneyim harekete geçirdi. 1994'te, Kraliyet Enstitüsü Noel Konferansları'nı benim vermemi istediler. Bir dizi bilimsel konuyu işleyen bu konferanslar, 1826'dan beri genç izleyicilerin ilgisini çekiyor ve yaklaşık son otuz yıldır BBC tarafından televizyona aktarılı-

yor. Bu programların İngiliz yaşamının yerleşik bir parçası haline gelmesinin tek nedeni, alışıldık konferanslardan çok farklı olması değil: Sunucu Michael Faraday'ın zamanından beri, seyirci katılımını, işleyen modelleri, antik destekleri ve her türden egzotik hayvanı da içeren canlı gösteriler üzerinde duruluyor.

Bu kitaptaki beş bölüm, beş konferansın her birinden büyük ölçüde esinlenerek yazıldı. Ancak, Noel Konferansları'nın ruhunu ve bazı malzemelerini işin içine katmayı tasarlamış olsam da, arada birkaç çok temel ayrım var. Konferansların hedefi ergenlik çağındaki izleyiciler olduğu halde, bu kitabı yetişkin okurlar için yazdım. Ayrıca, canlı bir kartal ya da baykuşun yarattığı etki, veya bir dürtü-tepki yarışmasının eğlencesi basılı kâğıda aktarılamıyor. Bu nedenle olgulara ve ilkelere ilişkin çeşitli örnekler üzerinde durmak yerine, dikkatimi beyinle ilgili çalışmaların daha "felsefî" sonuçlarına yönelttim. Kısacası, "zihnin" beyinden nasıl ortaya çıkabildiğine dair her türlü spekülasyona teslim olma özgürlüğünü kullandım. Bu fikirlerin sağlam olgular olarak algılanması gerekmiyor, amaç daha ziyade, okurları etkin bir biçimde sorgulamaya ve kendi başlarına düşünmeye sevk etmek.

Bu yaklaşım, ikinci kez yakaladığım, genel izleyicilere beyin hakkında konuşma fırsatıyla desteklenmiş oldu. 1995'te, Londra'daki Gresham College'da Fizik Kürsüsü'ne seçildim. Elizabeth dönemi bankerlerinden Thomas Gresham'ın vasiyetine uygun olarak, o sıralarda "yeni öğrenim" olarak görülen dalların her birini temsil eden sekiz profesör, Londra kentinde halka bedelsiz olarak konferans vermek zorundaydı. Dolayısıyla, son iki yıldır, bu tür konferanslara ilk kez katılıyor olsa bile kapıdan içeri giren herkesin anlayabildiğini umduğum bir üslupla, beyin konusunda başlangıç bilgilerini içeren konferanslar verdim. Böylece, insanların ne tür sorular sorduğunu birinci elden gözlemleme ve onları ilgilendiren özel konuları anlama

olanağını elde ettim. Bu deneyimler, malzemenin seçilmesi ve sunuluşu açısından bana çok yardımcı oldu.

1. Bölüm’de, beyni çıplak gözle inceleyerek farklı beyin bölgelerinin birbiriyle ilgisini araştırıyoruz. Her birinin farklı bir işlevi var mı acaba? 2. Bölüm’de beyin işlevlerinin yerlerinin saptanmasına ilişkin sorunlara, hareket ve görme gibi bazı tanıdık işlevleri inceleyerek yaklaşıyoruz ve bunların beyinde nasıl yerleştiğini görmeye çalışıyoruz. 3. Bölüm’de, genel beyin bölgelerinden mikroskop altındaki beyne yöneliyoruz. Beynin temel yapı taşlarının –beyin hücrelerinin– birbiriyle nasıl iletişim kurduğunu ve bu tür iletişimin ilaçlarla nasıl değişime uğratıldığını görüyoruz. 4. Bölüm’de, beynin tek bir döllenmiş yumurtadan nasıl oluştuğunun izini sürüyoruz. Beyin, benzersiz bir bireyin özünü oluşturacak deneyimler sonucunda sürekli değişirken, yaşam süresince onun kaderini de izliyoruz. 5. Bölüm’de, bellek nedir, nasıl çalışır ve beynin neresinde oluşur gibi sorular sorarak, bu bireysellik görüşünü takip ediyoruz. Sonuçta bellek aracılığıyla zihnin fiziksel temeline dair bir fikir sahibi oluyoruz.

Beyin hâlâ çözümsüz bir gizem olma özelliğini koruyor: Yaşamının büyük bir kısmını onu incelemekle geçiren bizler, ne kadar öğrenirsek, öğrenilecek o kadar çok şey olduğunu anlıyoruz. Bu biraz da, Yunan mitolojisindeki, bir kafası kesilip atıldığı anda, yerinde yedi kafa birden gelişen hidra adlı canavarı andırıyor. Bu kitap, ne bireyselliğin ya da bilincin gizemlerine yönelmiş sihirli oklar sunuyor, ne de kolay yanıtlar vaat ediyor. Ancak ben, bu kitabın evrendeki en heyecan verici varlığa duyulan merak ve takdiri pekiştirmeye yardımcı olacağını umuyorum.

İÇ İÇE BEYİNLER

Beyin nasıl çalışır? Gerçekte yaptığı nedir? Yüzyıllardan beri bu sorular sayısız insanı etkilemiş ve uğraştırıp durmuştur. Fakat sonunda, insan kavrayışının nihai sınırı olarak değerlendirilebileceğimiz bu konunun üstesinden gelmek için gerekli olan bilgi birikimine ve motivasyona sahibiz artık.

İnsan ömrünün uzadığı doğrudur, fakat bu, insanların daha iyi yaşadığı anlamına gelmiyor. Alzheimer ve Parkinson gibi yaşlılıkta ortaya çıkan ve beyni tahrip eden yıkıcı hastalıklara artık daha çok rastlanıyor. Üstelik modern hayatın baskıları, depresyon ve anksiyete gibi psikiyatrik hastalıkların büyük oranda artmasına neden oldu. Ayrıca, ruh halini değiştiren ilaçlara bağımlılık da gitgide artıyor. Bu nedenle, beyin konusunda öğrenebileceğimizin en fazlasını öğrenme zorunluluğuyla yüz yüze gelmiş durumdayız. 17 Temmuz 1990'da ABD'nin o zamanki Başkanı George Bush, "beyin araştırmalarından elde edilecek yararlar konusunda halkın daha fazla bilinçlenmesini sağlamak" için her türlü çabanın harcanması gerektiğini açıkladı. Şu sıralar "Beyin Onyılı"nın ortasındayız. Bu nedenle beyne duyulan genel ilgi resmiyet kazanmıştır.

Kendisi için özel olarak tasarlanmış koruyucu kafatasının içinde bedenin diğer kısımlarından ayrı duran beyin, çiğ yumurta kıvamındadır ve büyümesinde devinen kısımlar bulunmaz. Bu nedenle fiziksel bir baskı altında kalmayacağı ya da büyük çaplı bir mekanik eylemde bulunmayacağı çok açıktır. Yunanlılar, bu özsüz ve sırlarla dolu maddenin ruh için mükemmel bir mekân olduğu sonucuna varmışlardı. Daha da önemlisi ruh ölümsüzdü; düşünmeyle hiçbir ilgisi yoktu. Aslında Yunanlılar, bizim şimdi beyne atfettiğimiz yeteneklerin tümünün kalpte ya da akciğerlerde saklı olduğunu düşünüyorlardı (fakat tam yeri hakkında kesin bir fikir birliğine hiçbir zaman varılamadı). Elbette, ölümsüz "ruh" o kadar kutsal ve yüceydi ki, beynin ona sağladığı gri renkli sessiz ve uzak yuva, gizemli özellikleriyle ciddi bir ilgi odağına dönüşmüştü: Yunanlılar her türlü hayvan beyninin yenmesine karşı sıkı yasaklar koymuşlardı. Ruh bu durumda "bilinç", "zihin" ve bugün bireysellik ya da kişiliğimizle ilişkilendirdiğimiz diğer tüm ilgi çekici özelliklerimizden oldukça farklı bir şeydi.

Normal zihinsel faaliyetlerin beyinle kesinlikle ilişkilendirilmediği bu garip usamlama, Croton'lu Alkmaion'un büyük keşfi sayesinde değişti. Alkmaion, gözlerden beyne doğru uzanan gerçek bağlantıların bulunduğunu gösterdi. Bu bölgenin düşüncenin merkezi olduğunu iddia etti. Bu devrimci görüş, bedenin diğer kısımlarından beyne gelen sinirlerin — elbette ki o sıralarda böyle tanımlanmamışlardı — varlığını ortaya çıkaran Herophilus ve Erasistratus adlı iki Mısırlı anatomi uzmanının gözlemleriyle bağdaşıyordu. Peki, beyin düşüncenin merkezi ise, ruhun yeri neredeydi?

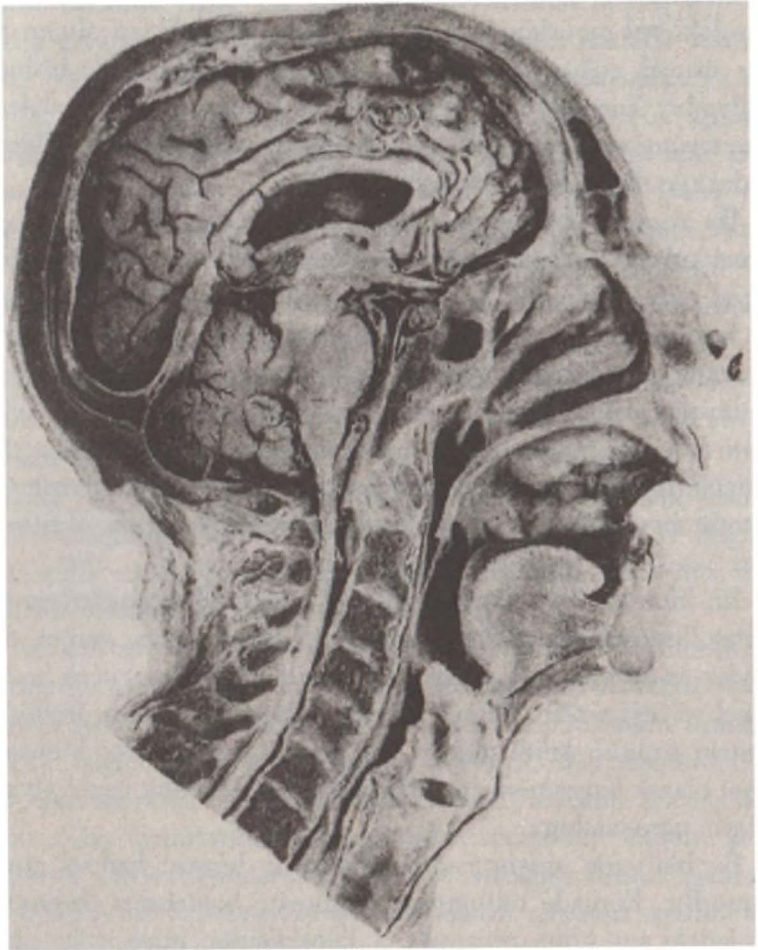
Yunanlı hekim Galen (MS 129-199) beynin en dayanıksız, en narin olan ve çıplak gözle açıkça görülebilen bir bölümüne işaret etti. Beynin derinliklerinde, ana rahmindeki gelişme sırasında oluşan ve renksiz bir sıvı içeren, birbiriyle bağlantılı oyukların meydana getirdiği bir labirent vardır. Temelsiz gibi

görünen bu sıvı, beynin tüm dış yüzeyi ile omuriliği sarar ve beyin-omurilik sıvısı (BOS) olarak bilinir. Omuriliğin alt kısmındaki bel omurları bölgesinde açılan bir delikten alınan bu sıvı örneği çoğunlukla çeşitli nörolojik sorunların teşhisinde kullanılır. Normalde, BOS kanın içine tekrar emilir ve böylece taze sıvının sürekli üretilmesi (insanlarda dakikada 0,2 mililitre kadar) ve durmaksızın dolaşımı sağlanır.

Bu gizemli, girdap gibi dönüp duran maddenin, beynin pel-temsi kitlesinin aksine, ruhun özü için iyi bir aday olabileceğini hayal etmek kolaydır. Günümüzde, BOS'un sadece tuz, şeker ve bazı proteinler içerdiğini biliyoruz. Ruhun mekânı olması bir yana, ona küçük düşürücü bir ifadeyle "beynin idrarı" bile denmiştir. Hiç kimse, ruhun ölümsüzlüğüne inananlar bile, onun beyinde bulunacağına artık inanmıyor. Herkesin tüm düşüncelerimizden ve duygularımızdan açıkça sorumlu tuttuğu ölümlü beyin, kendi içinde en çözümsüz bilmeceyi oluşturuyor.

Bu kitapta, "Beyin nasıl çalışır?" sorusunu yanıtlarken ne kadar ilerleyebileceğimizi göreceğiz. Fakat bu soru gerçek deneyler ve gözlemler açısından bir anlam ifade etmeyecek kadar genel ve belirsizdir. Bunun yerine yapmamız gereken, kişiliklerimizin özünün kilitli olduğu bu sırlarla yüklü doku kütlesini nihai olarak kavramamıza katkıda bulunacak daha özgül alt sorularla uğraşmaktır.

Bu bölümde araştıracağımız ilk konu beynin fiziksel görünümüdür. Elinizde tuttuğunuz bir beyne baktığınızı düşünün: elinizdeki şey krem renginde, 1 kilogramdan biraz daha ağır, ortalama 1,3 kilogramlık bükümlü bir nesne olacaktır. (Bkz. Şekil 1) Bu garip görünümlü ve avuç içine sığabilecek kadar küçük nesnenin dikkatinizi çekecek ilk özelliği, daha yeni anlamaya başladığımız bir büyük taslağa göre birbiri etrafında katlanan ve birbiriyle kenetlenen, belirli bir şekle ve yapıya sahip farklı bölgelerden oluşmuş olmasıdır.



ŞEKİL 1.

Kafa içindeki insan beyninin bir kesiti. Beynin, çıplak gözle kolaylıkla ayırt edilebilen farklı bölgelerden oluştuğuna ve omurilik ile devamlılık gösterdiğine dikkat edin.

[*A Colour Atlas of the Brain and Spinal Cord*, M.A. England ve J.Wakely (London: Wolfe Publishing Ltd., 1991)]

Beyin, çiğ yumurta kıvamındadır ve genel yapısı her zaman aynıdır. Bir tür kalın sap (beyin sapı) etrafında oturuyormuş gibi görünen ve yarıküre denilen iki belirgin yarım parçadan oluşur. Beyin sapı aşağıya doğru incelererek sonunda omurilikle birleşir. Geride ise ana beynin (cerebrum) arkasından tehlikeli bir biçimde dışarıya doğru fırlayan karnabahar biçimli "beyincik" (cerebellum) çıkıntısı bulunmaktadır.

Beyinciğe, beyin sapına ve bu yarıkürelerin yüzeyine baksaydınız, hepsinin yüzey dokusu açısından farklı olduğunu ve renklerinin de krem-pembe-kahverengi arasında az da olsa değiştiğini görebilirdiniz. Ayrıca, beyni ters çevirip alt tarafından baksaydınız, yine renk, doku ve şekil yönünden farklılık gösteren değişik bölgeleri kolayca görebilirdiniz. Genelde, her bölgenin aynıysa beynin diğer tarafında da bulunur, dolayısıyla tam orta yerinden aşağıya doğru bir eksen çizgisi çektiğinizde beyin simetrik olacaktır.

Beynin farklı bölgeleri bir çiçek sapını andıran beyin sapı etrafında toplanır ve sinirbilimciler tarafından düzenli bir anatomik plana göre bölümlere ayrılır. Bu beyin bölgeleri, sınırlarla ayırt edilen ülkelere benzer. Çoğunlukla bu sınırlar çok belirgindir: sınır, bir zamanlar ruhun gizlendiği düşünülen sıvıyla dolu bir karıncık, ya da doku veya renk açısından hafif bir değişiklik olabilir. Kabul edilen plana göre her bölgenin farklı bir ismi vardır, fakat biz bu tür adlandırmaları (örneğin beyincik ya da beyin sapı gibi) sadece ihtiyaç duydukça kullanacağız. Buradaki başlıca amacımız beyin anatomisinin ayrıntılı bir dö-kümünü çıkarmak değil, belirli bölgelerin dış dünyada hayatta kalma başarısı ile insanın düşünce ve duygularının en özel yeri olan iç dünyaya ilişkin bilince nasıl katkıda bulunduğunu keşfetmektir. Bu konular, Beyin Onyılı'nın çok daha öncesinden bu yana insanları uğraştırmıştır.

On yedinci yüzyılda yaşayan Marcello Malpighi gibi bazı kişilere göre beyin kocaman bir salgı bezi gibi homojen biçimde

işlev görüyordu. Malpighi'nin görüşüne göre, sinir sistemi ters dönmüş bir ağaca benziyordu. Ağacın gövdesi omurilikte, kökleri beyinde, dalları ise bedenin her yerine uzanan sinirlerdedi. Kısa bir süre sonra, on sekizinci yüzyılın ilk yarısında, Jean-Pierre-Marie Flourens de, biraz iğrenç sayılabilecek deneyleri sonucunda beynin homojen olduğu sonucunda vardı. Flourens çok basit bir mantıkla hareket ediyordu: beynin farklı parçalarını çıkartıyor ve geriye hangi işlevlerin kaldığına bakıyordu. Çeşitli laboratuvar hayvanları üzerinde yaptığı deneylerde metodik biçimde beyinlerinin daha büyük bir kısmını dışarıya çıkartıyor ve etkilerini gözlemliyordu. Belirli işlevlerin özgül biçimde bozulması yerine, tüm işlevlerin giderek zayıfladığını bulgulamıştı. Flourens yadsınmaz bir mantık ile, farklı işlevlerin beynin ayırt edici bölümlerinde yerleşemeyeceğine karar verdi.

Hiçbir uzmanlaşmış bölümü olmayan tek biçimli bir beyin senaryosu, kütle etkisi kavramına esin kaynağı oldu. Bu, o kadar aşırı şekliyle olmasa da günümüzde hâlâ geçerli olan ve mucize gibi görünse de oldukça sık gerçekleşen bir olayı açıklamak için kullanılan bir fikirdir: beynin bazı bölümleri felç gibi bir nedenle zarar gördüğünde, bir süre sonra diğer sağlam bölümler sanki onların yerine geçer ve böylece en azından başlangıçtaki işlevlerin bir kısmı geri kazanılmış olur.

Bunun tamamen tersi olan görüş ise beynin oldukça özgül işlevlere sahip keskin hatlı bölümlere ayrılabilceğidir. Bu görüşün en ünlü savunucusu, 1758 yılında Viyana'da doğan Franz Gall adlı doktordur. Gall, insan zihniyle çok ilgileniyor fakat cerrahi müdahaleyle incelenemeyecek kadar hassas olduğunu düşünüyordu. O dönemin teknikleri göz önüne alındığında oldukça haklıydı. Bunun yerine Gall, görünürde daha ince-likli bir yöntem kullanarak beyni incelemeye başladı. Geliştir-diği kurama göre, ölü insanların kafataslarını inceleyerek bun-ların o kişilere ait olduğu öne sürülen karakterlerle nasıl uyuş-

tuğunu gördüğünde, belki de karakterin belirli yönlerine teka-bül eden fiziksel bir özelliği tespit edebilirdi. Gall'un eşleştirmeyi seçtiği beyin özellikleri, en kolay saptanabilecek türdendi: kafatasının yüzeyindeki tümsekler.

Gall, yirmi yedi farklı karakter özelliği olduğu sonucuna vardı. Kişiliğin yapı taşları olduğu iddia edilen bu özelliklerin, aslında insan zihninin daha karmaşık nitelikleri olduğu anlaşıldı: üreme içgüdüsü, insanın yavrusuna olan sevgisi, bağlılık ve dostluk, kendini ve mülkiyetini savunma içgüdüsü, zalimlik içgüdüsü, kurnazlık, sahip olma duygusu ve çalma eğilimi, gurur ve otorite merakı, kendini beğenmişlik, ihtiyat ve öngörü, olgular ve nesnelere yönelik bellek, mekânsal ilişkiler sezgisi, insanlara yönelik bellek, kelimeleri anlama, söylenen kelimeyi algılama, renk duygusu, sesli ilişkileri algılama, rakamsal ilişkiler sezgisi, mekanik algı, karşılaştırmalı bilgelik, düşünce derinliği ve metafizik ruhu, mizah ve iğneleme anlayışı, şiiirsel yetenek, iyilik, taklit yeteneği, Tanrı ve din, sebat.

Sonunda, örneğin sıradanlığı da içerecek şekilde sayısı otuz ikiyi bulan farklı niteliklerle, kafa yüzeyinin bir haritası üretilmiş ve işlevlerin yeri bu harita üzerinde, yumruların her bireyde küçük ya da büyük olmasına göre yüksek ya da düşük düzeylerde belirlenmiştir. Kafatasındaki bir tümsek gibi, beyin dokusuyla hiç ilgisi olmayan konular bir yana, belirli bir zihinsel durumun fiziksel bir altyapıyla nasıl ilişkilendirilebileceği konusundaki kafa kurcalayan ve hâlâ yanıtlanamayan soru gündeme bile getirilmemişti.

Gall'un analizlerinde kullandığı düzenek bir tür şapkaıydı. Bu düzenek kafatasına geçirildiğinde, yüzeydeki tümsekler nedeniyle hareketli iğnelerin bir kısmı yerinden çıkıyor ve yukarıya doğru itilerek kâğıtta delik açıyordu. Kâğıt üzerindeki deliklerin oluşturduğu bu özel desen, bireyin karakterine ilişkin bir tür ilkel belge niteliğindeydi. Gall'un meslektaşlarından Johann Caspar Spurzheim, bu prosedürü ve altında yatan felse-

feyi açıklamak için Yunanca bir terim olan ve "zihnin incelenmesi" anlamına gelen *frenoloji* sözcüğünü icat etti. Bu, beyne yeni bir bakış açısı kazandırdı ve tarafsız ölçümlere dayandığı için gerçek bir bilimin tüm görkemine sahipti — bu sayede çağının ruhunu çabucak yakaladı. Frenoloji popüler olmuştu, çünkü insanlara daha "bilimsel" bir yaklaşımın yanı sıra ahlak anlayışı için temel, ölçülebilen, ruh gibi zor ve soyut fikirleri gerektirmeyen yeni bir şey sunuyordu. Körü körüne inanma gereğinden tamamen sıyrılmış, dünyevi ve nesnel bir sistem olarak algılanan frenoloji, o dönemde kiliseden soğuyan çok sayıda kişi için mükemmel bir tatmin yolu olmuştu.

Başka bir avantajı ise, elbette ki, büyük miktarlarda para kazanmanın yeni bir yolu olmasıydı: frenolojiyle ilgili broşürler, kitaplar ve modeller birden çoğalmaya başladı. Hatta frenoloji çoğu insanın hayatının ayrılmaz bir parçası oldu. Örneğin, günümüzde kulplu bardaklardan mücevherata kadar her şeyin burçlarla ilgili işaretlerle süslenmesi gibi, son yüzyılda bastonların tutma yerlerine de minik, kişileştirilmiş bir frenoloji büstü işlenmişti. Fakat bu hayranlık veren, zahmetsiz ve kazançlı uğraş eninde sonunda başa bela oldu.

1861 yılında Fransa'da, nöroanatomist ve antropolog Paul Broca, konuşma yeteneği olmayan bir adamı inceledi. Bu adam yalnızca "tan" diyebiliyordu; başka hiçbir kelimeyi telaffuz edemediği için, gerçek adı Leborgne olmasına rağmen kendisine "Tan" deniyordu. Tan, tarih sayfalarında yerini aldı çünkü üzerinde yapılan incelemeden altı gün sonra ölünce, Broca da onun beynini inceleme şansına sahip oldu. Beyninde hasar gören bölgenin, frenolojinin öngördüğünden tamamen farklı olduğu anlaşıldı. Bazı frenoloji büstlerinde dil merkezi, sol göz oyuğunun alt kısmında gösterilir, oysa Tan'ın beyninde hasar gören bölge beynin sol ön tarafındaki küçük bir alandı. Bu nedenle beynin bu kısmı, *Broca alanı* olarak bilinir.

Frenoloji bu tür kuşkuya yer bırakmayan klinik gözlemlerle

uyuşmadığı için çekiciliğini yitirmeye başladı. Birkaç yıl sonra Carl Wernicke adında Avusturyalı başka bir doktor farklı bir konuşma problemi keşfettiğinde, sorun iyice büyüdü. Wernicke'nin üzerinde çalıştığı hastalarda, beynin tamamen farklı bir yeri hasar görmüştü. Bu kez hasta, Tan'ın tam aksine, sözcükleri mükemmel biçimde söyleyebiliyordu. *Wernicke afazisi*'ndeki tek sorun, konuşmanın çoğunlukla anlaşılmasındır. Sözcükler, tutarsız bir şekilde art arda dizilir ve sık sık hiçbir belirgin anlamı olmayan yeni sözcükler icat edilir.

Konuşmayla açıkça ilişkili, ancak onun başka bir yönüyle bağlantılı olan bir diğer beyin bölgesinin keşfi, frenolojiyle ilgili sorunun, konuşma merkezinin yerinin yanlış tespiti bile olmadığını gösterdi: Wernicke'nin gözlemleri daha derin bir konuyu gündeme getirdi: yeri neresi olduğu bir yana, tek bir konuşma merkezi kavramı bile geçersizdir. Beyin işlevinin bir göstergesi olarak kafatasının üzerindeki tümsekleri ölçmenin saçmalığı bir yana, tutarlı bir davranış, beceri, his ya da düşüncenin beynin herhangi bir yerinde fiziksel bir olaya nasıl dönüştürüldüğü, ya da bunun tam tersi, hâlâ sorun oluşturmaktadır. Frenologlar tamamlanmış ürünün —dil gibi karmaşık bir işlevin— tek bir küçük bölgeyle birebir uyumlu, basit bir haritasının olabileceğini düşünüyorlardı. Geriye bakıldığında, onların hatalı olduğu kolayca fark edilebilir ama yine de halkın beyindeki bellek, duygu vb. merkezleriyle ilgili düşünceleri değişmemiştir. Ama beyindeki kümeler, edilgen biçimde ve doğrudan doğruya dış dünyadaki veya davranışsal ve zihinsel repertuardaki kümelere tekabül etmiyorsa; o zaman hangi alternatif senaryo ele alınabilir?

İngiliz nörolog John Hughlings-Jackson (1835-1911) beynin bir hiyerarşiye göre düzenlendiği görüşündeydi. En ilkel dürtüler, giderek daha karmaşıklaşan, dolayısıyla da en fazla insanlarda gelişmiş olan, üst düzey dizginleyici işlevler tarafından kontrol altında tutulmaktaydı. Bu görüşün nöroloji, psiki-

yatri ve hatta sosyoloji üzerinde etkileri olacaktı. Beyin hasarından kaynaklanan anormal hareketler, şimdi alt düzey işlevlerin, yani kendi normal üst düzey dizginleyici etkilerinden kaynaklanan istemsiz hareketlerin serbest bırakılması olarak yorumlanabilecekti. Benzer şekilde Sigmund Freud, "id"nin ihtarlı dürtülerinin, "süperego"nun vicdanı tarafından kontrol altında tutulan "ego" (bilinç) tarafından dizginlendiğini söyleyebilmişti. Sonuçta, tek bir beynin çok ötesinde, politik arena da bile, zaptedilemeyen bir kalabalığın anarşik davranışları "üst düzey" bir denetim gücünden kurtulmaları olarak da yorumlanabilir.

Hughlings-Jackson'un fikri nöroloji, psikiyatri ve hatta kalabalıkların davranışı konularında ilginç bir ortak çerçeve sağlaması açısından cazip olmakla birlikte, frenologlar tarafından öne sürülen hatalı varsayım burada da gizlidir. Hiyerarşi kavramı, bir şeyin en üstte olması, yani nihai bir denetleyicinin bulunması gerektiğini ima eder. Ne var ki, bellek ya da harekete yönelik tek bir yönetim merkezi fikri, frenoloji büstündeki tümsekleri anımsatır. Buna alternatif olarak nihai bir süperego fikrinin, psikiyatri ya da ahlak açısından anlaşılabilir olmakla birlikte, böyle bir fiziksel karşılığı yoktur. Beynin içinde tüm operasyonları yöneten bir mini-süper beyin bulunmamaktadır.

Genel beyin bölgelerinin işleyişini birbiriyle ilişkilendirmek için yapılan bir başka taslak girişimi, 1940'lar ve 1950'lerde Paul Maclean tarafından geliştirildi. Yine, Maclean beyni bir tür hiyerarşi olarak görüyordu, ama bu kez üç kattan oluştuğunu söylüyordu: en ilkel "sürünge", daha gelişmiş "eski memeli" ve en karmaşık "yeni memeli". Beyin sapına (omurilikten çıkan merkezî sap) tekabül eden sürünge beyni içgüdüsel davranışlardan sorumluydu. Buna karşılık, eski memeli beyni limbik sistem diye bilinen ve özellikle saldırı ve seks gibi duygusal davranışları kontrol eden orta beyin düzeyinde birbirleriyle bağlantılı bir dizi yapıdan oluşmaktaydı. Son olarak yeni

memeli beyni, beynin dış tabakasında barınan rasyonel düşünce süreçlerinin alanıydı. Bu dış bölge Latince’de "ağaç kabuğu" anlamına gelen *korteks* (beyin kabuğu) adıyla anılır, çünkü ağacın üzerindeki kabuk gibi, beynin dış yüzeyini kaplar.

Maclean kendi kavramını, birde üç beyin (*triune brain*) diye adlandırdı ve insani koşullardan kaynaklanan anlaşmazlığa büyük ölçüde, bu üç kat arasındaki zayıf eşgüdümün neden olduğunu savundu. Bu kuram, siyasi toplantılarda kitlelerin tam anlamıyla akılsızca ve tektip davranışlarını anlamamıza yardımcı olabilse de, bu bölümün merkezini oluşturan, dış dünyadaki işlevlerin beyinde fiilen nasıl yerleştiği konusuna pek ışık tuttuğu söylenemez.

Yine de sürüngenler, insan dışındaki memeliler ve insanlar gibi farklı türlerin beyinleri arasında karşılaştırma yapıldığında, bu bilmece için bazı ipuçları yakalanabilir. Farklı hayvanlardan alınan beyinlerin en belirgin özelliği, boyutlarının birbirinden değişik olmasıdır. O halde kolay bir çıkarım, beyin boyutlarının büyük önem taşıdığı, beyni ne kadar büyükse hayvanın o kadar zeki olduğudur.

Fil beyni, insanınkinden beş kat daha büyüktür; aşağı yukarı 8 kilogram ağırlığındadır, ancak bir filin insandan beş kat zeki olduğu söylenebilir mi? Herhalde söylenemez; bazıları filerin insanlardan çok daha büyük olması nedeniyle boyutların tek başına önemli olmayabileceğini, daha ziyade beynin beden ağırlığındaki yüzdesinin önem taşıdığını öne sürüyor. Beden ağırlığının yüzde 2,33’ünü oluşturan insan beynine kıyasla, fil beyninin beden ağırlığındaki payı yalnızca yüzde 0,2’dir.

Ancak beden ağırlığının yüzdesi hikâyenin tamamı değildir: fare benzeri bir hayvan olan *sorex*sin beyni beden ağırlığının yüzde 3,33’ü kadardır, ama hiç kimse *sorex*sin özellikle zeki olduğunu iddia edemez — aslında *sorex*sin, düşündüğü için ünlü olmamıştır. Belki de bu küçük yaratık hakkında en iyi bilinen olgu, her gün yeme ihtiyacını duyduğu şeyler, yani kendi be-

deniyle aynı ağırlıktaki böceklerdir. Bu nedenle boyut ve beden ağırlığı orantısının yanı sıra, beyinle ilgili başka kritik olgular da bulunmalıdır.

Şimdiye kadar beynin sadece mutlak boyutlarını göz önünde bulundurarak beyni tek bir homojen kütle olarak ele aldık, ancak unutmayın ki beynin kritik ve temel özelliği, farklı bölgelerden meydana gelmesidir. Eğer farklı beyin bölgelerinin önemini araştırıyorsak, bir kez daha evrime dönüp insan beyninin bölgelerini tek tek diğer hayvanlarınkilerle karşılaştırmak çok yararlı olabilir.

Timsah ve yavru horoz birbirinden farklı türlerdir, her şeye rağmen bu sürüngen ve kuş türlerinde temel ve tutarlı bir beyin formatı ortaya çıkmaya başlar. Bazı bölgeler zaman içinde neredeyse hiç değişmemiştir: örneğin omurilikten çıkan beyin sapı çoğu örnekte önemli bir gösterge olarak göze çarpabilir. Ancak, bir konuda değişkenlikler söz konusudur: örneğin yavru horozun beyinciği, toplam beyin kütesinin yarısı kadardır. Buna karşılık, bazı balıklarda beyincik, toplam beyin kütesinin yüzde 90'ına ulaşabilir. Beyinciğin, insanlar da dahil olmak üzere pek çok hayvan davranışında ortak olan, buna karşın yavru horozların, daha da önemlisi balıkların repertuarında pek egemen olmayan bir işlevi olmalıdır.

İnsanlar gibi daha karmaşık yaşam biçimlerine sahip canlılarda, beyincik toplam beynin çok daha küçük bir kesimini oluşturur. Beyinciğin, bizim yapabildiğimiz ve belki de daha karmaşık beyinlere sahip olmamızı gerektiren, daha değişken ve kişiye özel davranış repertuarıyla yakından bağlantılı olmadığını varsaymak akla yakındır. Beyinciğin aksine, evrim sırasında en fazla değişime uğramış beyin bölgesi, beynin dış tabakası olan kortektir.

Beynin işleviyle ilgili önemli bir ipucu, daha gelişmiş hayvanlarda korteksin kıvrımlı —büklümlü— olmasıdır. Dolayısıyla da, görece küçük bir kafatasının sınırlarına saygılı kalırken

yüzey alanı büyüyebilmiştir. Düzleştirildiğinde, farenin korteksi bir posta pulu büyüklüğünde, şempanzeninki standart bir dosya kâğıdı boyutlarında, insan beyni ise dört kat daha büyük olacaktır! İnsanlar, diğer tüm canlı türleri arasında en az kalıplaşmış ve en esnek yaşam tarzına sahiptir, bu nedenle de korteksin bir şekilde bireyi sabit, önceden belirlenmiş davranış biçimlerinden kurtarmakla ilintili olduğuna inanılır. Korteks ne kadar büyükse, birey karmaşık bir durumun dayattığı şeylere karşı, o kadar özgül ve tahmin edilemez biçimde tepki gösterebilecektir. Korteks ne kadar büyükse, hayvan kendi adına o kadar fazla düşünebilir. Ancak *düşünmek* sözcüğüyle kastedilen şey gerçekte nedir?

Korteks aşağı yukarı 2 milimetre kalınlığındadır ve farklı uzlaşımına göre, hepsi, tamamen ayrı olan elli ile yüz arası bölgeye ait işlevlere bölünebilir. Bir noktaya kadar bu tür bir sınıflandırma anlamlıdır: kesinlikle tamamı olmasa da korteksin belirli bölgeleri, beynin girdileri ve çıktıları ile açık bir eşduyum içinde gibidir. Örneğin beyin, korteksin oldukça yüksek mevzili bir bölümündeki sinirlerden omurilik boyunca aşağıya doğru adalelerin kasılması için sinyaller gönderir; bu nedenle korteksin bu bölgesi motor korteks olarak bilinir. Kortekte, örneğin gözlerden ve kulaklardan sinyaller alarak işleme koyan görsel ve işitsel korteksler gibi başka özgül bölgeler de bulunur. Benzer biçimde, acı ve dokunma hissiyle ilişkili sinyalleri taşıyan derideki sinirler de omurilikten yukarıya, korteksin dokunmayla ilgili sinyallere yanıt veren bölgesine, yani somatik-duyusal kortekse gönderilir.

Ancak, korteksin bu kadar net bir biçimde sınıflandırılmayacak başka bölgeleri de vardır. Örneğin, kafanın arkasına doğru üst taraftaki bir bölge (posterior parietal korteks — arka yan beyin kabuğu) görsel, işitsel ve somatik-duyusal sistemlerden girdi alır. Sonuçta, böyle bir bölgenin işlevi daha az belirgindir. Parietal korteksi hasar görmüş hastalarda, lezyonun ye-

rine ve çapına göre bir dizi aksaklık görülür. Bu belirtiler, nesneleri görerek ya da dokunarak tanıyamamayı veya bir duyuy-la hissedilmiş olanı başka bir duyuyla tanıma başarısızlığını içerebilir: Örneğın parietal lobu hasar görmüş bir kişi, gözleri kapalıyken elinde tuttuğu bir topu daha sonra görme yoluyla tanımayabilir. Bu duyu bozukluklarının yanı sıra, beynin çıktısı olan motor sistem de bozulacaktır. Örneğın beyinlerinin yan tarafında hasar olan hastalar nesneleri ustaca kullanmak ve hatta giyinmek konusunda bile beceriksiz olabilirler (apraksi). Sol ve sağ yönlerini karıştırıp, mekânsal becerilerde düzensizlik yaşayabilirler. Bu tür önemli duyusal girdiler ve beynin motor çıktılarıyla ilgili sorunların yanı sıra, parietal lobun hasar görmesi sonucunda çok garip düşünceler de ortaya çıkabilir. Örneğın, hastalar bedenlerinin yarısının gerçekte kendilerine ait olduğunu inkr edebilirler. Bu olgu, bedenlerinin o tarafındaki dokunma, görme ve işitmeyle ilgili tüm uyarımları görmezden geldikleri için, daha da ciddi bir sorunun parçasıdır.

Parietal lobları hasar görmüş hastaların duyu sistemlerinin tam anlamıyla işlediğinin ve kaslarını mükemmel biçimde hareket ettirebildiklerinin ayırımına varmak önemlidir. Sorun daha ziyade, bizim normalde olağan saydığımız, duyularla hareketlerin ağırlıklı eşgüdümünde yatıyor gibidir. Parietal korteks bir şekilde duyu sistemlerinden birini diğerine ve hatta duyu sistemlerini motor sistemlere bağlıyormuş gibi göründüğü için, bu korteks bölgesi *ağrışım korteksi* (association cortex) olarak bilinir. Fakat parietal korteks gibi bir korteks bölgesi sadece beynin girdilerinin ve çıktılarının keşiştiği bir nokta olarak rol oynamaz. Buna ek olarak, parietal hasarlı hastaların tanıma sorunları da vardır ve bunlar büyük olasılıkla kendi vücutlarının yarısını garip bir şekilde reddetmelerine yol açmaktadır; bu "görmezden gelme" ok daha çılgın iddialara yol açabilir, örneğın hastalar kollarının bir başkasına ait olduğunu sanırlar. O zaman kuşkusuz, parietal korteks, diğer "ağrışım" bölgeleri

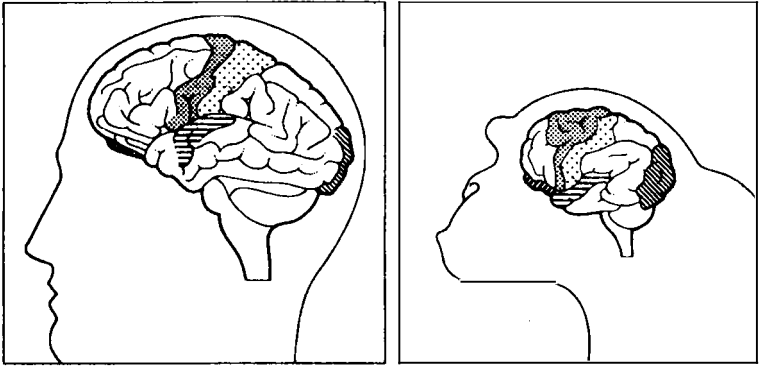
gibi, en incelikli ve anlaşılması zor işlevlerden sorumlu olmalıdır: düşünme ya da sinirbilimcilerin tercih ettiği ifadeyle *bilişsel süreçler*.

Farklı türlerdeki özgül beyin bölgelerini karşılaştırma stratejisine geri dönecek olursak, çağrışım korteksi bölgelerinin, en incelikli ve bireysel yaşam tarzına sahip hayvanlarda belirgin olmasını bekleyebiliriz. Dioksiribonükleik asit (DNA) bakımından bizden sadece yüzde 1 oranında farklı olan en yakın akrabamız şempanzeye kıyasla, çağrışım korteksindeki bölgeler gerçekten birkaç kat daha büyüktür. Doğrudan doğruya hareket kontrolüne ya da duyuları işlemekten geçirmeye ayrılmamış olan bu korteks bölgelerinin, en kafa karıştırıcı ve aynı zamanda neyi nasıl yaptıkları en zor anlaşılan alanlar olması şaşırtıcı değildir.

Örneğin, çağrışım korteksinin büyük bir bölümü (Bkz. Şekil 2) beyin ön tarafındaki prefrontal kortekste bulunur. Korteksin tüm bölgeleri arasında, en görkemli gelişimi bu bölge göstermiştir: memelilerin evrimi sırasında, kedilerde yüzde 3, şempanzelerde yüzde 17, insanlarda ise şaşırtıcı bir şekilde yüzde 29 oranında büyümüştür. Prefrontal korteksin asıl işlevine ilişkin ilk ipucu, 1848 yılında Vermont'ta gerçekleşen tesadüfi bir olaydan elde edilmiştir.

O dönemde ABD'nin demiryollarında çok büyük bir büyüme yaşanıyordu. Phineas Gage, bir demiryolu ekibinin ustabaşısıydı ve rayların döşeneceği geçitleri tıkayan herhangi bir engeli patlatarak ortadan kaldırmak için dinamiti deliğe yerleştirme görevi onundu. Dinamiti yerleştirmek için Phineas, sıkıştırma demiri denilen bir çubuk kullanmak zorundaydı. Bu âlet yüz yedi buçuk santim uzunluğunda ve en geniş yerinde üç santim enindeydi.

Bir gün Phineas demir çubuğuyla delikten aşağıya dinamiti iterken, trajik bir olay gerçekleşti. Şans eseri bir kıvılcım dinamiti vaktinden önce ateşledi ve patlama gerçekleşti. Çok güçlü



ŞEKİL 2.

Şempanze ve insan korteksinin karşılaştırması. Dikkat ederseniz, şempanze-ye ait korteksin büyük bir bölümü özgül işlevlere ayrılmıştır (taralı alanlar), insan korteksinde ise, özellikle beynin ön kısmında (prefrontal korteks) net rollere ayrılmış olmayan çok daha fazla bölüm (taralı olmayan alanlar) —çağırışını korteksi— bulunur.

[P. Corsi (ed.), *The Enchanted Loom*'dan uyarlanmıştır.]

....

bir patlama olmasına rağmen Phineas kurtuldu, ancak yaralanmıştı. Başını bir tarafa doğru eğdiği için dinamitin erken patlaması nedeniyle demir çubuk kafatasının sol tarafını delip geçmişti. Demir, beynin ön tarafındaki kemiğin içinden geçerken prefrontal korteksini ciddi biçimde zedelemişti. Şaşırtıcı bir biçimde, kısa süreli bir bilinç kaybının ardından Phineas, bu dramatik olaydan pek etkilenmemiş görünüyordu. Enfeksiyon temizlendikten sonra duyuları ve hareketleri, sanki hiçbir şey olmamış gibiydi.

Fakat zaman geçtikçe insanlar onda bir değişiklik olduğunu fark ettiler. Eskiden işbirliğine yatkın ve dost canlısı olan Phineas, şimdi buyurucu, kararsız, kibirli, inatçı ve başkalarını umursamayan biri haline gelmişti. Sonunda, tren yolundaki işi-

ni bıraktı ve hayatının geri kalan kısmını bir panayır kaçığı olarak, hâlâ beyinde gömülü olan demir çubukla dolaşarak yaşadı.

Bu olayın ardından, daha da şaşırtıcı beyin hasarı vakaları bildirildi ve hepsi aşağı yukarı aynı fikre işaret ediyordu: prefrontal korteks, nefes alma ya da vücut sıcaklığını düzenleme, veya herhangi bir duyuyu işleme tabi tutma ya da hareketlerin eşgüdümü gibi hayatta kalma becerileriyle değil, daha ziyade zihnimizin en incelikli yönleriyle, yani kişiliğimizin özü ve birer birey olarak dünyaya tepki verme tarzımızla ilişkili gibiydi. Bu tür anekdotlar bizi yakından ilgilendirir çünkü geriye bakıldığında oldukça sabit ve el değmemiş yönlerimiz olarak değerlendirdiğimiz karakterlerimizin, aslında fiziksel beynimizin elinde olduğunu ortaya çıkarır: onlar bizim beynimizdir. Dolayısıyla da, söz konusu beyin bölgesinin, yani prefrontal korteksin işlevi hakkında pek felsefi olmayan daha özgül soruları da gündeme getirirler. Karakteri kontrol eden bu tek alan, beynin içindeki yönetimden sorumlu bir tür mini-beyin midir? Bu, karakteri alt bölümlere ayıran ve onları hatalı bir biçimde farklı bölgelere dağıtan frenologlar için bile oldukça itici bir kavramdı. O halde bu ön beyin bölgesinin işlevi nedir?

1935'de, Portekizli bir nörolog olan Egas Moniz, Londra'daki İkinci Uluslararası Kongre'ye katıldı. Bu toplantıda nevroitik görünümlü bir maymunun, frontal lobları kesildikten sonra çok rahatladığı bildiriliyordu. Bundan esinlenen Moniz, zor insanların tedavisinde de benzer bir yaklaşım benimsemeyi önerdi. Yunanca'da, frontal lobları beynin geri kalan kısmına bağlayan "beyaz (sinir liflerini) kesmek" anlamına gelen *lökotomi* tekniğini geliştirdi. 1960'lara kadar, frontal lökotomi; depresyon, anksiyete, fobiler ve saldırganlık gibi geniş yelpazeli, çok yoğun ve ısrarlı duygusal tepkilerin tedavisinde tercih edilen bir yöntemdi. 1936 ile 1978 arasında ABD'de 35.000 kişi bu cerrahi müdahaleden geçti. Tam olarak kaç kişinin bu

tedaviyi gördüğünü anlayabilmek için, New York'un telefon fihristinde "Smith" adıyla kaydedilmiş olan herkese bir göz atmanız yeterlidir! 1960'ların sonlarından bu yana gerçekleştirilen lökotomi sayısında her yıl bir düşüş olmuştur. Daha sofistike ilaçların geliştirilmesi ve ameliyat sonrasında ortaya çıkabilecek bilişsel bozukluklarının fark edilmesi, birkaç on yıl kadar önce ameliyatın tek olası müdahale şekli olduğunu düşünen doktorların elini kolunu bağladı.

Altın çağını yaşarken, lökotomilerin bazı yan etkileri olduğu iddia edilmmişti. Oysa zaman içinde, net bir iyileştirici faydası olmadığı ve yan etkilerinin gerçekten ciddi olduğu anlaşıldı. Phineas'ta olduğu gibi bu hastaların karakteri değişti, sağduyularını yitirdiler ve duygusal olarak tepkisizleştiler. Proaktif olma yetisini yitirmelerine koşturarak, frontal loblarında hasar olan bu hastaların belirli bir sorunu çözmek için yeni stratejiler veya planlar geliştirme yetenekleri de azalır. Davranışlarını düzenlemek veya değiştirmek amacıyla çevrelerinden gelen bilgiyi kullanamazlar; bunun yerine, azimle yollarına devam ederler.

Bu işlevsizlik profili, frontal lobları hasarlı olan hastaların, hatta maymunların birtakım özgül deneysel işlemleri gerçekleştirirken gösterdikleri performans incelenerek tanımlanmıştır. Örneğin bu denekler, oyun kartlarını simgelerin rengine göre ayırmak gibi bir şey yapıyorlarsa, aniden simgenin şekline göre de ayırmaları istendiğinde bir kuraldan diğerine geçemezler. Bizlerin normal olarak sahip olduğu bu yeteneğe, bazıları "işleyen bellek" diyor; işlemin gerçekleştirildiği ve bazen "zihnin karatahtası" diye adlandırılan işleyen bir iskelet yapıdır bu. İşleyen bellekte aksamalar olduğunda, olayları doğru bir bağlam içinde hatırlamakta zorluk çekilir. Ancak prefrontal kortekste meydana gelen hasar sorunu sadece bellekle ilgili değildir. Bu hasarın başka bir sonucu da sözel yetinin kaybıdır: Prefrontal korteksi hasar görmüş hastalar genelde daha az

bilgiye açık olurlar ve ayrıca Phineas'ta gördüğümüz gibi sosyal davranışları bozuktur.

Bu bilgi zenginliğine karşın, gene de prefrontal lobların işlevinin tam olarak ne olduğunu söylemek zordur. Bazı sinirbilimciler, prefrontal lob hasarı olan hastalarla şizofreni arasındaki benzerliklere dikkat çekmiştir. Şizofrenler, nörolojik hastalarla aynı işleyen bellek sorunlarından mustarip görünürler. Bu nedenle şizofreni, içeriye gelen bilgiyi içselleştirilmiş standartlar, kurallar ya da beklentilerle eşleştirme bozukluğu olarak yorumlanmıştır. Hem şizofren hem de prefrontal hasta, gereğince sınıflandıramadığı bir duyuşal girdinin ya da doğru zaman dizimine oturtamadığı anıların baskısı ve hâkimiyeti altındadır. Sanki hayatta karşımıza çıkan şokların etkisini gideren içsel kaynaklar onlarda yok gibidir. Ancak, böyle bir hipotez doğru ise bu, çok farklı yönleri, neti... ve doğal sonuçları ile, günlük hayatımızın tek ve tanımlanabilir bir işlevi olarak özetlenemeyecek kadar karmaşık ve soyut bir süreçtir. Eğer biz frenolog olsaydık, frontal lobların üzerine uygun bir şekilde yerleştirilecek tek kelimelik bir etiket bulmamız zor olurdu.

Bir hastanın sosyal sorunları ya da işleyen bellek sorunları olduğunu söyleyebiliriz, fakat bu iki ayrı bozukluk arasındaki ortak faktörün ne olduğunu bulmak çok zordur. Aslında beynin büyük bir kısmı değil de bir alanı söz konusu olduğunda, dış dünyadaki tanıdık olayları tek bir beyin bölgesinde o an gerçekleşen olaylarla eşleştirmek zordur. Korteksin, motor korteks ve somatik-duyuşal korteks gibi farklı bölümlerinin kesinlikle farklı işlevleri vardır ve prefrontal korteks ile parietal korteksin bazı bölümleri gibi çağrışım alanlarının da kendilerine özgü uzmanlaşmış rolleri olmalıdır. Ancak frenologların görüşünün aksine, bu roller karakterimizin belirgin yönlerinin ve gerçek dünyadaki özgül etkinliklerin birebir karşılığı değildirler. Günümüzde sinirbilimin önündeki en büyük zorluklardan birisi, beynin belirli bölgelerinde gerçekte neler olduğu ile, bu

tür içselleştirilmiş fizyolojik olayların dış davranışlara nasıl yansıdığı arasındaki ilişkiyi anlamaktır.

Phineas Gage ve lökotomi yapılmış hastalar, beynin belirli bir bölgesinin rolünü tanımlamaya çalışanlar tarafından beyin araştırmalarında kullanılan bir yaklaşıma örnek oluşturlar: Belirli bir beyin bölgesindeki hasar örneklerine bakılır ve o anda belirgin olan işlevsizlikten yola çıkarak eski işlevin ne olduğu belirlenir. Söz konusu bölgenin işlevini anında ve doğrudan doğruya gösterdiği düşünülebilecek ayırt edici beyin hasarının iyi bilinen bir örneği, Parkinson hastalığıdır.

Parkinson hastalığı, bu durumu ilk kez 1817 yılında bildiren James Parkinson'un adını taşımaktadır. Bu şiddetli hareket bozukluğu çoğunlukla yaşlı insanları etkilemekle birlikte, bazen daha genç insanların da yakasına yapışabilir. Bu hastalar hareket etmekte büyük güçlük yaşarlar; ayrıca elleri serbest kaldığında bir titreme ve kol ve bacaklarında sertleşme görülebilir. Parkinson hastalığının etkileyici yönü, depresyon ve şizofreni gibi beyinle ilişkili bozuklukların çoğunun aksine, sorunun nerede olduğunu tam olarak biliyor olmamızdır: Beynin orta yerinde derinliklerdeki bir bölgede.

Beynin bu orta yerinin tam merkezinde, Latince *substantia nigra* (kara kütle) diye adlandırılan, bıyık şeklinde, siyah renkli bir bölge bulunur. Substantia nigranın siyah görünmesinin nedeni, bu bölgedeki hücrelerin içinde melanin pigmenti olmasıdır. Melanin ise, önemli bir beyin kimyasalı olan dopaminin, çeşitli kimyasal tepkimelerden geçtikten sonra ortaya çıkardığı üründür. Bu nedenle artık, substantia nigradaki hücrelerin dopamin kimyasalını normal biçimde ürettiği kesindir.

Benzer biçimde, normal bir beyin Parkinsonlu bir beyinle karşılaştırıldığında, Parkinsonlu bir hastanın beynindeki substantia nigranın —pigment içeren hücreler öldüğü için— çok daha solgun görüldüğü uzun zamandır bilinmektedir. Bu ölen hücrelerin en önemli sonuçlarından birisi, dopamin kimyasalı-

nın artık bu bölgede üretilmemesidir. Parkinsonlu hastalara dopaminin üretildiği kimyasal olan (L-DOPA) tableti verildiğinde, hareketlerinde şaşırtıcı bir düzelme görülür. Parkinson hastalığında hasarın nerede olduğunu —substantia nigra— ve hangi kimyasal maddenin eksik olduğunu —dopamin— tam olarak bilmemize rağmen, substantia nigranın normal devinimdeki işlevi konusunda kimse kesin bir fikir sahibi değildir.

Ayrıca Parkinson hastalığının anatomik bir bölge olarak sadece substantia nigra ile ilgili olmayıp aynı zamanda dopamin kimyasalına özgü olduğu gerçeğini gözardı edemeyiz. Bazıları, substantia nigrayı sadece kritik hücrelerin dopamini alıp beyindeki daha ilintili bir başka hedef bölge olan striatuma teslim ettiği yer olarak düşünebilirler. O zaman önemli soru şu olacaktır: Dopaminin striatumdaki işlevi nedir? Beynin anatomisi, beynin kimyasıyla doğrudan uyumlu değildir; beynin tek bir bölgesine özgü tek bir kimyasal madde yoktur. Tam tersine, aynı kimyasal madde beyindeki birçok farklı bölgeye dağılır ve beynin her bölgesi birçok farklı kimyasal madde üretir ve kullanır. Dolayısıyla, beyin hasarını —beynin ilgili bölgesini ya da beynin kimyasal dengesindeki değişimi— değerlendirirken neyin en önemli olduğunu belirlemek çok zordur.

Belirli işlevleri beyindeki belirli alanlarla ilintilendirmeye çalışırken dikkatli olmak için bir başka neden daha vardır: nöron plastisitesi. Beynin farklı bölgeleri elbette, hastalık, araba kazası ya da silahla yaralanma gibi birçok nedenden dolayı hasar görmüş olabilir, fakat en sık rastlanan neden inmedir. İnme, beyne yeterince oksijen gitmediğinde gerçekleşir. Bu oksijen eksikliğinin nedeni ise tıkanmış bir kan damarı olabilir, böylece normalde oksijen taşıyan kanın beyne erişimi engellenmiş olur ya da kan damarlarının daralması yüzünden kan akışında bir azalma vardır. Örneğin motor kortekste bir inme gerçekleşirse, art arda gelişen oldukça ilginç olaylar dizisini izlemek mümkündür.

Böyle bir inmenin ardından başlangıçta hiçbir hareket, hatta refleksler bile olmayabilir, vücudun etkilenen tarafında kol- lar ve bacaklar gevşek biçimde sallanır (felç). Derken birkaç günlük ya da haftalık süreden sonra, mucize gibi bir şey gerçekleşir, fakat bu mucizenin kapsamı hastadan hastaya çok büyük oranda değişiklik gösterecektir. İlk önce refleksler geri dönebilir, sonra da kol sertlik kazanmaya başlar. Böylece hasta elleriyle kollarını hareket ettirmeye başlar ve en sonunda inme geçiren kişi bir cismi kavrayabilir. Bir incelemede, motor kortekslerinde inme geçiren hastaların üçte biri nesneleri kendiliğinden kavramayı başarabilmiş, dolayısıyla da bu son iyileşme aşamasına ulaşabilmişlerdir.

Ayrıca, kafanın belirli biçimde yaralanmasının ardından konuşmayı ve belleği etkileyen beyin hasarlarının da iyileştiği görülmüştür. Beyin işlevlerinin bu nedenle tek bir bölgeye ya da belirli bir nöron (sinir hücresi) topluluğuna ait olması gerekmez; aksi halde, söz konusu orijinal hücreler, oluşturdukları tekel ile birlikte öldüklerinde, iyileşme nasıl gerçekleşebilirdi ki? Görünen o ki, diğer beyin hücreleri yavaş yavaş, zarar görmüş hücrelerin rollerini devralmayı öğrenmektedirler. Aslında, motor kortekste gerçekleşen inme sonrasında az önce gözlemlediğimiz kavrama hareketinin iyileşme aşamaları, 4. Bölüm'de göreceğimiz gibi, aynı hareketin bebeklerde ilk kez gelişmesine çok benzer. Yine, beynin bir bölümünün kesinlikle tek bir şey yaptığını iddia etmek çok zordur; eğer bitişikteki diğer beyin bölgeleri bu rolü devralabiliyorsa, o zaman en azından nöron plastisitesi diye bilinen bir derece esneklik söz konusudur.

O halde farklı beyin bölgelerinin işlevini nasıl inceleyebiliriz? Gerçekten ihtiyacını duyduğumuz şey, bir insanın düşünürken, konuşurken ya da herhangi bir olağan faaliyetini yaparken beyninin içinin enstantane fotoğrafını çekmek ya da daha iyisi videoya kaydetmektir. Bu idealin nasıl gerçekleştiğine ilişkin hikâye tanıdık bir prosedürle başlar: X (röntgen) ışınla-

rının kullanılmasıyla. X ışınları yüksek frekanslı, kısa-sürelili elektromanyetik dalgalardır. X ışınları çok yüksek enerjili olduğu için deney nesnesini anında delip geçer: bu nesnedeki atomlar ışınımın bir kısmını emerek geri kalanın bir fotoğraf levhasına çarparak sergilenmesini sağlar. Dolayısıyla bir nesnenin ışın yoğunluğu ne kadar azsa fotoğraf levhası o kadar koyulaşır; öte yandan nesnenin ışın yoğunluğu ne kadar çoksa fotoğraf filmi de o kadar beyaz olur. Bu süreç, hepimizin bildiği gibi, havaalanlarında bir bavulun içindeki silah türünden, kontrastın göze çarptığı cisimlere yönelik güvenlik kontrollerinde ya da hastanelerde etin içindeki kırık kemiklerin görüntülenmesinde çok iyi işler.

X ışınları bedenın büyük bir kısmında neler olduğunun saptanmasında etkili olsa da, sıra beyne geldiğinde ortada bir sorun vardır. Kemik ve et arasındaki kontrastın tam tersine, beynin bir bölgesi ile diğerinin yoğunluğu arasında çok az fark vardır. Bu engeli aşmak için, beyni ışınları daha az geçirir bir hale sokmak, ya da alternatif olarak X ışınları tekniğini daha hassaslaştırmak gerekir.

İlk önce beynin içinin, bavuldaki silah senaryosuna nasıl benzetilebileceğine, belirli öğelerin beynin geri kalan kısmına kıyasla daha büyük kontrast gösterecek hale nasıl getirilebileceğine bakalım. Bu amaç, beynin içine X ışınlarının büyük bir kısmını emebilecek kadar opak bir boya maddesi enjekte edilerek gerçekleştirilebilir. Ne var ki bu enjeksiyon kafatasının içinden dosdoğru beyne değil, beyne kan pompalayan atardamarın içine yapılır. Ellerinizi boynunuza, soluk borusunun her iki tarafına koyduğunuzda, bu atardamarın (şahdamarı) yerini saptayabilir ve nabız atışını hissedebilirsiniz. Işınları geçirmeyen boya maddesi kan dolaşımına girer girmez, hızla beyne ulaşır. Bu şekilde elde edilen resme anjiogram denir. Anjiogramlar, beynin her bölgesinden geçen ve dallanarak yayılan kan damarlarının şablonunu açıkça gösterir.

Şimdi, beyin dolaşımının zarar gördüğünü düşünün — örneğin, kan damarı çeperlerinin tıkanması ya da daralması sonucu inme geçiren bir kişide olacağı gibi. Bu sorun anjiogramda görünecektir. Benzer biçimde eğer bir hastada tümör varsa, bazen bu tümör kan damarlarını itecek ve bu yer değişikliği sonucu oluşan anormal konumlanma deneyimli bir göz tarafından fark edilecektir. Bu bakımdan anjiogramlar, X ışınlarının beyin dokusuna karşı duyarsız olması sorununa çare bulan çok değerli teşhis araçlarıdır. Fakat ya kan damarları normal biçimde çalışıyorsa? Beyinle ilgili sorunlar söz konusu olabilir ama sorun kan dolaşımında değildir. Bu durumda anjiogramlar yararlı olmayacaktır.

Beyni ışınları daha az geçirir hale getirmenin alternatifi, saptama yöntemini iyice hassaslaştırmaktır. Normal X ışınlarında yaklaşık yirmi ile otuz arası gri tonu bulunur; oysa 1970'lerin başlarında geliştirilen ve iki yüzden fazla ton içeren bir teknik, 1980'lerin başından beri rutin bir biçimde kullanılmaktadır: bilgisayarlı eksen tomografisi (CAT - computerized axial tomography).

CAT tekniğinde, beynin X ışınları bir dizi kesit ya da tarama halinde çekilir. Hasta, kafası bir tarafında X ışını tüpü, diğer tarafında ise X ışını demeti bulunan bir silindirin içinde duracak şekilde yatar ve bu iki aygıt kafanın etrafına yerleştirilir. X ışını bir fotoğraf levhasına değil de, bilgisayara bağlı bir algılayıcıya çarpar; bu algılayıcı sıradan X ışınları için kullanılan fotoğraf levhasından çok daha duyarlıdır. Tüm ölçümler bilgisayar tarafından alınıp bir araya getirilerek bir tarama çıkarılır. Tüp, vücudun eksenini boyunca hareket eder ve bu prosedür sekiz ya da dokuz kez tekrarlanır.

CAT taramalarıyla görülebilen resimler, nörologlarla beyin cerrahlarına, tümörlerin ve doku kaybının yeri ile çapı hakkında değerli bir gösterge sunar. Örneğin, CAT taramaları yakın zamanlarda ciddi kafa karışıklığı ve bellek kaybına yol açan

Alzheimer hastalığı sonucunda ortaya çıkan bozukluğun anlaşılmasına yönelik bir ipucu vermiştir. A.D. Smith ve K. A. Jobst, Alzheimer hastalarının beyinlerindeki belirli bir bölgenin (orta temporal lob) genişliğinin, aynı yaştaki sağlıklı gönüllülerdekine kıyasla, zaman içinde yarı yarıya küçüldüğünü bulgulamışlardır ("Yapısal görüntülemenin Alzheimer hastalığındaki ilerlemeyi araştırmak amacıyla kullanımı," *British Medical Bulletin* 52, 575-86). Bu tür bir gözlem bu zayıf düşürücü bozukluk için olası tedavileri geliştirmek amacıyla beynin hedef alınması gereken bölgesini işaret etmekle kalmayıp bellek kaybının klinik belirtileri açıkça ortaya çıkmadan önce beyinde hasarın başladığını bildirmek açısından da müthiş bir teşhis potansiyeline sahiptir.

X ışınlarına yirminci yüzyılın büyük bir kısmı boyunca aşına olmamıza karşın, bunların CAT taramaları ve anjiogramlarda kullanılması, beyin hasarının araştırılması açısından paha biçilmez bir değere sahiptir. Ancak, bu yöntemle incelenebilecek türden beyin işlevsizlikleri sınırlıdır. X ışınları beynin anatomik özelliklerindeki anormallikleri saptar. Bir CAT taraması yaptırırsanız, bu size beyninizde tümör ya da lezyon gibi fiziksel olarak yanlış *ve kalıcı* bir şey olup olmadığını söyleyecektir. Ancak sorun anatomik değil de işlevsel ise, yani beynin hali hazırdaki işleyişiyle ilgiliyse, X ışınları belirli bir işi yaparken belirli zamanlarda beyninizin hangi bölümlerinin çalıştığını söyleyemez. Peki bu sorunun üstesinden nasıl gelinebilir?

Bedendeki tüm organlar arasında beyin, yakıt tüketimi açısından en açgözlü olanıdır. Oksijen ve glikozu, bedenin dinlenme halinde olan tüm diğer dokularına göre tam on kat hızlı yakar. Aslında beyin o kadar çok enerji kullanır ki, yalnızca birkaç dakika boyunca oksijensiz kalsa ölür. Beyin, toplam beden ağırlığımızın yüzde 2,5'tan azını oluştursa bile, dinlenme halinde enerji tüketiminin yüzde 20'sinden sorumludur. Peki bu enerjiye ne olur? Beynin "çalışmasını" sağlar.

Bir bölgesi çalışırken, beyin çok daha fazla yakıt kullanır. Beynin yakıtı, yediğiniz yiyeceklerdeki karbonhidrat ile soluduğunuz havadaki oksijendir: karbonhidratlar oksijen ile tepkimeye girince karbondioksit, su ve en önemlisi ısı üretirler. Bedende, yiyeceklerden alınan tüm enerji basit bir yanma ile hemen saliverilmez, çünkü beynin ve bedenin hiçbir işlevine enerji kalmaması pek hoş olmazdı. Demek ki, bizi sıcak tutacak kadar ısıya ihtiyaç olmasına karşın, vücudumuzda yediğimiz yiyeceklerden aldığımız tüm enerjinin hemen serbest bırakılmasını engelleyen bir kimyasal madde bulunmaktadır. Onun oluşumu sayesinde bu enerjiyi, bedenin ve beynin yapması gereken mekanik, elektrik ve kimyasal işler için depolayabiliriz. Enerji depolayan adenozin trifosfat (ATP) kimyasalı, canlı olduğumuz sürece yediğimiz yiyeceklerden üretilir. ATP enerjiyi depolar ve sıkıştırılan bir yayın serbest bırakılması gibi bu enerjiyi özgür bırakma potansiyeline sahiptir.

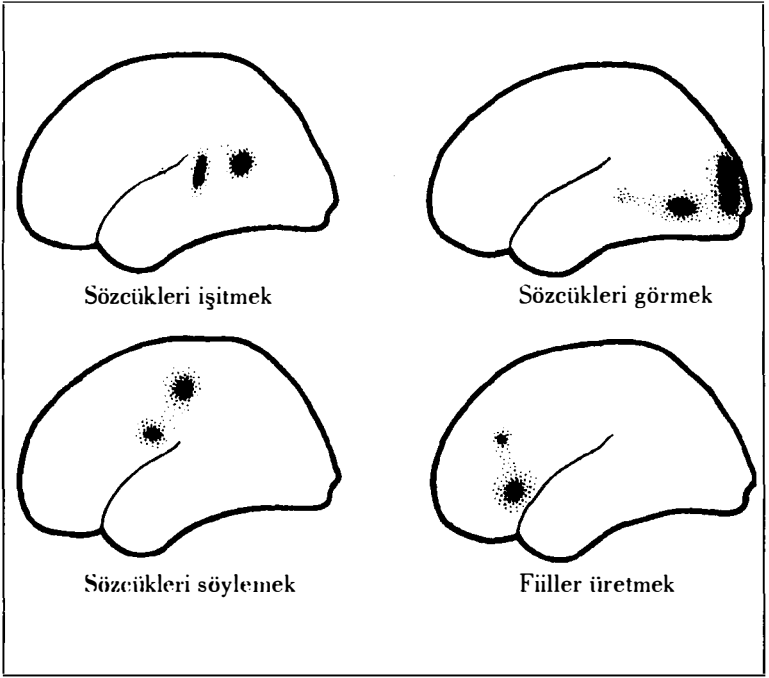
Beynin bölgeleri belirli bir işlem sırasında etkin olduğunda, çok sıkı çalışır ve daha fazla enerji kullanırlar; ATP depolarına daha fazla başvururlar, dolayısıyla da glikozun en basit şekli olan karbonhidratların yanı sıra oksijene de ihtiyaç duyulur. Bu demektir ki beynin belirli bölümlerinden gelen oksijen ve glikoz talebindeki artışı izleyebilseydik, belirli bir işlem sırasında hangi beyin bölgelerinin en aktif olduğunu ya da en sıkı çalıştığını söyleyebilirdik. Beyni faaliyet halindeyken kontrol etmek için kullanılan iki özel tekniğin ilkesi budur.

Tekniklerden birisi pozitron emisyon tomografisi (PET) olarak bilinir. PET tekniğinin temel şartı, oksijen ya da glikozun işaretlenerek kolaylıkla izlenebilmesini sağlamaktır. "İşaret" burada, pozitronları çok yüksek hızda fırlatan değişken bir çekirdek içermesi bakımından, radyoaktif bir atomdur. Pozitronlar, elektronlara benzer temel parçacıklardır, tek farkları artı yüklü olmalarıdır. Glikoz ya da su molekülleri halinde birleştirilen radyoaktif oksijen atomları damardan enjekte edilir. Rad-

yoaktif işaret böylece kan aracılığıyla beyne taşınır. Yayılan pozitronlar, beynin içinde diğer moleküllerdeki elektronlarla çarpışır ve iki taraf birbirini yok eder. Bunun sonucunda meydana gelen enerji patlaması kafatasının içine girip kafanın dışından tespit edilebilecek kadar yüksek enerjili bir gamma ışını oluşturur.

Bu yüksek enerjili gamma ışınları çok uzun bir mesafe katedebildikleri için, kafadan çıkar çıkmaz algılayıcılara çarparlar ve buradan gelen sinyal daha sonra beynin faaliyet halindeki görüntüsünü oluşturmak için kullanılır. Glikoz ya da oksijen, buna en çok ihtiyaç duyan, yani en sıkı çalışan beyin bölgelerinde birikir. PET tekniğiyle, sözcüklerin okunmasıyla söylenmesi arasındaki kadar ince bir farklılık gösteren işlere göre, farklı etkin bölgeleri göstermek mümkündür (Bkz. Şekil 3).

İkinci bir görüntüleme tekniği olan işlevsel manyetik rezonans görüntüleme (MRI) ise, en çok çalışan beyin bölgelerindeki ayırt edici enerji tüketimlerine dayalı olması bakımından PET'e benzer; ancak, bu kez herhangi bir enjeksiyon yapılmaz. Enjekte edilen işaretlerin beyne tam olarak ne zaman ulaştığını araştırmak gibi bir sorun olmadığı için, MRI tekniğiyle görüntüleme, belli bir anda neler olduğunu daha güvenilir bir biçimde yansıtmaya potansiyeline sahiptir. MRI, aynen PET gibi, daha etkin olan beyin bölgelerine gönderilen kandaki oksijen yoğunluğunda meydana gelen değişiklikleri ölçer; ancak saptama yöntemi farklıdır. Oksijen, hemoglobinin proteini tarafından taşınır. MRI, o an mevcut olan oksijen miktarının, hemoglobinin manyetik özelliklerini etkilemesi gibi bir olgudan yararlanır: Bu özellikler, atom çekirdeklerinin sanki kendileri birer minyatür mıknatısmış gibi hizaya girdikleri manyetik bir alanın bulunması durumunda gözlenebilir. Radyo dalgaları tarafından bombardımana tutulup hizadan dışarı itilen bu atomlar, tekrar hizaya dönerken radyo sinyalleri gönderirler. Radyo sinyali, alınan örnek içinde hemoglobin tarafın-



ŞEKİL 3.

İnteraktif beyin. Birbirine benzeyen fakat ince bir farklılık gösteren işleri gerçekleştiren bilinçli bir insan deneğin pozitron emisyon tomografisi (PET) taramasını gösteren çizim. Tüm işler dille bağlantılı olsa da, girilen işin belirgin doğasına göre farklı beyin bölgelerinin işe dahil olduğuna dikkat edin. Ayrıca hiçbir zaman tek bir beyin bölgesinin kendi başına tam anlamıyla etkin olmadığına da dikkat edin.

[Greenfield, *Journey to the Centers of the Mind*'dan uyarlanmıştır.]

....

dan taşınan oksijen miktarı bakımından benzersizdir ve bu nedenle beynin farklı bölgelerindeki etkinliğin hassas bir ölçümünü sunar. Bu teknik 1-2 milimetre kadar küçük bir alanın yeri-

ni bile kesin bir biçimde belirleyebilir ve saniyeler içinde meydana gelen olayları ölçebilir.

Bu tekniklerin kullanımı sayesinde, belirli bir iş yapılırken beyinde birkaç farklı bölgenin aynı anda çalıştığı açıkça ortaya çıkmaktadır. Bir işleve yönelik tek bir beyin alanı olmasından ziyade, belirli bir işleve beynin çeşitli bölgelerinin katkıda bulunduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, yapılan işin bir yönü çok az değiştiğinde, örneğin sözcüklerin söylenmesi yerine işitilmesi söz konusu olduğunda, beyin bölgelerinden oluşan farklı bir takımyıldızı görünür.

Beyindeki olaylar birkaç saniyeyi aşan bir zaman ölçeğinde ve en iyi ihtimalle, ortalama bir milimetreküplük doku üzerinde gözlenir. Başka bir yöntem olan manyetoansefalografi (MEG), beyindeki farklı elektriksel faaliyetler tarafından üretilen manyetik alanı ölçer ve daha üstün bir zaman çözülümüne sahiptir, ama halen beynin ancak dış bölgeleri hakkında doğru bilgi vermektedir. Bunların gerçek potansiyeli, zaman ve mekân çözülümünün gerçek beyin hücreleri ölçeğiyle daha orantılı olacağı gelecek zamanlarda yer alsa da, PET, MRI ve MEG gibi teknikler, faaliyet halindeki beyne açılan pencereleri şimdiden sunmaktadır. Belki de şimdiye kadar bize öğrettikleri en açık ders, frenologların iddia ettiği gibi, bir beyin bölgesinin tek bir özgül, özerk işlevi olduğunu düşünmenin yanıltıcılığıdır. Aksine, farklı beyin bölgeleri farklı işlevler için paralel olarak çalışmak üzere bir şekilde birleşirler.

Beyin anatomik olarak ayrı bölgelerden oluşur, fakat bu bölgeler otonom mini-beyinler değildir; büyük bir kısmı gizemli bir şekilde organize olmuş, birbirine uyumlu ve entegre bir sistem oluştururlar. Bu nedenle her defasında belirli bir bölgesini inceleyerek beynin nasıl işlediğini öğrenmek neredeyse imkânsızdır. Bunun yerine, özgül ve tanıdık işlevlerle işe başla-

yalım ve işleyişlerinin beyindeki pek çok bölge arasında nasıl paylaşıldığını izleyelim.

SİSTEMLERİN SİSTEMLERİ

Tüm hayatımız boyunca uyanık olduğumuz her an dokundukça, koştukça, tırmandıkça ve konuştukça, görüntülerin, seslerin ve kokuların bombardımanına uğrarız. Hayvansal varoluş, dış dünya ile sürekli bir diyaloga dayalıdır. Beyin, duyularımız aracılığıyla akıp gelen bilgilerin işlenerek koordine edilmesi ve sonuçta beyinsel çıktılarının hareket olarak dışavurulması açısından hayati önem taşır. Peki bunlar nasıl gerçekleştirilir? Bir önceki bölümde, dış dünyadaki işlev ya da davranışların her birini ve hepsini doğrudan karşılayacak tek bir beyin merkezi olmadığını gördük. Bu bölümde işlevin beyinde nasıl konumlandığı bilmecesini araştıracağız ve bunu yaparken beyin bölgelerinden değil, işlevlerin kendilerinden başlayacağız.

20. yüzyılın ilk yarısında fizyolojinin en büyük öncülerinden olan Charles Sherrington, hareketin hayatımıza yaptığı en yaygın katkırı şöyle özetledi: "Ormandaki bir fısıltıdan, bir ağacın kesilip devrilmesine kadar her şey harekettir." Beden dilinin inceliklerinden, söylenen sözcüğün kesinliğine, basit bir sarılmanın anlamına dek neredeyse her türlü iletişim, harekete dayalıdır. İster açık, ister algılanması olanaksız olsun, her hareket vücudun bir yerindeki bir adale grubunun kasılmasına

bağlıdır. Tüm adaleler kasılma gücünü yitirmişse, geriye kalan sadece tükürük salgılama ve gözyaşı dökme yeteneğidir.

Bitkiler, ışığa dönebildikleri için hareket ediyor sayılsalar da, bizim yaptığımız hareketleri yapamazlar. Bilimkurgu dünyası dışında hiçbir bitki bir yerden başka bir yere hareket edemez. Apaçık bir zıtlık ise, tüm hayvanların hareket halinde, yani *anime* olmasıdır. İlginçtir, Latince *animus*, "bilinç" anlamına gelir.

Eğer hareket edebiliyorsanız ve çokhücreli bir organizmay-sanız, o zaman en azından ilkel de olsa bir beyniniz vardır. Hareketli canlıların bir tür beyne sahip olmalarının önemi ilk kez, deniz altındaki yaşamı incelemeyi tutkulu bir hobi haline getirmiş olan son Japon imparatoru Hirohito tarafından yapılan bir gözlemle gösterilmiştir. Söz konusu canlı, tulumlulardan (*Tunicata*) *Ascidacea* sınıfına ait bir türdür. Bu canlı olgunlaş-mamış bir larva halindeyken vaktini yüzerek geçirir: Eşgüdüm-lü hareket edebildiği gibi ayrıca kabaca kulak gibi işlev gören, titreşime duyarlı ilkel bir aygıt ve kabaca göz gibi işlev gören ışığa duyarlı ilkel bir aygıt da sahiptir. Aslında bu canlının basit bir beyni olduğu söylenebilir. Ne var ki bu canlı olgunlaş-tıktan sonra yaşam biçimini değiştirir ve bir kayaya tutunur. Artık yüzmesine gerek yoktur çünkü deniz suyunu süzerek yaşamaktadır. İşte bu aşamada bu canlı inanılmaz bir şey yaparak kendi beynini tüketir ve yok eder.

Bu hikâyenin beyin işlevi hakkında sunduğu ipucu, bir bey-ne sadece hareket ettiğiniz sürece ihtiyaç duymanızdır. Dura-ğan yaşam biçimlerinin artık bir beyne ihtiyacı yoktur. Bütün mesele, hareket halindeki bir hayvan için sürekli değişmekte olan bir çevreyle etkileşimin söz konusu olmasıdır. Çok hızlı bir biçimde size neler olduğunu söyleyecek ve en önemlisi, olan şeye tepki vermenizi, yani avcılardan kaçınmanızı ya da avı kovalamanızı sağlayacak bir aygıt ihtiyacınız vardır. O hal-de beyin, şekli, boyutu ve karmaşıklık derecesi ne olursa ol-

sun, bir şekilde işin temelinde, hareketin hem sonucu hem de nedeni olarak sağ kalmayı sağlamakla bağlantılıdır. Hayvanın yaşam biçimine göre, farklı hareket türleri vardır. Asılarak sallanan maymunun trapez ustalığı, kartalın kusursuz süzülüğü, ve kirkayağın bacaklarının eşgüdümü, belirli yaşam biçimlerine ayak uyduran uzmanlaşmış harekete örnek oluşturur.

Peki herhangi bir hareket nasıl başarılı? Beyinden aşağı omurilik boyunca bir sinyal gönderilerek, doğru adalenin kasılması sağlanır. Farklı kasların tümünü kontrol eden sinirler, adalenin vücuttaki yerine göre, omurilikten düzenli bir biçimde ayrılırlar. Belkemiği zedelenmiş olan kişiler, omuriliğin zarar görme derecesine bağlı olarak, değişen ölçülerde hareket etme yeteneğini yitirirler.

Omurilik bazen işlevini, yukarıdan gelen talimatlar ya da beynin kontrolü olmaksızın, az çok özerk bir biçimde yerine getirebilir. Bu tür hareketler reflekslerdir. Refleks, belirli bir uyarıya karşı sabit bir tepki olarak tanımlanabilir; en iyi bilinen örneği ise diz refleksidir. Diz refleksi, dize hafifçe vurulduğunda tetiklenir ve tepki olarak bacak öne doğru fırlar. Sinirbilimciler bu tanıdık olaylar dizisini "gerilme refleksi" olarak adlandırırlar, çünkü dizin üzerindeki kritik noktaya vurulmasıyla sıkışan bir tendon sayesinde bacağın alt kısmındaki bir adale yukarı çekilir; böylece adale üzerinde ek baskı oluşturarak onu gerer. Bu gerilmeyi telafi etmek için adale kasılır ve bacak öne doğru fırlar.

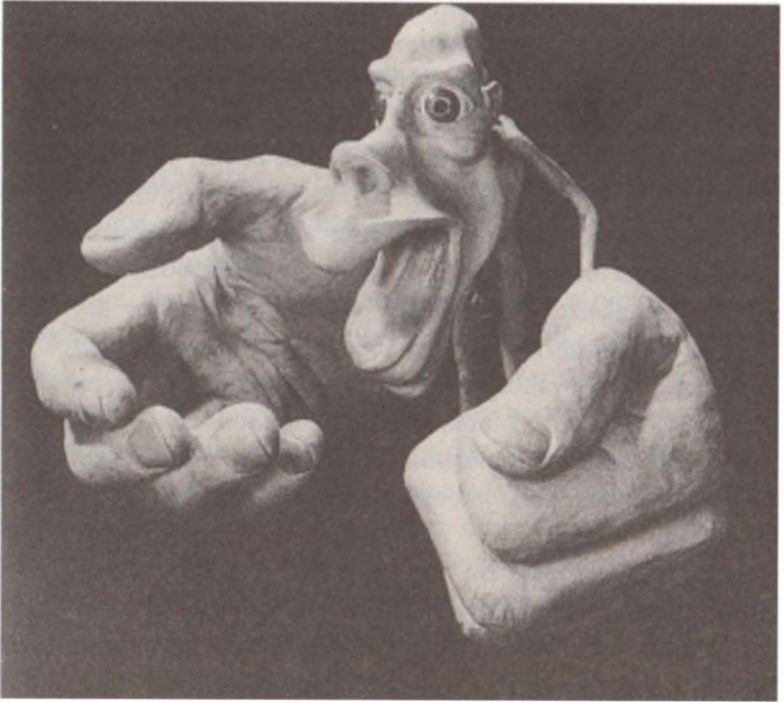
Bizim normal hareket repertuarımız, nörologların kullandığı hassas çekiç gibi yapay sayılabilecek uyarıcılara karşı sabit tepkilerden oluşmaz. Bacağımızı ileriye doğru fırlatmak için birisinin dizimize vurmasını beklemeyiz. Yaptığımız hareketlerin pek çoğu —yürümek, yüzmek ve koşmak gibi— kas gruplarının daha karmaşık bir eşgüdümünü gerektirir. Fakat bu hareketler bile, bir anlamda yarı-otomatiktir. Bu tür ritmik, bilinçsiz hareketler beyin sapından aşağı inen sinyaller nedeniyle gerçekleş-

şir. (Bkz. 1. Bölüm) Bu beyin sapı bölgesindeki farklı nöron grupları omurilikten aşağıya sinyaller göndererek doğru kasların tekrar eden bir dizilim içinde kasılmasını sağlar.

Beyin sapından omuriliğe inen bu tür dört beyin motoryolu vardır. Bunlardan biri yüzmek gibi yarı-refleks ritmik hareketlerden sorumludur; bir başkası görsel ve duyuşsal bilgilerle hareketi eşgüdümleyerek; yine bir başkası denge için önemlidir; dördüncü motoryolu ise kol ve bacakların ayrı ayrı hareketlerini düzenler. Ancak, genelde bizim olağan saydığımız bir başka hareket türü vardır ki, bu dört sistemden hiçbirisi tarafından kontrol edilmez: parmakların hassas hareketleri. El becerimiz, primatları diğer tüm hayvanlardan ayırt eder. Araçları tasarlayıp kullanmamızı, böylece diğer türlerin asla gerçekleştiremeyeceği bir yaşam biçimine ulaşmamızı sağlar. Örneğin, bir kemancının gösterdiği hünerde, parmakların hızlı, kontrollü, bağımsız hareketi, evrimin görkemli bir zaferidir.

Adalenin kasılması için kullanılan öteki omurilik yollarının aksine, hassas parmak hareketlerini teşvik ve kontrol eden mesajlar omuriliğin tepesindeki beyin sapından değil, beynin en üst kısmından, bir sağ bandını andırır biçimde beyne çepeçevre oturan ve motor korteks olarak bilinen şerit benzeri bir korteks bölgesinden kaynaklanır (Bkz. 1. Bölüm). Motor korteks, söz konusu parmaklara doğrudan sinyaller göndererek, hassas hareketleri kontrol eder. Aynı zamanda beyin sapındaki dört motoryolu merkezine de başka sinyaller göndererek hareketleri dolaylı olarak etkiler. Bu merkezler ise adalenin uygun biçimde kasılmasını sağlar. Motor korteksin farklı bölümleri, bedenin farklı bölümlerinin kontrolüne ayrılmıştır. Bu tür bir ayırmanın, bedenin söz konusu kısmının boyutuyla ilintili olacağı; yani el gibi minik bir alan motor korteksin küçük bir kısmı tarafından kontrol edilirken, sırt gibi büyük bir alanın motor kortekste hareket kontrolü açısından aslan payına sahip olacağı düşünülebilir.

Kritik olan faktör, anlaşılan, bedenin söz konusu bölümünün yapması gereken hareketin kesinliğidir. Üretilen hareketler ne kadar kesinse, beyinde onlara ayrılan alan da o kadar geniş olacaktır. Bu nedenle üst kol ve sırtın en dar kısmı gibi çok fazla temsil özelliği olmayan bölümlere kıyasla, ellere ve ağıza motor kortekste çok büyük bir yer ayrılmıştır. Sırtınızla yaptığınız hareket türleri o kadar hassas veya kesin değildir. (Bkz. Şekil 4.)



ŞEKİL 4.

İnsan vücudunun, hareketle ilgili her bir bölümü için kortekste ayrılmış olan alana uygun olarak yeniden yapılandırılması. Ağız ve ellerin ne kadar çok sayıda beyin hücresi tarafından kontrol edildiğine dikkat edin.

[British Museum of Natural History'den (İngiliz Doğal Tarih Müzesi)]

Motor korteks, hareketin oluşumu açısından çok önemlidir: Elleri kontrol eden bazı kasları, dolayısıyla da hareketlerin kesinliğini doğrudan denetlediği gibi, diğer dört hareket motoryolu üzerinde de hiyerarşik bir etkisi vardır. Önceki bölümde, herhangi bir işlev için tek bir komuta merkezi bulunduğu fikri reddedilmişti, fakat bu aşamada motor korteks kuşkusuz, beynin "Hareket Merkezi" olacak niteliklere sahip görünmektedir.

Ama tam olarak öyle değildir. Motor korteks hareketlerin kontrolünde önemli bir rol oynamasına rağmen, bir tekel oluşturmaz. Hareket merkezi unvanına sahip olmayı hak edecek iki alan daha vardır: bazal ganglionlar ve beyincik. Motor korteksten uzak olan bu alanlardan biri hasar görecektse, çeşitli şekillerde hareket bozukluğu ortaya çıkar.

Ana beynin arkasında bulunan küçük beyin, yani beyincik, 1. Bölüm'de gördüğümüz gibi bizden çok, yavru horozların ve balıkların yaşam biçimine hükmettiği söylenebilecek bir işleve sahiptir. Yiyecekleri gagalamak ya da denizde yüzmek, duylardan durmaksızın gelen bilgiyi doğru hareketlerle koordine etme yeteneğini gerektirir. Diğer hayvanlar kümeste ekmek kırıntılarına doğru yaklaşırken, düşünmeye ya da bir hareketi planlamaya ayrılacak zaman yoktur. O halde beyincik belki de, içselleştirilmiş proaktif düşünce süreçlerinden çok, dış olaylar tarafından tetiklenen otomatikleşmiş hareketler açısından önemlidir.

1664 gibi çok eski bir tarihte hekim Thomas Willis'in de, serebel diye adlandırdığı beyincik hakkında bu görüşü ifade etmiş olması oldukça ilginçtir. Willis, beyinciği beynin diğer kısımlarından tamamen ayrı ve bilinçaltı davranışlardan sorumlu bir yapı olarak görmüştü:

Beyinden tamamen farklı olan Serebel, bazı işler için tasarlanmış hayvan ruhları kaynağıdır. Beyinde ... demek ki, bizim bildiğimiz ve yapmak istediğimiz tüm kendiliğinden ha-

reketler gerçekleşir. ... Fakat Serebele yerleşmiş olan Ruhlar bizim bilgimiz ya da ilgimiz olmaksızın, doğal işlerini hissettirmeden ve sessizce yerine getirirler [Willis, T., Cerebi anatome: cui accessit nervorum descriptio et usus (Londra: J. Martyn ve J. Allistry, 1664), s. 111].

Üç yüz yıl geçmesine karşın, bu tanımlama hâlâ geçerli olabiliyor. Beyincikleri hasar gören hastalar hareket edebilirler, fakat sakar bir biçimde. Bu kişiler, duyuusal motor eşgüdümü gerektiren piyano çalmak veya dans etmek gibi ustaca hareketleri yapmakta özellikle zorlanırlar. Beyincik, duyuulardan sürekli geribildirim alan hareketler için önemlidir, bunlar da karşılığında, bir sonraki hareket şeklini tetikleyecek ya da etkileyecektir. Örneğin, karmaşık bir şekli kâğıda çizmek zorunda olduğunuzu düşünün. Eliniz sürekli gözlerinizin gözetimi altındadır. Beyincikleri hasar görmüş kişiler bu izleme hareketini yapmakta özellikle zorlanırlar.

İnsanlar, çevredeki yakın uyarıcılara bağımlı olmayan daha incelikli pek çok faaliyete girerler. Bizim daha esnek ve çok yönlü hareket repertuarımız, yavru horoz ya da balıkla karşılaştırıldığında beynimizde kapladığı yer açısından beyinciğin merkeziliğini azaltır. Yine de beyincik çok önemlidir çünkü ürettiği duyuusal motor eşgüdümü, gene bilinçli düşünce gerektirmeyecek türden ustaca hareketleri destekler. Bu hareketler alıştırmalarla gelişerek neredeyse bilinçaltı yeteneklere dönüşür. Bu nedenle beyincik, beynin "otomatik pilotu" olarak adlandırılmıştır. Bu yakıştırma, Willis tarafından ifade edilen tanımlamaya çok iyi uymaktadır.

Duyulardan gelen güncelleştirilmiş bilgi tarafından değiştirilmeyen bir başka bilinçaltı hareket türü daha vardır. Beyincik tarafından kontrol edilen hareketlerin aksine, bazal ganglionlar ile ilişkili olanlar bir kez başladıktan sonra değiştirilemez. Bu "balistik" hareketler, topun ağzından fırlayarak patla-

van bu gülleye benzer: bir kez ateşlendikten sonra durdurulamaz ve yörüngesi değiştirilemez. Birisi golf atışı yaptığında, top sanki alay edercesine vuruş noktasında kalabilir, çünkü hareket son dakikada düzeltilemez: tam anlamıyla ya isabet eder, ya da ıskalar.

Bu balistik hareketlerle ilişkili beyin alanı, yani bazal ganglionlar, gerçekten de birbiriyle bağlantısı olan çeşitli beyin bölgelerinden oluşan bir gruptur. Bu bölgelerden herhangi biri hasar gördüğünde, hareket açısından yıkıcı sonuçlar doğurur. Bazal ganglionların zarar gören kısmına göre, çılgın ve istemsiz hareketler (Huntington kore hastalığı) ya da tam tersine, herhangi bir hareket yapmada zorluk ve kas sertleşmesiyle titreme (Parkinson hastalığı) gözlenebilir. Huntington koresi ve Parkinson hastalığı, bazal ganglionların iki farklı bölümünü etkiler (sırasıyla striatum ve substantia nigra). Bunlar normalde bir tür güç dengeleyici hareketle, birbirlerine kilitlenmiş halde çalıştıkları için, ilk bölge ikincisine karşılık veriyor gibidir; bu biraz tahteravalli ya da bilek güreşine benzer. Normalde, iki eşit birey arasında gerçekleşen tahteravalli ya da bilek güreşinde olduğu gibi, bir beyin bölgesi diğerini kontrol altında tutar.

Ancak tahteravallideki kişilerden birinin diğerinden çok daha hafif olduğu, ya da bilek güreşi yapanlardan birinin diğerinden çok daha zayıf olduğu bir senaryo hayal edin: denge çöker. Bu nedenle eğer bir beyin bölgesi yeterince etkin değilse, diğeri fazlasıyla etkin olur. Etkinliklerdeki bu dengesizliğin anormal hareketlere yol açtığı düşünülmektedir. Huntington koresinde diyalog açısından yetersiz kalan bölge, beynin ön tarafına yakın olan striatumdur; Parkinson hastalığında ise hâkimiyeti azalmış olan bölge, beynin arka tarafına doğru bıyık şeklinde uzanan siyah pigmentli bölge, yani substantia nigra'dır.

Bu iki bölge normalde birbirleriyle sıkı sıkıya bağlantılı oldukları için, aralarındaki güç dengesini yeniden kuran herhan-

gi bir ilaç etkili olacaktır. Parkinson hastalığında striatumdaki etkinliği yavaşlatan ilaçlar, substantia nigradaki etkinliği artıranlarla benzer bir etki oluşturur. Tam tersine, substantia nigradaki etkinliği azaltan veya striatumdaki etkinliği artıran herhangi bir ilaç Parkinson hastalığında zararlı, Huntington kore-sinde ise oldukça yararlıdır. Beynin genel bir bölgesi olan bazal ganglionlarda bile bileşken parçaların kendileri özerk değildir, birbirleriyle sürekli diyalog içinde işlev görürler.

Demek ki, sonuçta tek bir hareket merkezi bulunması yerine hareket —biz farkına varmasak da— beynin farklı temel bölgeleri tarafından kontrol edilen farklı türlere ayrılabilir. Ancak beyincik ve bazal ganglionlar gibi beynin bu farklı alanları bile özerk birimler olarak işlev görmeseler de, beynin dış katmanı olan korteksin farklı bölümleri ile diyalog halindedirler. Örneğin beyincik, korteksin, motor korteksten ayrı olarak onun ön kısmında bulunan bir bölümü (lateral premotor alan) ile güçlü bağlantılara sahiptir. Bu arada bazal ganglionlar ise bütünleyici motor bölgesi olarak bilinen başka bir korteks alanı ile yakın temas halindedir. Aslında, bütünleyici motor alanının hasar görmesi, Parkinson hastalığına çok benzeyen aksaklıklara yol açabilir.

Normal koşullar altında, çekici ama spekülatif bir senaryoya göre, bilinçli düşüncenin katkısına ihtiyacı olmayan hareketler korteksaltı bölgeler tarafından kontrol edilmektedir. Örneğin, trafik ışıkları kırmızıyı gösterdiğinde frene basmak otomatik bir hareket gibi görülür, oysa aslında beyincikle ilintilidir. Bunun aksine bir pazar akşamüstü koltuğunuzdan kalkmaya karar verdiğinizde, yapacağınız hareket çok az bilinçli planlama gerektirir. Yakınlarda duyuları uyaran bir şey yoktur, ama ayağa kalkmak yine de otomatik bir harekettir. Bazı sinirbilimciler daha da ileri giderek bu tür hareketleri "motor program" olarak nitelendirirler. Takılan sıfat ne olursa olsun, çoğumuzun olağan kabul ettiği bu tür içsel olarak uyarılan hareketler bazal

ganglionlar tarafından kontrol edilir. Ancak bu, Parkinsonlu bir hasta için özellikle zordur. Bu tür durumlarda bazal ganglionlar ve beyincik, anbean yaptığı motor kontrolün ötesinde başka roller üstlenmesi için korteksi serbest bırakırlar. Öte yandan balistik ya da duyuşsal olarak uyarılan bazı hareketler, farklı derecelerde bilinçli kontrol gerektirebilir. Bu durumda bütünleyici motor ve lateral premotor alanları, korteksaltı ortakları olan bazal ganglionlar ya da beyincikteki karşılıklı diyaloglara daha iyi hâkim olurlar.

Hareketin oluşumu, bir senfonide ayrı enstrümanların yaptığı gibi, birlikte hareket eden birçok beyin bölgesinin yarattığı açık sonuçtur. Yapılmakta olan hareketin türü ve bilinçli bir kontrol gerektirip gerektirmediği, tam olarak hangi beyin bölgelerinin işe dahil olduğunu belirler. Bu arada Parkinson hastalığı gibi patolojiler, fazlasıyla tek-tarafli hale gelen beyin bölgeleri arasındaki diyalogların sonuçlarına dikkat çekmiştir.

Fakat beyinde farklı işlevlere yönelik bir "merkez" olduğu fikri sezgisel olarak öyle çekicidir ki, bundan vazgeçmek çok zordur. Duyular konusunda daha şanslı olabiliriz. Hareketlerin aksine duyular bize —bir ışık, bir patlama, bir çimdik ya da ahududunun tadı şeklinde— bir uyarı sunarlar ve biz, bir "sinyal" beyinde farklı aşamalar halinde işlem görürken onun kaderini izleyebiliriz. Belki de böylesine berrak bir yol bizi doğal olarak nihai bir görme merkezine, duyma merkezine, vb. götürebilir.

Omurilik yoluyla beyinden ayrılarak kasları ve dolayısıyla hareketi kontrol eden motoryollarının yanı sıra, 1. Bölüm'de gördüğümüz gibi, omurilik aracılığıyla beyne gönderilen içeri giren sinyaller de vardır. Bu sinyaller dokunma ve acı ile ilgilidir ve somatik-duyuşsal sistem olarak bilinirler. Örneğin bir iğnenin deriyi deldiği temas noktasından uyarılan derinin içindeki lokal sinirler, sinyalleri omuriliğe aktarırlar. Bu sinyaller daha sonra omurilikten yukarıya nakledilir ve sonunda beyin en

üst kısmına ulaşırlar. Burası, motor korteksin hemen arkasında, somatik-duyusal korteks olarak bilinen alandır.

Somatik-duyusal korteksin, omurilik üzerinden geçen iki ana motoryolu bulunur: birincisi acı ve sıcaklıkla ilintili olan evrimsel sistemdir, daha yeni olan ikinci sistem ise dokunmayla ilintili kesin sinyalleri iletir. Bu düzenleme, acı ve sıcaklık gibi temel hayatta kalma etmenleriyle ilgili olan daha esaslı ve yerleşik sistem için anlamlı olması bakımından sezgisel bir çecikiliğe sahipken, dokunma duyusunun kesinliğiyle ilintili daha ince beceriler, organizma geliştikçe giderek daha fazla önem kazanmıştır.

Somatik-duyusal kortekste farklı nöronlar bedenin farklı kısımlarında dokunma duyusuna tepki verir. Bedeninizin görece küçük bir parçası olan elinizin, uyarıları korteksin çok küçük bir kısmına kaydeden nöronlara sahip olmasını bekleyebilirsiniz. Fakat motor kortekse değinirken gördüğümüz gibi, bedeninizdeki bir bölgenin somatik-duyusal kortekste bir alanla doğrudan eşleşen bir karşılığı yoktur. Eller ve ağız çok büyük, son derece orantısız bir temsiliyete sahiptir.

Nöronların bu şekilde taraflı olarak ayrılmasının bir anlamı vardır. Ellerle ağzın, keman çalmayı ve konuşmayı mümkün kılmak için motor kortekste geniş bir nöron ayrımını talep etmesi gibi, bedenin farklı kısımları da somatik-duyusal kortekste nöronlara büyük oranda rağbet gösterir. Ağız ve ellerin dokunma duyusuna karşı çok hassas olmaları önemlidir, çünkü yemek ve ellerle nesneleri hissetmek en temel insan davranışları arasında yer alır. Size dışçide lokal anestezi yapılmışsa, ağzın çok ufak bir kısmında bile hareketlere ve dokunmaya karşı duyarsızlık nedeniyle insanın kendini ne kadar kötü hissettiğini bilirsiniz.

Bedenin farklı kısımlarında dokunmaya karşı duyarlılık konusundaki bu ayrım kolayca kanıtlanabilir. Pergelin iki ucu birbirine görece yakın tutularak vücudun farklı bölümlerine

değdirilirse, aralarındaki mesafe sabit kalsa bile bunlar yerleştirildikleri yere göre ya tek ya da iki nokta olarak algılanacaktır. Örneğin, kortekste az sayıda hücre ayrıldığı için duyarlılığı da az olan sırtın en dar kısmında, birbirine görece yakın olan iki nokta sadece bir nokta olarak hissedilir. Buna karşılık noktalar parmakların ucuna yerleştirildiğinde, kortekste, iki nokta bulunduğuna ilişkin gereğince duyarlı bir mesajı iletmeye yetecek sayıda ilintili nöron vardır. Beyinde, bedenin birbiriyle eşgüdümlü kısımlarına ayrılan alanlar, o bölümün yapılacak iş açısından önemine bağlıdır. Peki ama beyin, omurilik üzerinden geçmekte olan mesajlara ya da bedenin farklı bölümlerinden gelen farklı katkılara bel bağlamayan uzmanlaşmış organlar aracılığıyla verilerle nasıl baş eder? Hatta görmeye ve duymaya nasıl başlarız?

Daha basit yaşam biçimleri olan daha basit sinir sistemlerinde görsel alanlardan oluşan zengin bir dokuya ihtiyaç yoktur. Örneğin, Mona Lisa'nın ince ayrıntısını ayırt edebilmesi, bir kurbağaya fazla yarar sağlamayacaktır. Kurbağalar dünyasında kurbağanın bilmek istediği tek şey çevrede avlayabileceği ya da kendisini avlayacak hayvanların olup olmadığıdır: retinası (ağ tabakası) bu nedenle sadece yırtıcı hayvanların ya da yiyebileceği avların, yani ileri geri uçup duran sineklerin gölgelerine karşı duyarlıdır. Nesnelerin ince ayrıntısı gereksiz olduğu için, kurbağanın gözleri bunları kaydetmez. Kurbağa, bir ip üzerinde sallanan ve geçip giden bir sineği andıran mantar parçasıyla karşılaştığında, sineği yakalamak için dilini dışarı uzatmanın yanı sıra, dudaklarını da yalayarak avlanma ve tatmayla ilgili hareketler yapacaktır.

Hayvanlar aleminde genel bir kural olarak, göz bedene oranla ne kadar karmaşık ve görece büyükse, beynin geri kalan kısmı o kadar küçüktür. Verinin henüz ağırlıklı olarak yönlendirilmemiş olacağı daha gelişmiş beyinlere kıyasla, ilk aşamalarda, bu dış yüzey organında daha fazla işlem yapılacaktır.

Böceklerin, kafalarının her iki tarafında bulunan üçgen şeklindeki kubbelere benzer bileşik gözleri vardır. Her göz, on bin kadar ayrı modülden, yani hepsi farklı açılara bakan on bin nokta gözden oluşur. Bazı böceklerde, bu nokta gözlerin sayısı otuz bine kadar çıkabilir. Işık her modülün içinden geçirilir ve böylece çok büyük bir büyütme gerçekleşir. Ne var ki insanlar açısından bunun sonuçları pek ideal olmayabilir çünkü bu nokta gözlerin mercekleri odaklanamaz. Böcek açısından muazzam avantajı ise, kafasını hareket ettirmesine gerek kalmadan geniş bir görsel alanın az sayıda hücre üzerine yansıtılmasıdır. Nokta gözlerin sayısı ne kadar çoksa, görüntü de o kadar ayrıntılıdır. Bu tür gözler, görsel manzaradaki herhangi bir değişikliğe ve ışık polarizasyon düzlemlerine karşı çok duyarlıdır, ancak bileşik göz yüksek derecede bir çözünürlük sağlayamaz.

İnsan gözü ise oldukça farklıdır: küre şeklindedir ve merceklerle ayrılan iki ana kısımdan meydana gelir. Mercek, şeklinin kontrol edilebilmesi için bağlarla desteklenen şeffaf ve elastik dışbükey bir yapıdır ve bu şekil, uzağa ya da yakın mesafeye bakmak istemenize göre her an değişebilir. Gözün tam önündeki kornea ile birlikte mercek, odaklanmamıza yardımcı olur. Bireyden bireye büyük oranda değişkenlik gösteren renkli iris, gözbebeğini küçülterek ya da büyüterek ışığı düzenler. Gözün bu ön kısmında kornea ile mercek arasındaki boşluk, sulu bir sıvı ile doludur. Gözün ana gövdesini kapsayan ikinci bölmedeki boşluk ise peltemsi bir madde ile doludur.

Gözün tam arkasında görüntüyü saptayan bölge olan retina bulunur. Retinaya mikroskop altında baktığınızda, sanki bir ağı andıran karmakarışık bir kütle oluştururcasına iç içe geçmiş birçok hücre görebilirsiniz. Aslında *retina* ismi, Latince'de "ağ" anlamına gelen *retus* kelimesinden türetilmiştir. Retinadaki bu hücreler, optik sinir diye bilinen lif kümesi yoluyla ana beyne aktarılmadan önce, iki hücre katmanından daha geçen

bir elektrik sinyalinde meydana gelen değişimle, ışık değişikliklerine tepki verirler.

Bu sinirin retinadan ayrılıp beynin içine doğru ilerlediği çıkış noktası, ışığa duyarlı hücrelerin bulunmadığı açıkça belli olan "kr nokta"dır. Kr nokta, gözün ortasının hemen yanında, burna yakın kısmındadır. Gzn ortasının diğer tarafında, kulağa yakın yerinde ise, retinanın fovea adı verilen bölgesi bulunur. Fovea, belirli türden ışığa duyarlı hücrelerin yüksek oranda yoğunlaştığı küçük bir entiktir. Bu bölgeye ışık vurduğunda, burada işleri yerine getirecek daha fazla hücre bulunduğu için görüş optimal düzeydedir. İnsanlarla kıyaslandığında, yırtıcı kuşların foveasındaki hücrelerin yoğunluğu beş kat fazladır. Ayrıca, insanların aksine kartalların iki foveası vardır. Bunlardan birisi, arama foveası, yan tarafı görmeye yarar, takip foveası ise derinliği değerlendirir ve bu, her iki göz tarafından yapılır.

İnsanların gözlerinden farklı olarak, tüm kuşların gözleri yuvalarına sabitlenmiştir. Kuşlar gözlerini çevirebilmek için kafalarını ve boyunlarını da tamamen çevirmek zorundadırlar. Eğer başımızı oynatmadan gözlerimizi ileri geri hareket ettiremeseydik yaşam biçimimiz korkunç bir tehlike altında kalardı –rneğin, okumayı düşünsenize!- Ancak hem kartallar hem de insanlarda ışık (elektromanyetik dalgalar), göz yuvarından geçerek retinanın dış yüzeyindeki iki tabakaya girip ışığa duyarlı hücreler tarafından işlenir. Renklere duyarlı olan belirli hücreler, koniler olarak bilinir; ışığa duyarlı olan diğer hücre türü ise çubuk diye adlandırılır. Çubuklar, karanlık ortamlarda görmeye yarar,  tür koni hücresine ise üç asal renge tepki vermek düşer: kırmızı, yeşil ya da mavi. Elektromanyetik tayf içinde, insan gözü sadece çok küçük bir kesiti görülebilir ışık olarak saptar: AM radyonun dalgaboyu olan 10 metre ile, içinde X ışınlarıyla gamma ışınlarını keşfettiğimiz dalgaboyu olan

bir nanometrenin biraz altı arasında değişen bir ölçekte, 400 ile 700 nanometre arasını.

Peki ışık beyinde fiilen nasıl kaydedilir? İlk önce, retina tarafından elektriksel itici kuvvetlere dönüştürölmesi gerekir. Karanlıktayken retinanın içindeki çubuk hücrelerden bir sonraki hücre grubuna düzenli olarak kimyasal haberciler gönderilir. Işık ilk vurduğunda, çubuğun içindeki özel bir kimyasal madde (rodopsin) tarafından emilir. Bu kimyasal madde tarafından ışığın emilmesiyle ortaya çıkan değişim, hücre içinde bir dizi kimyasal tepkimeye yol açar. Çubuk içinde gerçekleşen bu tepkimelerin sonucu ise, elektrik özelliklerinde meydana gelen bir değişikliklerdir.

İşte elektrik özelliklerindeki bu değişiklik, yani çubuk hücre tarafından normal olarak üretilen voltaj, karanlık süregeldikçe göndermekte olduğu mesajı değiştiren şeydir. Işığa duyarlı hücrelerin diğer türü, yani koniler söz konusu olduğunda ise kırmızı, yeşil ve mavi dalgaboylarındaki ışığa en yüksek derecede duyarlı olan farklı konilerin seçici tepkileriyle, rengi işleme tabi tutmaya başlarız. Farklı renkler, bu konilerin farklı bileşimlerini farklı oranlarda uyarırlar. Örneğin, belirli bir dalgaboyu, eēit sayıda kırmızı ve yeşil koniyi uyarır ve renk sarı olarak algılanır.

Elektromanyetik dalgaların retinadaki hücreler tarafından elektrik sinyallerine dönüştürüldüğünü görmüştük. Ne var ki, retina görsel alanınızdaki her şey hakkında tekdüze ve eēit biçimde sinyaller vermez. Görüntü beyne müthiş bir sapma ile aktarılır. Örneğin bir nesnenin içinde geniş bir tekdüze alan varsa, sadece zayıf sinyaller gönderilir, fakat eğer bir tezat varsa, görsel sinyaller çok şiddetlidir. Retina aslında sadece değişimi saptamakla ilgilenir. Fakat değişim birbiriyle tezat oluşturan uçlarıyla, yalnızca uzamda meydana gelmez; ayrıca zamanda, yani harekette de değişiklik vardır. Retina buna uyarlanabilir ve böylece hareketle ilgili sinyaller verme yeteneğini ko-

durken durağan nesnelere artık tepki vermez. Sinir sisteminin değişim hallerine yönelik tercihini kavrayabilmek için, yanıp sönen bir ışığın, sabit bir ışıktan ne kadar daha dikkat çekici olduğunu düşünün. Hayatta kalmamız her şeyin aynı kalmasından çok, çevre koşullarındaki değişime dayalı olmalıdır.

Gözyuvarının kendisi, görüş bakımından kendi içinde bütünlüğü olan bir merkezden çok, önemli sinyallerin, bir şeyi görebilmemizden önce daha fazla işlemden geçmek üzere beyne erişmesini sağlayan bir kapı niteliğindedir. Hücreler retinadan, kör nokta yoluyla dışarı çıkan elektrik sinyallerini lifler boyunca beynin derinliklerine, Yunanca'da "oda" anlamına gelen *talamusa* gönderirler. Beynin orta bölümünün (diensefalon) büyük bir kısmını kaplayan bu yapı, daha sonra sinyalleri kafanın arkasındaki dış tabakaya, görsel kortekse iletir. Görsel kortekslerinin bir bölümünü kaybeden insanlar üzerinde yapılan incelemeler, görmemizi mümkün kılan bu alanda neler olabileceğinin kavranması bakımından sinirbilimcilere çok yararlı ve ilginç içgörüler sağlamıştır.

Örneğin, kırklı yaşlarında felç geçirmiş bir hastanın görsel korteksinin oldukça mevzî bir bölgesindeki hücreler hasar görmüştü. Durağan nesneleri herkes kadar iyi görebilmesine rağmen, hareket halindeki nesneleri göremiyordu. Sözgelimi bardağa çay koyarken, çayı donmuş bir kütle gibi algılıyordu. Aslında bu eylemi yapmaktan acizdi, çünkü dökmeyi durduramıyordu: bardakta giderek yükselen sıvının seviyesini yeterince iyi göremediği için ne zaman duracağını bilmiyordu. Bu hasta aynı zamanda insanlarla konuşmakta da sorunları olduğunu, çünkü konuşan kişinin ağız hareketlerini göremediğini söylüyordu. Daha da kötüsü ve tehlikelisi, bir arabanın ilerleyişini gözleyemiyordu: ilk önce araba belli bir yerdeyken, daha sonra neredeyse onun üzerine biniyordu. Öte yandan bu kadın işitme ya da dokunma duyusuyla hareketleri saptayabiliyordu.

İnsanların savaşta başlarından aldıkları yaralar nedeniyle

doktor kontrolünden geçtikleri Birinci Dünya Savaşı'ndan bu yana, benzer vakalar kayda geçirilmiştir. O dönemin doktorlarından George Riddoch, bu hastalar üzerinde çalışmalar yapmış ve yukarıda söz edilen hanımın aksine, hareketleri görebilen ancak şekilleri veya renkleri seçemeyen insanlar bulunduğunu belirtmiştir. Normal görebilen bir kişi de bu fenomeni sıklıkla yaşayabilir: görüş alanınızın en kenarında bir nesne hareket ediyorsa, hareketi fark edersiniz, ama hareket eden şeyin ne olduğunu tam olarak görebilmek için başınızı çevirmeniz gerekir.

Benzer biçimde, şekil ve hareketi gören ama renkleri algılayamayan kişiler de vardır. Retinasındaki konilerde bir eksiklik olan ya da başlarının her iki tarafındaki önemli bölgelerde hasar meydana gelmiş kişiler tüm dünyayı grinin tonları içinde algılar. Beynin sadece bir tarafı hasar görmüşse bu kez dünyanın yarısı renkli, diğer yarısı ise siyah-beyaz görünecektir.

Son olarak, görsel sistemleri zedelenmiş olan bazı hastalar hareket ve renkleri görebilir, fakat şekilleri algılayamazlar. Yunanca'da "tanıyamama" anlamına gelen *agnozi* hastalığında cisimler görülebilir ama tanımlanamaz. Agnozinin şiddeti hastadan hastaya değişebilir, hatta aynı hasta şekilleri zaman zaman daha iyi görebilir. Görme konusunda uzman olan Semir Zeki, bu özel durumun hayli değişken olmasına şöyle bir neden öneriyor: karmaşık şekiller beynimizde daha az karmaşık şablonlardan yola çıkılarak yavaş yavaş bir araya getiriliyor olsaydı, belki de bu aşamalı inşa süreci farklı insanlarda farklı evrelerde durdurulabilirdi. Böylece bazı hastaların diğerlerine göre daha geniş bir görsel repertuarı olurdu. Zeki, anlamayla görmenin iki ayrı süreç olmak yerine, ayrılamayacak kadar birbirleriyle bağlantılı olduğunu öne sürüyor: bir şeyi görüyorsanız onu otomatik olarak tanımlarsınız. Öte yandan önünüzdeki bir nesneyi görmüyorsanız, Zeki'ye göre bunun nedeni, görsel kortekste karmaşık şekillerin tanınmasına yönelik daha üstün

bütünleyici süreçlerin çökmüş olmasıdır. Elbette, nesneyi fark edemezsiniz. Bir bakıma "şekil körü" sayılırsınız.

Yukarıda anlatılan vakaları değerlendirdikten sonra şekil, hareket ve renk görüşünün birbirinden bağımsız olarak oluşabildiği açıkça ortaya çıkar. Günümüzde, görüşü en azından kısmen paralel olarak işleme tabi tuttuğumuz, yani görsel sinyalleri eşzamanlı olarak ancak beynin farklı yerlerinde işlediğimiz düşünülmektedir. Görüşümüzün farklı yönleri olan şekil, renk ve hareket bize birbirine bağlı bir bütün gibi görünür, oysa aslında en azından bir kısmı, retinadan kafanın arka kısmına kadar uzanan katmanlar aracılığıyla birbiriyle bağlantı kuran farklı sistemler tarafından işlenmektedir. Bu nedenle, hareket konusunda gördüğümüz gibi, beynin farklı bölgelerinin birlikte çalışarak bizim tek bir işlev olarak algıladığımız şeye, bu kez görmeye katkıda bulunduklarını görebiliriz. Büyük gizem, hepsinin tekrar nasıl bir araya geldiğidir. Paralel sinyallerin tümünü tek bir varlık halinde beynin neresinde birleştiririz?

Bazıları demiryolu raylarının Büyük Merkezî İstasyon'da birleşmesi gibi, beynin belirli bölümlerinde bu farklı yolların birleştiğini öne sürmüşlerdir. Bu senaryo aslında bir biçimde, önceki bölümde sözü edilen frenoloji doktrininin yirminci yüzyıl sonlarına ait bir versiyonudur. Kafamızın içinde, bir ya da iki Büyük Merkezî İstasyona eşdeğer bir beyin bulunduğunu düşünün: böyle bir bölge hasar gördüğünde, görüş yeteneği tamamen yok olurdu. Fakat bu senaryo hiçbir zaman gerçekleşmez. O halde, beynin basit bir mini beyinler topluluğu şeklinde örgütlenmediğini gösterecek bir örneğimiz daha var demektir. Beyin bölgeleri arasındaki bağlantıların tek bir yürütme merkezinde birleşecek biçimde yönlendirilmek yerine, hareket kontrolünde gördüklerimize benzer biçimde beynin kilit bölgeleri arasında dengeli diyaloglar şeklini almaları daha olasıdır.

Yine de bu etkileşimli paralel beyin bölgeleri senaryosu, sinirbilimin en büyük gizemlerinden biri olan, nasıl görüyoruz

sorusunu kendi başına çözmez. Bir yandan, bir nesnenin görsel işleminden geçirilmesindeki karmaşık aşamaların anlaşılmasında büyük adımlar atılmıştır: görme olayı meydana gelirken beynin hangi bölgelerinin, hangi zamanlarda ve hangi koşullar altında etkin olduğu artık bilinmektedir. Fakat bu tür tepkiler beyin anestezi altındayken, yani bilincin hiç olmadığı bir zamanda bile devam edebilir. Bilincin görsel sürece müdahalesinin belirgin bir fizyolojik/anatomik mekanizma ya da olay olarak adlandırılabilceği uyanık, anestezi altında olmayan beyinlerde meydana gelen tek bir olayı şimdiye dek kimse işaret etmemiştir.

Tamamen uyanık hastalarda beynin görsel süreçleri ile bilinçli farkındalık arasında bariz bir ayrışma olduğunun gözlemlenmesiyle bilmece daha da karışık hale gelmiştir. Bununla ilgili ilk durum yine I. Dünya Savaşı'nda başından yaralanmaların bir sonucu olarak rapor edilmiş ve daha sonra 1970'lerde, "kör görüş" olarak adlandırılmıştır. Kör görüşten mustarip hastaların görsel alanlarının belirli bir bölümü kördür, fakat "tahmin yürütmeleri" istendiğinde yine de o bölgede bulunan, göremediklerini iddia ettikleri nesneleri işaret edebilirler. Beynin hâlâ işlemekte olduğu açıktır, ama nesneyi görme konusundaki bilinç kaybolmuştur. Zeki ve fizikçi Eric Harth gibi bazı kişiler, nöron devrelerinin anatomik bütünlüğünün son derece önemli olduğunu öne sürmüşlerdir. Daha önce gördüğümüz gibi, beyindeki bölgeler tahterevallinin üzerindeki kişilere benzetilebilir. Aralarındaki denge ve etkileşimleri, herhangi bir bölgenin kendisinden daha hayattır. Harth'a göre duyularla ilgili sinyallerin işlem görmek üzere kortekse aktarılmasının yanı sıra, korteks de bu gelen bilgi akışını değiştirmek için, yolunu kesecek sinyaller gönderebilir. Korteksin bu şekilde engellemesi ne kadar şiddetliyse, sonuçta elde edilen bilinçli deneyim de o kadar kişiye özel ve nesnel dış olaylardan o kadar uzak

olacaktır. Zeki ayrıca kör görüşü yorumlarken bu geribildirim yollarını kullanmaktadır.

Zeki, kör görüşün bu dengeli devredeki bir kopukluktan kaynaklandığını öne sürmektedir. Sinyaller hâlâ beyne gönderilerek işlem görebilir, fakat normalde beyin bölgeleri arasındaki diyalogları destekleyen belirli yollar artık devre dışı kaldığı için bilinçli görüş bozulmuştur. Ancak bu fikir, kör görüşlü hastalara ilişkin özellikle ilginç bir gözlemle tam olarak örtüşmez: beynin belirli bölgelerindeki fiziksel hasarın derecesi, kör görüşlü hastanın nasıl tepki vereceğini belirleyen tek etmen değildir. Bazı durumlarda kör görüş diğer etmenler tarafından tersine çevrilebilir: örneğin normalde durağan bir nesnenin hareket etmesi sağlandığında. O halde belki de, bir nesnenin görülmesine ilişkin nihai bilinç açısından, yalnızca zarar görmemiş nöron devreleri değil, ayrıca söz konusu nesnenin belirli özellikleri de önemlidir.

Görme kaybına neden olan bir başka beyin hasarı da kör görüşün tersi olan bir durumdur. Yunanca'da "yüzleri tanıyamama" anlamına gelen *prosopagnozi*. Kör görüş, farkında olmaksızın tanıma durumu; bu ise tanımaksızın farkında olma durumudur. Hastalar yüzleri yüz olarak görebilir fakat hiç kimseyi, hatta kendilerini bile tanıyamazlar. Eğer bir yüz, birbiriyle bağlantılı yüzler gösterilerek psikolojik olarak "güçlendirilirse" ortaya bariz bir fark çıkabilir. Örneğin eğer Prenses Diana'nın resmi eski kocası Prens Charles'inkinden sonra gösterilirse, hasta çoğu zaman Diana'nın yüzünü tanıyabilir. Elimizde gene birden fazla etmene bağımlı olan bir bilinçlilik örneği var, ama bu etmenlerin beyin içinde retinamız tarafından kaydedilen bir nesneyi işlemekten geçirmekle kalmayıp aynı zamanda onu bilinçli olarak görmemizi mümkün kılan mucizevi adıma nasıl yol açtığı hakkında hâlâ fikir sahibi değiliz.

Tüm duyular açısından birinci şahsa ilişkin öznel bilinç ögesinin doğası da gizemli bir konudur. Örneğin duymak sade-

ce titreşimlerle açıklanamaz. Bir senfoniye titreşimler olarak duymadığımız gibi, bir yüzü de çizgiler ve kontrast olarak görmeyiz. Algılarımız birleştirilmiş bütünlerdir ve anıları, umutları, önyargıları ve kişiye özgü diğer içselleştirilmiş bilişsel özellikleri içerir.

Görsel kortekse gelen elektrik sinyalleri görme olarak algılanırken, beynin somatik-duyusal korteks ya da işitme korteksi gibi farklı bir bölümüne gelen tamamen aynı türden elektrik sinyallerinin neden dokunma ve duyma olarak algılandığı, beynin bir diğer şaşırtıcı ve gizemli yönüdür. Henüz kimse tatmin edici bir açıklama getirmiş olmasa da, bir görüşe göre işitmeyi görmeden ayırt etmeyi deneyimle öğreniriz; bir başka fikre göre ise her duyu sisteminin bir şekilde, tercihen belirli türden hareketlerle bağlantılı olması, ayrımı ortaya çıkaran şeydir.

Ne var ki duyular arasındaki bu ayrımın geçersiz olduğu bilinen örnekler vardır, duyuların sinestezi diye bilinen bir karışımıdır bu. Sinestezi sergileyen kişiler bazı müzik notalarını belirli renkler halinde "gördüklerini" iddia ederler. Beş algıdan ikisinin birleşimi mümkündür, ancak farklı sesler duyulduğunda farklı renklerin algılanması en yaygın olanıdır. Sinestezi genelde daha çok çocukluk çağlarında ortaya çıkar, ancak şizofreni gibi ruhsal rahatsızlıkları olan ya da halusinasyonlara yol açan ilaçlar kullanan yetişkinlerde de sıkça görülebilir. Duyuların bölünmesi bu durumda normal beyin organizasyonunun bir özelliği olarak değerlendirilebilir, ama bireysel rahatsızlığa karşı bağışıklığı olmayan bir özelliktir bu. Bir ihtimal, sinestetik kişinin beyinde, söz konusu duyu organından onunla ilintili kortekse uzanmakla kalmayıp başka bir duyu korteksi bölgesini de harekete geçiren ek bağlantıların bulunmasıdır. Ancak sinestetik deneyimlerin değişkenliğine ve bu tür durumların ancak belirli koşullar altında ortaya çıkmasına açıklama getiremeyeceğinden, bu fikir pek olası değildir. Her bir duyunun temel işlemlerden geçirilmesine ayrılmamış korteks alanla-

rının, yani çağrışım korteksinin burada bir şekilde rol oynuyor olması daha olasıdır.

1. Bölüm’de gördüğümüz gibi en yakın akrabamız olan şempanzenin beyni ile karşılaştırıldığında bile, insan beyninde çağrışım korteksi olarak nitelendirilen bölgeler oldukça geniştir. Çağrışım korteksinden çıkıp, belirli duyulara ayrılmış korteks alanlarına giden girdilerin bir şekilde saptırılmaları mümkündür. Kuşkusuz böyle bir senaryo, 4. Bölüm’de göreceğimiz gibi, duyular arasındaki ayrımların daha öğrenilmediği, beyindeki nöronların daha az yaygın olduğu, dolayısıyla da daha esnek ve çok yönlü faaliyetlerde bulunduğu çocukluk döneminde sinestezinin daha baskın olmasına açıklama getirecektir. Anatomiden (fiziksel bağlantılar) ziyade fizyolojideki (nöronların işleyişi) bir bozukluk, aynı zamanda sinestezinin neden şizofreni hastalarında aniden belirebileceğini de açıklar. Öte yandan, sinesteziye tam bir açıklama getirmek olanaksızdır, çünkü öznel bir perspektife; bir bireyin ilk elden deneyimine dayanır. Sinestezi, beynin nihai bilmececi olan bilincin bir yüzüdür.

Şimdiye kadar kişinin kendi bilinciyle ilintili o özel iç dünyasının, içeriye akan duyusal girdilerden etkilenerak temel bir harekete nasıl yansıdığını gördük. Çevremiz hakkında ayrıntılı ve kesintisiz bir bilgi alarak birbirinden bağımsız olan her duruma çabucak ve uygun biçimde tepki verebilmemiz sayesinde, dış dünya ile sürekli diyalog halinde oluruz. Bu diyalogun ne kadar şiddetli ve etkili olacağını belirleyen bir başka etken de uyarılma düzeyidir. Uyurken, ne çevremizdeki dünya hakkında bir şey algılarız ne de hareket ederiz; tayfın öbür ucundaki yüksek derecede uyarılma ise telaşlı davranışlara yol açarak küçücük bir olaya bile aşırı tepki vermemize neden olur ve amaçsız bir biçimde huzursuzluk içinde oradan oraya koşturup dururuz. Psikologlar uzun süre önce, bu uyarılma düzeyinin tam orta noktalarındayken işleri en verimsiz biçimde yerine ge-

tirdiğimizi bulgulamışlardır. O halde uyarılma, baskın ruh halimiz açısından önemli bir etmendir.

Uyarılmanın uç noktalarına aşınayız: uyuduğumuz sırada uyarılma düzeyleri düşüktür; eğer kalbimiz hızla çarpıyor ve ellerimiz terliyorsa, yani fazlaca hareketliysek ve dikkatimiz kolayca dağılıyorsa, aşırı heyecanlı ya da uyarılmış durumda oluruz. Uyarılma, değişken derecelerde de olsa, sürekli bizimledir. Uyarılma, beyin sapındaki gündüz ve gece boyu farklı zamanlarda baskın olan farklı kimyasallardan oluşan ayrı grupların ya da duyguların veya hastalıkların hükmü altındadır ve beyin hücrelerinin birçok devresinin işleyişini genel hatlarıyla ayarlamak için geniş korteks bölgelerine sinyaller gönderir. Uyarılma ölçümü, geniş korteks bölgelerinde ortalama olarak bulunan elektriksel etkinlikteki değişimlerin izlenmesiyle yapılabilir.

1875 gibi eski bir tarihte, bir İngiliz fizyoloğu olan Richard Caton, tavşanların ve maymunların beyinlerinden zayıf elektrik akımları geçtiğini bildiren bir makale yazmıştı. Bu bulgu pek fazla dikkat çekmedi. Bundan on beş yıl sonra, beyinde elektriksel etkinlik keşfettiklerini iddia eden Polonyalı A. Beck ile Avusturyalı E. Fleischel Von Marxow adlı iki fizyolog arasında anlaşmazlık çıktı. Ancak Caton, *British Medical Journal*'daki çok daha eski tarihli yazısını işaret ederek meseleyi halledince, bulgunun kime ait olduğu ortaya çıktı. Bu keşfin klinik açıdan etkileri ise ancak on beş yıl sonra, 1929 yılında Hans Berger adlı bir Alman psikiyatr, insan beynindeki elektrik akımlarını ilk kez kayda geçirme girişiminde bulununca anlaşıldı.

Kafatasının yüzeyine yerleştirilen elektrodlar hiçbir acıya yol açmıyordu, kişinin bilinci tam olarak yerindeyken farklı türden beyin dalgaları saptanabiliyordu. Berger bu sinyallerin psikolojik enerjiden kaynaklandığına inanıyordu ve bunu P enerjisi diye adlandırmıştı. Bugün nörolojide hâlâ yaygın olarak kullanılan bir tekniğin başlangıcıydı bu: elektroensefalog-

ram (EEG). Berger'in bir tür özel beyin/zihin enerjisiyle ilgili görüşünün aksine, EEG, beyin yüzeyinin hemen altındaki yüz binlerce beyin hücresinden gelen elektrik dalgalarını kaydetmektedir.

EEG, yalnızca beyin dalgalarının neye benzediğini değil, ne kadar değişken olduklarını da gözler önüne serer: farklı uyartılma düzeylerine göre, şablon gerçekten değişebilir. Rahat ve bilinçli olduğunuzda, esas olarak beyninizin arka tarafında yavaş dalgalar oluşacaktır. Bu sürece, alfa ritmi denir; aslında rahatlayarak alfa ritmini kendiniz de oluşturabilirsiniz. Gitgide daha fazla kişinin rahatlatma sorunu yaşaması, modern çağımızın en büyük belalarından biri olan kronik strese yol açmaktadır. Bu kişilere rahatlamayı öğrenmeleri için yardımcı olmanın bir yolu, onlara ne zaman alfa ritmi oluşturduklarını öğretmektir. Bir insan EEG'sinin, raylar üzerinde sadece alfa dalgaları yayıldığında hareket eden elektrikli bir oyuncak trene bağlanması, dâhiyane bir tasarımıdır. İnsanlar treni hareket ettirebilmek için kendilerini doğru ruh haline sokmayı öğrenebilirler. Heyecanlı ve uyarılmış olduğunuzda ise elektrik dalgalarının şablonu değişerek, nöronların bütün bir grubun parçası olarak çalışmak yerine daha özerk davrandığı bir şekle bürünür.

EEG şablonu yaşa göre de değişim gösterebilir. Ana rahmindeki elektrikselsel etkinlik ceninin üçüncü ayından itibaren kaydedilmektedir. Fakat EEG, ancak altıncı aydan itibaren belirgin, yavaş ve düzenli dalgalar haline gelir. Çocuklar on yaşına gelinceye kadar iki çok yavaş ritim saptanabilir: birisi saniyede 4 ile 7 dalga arasındadır (teta ritmi); yavaş olan diğeri ise saniyede 1 ile 4 dalga arasındadır, ama bu "delta ritmi" sağlıklı ve uyanık yetişkinlerde hiçbir zaman görülmez.

EEG, normal beyin etkinliklerinin yanı sıra, epilepsi gibi beyin bozukluklarının incelenmesi açısından da önemlidir. Epilepside, belirli beyin hücresi gruplarında gerçekleşen minyatür bir beyin fırtınası, çarpınmalara yol açabilir. Elektrik pat-

lamasını andıran bu olayı nörologlar, hemen ardından, hasarlı beyin dokusunun yerini belirlemek amacıyla kullanılan bir EEG üzerinde saptayabilirler.

EEG'nin bir başka kullanım amacı da, biz uyurken beynimizde neler olduğunun anlaşılmasını sağlamaktır. Uyku dört aşamalıdır ve bunlar kafatasının üzerindeki deriden kaydedilen farklı elektrik şablonlarına göre ayırt edilir. Uykuya daldığımızda bu dört aşamadan geçerek 1. seviyeden hızla 4. seviyeye ineriz. Gece boyunca, yavaş yavaş yüzeye çıkıp tekrar aşağı inerek bu dört aşama arasında gidip geliriz.

Gece boyunca birçok kez devrettiğimiz bu dört aşamanın yanı sıra, tamamen farklı olan bir başka uyku aşaması daha vardır. Bu aşamada gözlerimiz ileri geri hızla hareket ettiği için, buna hızlı göz hareketi (rapid eye movement) ya da REM denir. İnsanlar REM uykuları sırasında uyandırılırsa, çoğunlukla rüya gördüklerini söylerler. Hızlı göz hareketlerinin, rüya alemimizde hareket eden görüntülere bakmaktan kaynaklandığı düşünülebilir. Uykunun bu rüya aşaması sırasında EEG'mizin, rüya görmeksizin uyuduğumuz süre içindekinin aksine, uyanık olduğumuz zamankinin tıpatıp aynısı olması ilginçtir. Normal uykuda, rüya görmediğimiz sırada, dönüp duruyor olabiliriz, fakat REM uykusu sırasında kaslarımız felç olur. Bu hareketsizlik önemlidir çünkü rüyalarımızı etkilememizi engeller.

Farklı hayvanlarda farklı REM oranları görülür. Sürüngenlerde hiç görülmez, kuşlarda arada bir görülür fakat tüm memelilerin, en azından EEG'lerine göre, rüya görebildikleri anlaşılmaktadır. Gecede ortalama yedi buçuk saatlik bir uyku sırasında, insanlar toplam bir buçuk ya da iki saatlerini rüya görerek geçirebilirler. Kaydedilen en uzun kesintisiz REM uykusu iki saat kadardır. REM uykusunun, uykuda geçirdiğimiz zamanın önemli bir bölümünü kapladığını düşünürsek, herhalde

bir değeri de vardır. Rüya görmemizin nedenleri konusunda birkaç teori mevcuttur.

Bir teoriye göre beyin, artık dış dünyadan gelen mesajların gözle görülebilir gerçekliğine bağlı ve onunla sınırlı olmadığı için, bir anlamda serbest davranmaya başlar. Bu durum, işten izin aldığımız ve yapacaklarımızı planlamadığımız bir güne benzetilebilir. Yine de rüya görmenin, beynin sadece eğlenceli bir faaliyete girişmesinden öte bir anlamı olmalıdır; rüyayı gören kişiye belirli bir yararı olduğu söylenebilir. EEG'leri, REM uykusunda olduklarını, dolayısıyla da rüya gördüklerini gösterdiği sırada insanlar uyandırıldıklarında, sonraki gece bu açığı kapatmaya çalışırlar: girdikleri REM uykusunun süresi artar. Bir deney sırasında insanlar, EEG'leri REM uykusunu kaydettikçe, her seferinde uyandırıldılar. İlk gece on kez kalktılar, fakat altıncı geceye gelindiğinde, beyinleri defalarca boşu boşuna rüya alemine dalmaya çalışırken, tam otuz üç kez uyandırılmış oldular.

Başka bir görüşe göre rüyalar, sorunları halletmemizi ve gün boyunca olup bitenleri çözümlememizi sağlar. Yetişkinlerde rüyaların bu amaca hizmet ettiği düşünülebilir, fakat asıl amacının bu olması pek olası değildir. Yirmi altı haftalık cenin, tüm zamanını REM uykusunda geçirir fakat halletmesi veya çözümlemesi gereken bir deneyimi yoktur. Bu gözlem rüya görmenin, henüz çok mütevazı nöron devrelerine sahip olan olgunlaşmamış bir beynin işleyişiyle ilintili bir durumu temsil ettiğini göstermektedir. Belki de rüya, lif bağlantılarının hâlâ kurulmakta olması nedeniyle, beyin bölgeleri arasındaki daha az şiddetli bir diyalogdan kaynaklanan bir tür bilinç halidir.

Eğer doğruysa, bu görüşün iki çok ilginç sonucu olabilir. Birincisi, biz REM uykusundayken beynimizdeki bölgeler arasındaki iletişim derecesinin giderek azaldığı öne sürülmektedir. İkincisi, şizofrenlerin bilinç halinin çoğunlukla rüyalarımızın mantıksız, ancak oldukça gerçek bilinç haline çok benzediği

belirtilmiştir. Bu nedenle şizofreni hastalığında temel sorunun, nöron bölgeleri arasındaki iletişimin azalmasıyla dünyanın bir rüya gibi görülmesi olduğu söylenebilir. Rüya görmenin işlevi sonuçta sorunlarımızı halletmeye yönelik olabilir, ancak rüyanın uyku halinde olmamız veya bebeklikteki gibi beynin az gelişmiş olması ya da şizofrenide olduğu gibi baskın kimyasalların beyin hücrelerinden oluşan yığınların üzerindeki geniş çaplı diyalogların verimliliğini sınırlaması gibi nedenlerle, beyin faaliyetlerinin belirli durumlarda yüksek miktarlarda duyuşal veriyi işleyememesi sonucunda ortaya çıkması daha olasıdır. Ancak gene, rüya görmek bilinçliliğin bir diğer yönüdür, dolayısıyla da nedeni ve işlevinin ne olduğu, en iyi ihtimalle tahminden ibaret kalabilir.

Peki tamamen bilinçsiz olduğumuz olağan bir uykunun işlevleri nelerdir? Bu önemli bir sorudur çünkü uyku aslında riskli bir olaydır — bundan otuz bin yıl önce türümüzün evrildiği Cro-Magnon dünyasında, uyuyan birey yoldan geçen yırtıcı hayvanların saldırısına karşı oldukça savunmasızdı. O halde uykunun bizi her gece sekiz saat kadar bu şekilde güçsüz bırakmasının müthiş bir yararı olmalıdır. Uyku sırasında beynin, uyanık olduğumuz zamandan çok daha hızlı bir şekilde protein ürettiği bilinmektedir. Proteinler vücut yapısının korunması için gerekli olan büyük moleküllerdir ve bunlar nöronlar dahil olmak üzere vücudun tüm hücrelerinin işlevini destekler. Uyku bize, beynimizin gereğince çalışması açısından hayati önem taşıyan kimyasalları depolama olanağını tanır. Gereğince çalışmak deyimi, öğrenme ve anımsama gibi sadece bilincinde olduğumuz süreçleri değil, ayrıca vücut ısısının düzenlenmesi gibi bilinçsiz süreçleri de kapsar.

Genelde, yiyecek ve oksijenden elde edilen enerjinin çok az bir kısmını hemen ısıya dönüştürmek için kullanırız. Geriye kalan enerji, beynin ve bedenin diğer tüm hayati işlevleri için depolanır. İnsanların geceleri sadece üç saat uyumasına izin ve-

rildiğinde, bu işlevlerin birçoğu bir hafta içinde eksilmeye başlar. Uykudan mahrum bırakılırsak, enerji verimli bir şekilde saklanamaz; büyük bir kısmı anında boşa harcanır, ısı olarak ziyan edilir. Bu nedenle sürekli olarak uykudan tamamen mahrum kalan insanlar, sonuçta kendilerini kelimenin tam anlamıyla yakarak yok edeceklerdir. Fareler uzun süre uyumazlarsa, enerjilerini geri kazanmak için giderek daha fazla yemeleri gerekir. Sonuçta bu fareler, çok yüksek miktarda besin almalarına karşın, sıskalaşıp bitkin düşerek ölürlür. Demek ki uyku, hayati derecede önemlidir.

Beynin ve uyarılma sisteminin bir başka ilginç özelliği de, genellikle beynin ne zaman uykuya dalacağını "bilmesi"dir. Birçok hayvanın beyinde, uyuma ve uyanmada önemli bir rol oynayan bir bölge vardır: epifiz bezi (pineal gland). Epifiz bezi beynin merkezinde, derinlerde bulunur; bir orta çizginin her iki tarafında kendilerini tekrarlayan yapıların tam tersine, epifiz bezi bu orta çizginin hemen üstünde, beynin orta yerindedir.

Bu nedenle felsefeci René Descartes, üç yüz yıl önce epifiz bezinin, ruhun saklı durduğu yer olduğunu düşünmüştü. Descartes, iki epifiz bezi bulunmadığı ve tek bir ruhumuz olduğu için, epifiz bezinin ruhun yerleşim yeri olması gerektiğini öne sürdü.

Bugün, epifiz bezinin uykuyu ve uyanıklığı düzenleyen önemli bir rolü olduğunu biliyoruz. Kuşlar kafataslarından geçen ışıkla doğrudan uyarılırlar: epifiz bezi kuşlardan bütün olarak çıkarılarak bir tabağın içine yerleştirildiğinde bile, hâlâ ışığa karşı duyarlıdır. Epifiz bezi aydınlık hava karardığında tepki vermez; fakat hava karanlıkken aniden aydınlanırsa, kuş uyanır. Epifiz bezi melatonin hormonu salgılar. Bu madde gün içinde farklı zamanlara göre beyinde azalıp çoğalır. Beyindeki seviyesi arttığında, ardından uyku gelir; aslında, serçelere melatonin enjekte edildiğinde hemen uykuya dalarlar. Bu basit

olaylar dizisi, biz gelişmiş insanlara ilk bakışta biraz ilgisiz gibi görünse de, ABD’de melatoninin uzun uçak yolculuğu sonrası yeni zaman dilimine ayak uyduramamaktan kaynaklanan rahatsızlığa karşı popüler bir ilaç olarak kullanıldığını belirtmekte yarar var. Yeni zaman diliminde uykudan hemen önce alınan bir melatonin tableti, uykunun hemen gelmesini ve yeterince uzun sürmesini sağlayabilir.

İnsanlarda, uyku/uyanıklık döngüsü normalde birçok etken tarafından kontrol edilir. Bu dış unsurların ne kadar önemli olduğunu, insanların mağaralara yerleştirilerek tamamen kendi başlarına ve dış dünyanın tüm taleplerinden uzak bırakıldıkları deneylerden anlayabiliriz.

Kraliyet Hava Kuvvetleri’nde subay olarak görev yapmış olan David Lafferty, 1966 yılında *Daily Telegraph* gazetesinin bir çağrısını kabul ederek, en az 100 gün boyunca yerin 105 metre altındaki bir mağarada tek başına yaşamaya gönüllü oldu. Bunun karşılığında yer altında geçirdiği her gün için 100 sterline (167\$) ek olarak 5 sterlin (8.35\$) aldı. Lafferty yer altında tam 130 gün kalarak yeni bir rekor kırdı. Sonunda, doktorlar Lafferty’nin fiziksel durumunun ve ruh sağlığının iyi olması karşısında hayrete düştüler. Lafferty, ne kadar süredir yer altında kaldığını öğrenince oldukça şaşırılmıştı. Biyoritmi yirmi beş saatlik bir düzene göre işleyip yer altında geçirdiği zamanı, olduğundan daha kısa görmesini sağlamıştı. Genelde insanlar bir yerde yalnız kaldıklarında, bu hafif yanılmalara az da olsa rastlanır. Temel ve düzenli sayılan bir içsel saate sahip olduğumuz çok açıktır, ama dış dünyadan gelen ipuçlarını kullanarak bunun ince ayarını da yapmamız gerekir.

Uyumak ve uyanmak, beynin kontrol ettiği ya da beyinde kayıtlı olan tek ritim değildir. Bundan daha az belirgin fakat önemli bir başka günlük ritim olduğunu gösteren ürkütücü bir deney vardır: acıya karşı duyarlılık. Şaşırtıcı bir biçimde, bazı insanlar gece-gündüz birkaç kez dişlerine elektrik şoku veril-

mesine gönüllü olmuş; sonra da ne kadar acı hissettikleri hakkında rapor vermişlerdir. Bu insanların her seferinde aynı acıyı hissetmeleri beklenirken, günün belirli saatlerinde ve özellikle sabahleyin neredeyse iki kat fazla algılamışlardı. Öğle yemeğinden hemen sonra ise acı çok daha dayanılabilir hale geliyordu.

Bu araştırma bize beynin işleyişi hakkında bir ipucu daha veriyor. Acıyı hissetmenin öznel bir olgu olduğunu ve beynimizde meydana gelen bir şeye göre değiştiğini görebiliyoruz. Beyindeki bu olay da değişken olmalıdır. Acıya genellikle, bedenin belirli bir kısmıyla doğrudan temas halinde ve zarar verici olan, ya da zarar verici olarak algılanan bir şey yol açar. Önceki sayfalarda acıyla ilgili sinyallerin omurilikten yukarı çıkan belirli bir yoldan beyne ulaştığını görmüştük. Bu sinyaller fiziksel özelliklerini değiştirmeyen sinirler tarafından taşınıyorlardı, dolayısıyla da elektriği iletme konusundaki verimlilikleri günün belirli zamanlarında değişikliğe uğramıyordu. Öyleyse gün içindeki değişkenliğe açıklama getirecek bir başka etken olmalıdır.

Acıyı incelemenin birkaç yolundan biri de antik Çin sanatı akupunkturu ele almaktır. Akupunkturdaki temel fikir, yaşam gücü diye adlandırılan "Chi"nin çeşitli organlar arasında mükemmel dengeyi bulabilmesi için, bedenin işlevsel durumu içinde dengenin yeniden kurulmasıdır. Akupunkturdaki temel uygulama 1 ila 4 milimetrelik bir iğneyi beden üzerindeki 365 özel noktadan birisine saplamaktır. Akupunktur pek çok amaç için kullanılır —örneğin, insanlara sigarayı bıraktırmak için. Konumuzla özellikle ilgili olan bir etkisi de acıyı hafifletebilmesidir. Akupunkturun uyuşturucu etkilerinin nasıl keşfedildiği ise, insanların ok ve yaylarla çarpıştığı eski savaş dönemleriyle ilişkilidir. Yaralanan askerlerin vücudundan çıkarılan oklar, çoğunlukla yaranın içinde dönmüş durumda bulunurdu, aynen

günümüzdeki akupunktur iğneleri gibi. Paradoksal olarak, askerler bazen ağrılarının hafıflediğini hissederlerdi.

Akupunkturla ağrının dindirilmesi bazen o kadar etkili olur ki, o sırada ameliyat bile yapılabilir. Mükemmel bir analjezi düzeyine ulaşabilmek için iğnelerin yirmi dakika kadar batırıldıkları yerde durmaları gerekir. Akupunktur bir şekilde, etkilanmış bölgede bulunan derideki sinirlerin beyne sinyaller göndermesiyle hissedilen normal acı sürecine müdahale eder. İğnenin girdiği yerin derisindeki sinirlere o sırada bir lokal anesteziyle müdahale edilirse, akupunkturun analjezik etkisi ortadan kalkar. Anlaşılan, bir sinir iğnenin batırılmasıyla mekanik olarak uyarıldığında, beynin acıyı algılayış tarzında bir değişiklik olmaktadır. İğnelerin yerleştirilmesinden itibaren analjezik etkinin başlaması yirmi dakika kadar gerektirdiğine ve iğnelerin çıkartılmasından sonra bir saat kadar sürdüğüne göre, bir ihtimal, iğnelerin bundan doğrudan sorumlu olması yerine, beyinde doğal bir kimyasal madde salgılamaları, bunun da acıyla mücadele edebilmesidir. Belki de gün içindeki iniş çıkışlardan etkilenen ve hatta ilaçlarla düzenlenebilen, bu kimyasal maddedir.

1970'lerin başlarında sinirbilim alanında gerçekleştirilen en önemli yakın tarihli buluşlardan birisi, beynin kendi morfin benzeri maddesi olan enkefalin içermesidir. Bu maddenin önu ilaçlarla kesildiğinde, acı daha fazla hissedilir ve akupunktur daha az etkili olur. Aynı mantığa göre morfin bu doğal kimyasalı taklit ederek beyni çok yüksek miktarlarda enkefalin salgılandığına inandırır. Beyinde bir acı merkezi yoktur; enkefalin ise hem beynin hem de omuriliğın içindeki çeşitli yerlerde bulunabilir.

1. Bölüm'de, beynin belirli bölgelerinden her birine birer işlev ayıramamıştık; bu bölümde ise tam tersi bir stratejiyle işe başladık: belirli işlevlerin beyin tarafından nasıl yönlendirileceğini görmeye çalıştık. Verdiğimiz örneklerin tümünde, çeşitli

beyin bölgelerinin dış dünya ile etkili bir şekilde etkileşim kurmamıza olanak tanımak için birbirine paralel olarak etkinleştirdiğini gördük. Her tanımlamada, beyin elektriği ile beyin kimyasının, genelde duyuşal, motor ve uyarım sistemlerimizin başarılı işleyişı açısından hayati unsurlar olduğu açıklık kazandı. Bu kuvvetlerin gündelik yaşamımızdaki işlevleri vurgulayan sinyalleri iletmek için beynin içinde nasıl bir araya geldiklerini ise henüz araştırmadık. Şimdi, beyin hücrelerinin aslında ne olduklarını ve birbirlerine nasıl sinyal gönderdiklerini inceleyeceğiz.

VURUM, İTKİ (PULS, İMPULS)

Sinirbilim alanında büyük bir ilerleme, 1872 yılında bir İtalyan mutfağında gerçekleşti. Pavia Üniversitesi'nden mezun olan genç doktor Camillo Golgi (1843-1926), beyinden öylesine etkilenmişti ki kendine geçici bir laboratuvar kurdu. Golgi'yi uğraştıran sorun fiziksel beynin özüyle ilgiliydi: beyni oluşturan madde. O sıralarda beyin küçük parçalara bölünüp mikroskop altına yerleştirilebilse de, yalnızca homojen bir soluk kütle saptanabiliyordu. Temel yapı taşları belirlenebilene dek beynin nasıl çalıştığını keşfetmenin imkânsız olduğu anlaşılmıştı. Derken bir gün, Golgi, büyük bir beyin parçasını tesadüfen gümüş nitrat solüsyonu içeren bir kaba koydu ve parça bu kapta birkaç hafta boyunca kaldı. Daha sonra Golgi, çok önemli bir tepkime keşfetti. Beyin parçasını geri aldığı anda, bir dönüşüm meydana gelmişti. Mikroskopun altında, ağımsı bir karışık yapı içinde askıda kalmış koyu renkli kabarcıklardan oluşan karmaşık bir örüntü görülüyordu. Bugün artık bildiğimiz gibi, beyin dokusu gümüş nitrat içinde üç saat ya da daha uzun bir süre bırakıldığında, beyin dokusunun en temel ögesi-ni görmek mümkündür: nöron diye adlandırılan özel hücre türü.

Golgi'nin keşfinde daha mucizevi olan şeydu: hâlâ tam olarak kimsenin emin olmadığı değişken bir süreç sayesinde boya (gümüş nitrat), her on hücreden sadece bir tanesini rastgele öne çıkarıyor ve böylece soluk, kehribar renkli bir arka planda siyah görünmesini sağlıyordu. Eğer her nöron boyanmış olsaydı, hücrenin hassas ve karmaşık silueti, diğer hücrelerin üst üste binen kısımları tarafından gizlenmiş olurdu —yani, beyin dokusunun mikroskop altındaki görüntüsünün tamamı neredeyse tekdüze bir siyahlığa dönüşürdü. Hücrelerin yalnızca onda biri Golgi boyasına tepki verdiği için, bu nöronlar yalnız bir kontrast içinde göze çarpıyordu.

Nöronlar aslında neye benzerler? Hepsinde hücre gövdesi ya da soma (Yunanca'da "gövde" anlamında) olarak bilinen ve çapı bir milimetrenin kırk binde biri kadar olan damla şeklinde bir bölge bulunur. Aslında soma genellikle bir damla kadar belirsiz ve biçimsiz değildir; yuvarlak, oval, üçgen ya da iğ gibi çeşitli karakteristik şekillerden biri görünümünde de olabilir. Nöronun yaşamı destekleyen organlarının tümü hücre gövdesi içinde yer alır ve bu açıdan nöronlar, bedendeki diğer hücrelerden farklı değildir. Ancak, nöronlar diğer hücrelerle kıyaslandığında, büyük bir fark çıkar ortaya. Diğer hücrelerin aksine nöron, hücre gövdesinden daha fazla şeyi taşımaktadır.

Nöron hücresinin gövdesinden bir çeşit mikroskopik ağacı andıran küçücük dallar çıkar. Aslında, bu bölümlere *dendrit* adı verilir (Yunanca'da "ağaç" anlamında). Bir nöronun dendritleri çeşitli şekiller alabilir, yoğunlukları değişken olabilir; nöronun etrafında yayılarak ona yıldızimsı bir görünüm verebilir, ya da, hücre gövdesinin bir veya her iki ucundan filizlenebilirler. Dendritin dallanıp budaklanma derecesine göre, nöronlar genel görünümleri bakımından çok büyük değişkenlik gösterirler: beyindeki nöronların en az elli temel şekli vardır.

Minik dalların yanı sıra, çoğu nöronda hücre gövdesinden uzanan tek, uzun, ince bir lif bulunur.

Bu life akson denir ve nöronun diğer kısmına oranla birkaç kat daha uzundur. Hücre gövdesinin normal çapı, bir milimetrenin yirmi bin ila yüz binde biri kadardır. Ancak uç bir örnek olarak, insan omuriliğinden aşağı doğru ilerleyen türden bir lif, bir metre uzunluğuna kadar ulaşabilir!

Sadece bir nörona bakarak, bu iki özel yapı arasındaki farkı söylemek oldukça kolaydır. Aksonlar mikroskop altında bile daha zor görülür, çünkü dallanıp budaklanan görece kısa ve kalın dendritlerden çok daha incedirler. Dendritler, bir ağaçtaki uçları giderek incelen gerçek dallara benzer, aksonlarda ise incelme yoktur. Nöronun genel görünümü, dışarı uzanan görece kısa mikrodallar ile kıvrılarak ilerleyen uzun, ince bir lif taşıyan kalın bir merkezî bölge şeklindedir. Böyle acayip bir nesne nasıl oluyor da kişiliğimizin, umutlarımızın ve korkularımızın yapı taşı oluşturuyor?

Hücre gövdesi tüm hücrelerinkine benzer bir dizi hücre içi aygıtı içerdiğinden, işlevlerinin en azından bir kısmının, hücrenin canlı kalmasını ve gerekli kimyasalları üretmesini sağlamak olduğu öne sürülebilir. Ancak, akson ve dendritlerin rolü o kadar açık değildir çünkü varoluşları nöronların kendine özgü işleyişiyle bağlantılıdır. Ayrıca, fiziksel açıdan aksonlarla dendritler arasındaki bu tür belirgin ayrımlar, çok farklı rolleri olduğunu göstermektedir.

2. Bölüm’de, elektroensefalogramın (EEG) beynin değişen hallerini yansıtırma konusundaki gücünü ve hassasiyetini gördüğümüzde, ilk önce nöronların elektrik üretebildikleri fikriyle karşılaştık. Dendritler, çeşitli gemiler tarafından getirilen malları kabul eden geniş bir liman bölgesi gibi, bu elektrik sinyallerinin alıcı bölgesi olarak işlev görürler. Malların gemilerden boşaltılıp merkezî bir fabrikada birleşen güzergâhlar üzerinden sevk edilmesi gibi, sinyaller de hücre gövdesinde birleşen dendritler üzerinden gönderilir. Sinyaller yeterince güçlüyse, hücre gövdesinde yeni bir elektrik sinyali —ya da benzetme

yapmayı sürdürürsek— yeni bir ürün üretilir. Daha sonra aksonlar devreye girer ve bu yeni elektrik sinyalinin hücre gövdesinden, bir sonraki hedef nörona iletilir; bu, fabrika ürününün çok uzaklardaki bir hedefe gönderilmesine benzer. Bu bölümde, nöronların elektrik sinyallerini nasıl gönderdiğini ve aldığını inceleyeceğiz. Ayrıca, belirli kimyasalların nöron iletişiminde ne kadar önemli rol oynadıklarını ve bir nöron ile diğeri arasındaki iletişimin ilaçlar tarafından nasıl bozulabileceğini de göreceğiz.

Sinirbilim araştırmalarında, tek bir nöronla başlayan bu tür bir yaklaşıma "aşağıdan yukarıya" denir. Strateji, aşağıdan, en temel öge olan nöronla başlayıp, daha sonra bir nöronla diğeri arasındaki iletişimin sonuçta karmaşık, işleyen bir bütün halinde nasıl kurulabildiğini görmektir. Bu aşağıdan yukarıya yaklaşımın tam tersi, yukarıdan aşağıya yaklaşımıdır. Buradaki temel izlek, en yukarıdan, sözgelimi bir beyin bölgesi (1. Bölüm) veya bir işlev (2. Bölüm) gibi bir makro sistemden başlayıp aşağıya doğru inerek bunun beyin işleyişlerine nasıl dönüştüğünü görmek ve daha küçük alt sistemler halinde analiz etmektir. Sinirbilimciler bu çalışma şekillerinin yararları konusunda sık sık fikir ayrılığına düşerler. Bir bakıma biz, ilk iki bölümde yukarıdan aşağıya stratejisini kullanmış olduğumuz için, bunun avantajları ve sınırlamaları hakkında bilgi sahibiyiz. Bu bölümde ise tek bir nöronu temel alan indirgemeci yaklaşımına dönüyoruz.

Luigi Galvani (1737-1798), omurilikten çıkan sinirlerin elektrik üretebildiğini kanıtlayan ilk kişiydi. Gökğürültülü bir fırtına sırasında Galvani bir kurbağanın bacaklarını metal bir levha üzerine yerleştirdi. Kurbağanın bacakları gökğürültüsü ve şimşekler devam ettikçe şaşkıncı biçimde kıpırdayıp durdu. Bu nedenle Galvani, sonradan doğru olmadığı ortaya çıksa da, tüm elektriğin canlı dokuda saklı olduğu sonucuna vardı. Kasların elektrik kapları, sinirlerin de elektrik ileticileri olduğunu

düşündü. Elektriğin ne kadar temel bir fenomen olduğunu kavrayan kişi ise, on dokuzuncu yüzyılın öncü fizikçilerinden Michael Faraday oldu. Biyolojik olmayan malzemelerle yaptığı deneylerden yola çıkarak, "elektrik, kaynağı ne olursa olsun, doğası bakımından hep aynıdır" sonucuna vardı. Aslında sinirler de bir elektrik kaynağıydı fakat belirli bir tekel oluşturmuyorlardı.

Bir elektrik akımı, kelimenin tam anlamıyla, yük akışıdır. Beyinde bu tür bir akış, dört iyondan (bir elektronları eksik ya da fazla olan atomlardan) herhangi birinin hareketi sayesinde gerçekleşir: sodyum, potasyum, klorür ya da kalsiyum. Bu iyonlar nöronun ya içinde (potasyum) ya da dışında (sodyum, klorür, kalsiyum) bulunurlar fakat rasgele girip çıkmak yerine, dördü de bir bariyer, yani hücre zarı tarafından tek bir yerde tutulur. Bu zar sadece basit bir duvar değildir ve tereyağlı bir sandviç gibi, ortasında yağ bulunan iki katmandan oluşur. İyonlar nöron zarının ortasındaki konuksever olmayan yağlı ortama giremediklerinden, hiçbir iyon nöronun içine ya da dışına serbestçe taşınamaz.

Sonuçta, iyonlar nöronun içinde ve dışında birikirler. Hücrenin içinde başka eksi yüklü proteinler de vardır. İyonlar ve proteinler dikkate alındığında, nöron zarının her iki tarafındaki net yük dağılımının eşit olmadığı anlaşılır; yani artıların ve eksi sillerin sayısı aynı değildir. Nöronun iç kısmı dışına nazaran eksi yüklüdür. Dolayısıyla da potansiyel bir fark —bir voltaj— söz konusudur; bu ise eksi bir değer olarak ifade edilir ve genellikle bir voltun -70 ya da -80 binde biri kadardır (mV).

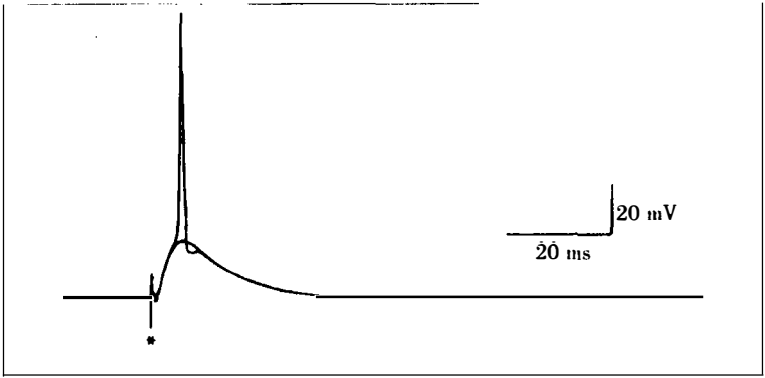
Ancak, iyonlar bir yerde takılıp kalmışlarsa ve akamıyorlarsa, bu potansiyel farkın gerçek bir elektrik akımını ortaya çıkarması olanaksız sayılır. Örneğin, bir tarafında büyük miktarda su rezervi bulunduğu halde sizin bir türlü kullanmadığınız bir baraj düşünün. Bir hücrenin elektrik sinyali üretebilmesi için, tıpkı suyun barajdan salıverilmesi gerektiği gibi, içinden

bir akımın geçmesi gerekir. Akımın geçmesi için de, iyonlar nöronun içine girip çıkmalıdır. Peki ama iyonların, hücre zarının ortasındaki bu içine girilmesi olanaksız yağ katmanından geçmeleri nasıl mümkün olur?

Zar engeli eninde sonunda aşılabılır. Büyük moleküllerden —proteinlerden— oluşan çeşitli özel yapılar, zarın iki tabakasını aralarlar: bunlar belirli bir iyon için yağsız ve sulu bir bölgeden (nöronun dışı) diğerine (hücrenin içi), köprü işlevi görürler. Ancak bu protein geçitleri hücre zarının ortasından boydan boya geçtikleri için, daha çok bir tüneli andırırlar. Alışıldık sinirbilim dilinde buna kanal denir.

Bir nöronun elektrik sinyali gönderebilmesi için artı yüklü sodyum iyonlarının hücre içine kısa süreliğine girebilmeleri gerekir; böylece potansiyel fark dışarıya göre içeride geçici olarak daha pozitif olur (depolarizasyon). Ancak bu voltaj, örneğin +20 milivolt gibi pozitif hale gelir gelmez, artı yüklü potasyum iyonları hücreyi terk edip voltajın bir süreliğine normalden daha negatif olmasını sağlarlar (hiperpolarizasyon). Dolayısıyla, nöron bu şekilde etkinleştirildiğinde potansiyel farkta kısa ve belirgin bir değişim gerçekleşir ve pozitif bir vurumu (pulse) negatif bir aşırı geçiş izler. Bu geçici artı-eksi dalgası çoğunlukla saniyenin binde biri ya da ikisi kadar sürer ve devinim potansiyeli olarak bilinir. Devinim potansiyeli, hücre sinyal göndermediği sırada normal biçimde sürekli üretilen voltajdan (durgunluk potansiyeli) farklıdır. (Bkz. Şekil 5).

Sodyum kanalı neden en başta açılır? Soruyu başka bir şekilde soracak olursak, devinim potansiyelini tetikleyen nedir? Ne de olsa, rastgele oluşan bir sinyal tamamen anlamsız ve neredeyse bir paradoks olurdu. Telefonun gecenin değişik saatlerinde çalıp durduğunu, ama hattın diğer ucunda kimse bulunmadığını düşünün. Şimdi tekrar hücreden çıkan dallara benzeyen dendritlere dönelim. Dendritler, diğer nöronlardan gelen sinyaller için alıcı istasyonlar gibi işlev görür. Eğer sinyaller



ŞEKİL 5.

Sıçan beynindeki (hipokampusta) bir nöronun uyarıma (yıldız ile gösterilmiştir) karşı tepkisinden alınan kayıt. Bu şiddetteki uyarımın sonucu, ya EPSP (excitatory postsynaptic potential - uyarıcı sinaps sonrası potansiyel) ya da devinim potansiyeli olabilir. Devinim potansiyeli oluştuğunda, EPSP'nin zirve ve çıkmasından kaynaklanan şiddetli bir voltaj değişikliği görülebilir. Devinim potansiyeli, nöronların iletişim kurlarını sağlayan elektrik sinyali-dir. Zar potansiyeli (nöronun içiyle dışı arasındaki potansiyel fark) ise, artı yüklü sodyum iyonları nöronun içine girdikçe geçici olarak daha pozitif hale gelir (depolarizasyon). Hücre bir kez depolarize olduğunda, bu yeni voltaj potansiyum kanallarının açılmasına neden olur ve artı yüklü potansiyum iyonlarının hücreyi terk etmesini sağlar (repolarizasyon).

[Fenella Pike, MRC Anatomik Nörofarmakoloji Birimi, Oxford]

....

güçlü ve/veya sürekli ise, pek mükemmel olmayan ve kaçak yapan bir kablodan inen elektrik akımı gibi, bunlar dendritin kollarından aşağıya, hücre gövdesine iletilecektir.

Yoğun ve telaşlı bir tren istasyonunda olduğu gibi onlarca, yüzlerce ve hatta binlerce sinyal herhangi bir anda merkezî hücrede birleşebilir. Sinyallerden oluşan bu baraj, bir anda kendi başına bir elektrik sinyali, bir devinim potansiyeli yaratabilmesini sağlayacaktır. Bu gelen sinyaller hücre gövdesine ulaştıkça, büyük bir üst-değer, nihai bir voltaj değişikliği yara-

tırlar. Eğer hedef hücre içindeki bu yeni net voltaj farkı yeterince büyükse, daha pozitif bir voltaj değişikliğine karşı duyarlı olan sodyum kanallarının açılmasını sağlar. Gene, bu kez ikinci nöronda, yeni bir devinim potansiyeli yaratılır.

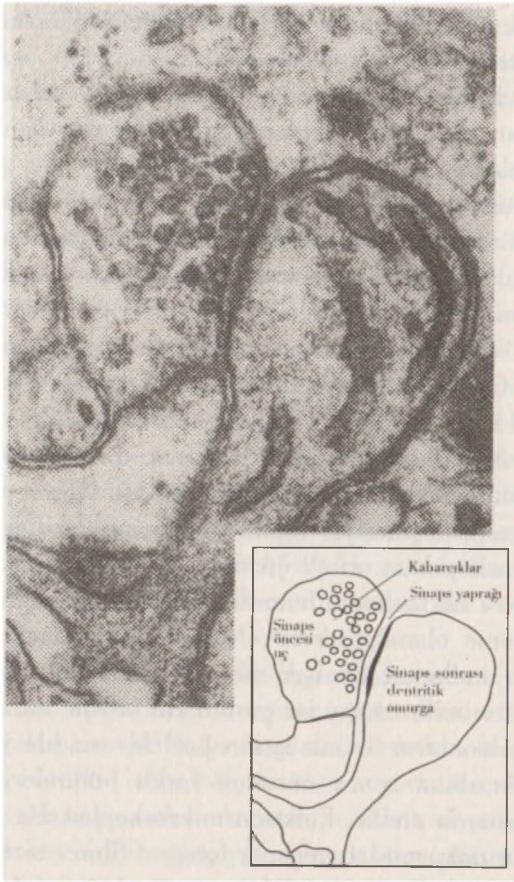
Herhangi bir nöronun devinim potansiyeli her zaman aynıdır ve genelde 90 milivolt civarındadır. Fakat bu tutarlılık bir sorun yaratır: Gelen sinyallerin sayısı veya kuvveti artarsa, sadece tek bir sinyal türü üretebilen alıcı nöron bu farklılıkları nasıl taşıyacaktır? Devinim potansiyeli daha fazla büyütülemeyeceği için, aldığı sinyaller giderek şiddetlendikçe, nöron daha fazla devinim potansiyeli üretmeye başlayacaktır. Bu durumda, nöron daha fazla uyarılmış sayılır. Nöronun az ya da çok şiddetli sinyaller verme biçimi, devinim potansiyeli üretiminin sıklığındaki bir değişiklikle yansıtılır. Saniyede 30 ile 100 Hertz arası bir değer daha normal olduğu halde, bazı nöronlar beş yüz devinim potansiyeline varan (500 Hertz) bir hıza ulaşabilirler. Bir nöronun saniyede yalnızca bir ya da iki devinim potansiyeli üretmesi, yavaş ateşleme sayılır.

Beyindeki çoğu nöron bu şekilde devinim potansiyeli üreterek kendi hedef hücreleriyle iletişime geçer. Devinim potansiyeli için bundan sonraki hayati aşama, hedefine ulaşmasıdır. Dendritlerin nöronun alıcı bölgesi olarak görev yapması gibi, daha ince ve tek başına olan akson da, elektrik sinyallerinin dışarıya gönderilmesi için çıkış yolu olarak işlev görür. Elektrik sinyalinin, yani devinim potansiyelinin iletim hızı aksonun çapına ve miyelin olarak bilinen yağlı bir kılıfla yalıtılmış olup olmadığına göre değişir. Eğer miyelin kılıfı bozulursa, örneğin *multipl skleroz* hastalığında görüldüğü gibi, sinir lifleri elektrik sinyallerini daha verimsiz bir biçimde iletecektir. Normal hareketler o kadar hızlı ve otomatiktir ki, beyindeki bir düşünce ile adale kasılması arasındaki bir gecikmenin kabul edilmesi çok zordur. Beyin süreçleri ve hareketlerimizin hiçbir çaba harcan-

madan bu kadar hızlı olması, sinir iletiminin saatte 390 kilometreye varan hızıyla açıklanabilir!

Nöron içinde bir sinyalin nasıl üretildiği ve ardından kendi aksonu boyunca nasıl gönderildiği bilinse de, daha sonra ne olduğu çok açık değildir. Bizim şimdi öğrenmemiz gereken, bir nöronun sinyali iletebilmek için diğeriyle nasıl bağlantı kurduğudur. Nöronların boyanarak görünür kılınmasından bu yana, bilim insanları bu sorun üzerinde kafa yormuşlardır. Örneğin Golgi, tüm nöronların adeta bir saç filesi gibi birbirine bitişik olduğunu düşünüyordu. O sıralarda ünlü İspanyol anatomist Ramon y Cajal kendisine şiddetle karşı çıkmıştı. Bu iki öncü sinirbilimci uzun süreli bir anlaşmazlık içine girdiler, çünkü Golgi'nin görüşünün aksine Cajal, nöronlar arasında bir boşluk olduğuna inanıyordu. Bu mesele ancak 1950'lerde, müthiş bir atılımın gerçekleşmesiyle kesin bir çözüme kavuşabildi: Elektron mikroskopunun ortaya çıkması.

Elektron mikroskopu, hücreleri inanılmaz derecede büyüterek inceleme olanağını verir. Normal ışık dalgaları ve güçlü mercekler kullanan bir ışık mikroskopu sadece bin beş yüz kat; elektron mikroskopu ise on bin kat büyütebilir. Beynin kesitleri elektronların önünü kesen özel bir madde ile kaplanır, bu madde daha sonra nöronun farklı bölümleri tarafından farklı oranlarda emilir. Elektron mikroskoplarında bir elektron ışını beyin dokusundan geçerek fotoğraf filmi üzerine aktarılır. Hücrenin bir bölümünde elektron yoğunluğu ne kadar fazlaysa, o bölüm film üzerinde o kadar siyah görünür. Elektron mikrograflarında nöronlar, kırılman ve neredeyse çiçek benzeri görünümünü kaybederek, modern sanat ürünü tek renkli bir şeklin soyutlanmış güzelliğine bürünürler. Kuvvetli siyah çizgiler ve daireler, aksonların, dendritlerin ya da somanın parçaları olarak, basit bir gözün seçemeyeceği belirli desenler oluşturur. Fakat sonunda, nöroanatomi uzmanları, içsel düzeni de



ŞEKİL 6.

Bir sinapsın elektron mikrografı (fotoğraf). Sol tarafta, bir sinir sağdan ikinci hücreyle yakın temasa giriyor. Soldaki hücrede içeriklerini dar boşluğa, yani sinapsa boşaltacak olan ve küçük daireler şeklinde görülen, iletili bir kimyasaldan oluşan paketçikler bulunuyor. İleticinin yayılacağı alanlar koyu renkli dar bölgeler şeklinde görülüyor. Bu iki nöronun şeması, aşağıdaki çizimde gösterilmiştir.

[Levitani ve Kazmarek'in *The Neuron* adlı kitabından uyarlanmıştır]

dahil olmak üzere, nöronun farklı bölümlerini nihayet ayırt edebilmektedirler. (Bkz. Şekil 6)

Bilim adamları beyni bu kadar isabetli bir biçimde inceleme olanağını buldukları anda, nöronlar sırlarından birini açığa vurmuş oldular. Nihai yanıt, Cajal'ın haklı olduğunu gösteriyordu: Nöronlar arasında gerçekten de bir boşluk —bir sinaps— vardır. Beyindeki nöronlar, farklı hücre parçalarının yan yana gelmesiyle sinaptik temas kurarlar. Dendritler diğer dendritlerle, aksonlar diğer aksonlarla sinaps oluşturabilir ve aksonlar hedef hücrenin gövdesiyle doğrudan temas kurabilirler. En sık rastlanan sinaps şekli, hücrenin dışı doğru uzanan parçası olan aksonun alabildiğine uzanmasıyla, en uç noktası olan akson terminalinin, hedef hücrenin dallanıp budaklanan bölümüyle, yani dendritle sinaps oluşturmastır.

Sinaps kavramı ise hemen bir problemi akla getirir. Şimdi, saatte 390 kilometre hızla hareket eden bir sinyalin —elektrik akımının— aksonun ucuna ve dolayısıyla sinapsa ulaştığını düşünün. Evet, aksonun ucu (akson terminali) uyarılmıştır ve potansiyel kısa bir süre için daha pozitifdir. Fakat bu uyarı dalgası nereye gidecektir? Bir boşluk, yani sinaps tarafından durdurulduğunda, bir diğer nörona gidecek sinyal olarak nasıl kullanılabilir? Bu bir bakıma araba kullanırken bir nehirle karşılaşmaya benzer; ideal, ancak pahalı bir strateji, arabayı bırakıp daha uygun bir ulaşım aracı —bir tekne— bulmak olacaktır. Bize gereken şey ise, elektrik sinyalini sinapsı aşabilecek bir sinyale dönüştürmenin yoludur.

19. yüzyıldan bu yana, kimyasalların nöronlar arasındaki iletişime bir şekilde dahil olması, insanların hayal gücünü zorlamıştır. Güney Amerika'daki Kızılderililerin avlandıkları sırada kullandıkları zehrin etkisi, bir Fransız olan Claude Barnard'ı büyülemişti. Avcılar oklarının ucunu kürar denen bir maddeye batırıyorlardı. Ok, avın vücuduna girdiğinde, avı anında öldürmek yerine felç ediyordu. Barnard, bu öldürücü

zehrın vücuttaki sinirlere bir biçimde müdahale ettiğini öne sürdü.

Barnard'ın haklı olduğu, ancak 20. yüzyılın başlarında kanıtlanabildi. Kürarın, sinirlerden kaslara salgılanan doğal oluşumlu kimyasalın önünü keserek etkili olduğu keşfedildi. Nefes aldığınızda diyaframınız, bir sinir yardımıyla yukarı ve aşağı doğru hareket eder. Tabii ki, bu sinirden gelen sinyallerin önü kesilirse diyaframınız çalışmaz ve nefes alamazsınız. Zehrın öldürücü etkisi de bundan ibaretti: boğulma sonucu ölüm. Doğal olarak oluşan bu kimyasalın sinirlerarası iletişimde hayati bağlantıyı nasıl sağladığı, 1929'da Avusturyalı Otto Loewi tarafından açık bir şekilde ortaya konulmuştur. Hikâyeye göre Loewi, birkaç akşam üst üste gördüğü bir rüyadan esinlenerek harekete geçmişti. Attığı ilk adım zaten bilinen bir şeyi tekrar etmektir: eğer kalbi kuvvetten düşürecek bir sinir (vagus) uyarılırsa, kalp yavaşlar. Burada önemli olan, Loewi'nin üzerinde deney yaptığı kalp ve ona eşlik eden sinirin bedeninde bulunmadığına dikkat etmektir. Organ canlıydı, ama normal koşullarda vücutta bulunan sıvının bir benzeri içine batırılarak oksijenli bir özel bölmede yalıtılmıştı.

Bu deneyin en çarpıcı yönü ise Loewi'nin kalbin içinde bulunduğu sıvıyı alıp, uyarılmamış ikinci bir kalbe aktarmasıydı. Loewi, bu ikinci kalbin uyarılmamış olmasına rağmen yavaşladığını bulguladı. Buna getirilebilecek tek açıklamaya göre, ilk kalbin uyarılması sonucunda *sıvının içine bir kimyasal salgılanmış* olmalıydı. Dolayısıyla da, sıvı ikinci kalbe uygulandığında, içinde aynı kimyasal bulunduğu için, meydana gelen etki birinci kalp üzerindeki etkinin aynısı olmuştur. Bunun, kürar tarafından önü kesilen kimyasal madde olduğunu artık biliyoruz: bu maddenin adı asetilkolindir. Asetilkolin, sinyal gönderme sürecindeki en önemli bağlantı olarak, beyindeki farklı sinirler ve nöronlardan salgılanabilen birçok farklı kimyasal maddenin

prototipidir. Bunlara verilen genel ad, *sinir ileticileridir* (transmitters).

Asetilkolinin kalp üzerindeki etkisine ilişkin bu buluş, beyin hücrelerinin sinaps sırasında nasıl iletişim kurduklarının anlaşılmasını sağlayacaktı. Elektriksel uyarımın doğal olarak oluşan bir kimyasal sinirden serbest bıraktığını bir kez anladıktan sonra, bir aksonun ucu elektrik sinyali tarafından etkili bir biçimde uyarıldığı zaman beyin sinapsında neler olabileceğini daha iyi görebiliriz. Devinin potansiyeli, yani elektrik sinyali aksonun ucuna ulaşır ulaşmaz, asetilkolinin sinaps içine salgılanmasını sağlayan koşulları yaratmış olur.

Sinyal veren hücrenin aksonunun ucunda, sinir terminali içinde, asetilkolin küçük paketler halinde depolanır. Bir devinin potansiyeli akson boyunca yayılıp bu uç bölgeyi istila eder etmez, voltajdaki bu geçici değişiklik, bazı paketlerin sinapsın içine içeriklerini —yani büyük önem taşıyan asetilkolini— boşaltması için tetikleyici bir işlev görür. Gelen elektrik sinyalleri ne kadar fazlaysa, o kadar çok paket boşaltılarak asetilkolin salgılanır. Bu şekilde, başlangıçtaki elektrik sinyali sadık biçimde bir kimyasal sinyale dönüşür: devinin potansiyellerinin sıklığı arttıkça, daha çok asetilkolin salgılanır.

Asetilkolin bir kez salgılandığında, tüm nöronların dışında bulunan akışkan, tuzlu sıvı sayesinde rahatça yayılarak bir teknenin nehri aşması gibi çabucak sinapsı aşar. Ne var ki zaman ölçekleri son derece farklıdır: Bu tür kimyasallar görece küçük moleküller olduklarından, sinaps boşluğunu aşmaları saniyenin binde biri kadar bir zaman alır. Peki ama bir kimyasal madde, asetilkolin gibi salt bir molekül, mesajı nasıl iletir?

Gelin araba ve tekne benzetmesine dönelim: Nehir engelini aşıp yolculuğumuza gene kara üzerinde devam etmek durumunda olduğumuz anda, teknenin yerini tekrar araba alacaktır. Kimyasal sinyaline dönüşmüş olan başlangıçtaki elektrik sinyalinin, şimdi elektrik itkisine (impuls) dönüşmesi gerekir.

Asetilkolin ya da herhangi bir sinir ileticisinin, hedef nöronun içindeki elektrik durumunda, yani voltajda geçici bir değişikliğe nasıl yol açabildiğini anlamamız gerekir.

Sinapsın diğer tarafına varır varmaz, sinir ileticisinin her bir molekülü hedef nöronla bir çeşit bağlantı kurmak zorundadır. Sinir ileticisi, bir tekne gibi limana yanaşma ihtiyacını duyacaktır. Hedef nöronun dışında çok büyük moleküller, alıcı denilen proteinler vardır. Bunlar bir anahtarın kilide veya bir elin eldivene uyması gibi özgül bir kimyasala tıpatıp uyacak şekilde tasarlanmıştır.

Alıcı, eski bir kimyasalın kendisine tam olarak uymasını sağlamakla kalmayıp, moleküler konfigürasyonun mükemmel bir dengi olan özgül bir eşleşme oluşturmak zorundadır. Sinir ileticisi, alıcıya kilitlenerek ona bağlanır bağlanmaz, ilk iki molekülün karmaşığı olan yeni bir kimyasalın yaratılması, bundan sonraki bir dizi olayın gerçekleşmesi için tetikleyici bir işlev görür.

İletici molekülün hedef hücre üzerindeki alıcı proteine kenetlenmesiyle, sodyum veya diğer iyonlardan birinin geçeceği kanalların açılması için moleküler bir başlangıç işareti verilmiş olur. Bu yüklü atomların herhangi birinin girişi veya çıkışı, hedef hücredeki potansiyel farkta geçici bir değişiklik şeklinde yansıtılacaktır. Buna karşılık potansiyel farktaki bu değişiklik de dendritlerden aşağıya hücre gövdesine iletilen birçok elektrik sinyalinin sadece birisi haline gelir.

Bir anlamda, devri tamamlamış olduk. Hücreye ulaşır ulaşmaz, bu özel elektrik sinyali, gelen diğer sinyallerin on binlercesiyle birlikte, hedef hücredeki voltajda nihai bir net değişikliğe katkıda bulunacaktır. Gene voltajdaki bu net değişiklik yeterince belirginse, sodyum kanalları hücre gövdesinin yakınında açılarak bu yeni hedef hücre içinde bir devrim potansiyelini kışkırtacaktır. Dolayısıyla, yeni hedef hücrenin kendisi bir sinyal göndererek, yine bir sonraki hedef hücreye çarpan binler-

cesinden biri haline gelecek ve bu, üst üste tekrarlanan bir elektriksel ve kimyasal olaylar zinciri şeklinde devam edecektir.

Beynimizin içinde, yüz milyar kadar nöron vardır. Yüz milyarın büyüklüğü hakkında fikir sahibi olmak için, Amazon yağmur ormanları uygun bir benzetme olabilir. Amazon yağmur ormanları 7.800.000 kilometre karelik bir alana yayılır ve içinde yaklaşık yüz milyar ağaç bulunur. Fakat benzetme burada sona ermemelidir: Nöronlar arasındaki bağlantıları düşünersek, bunların Amazon ormanlarındaki ağaçların yaprakları kadar çok sayıda olduğunu söyleyebiliriz. Herhangi bir anda yüz milyar nöronumuzun sadece yüzde 10'u sinyal gönderse bile, meydana gelecek kimyasal ve elektriksel etkinliğin şevkini global bir ölçekte hayal etmek imkânsızdır.

Ne olursa olsun, beynin neden bu şekilde çalışması gerektiği hemen anlaşılabilecek bir şey değildir. Sonuçta beyin, bir dizi karmaşık kimyasal tepkime gerektiren iletici maddeleri bir araya getirmek için çok fazla enerjiye ihtiyaç duyar. Ayrıca, elektriksel-kimyasal-elektriksel sinyaller zinciri açıkça, ancak sinir ileticisi işini bitirdikten sonra sinapstan çabucak kurtulursa çalışır. Bu ayrılma süreci bile yine enerji gerektirir. Bunun nedeni, ya enerji tüketen hücrenin içinde sinir ileticisinin yeniden emilmesi, ya da sinir ileticisinin enerji tüketen enzimler tarafından nöronun dışında parçalanacak olmasıdır.

Bu kimyasal sinyaller sistemiyle ilgili diğer bir sorun da zamandır. Küçük moleküllerin sinapsı aşarak hızla yayıldığını görmüştük, fakat sinaptik iletim sürecinin tamamı birkaç milisaniye sürer. Nöronlar birbirleriyle kaynaşarak sadece ani elektrik itkilerini iletecek şekilde çalışsalar, çok daha hızlı olurdu. Zaman zaman, nöronların birbirleriyle kaynaştığı ve kimyasal bir sinapsa ihtiyaç kalmadığı, nöronlar arası doğru- dan temaslar gerçekleşir. İronik bir biçimde, Golgi'nin en azından bu olaylarda haklı olduğu anlaşılmıştır. Bu tür senaryolar-

da hiçbir sinir ileticisi kullanılmazsa da, elektrik sinyali bu düşük dirençli temaslarla (boşluk birleşmeleriyle) kolay ve hızlı bir biçimde iletilir. Bu şekilde gerçekleşen elektriksel iletim çok hızlı olmanın yanı sıra, enerji tüketen kimyasalların kullanımını da gerektirmez. Gene de beyindeki sinapsların çoğunluğu kimyasaldır. O halde kimyasal iletimin bu durumda, böylesi bir zaman ve enerji israfını doğrulamak açısından müthiş yararları olmalıdır.

Kaç tane girdinin hedef hücreyle sinapslar oluşturabildiğine bir kez daha bakalım: bu sayı hemen hemen 100 bin kadardır. Gördüğümüz gibi her seferinde, her girdinin uçlarını istila eden devinim potansiyellerinin sayısına bağlı olarak, farklı miktarlarda sinir ileticileri salgılanacaktır. Nöronun etkinleşme biçimi sabit olmayıp, yüz bine varan ayrı örnekte *değişkenlik* gösterebilir. Ayrıca her biri kendine özgü hedef üzerinde çalışan pek çok değişik kimyasala sahip olmaları sayesinde, farklı sinir ileticilerinin nihai voltaj üzerinde farklı etkileri olacaktır. Buna karşılık elektriksel iletim ise, her bir nöron birleşme yerinin pasif iletme özellikleriyle sınırlanacaktır. Kimyasal iletimle kıyaslandığında, elektriksel iletim, hızlı ve ekonomik olmasına karşın, çok daha az değişkendir. Diğer taraftan kimyasal iletim, beyne müthiş bir çokyönlülük kazandırır: değişik kimyasallar, farklı zamanlarda farklı kapsamlara ulaşmak için farklı faaliyetlerde bulunurlar.

Bazen bir sinir ileticisi, nöronların iletişiminde daha da incelikli bir rol oynayabilir. Kendisi bir mesaj geçirmese bile, hedef hücrenin gelen mesaja yanıt verme biçimini saptırabilir. Nöron sinyallerinin bu şekilde saptırılması, nöromodülasyon olarak bilinir. Artık aşına olduğumuz sinaptik iletim olaylarıyla karşılaştırıldığında görece yeni olan nöromodülasyon kavramı, kimyasal sinyaller sistemine daha da fazla güç katar. Bedenden ayrı tutarak sadece tek bir olay açısından incelediğimiz klasik sinaps iletiminin tersine, hedef hücrenin yanıtını saptır-

ma fıkri, fazladan bir zaman dilimi boyutunu kapsar: önce sap-tırma olayı meydana gelir. Ardından pekiştirilecek veya körelti-lecek olan asıl sinyal oluşur. Bir video filminin enstantane bir fotoğrafı tamamladığı gibi, nöromodülasyon da klasik sinaps iletimini tamamlar. Belirli bir süreliğine ortaya çıkan bir sap-manın elektrik akımının bir hücreden diğerine pasif dağılımıyla gerçekleşmiş olması çok zordur.

Beyni bilgisayarlara örnek almak isteyenlerin gözünü korku-tan şey, en azından benim bakış açım göre, beyin işlevinin bu özgül-kimyasal özelliğidir. Nöron ağına çok güçlü bir elektron mikroskopuyla bakarsak, görüntü entegre devre levhasından çok, arap saçı gibi düğüm kütleleri içine gömülü esrarengiz yumrular içeren bir çeşit kazanı andırır. Yine de devre levhası ya da bir kimya fabrikasındaki ürünlerin çeşitliliği, beyin sa-hip olduğu hassas bağlantıların ancak soluk bir yankısı olabilir. *Farklı* kimyasallar tek bir hücrede birleşen farklı girdilerden salgılanacak ve herhangi bir anda etkinleşeceklerdir. Bunun yanı sıra, bu verilerin etkinlik derecesine bağlı olarak, farklı *miktarlarda* sinir ileticisi salgılanacaktır. Son olarak, her sinir ileticisi, içeriğini, hedef hücrenin voltajını kendine özgü bir bi-çimde etkileyen *kendi* alıcısı içine boşaltacaktır. Dolayısıyla her aşamada farklı iletici kimyasal bileşimlerini kullanan beyinde, müthiş bir esneklik ve çokyönlülük söz konusudur.

Bu moleküler senfoninin, bir bilgisayarın içindeki senaryoy-la karşılaştırılabileceğini söylemek zordur. Birincisi ve açıkçası, beyin esas olarak kimyasal bir sistemdir — ürettiği elektrik bile kimyasal kökenlidir. Daha da önemlisi, nöronun içinde ve dı-şındaki iyon akışlarının ötesinde, hücre içindeki telaşlı ama ka-palı dünyada sürekli olarak bir sürü kimyasal tepkime oluş-maktadır. Bazıları hücrenin ileride sinyallere nasıl karşılık ve-receğini belirleyen bu olayların, doğrudan elektriksel bir karşı-lığı ya da bilgisayarla basit bir benzerliği yoktur.

İkincisi, nöronların kendi kimyasal bileşimi değişmektedir,

dolayısıyla da bir dizi programlanabilen yazılıma karşılık, ayrı ve değişmeyen bir donanımı yoktur. Ayrıca, beynin içinde sürekli değişme becerisi, bizi silikon halindeki sistemlerden üçüncü bir ayrıma götürür: tabii ki bilgisayarlar "öğrenebilir", fakat çok azı aynı komutlara yeni yanıtlar vermek için devamlı değişir.

Evet, gelişmiş robot aygıtları belirli verilere uyarlanmak için görünüşte kendi devrelerini tekrar tekrar düzenleyebilirler, ama yine de programlanmış olan bir dizi kurala –algoritmalara– uymaktadırlar. Beynin mutlaka algoritmalara göre çalışması gerekmez: Örneğin sağduyunun kuralı ne olurdu? Fizikçi Niels Bohr bir seferinde bir öğrenciyi 'Sen düşünmüyorsun, sadece mantıklı davranıyorsun' diye azarlamıştı. Aslında, beynin dışsal bir zekâ tarafından programlanmaz: Sadece "öyle hissettiği" için kendi bedenini bir yürüyüşe çıkarmaya karar verdiğinde, beyin proaktiftir, kendiliğinden çalışır. Bilgisayarlar beynin yaptığı işlerin bir kısmını yapabilir ama bu, ikisinin benzer bir şekilde çalıştıklarını ya da benzer bir amaca hizmet ettiklerini kanıtlamaz. Hiçbir şey yapmayan bir bilgisayar kendi ana işlevine meydan okumuş olur; hiçbir şey yapmayan bir insan ise ilham alıyor olabilir.

Nöronlar arasındaki kimyasal iletişime bakarak edinilen bir başka içgörü de, tek bir sinapsta meydana gelen bir olaydan beynin bir işlevini tahmin etmek için yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya yaklaşımlarını bağdaştırmanın neden bu kadar zor olduğunu anlayabilmektir. Beyin gitgide karmaşılaşan devrelerin içindeki ayrı nöronlardan inşa edilmiştir. Bu bağlantılar, bir sıra halinde el ele tutuşan insanlar topluluğu ya da bir mesajın sıranın bir ucundan diğerine geçirilerek sonuçta tamamen çarpıtıldığı kulaktan kulağa oyunu gibi değildir. Unutmayalım ki, on binle yüz bin arası nöron, belirli bir nöronla temas kurmaktadır. Ayrıca, belirli bir nöron, ağ içinde bir sonraki hücre için binlerce veriden biri haline gelecektir. Eğer beyin-

den sadece bir kibrit ucu büyüklüğünde bir kesit alsaydık, o yüzeyin üzerinde bir milyara varan bağlantı bulabilirdik.

Beynin dış katmanı olan korteksi ele alalım. Bu dış katmandaki nöronlar arasındaki bağlantıları, saniyede bir bağlantılık bir hızla saymaya kalksak, otuz iki milyon yıl sürer! Sırf hominidlerin (insansıların) yedi milyon yıl önce evrildiklerini anımsarsak, insanoğlunun evrilmesine kıyasla dört kat uzun bir süreyi hesaba katmamız gerekir. Sadece korteksin içindeki bağlantılardan oluşan farklı bileşimlerin sayısı ise, tüm evrendeki artı yüklü parçacıkların sayısını aşacaktır!

Beyin işlevinin herhangi bir sinaps ya da sinir ileticisi sınıfı ile birebir basit bir ilişkisi yoktur. Bir senfoninin tek bir trampet sesi ile doğrudan ilişkisi olmadığını söylemek kaba ve basit bir benzetme olurdu. Beyne aynı anda hem yukarıdan aşağı hem de aşağıdan yukarı perspektiften bakmanın bir yolu, uyuşturucuların etkisini ele almaktır. Uyuşturucuların tek sinapsta kimyasal iletişimi değiştirirken, davranışı nasıl etkilediğini gösterebiliriz. Sonuçta, görünüşte bireysel olan ve değişmeyen bir zihin, tamamen bizim fiziksel beynimizin, yani nöronlarımızın insafına kalmıştır.

İnsanların ruh hallerini değiştirmek için aldıkları birçok madde arasında en yaygın olanı nikotindir. Nikotin, sigaradan çekilen ilk nefesten sonra on saniye içinde beyne ulaşır ve sigara içen kişinin eşzamanlılığını yitiren EEG’inde ani değişiklikler görmek mümkündür (bkz. 2. Bölüm); bu ise, daha gevşemiş bir halin belirtisidir.

Nikotin aslında, normal olarak asetilkolin ileticisi için ayrılmış olan bir alıcı türü —boşaltma bölgelerinden biri— üzerinde faaliyet gösterir. Bu faaliyet, bir maddenin etkileme yollarından birine örnek teşkil eder: doğal bir sinir ileticisinin etkilerini taklit etmek. Ne var ki bu, iki nedenden dolayı asetilkolinin normal faaliyetlerinin taklidinden çok, onun bir tür karikatürünü andırır. Birincisi, alıcının uyarılma derecesi normalde

asetilkolinin kendisi için söz konusu olandan çok daha fazladır. Beyinde asetilkolin alıcılarının tekrar tekrar ve abartılı biçimde uyarılmasının, beynin işleyişi üzerinde uzun vadeli etkileri olacaktır: Alıcılar, normalde asetilkolin tarafından uyarılmaları gerekenden çok daha fazla uyarıldıkça, duyarlılıkları da gitgide azalacaktır. Hedef nöronlar, bu yapay biçimde yüksek kimyasal düzeylerine alıştıkları için, yavaş yavaş buna bağımlı hale gelirler: Normal miktarda asetilkolinle görevlerini normal biçimde yerine getiremezler. Dolayısıyla da uyuşturucunun sağladığı anormal miktarda uyarıya ihtiyaç duyulur. Bağımlılığın kimyasal tabanı işte budur.

İkincisi, asetilkolin daha dengeli hareketler elde etmek için çeşitli alıcı türleri üzerinde etkili olurken, nikotin sadece tek bir alıcı türü üzerinde etkilidir. Bu da yine tek taraflı etkilerle sonuçlanır. Bu dengesiz etkiler beynin dışında daha genel biçimde ortaya çıkar: Nikotin bedeni savaş durumuna sokar ve onu savaşmaya ya da kaçmaya hazırlar. Kalp atışları ve kan basıncı artar. Sigara tiryakisinin savaş ya da kaç durumunda olduğuna dair beyne gelen geribildirim kendi başına heyecan ya da keyif verici olabilir. Aslında sigara tiryakisi genellikle, sadece beynin ilgili alıcılarının daha fazla uyarıya ihtiyaç duyduğu sinyali vermesiyle sigarasını yakar.

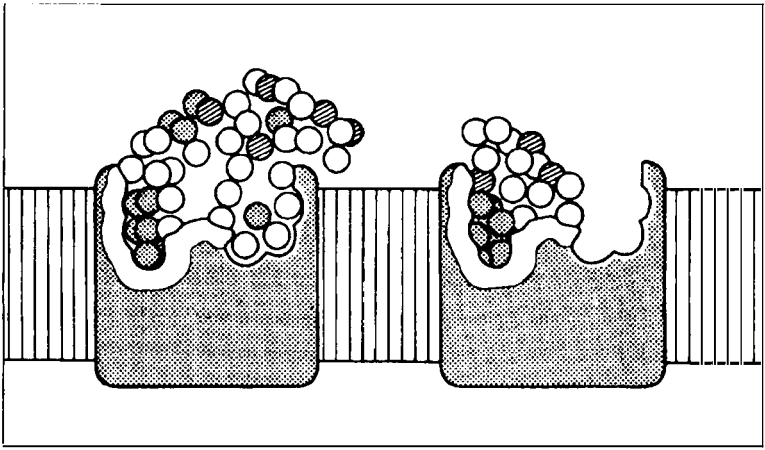
Doğal bir sinir ileticisinin karikatürü gibi davranan başka bir uyuşturucu ise asetilkolinden farklı olan morfindir. Morfin özel bir haşhaş bitkisi türünden yapılır: Adını uyku tanrısı Morphos'tan almıştır çünkü kişinin kendini yarı uykulu ve gevşemiş hissetmesini sağlar. Eroin ise morfinin bir türevidir ve beyne daha çabuk ulaşması için kimyasal açıdan değiştirilmiş şeklindedir. Eroin bağımlılarının bu maddeyi tercih etmelerinin nedeni, beyne daha kolay girerek onlara daha çabuk "uçuş" hissini vermesidir. Eroinin yan etkileri, göz bebeklerinin küçülmesi, kabızlık ve öksürme refleksinin bastırılmasıdır. Aslında, bu son

iki etkisi nedeniyle öksürüğe ve ishale karşı ilaçlarda kullanılan etkili bir karışım maddesi olarak satılmaktadır.

Morfin ve eroinin zararlı etkilerinden biri de, beynin temel bölümü olan, omuriliğin hemen üzerinde, beyin sapında bulunan ve nefes almayı kontrol eden solunum merkezine yaptığı doğrudan engelleyici bir etkiyle solunum hızını yavaşlatmasıdır. Bazen bu engelleme o kadar şiddetlenebilir ki, solunum tamamen durur ve kişi ölür. Aslında nefes almanın engellenmesi, eroin bağımlılığında rastlanan çoğu ölüm vakasının nedenidir.

Bariz tehlikelerine karşın morfinin klinik açıdan en değerli etkisi ağrıyı hafifletmesidir. Bilinen en etkili ağrı kesicidir, ancak bağımlılık oluşturan özellikleri nedeniyle yalnız çok şiddetli ya da kronik ağrısı olan veya ölümcül hasta kişilerin tedavisinde tercih edilir. Ağrının doğası hakkında müthiş bir içgörü, morfin alan hastalardan edinilmiştir: çünkü çoğunlukla ağrıyı hissettiklerini, fakat bunun kendilerini fazla rahatsız etmediğini söylerler. Peki bu, ağrı çekmeyen sağlıklı insanların sırf "zevk" için neden eroin kullandıklarını açıklayabilir mi? Belki benzer biçimde, eroin bağımlısı da artık hayatın günlük endişelerinden ve sıkıntılarından rahatsız olmamaktadır. Eroin kullanmanın nedeni kısa zaman içinde sadece şiddetli bir arzuyu tatmin etmeye dönüşür.

Şimdi sinapsı tekrar gözden geçirelim. Morfin, bedenimizde doğal olarak oluşan çeşitli sinir ileticilerini taklit ederek faaliyet gösterir. Morfin, belirli sinir ileticileri (enkefalin, endorfin ve dinorfin; bkz. 2. Bölüm) için varolan alıcı proteine tam olarak uyacak kadar benzer bir moleküler konfigürasyona sahiptir. Bu nedenle hedef nöronu kandırarak, onu doğal kimyasal habercisi tarafından etkinleştirilmekte olduğuna inandırabilir. Bedenimizde, aynen asetilkolin gibi belirli nöronlar arasında sinyal taşımaya yarayan bu doğal failerin bulunduğu keşfedilmesiyle, 1970'lerde büyük bir ilerleme kaydedildi. Ayrıca, bu



ŞEKİL 7.

Kimyasal bir ileticinin kendi uzmanlaşmış alıcısına oturması. Sol tarafta beynimizde doğal olarak oluşan bir maddenin özel bir alıcıya tam olarak yerleşmesi gösteriliyor. Bu etkileşim nöron içindeki elektrik sinyallerini uyarır. Uyuşturucuların, benzer bir şekle sahip oldukları için, sinir ileticisinin faaliyetini aynen taklit etmeleri sağlanabilir. Bu örnekte enkefalin ileticisine benzer bir şekle sahip olan uyuşturucu, morfindir.

[C. Blakemore'un *The Mind Machine* adlı kitabından uyarlanmıştır
(BBC Books, 1998)]

....

normal sinyallerin en azından bir kısmı, normal koşullarda ağrıyı hafifletmek açısından önemli görünmektedir; örneğin, eğer enkefalinin faaliyeti belirli bir uyuşturucu (nalokson) tarafından engellenirse, ağrıyı daha kötü algılarız. Benzer biçimde nalokson, akupunkturun en azından bazı analjezik etkilerini engeller (bkz. 2. Bölüm). Akupunktur analjesinin endorfinlerle yaptığı aracılık, etkinin yavaş başlaması kadar, iğneler çekildikten sonra bile sürmesine de açıklama getirebilir. Belki de akupunktur iğneleri kritik noktalara batırıldığı için, etkisini kısmen, enkefalin ve ilgili bileşiklerin salgılanmasına neden olarak göstermektedir.

Eroin kullanımı ile beyindeki enkefalinin doğal faaliyeti arasındaki fark nedir? Beynimizde doğal olarak oluşan morfin/eroın benzeri bir madde var diye, eroın bağımlısı olma riski altında değiliz. Opioid peptidlerle morfin arasındaki fark, yine asetilkolinle nikotin arasındaki farka benzer. Opioid peptidler, beyinde farklı zamanlarda, farklı yerlerde ve küçük miktarlarda salgılanacaktır. Ancak, eroın ya da morfin gibi bir uyuşturucu alındığında, bir seferde beynin tüm olası bölgeleri üzerinde, ilgili sinapsların her birine etki edecektir: Normal alıcı bölgelerini atlayacaktır. Alıcı bölgenin aşırı etkinleşmesinden doğan sonuç, bu yüksek miktarlardaki kimyasal maddeye alışması ve normal miktarlara karşı duyarlılığının azalmasıdır. Bu düzen bozukluğu süreci, aynı etkiyi elde etmek için gitgide daha fazla uyuşturucuya ihtiyaç duyulana kadar devam eder. Yine, bağımlılık kaçınılmaz bir sonuçtur.

Tehlikeli ve bağımlılık yapan bir başka uyuşturucu kokaindir. Bu, daha yeni olan crack kokaine benzer, ancak üzerinde yapılan kimyasal değişiklik sayesinde crack, burun yerine ağızdan çekilebilir. Kokain, And Dağları'nda deniz seviyesinden 1000-3000 metre yukarıda yetişen koka bitkisinden elde edilir. Bu yaprakların yıllık olarak yaklaşık 9 milyon kilogramı Peru'nun dağlık bölgelerinde yaşayan 2 milyon kişi tarafından, keyif almak için çiğneyerek ya da emilerek tüketilir. Kokain, beyinde noradrenalin adı verilen kimyasal bir sinir ileticisi üzerinde faaldir. Asetilkolin ve endorfin ileticilerinin faaliyetlerini doğrudan taklit eden nikotin ve morfinin aksine, kokain farklı bir biçimde çalışır. Bu madde, doğal olarak oluşan kimyasalın kullanılabilirliklerini artırır. Kokain, noradrenalinin görevi sona erdiğinde normal olarak faaliyet alanından uzaklaştırılma sürecini durdurur: Sinir ileticisinin nöronun içinde emilmesine engel olur, böylece doğal olmayan bir şekilde etkisini sürdürür.

Kokain tehlikelidir çünkü sadece beyindeki noradrenalinin kullanılabilirliğini artırmakla kalmayıp vücut içinde daha genel

bir etki gösterdiği yerde, sinirlerin hayati organları kontrol ettiği noktada bu ileticinin düzeyini yükseltir. Noradrenalinin etkisi, vücutta sahte bir stres durumu meydana getirmesidir. Nabız ve kan basıncının artmasıyla bir felç riski ortaya çıkabilir. Amfetaminin de benzer bir etkisi vardır ve aşırı miktarda noradrenalin ile onun öncüsü olan dopamin adlı kimyasal ileticinin salgılanmasına yol açar. Ayrıca, amfetamin bu güçlü sinir ileticilerinin nöronlar içinde tekrar emilmelerini engelleyerek kullanılabilirliklerini artırır. Dolayısıyla da dopamin ve noradrenalin sinaps içinde gerekenden çok daha uzun süre etkin olurlar.

Dopamin, noradrenalin ve hatta asetilkolin, korteksin daha gelişmiş bölgeleri ile hemen yakınındaki korteksaltı yapılan üstünde bulunan beynin ilkel kısmında (beyin sapı) fısıkiye gibi yayılmış olan sinir hücresi demetlerinden salgılanır (bkz. 1. Bölüm). Bu geniş yelpazeli kimyasal iletiler sistemi, uyku ve uyanıklığı da içeren uyarılma düzeyleriyle ilişkilidir. Ayrıca beynin her yerindeki nöron etkinliğini saptırıp değiştirebilirler. Bu sistemleri değişikliğe uğratan uyuşturucuların, uyarılma düzeylerini de değiştirmeleri olağandır. Örneğin amfetamin kullanıcıları yerinde duramazlar. Yoğunlaşamazlar ve dikkatleri dış çevredeki nötr nesneler ve olaylar tarafından kolayca dağıtılabilir. Amfetamin kullanıcıları, zihinlerinde olup bitenleri düzenli bir biçimde değerlendirecek içsel kaynaklardan yoksun oldukları için dış dünyaya bağımlı olmaları bakımından, şizofrenlere benzerler.

Bağımlılık yapan üçüncü bir madde olan ecstasy (3,4-metildioksi-metamfetamin, MDMA), beyin sapından yukarıya ve dışa doğru uzanan dördüncü bir iletiler sistemi (serotonin olarak da bilinen, 5-HT) hedefler. Cisimsizleşmenin yanı sıra aşırı keyif hissi verdiği için, ecstasy bir halusinojen olarak nitelendirilir. Bu madde aşırı serotonin salgılanmasına yol açar. Beynin serotonin baskınına uğraması, vücut sıcaklığının düzenlenmesini sağlayan metabolizma üzerinde dramatik etkiler doğurur.

Öfori (keyif) hissine ek olarak bu madde hiperaktiviteye de yol açar; bu durmak bilmeyen ve tekrara dayalı hareketler, ecstasy'nin sıklıkla kullanıldığı çılgın partilerde dans eden kişilere has bir özelliktir. Benzer bir etki sıçanlarda da görülebilir. Bir kutu içine konulan normal bir sıçan dikilme, koklama, yürüme, yalama gibi çeşitli hareketler yaparak içinde bulunduğu ortamı araştırır. Ecstasy verilen bir sıçan ise normal davranış repertuarının dışına çıkarak aynı hareketi defalarca tekrarlar. Bu tekrarlanan hareket, uyuşturucu etkisindeki insanlarda görülen yinelemeye dayalı dans hareketlerinin ürpertici bir benzeridir.

Ecstasy'nin etkilerinin aşırı serotonin salgılanmasından mı yoksa bunun hemen ardından ileticinin tükenmesinden mi kaynaklandığı henüz bilinmiyor. Yine de, sıçanlarda sürekli ecstasy kullanımının uzun vadede, beyin sapından yukarıya ve dışa doğru beynin üst bölgelerindeki yaygın bir alana fiskiye gibi akson püskürten nöron kümelerinin (raphe nuclei) ölümüne sebep olduğuna dair ciddi deliller bulunmaktadır. Bu nöronlar, uyku da dahil olmak üzere bir dizi çok temel işlevin düzenlenmesiyle ilintilidir.

Bu fiskiye gibi serotonin salgılayan nöronlar, aynı zamanda birçok antidepresan ilacın da hedefidir. Pek çok antidepresan, serotoninin kullanılabilirliğini artırır, ama bunu farklı bir mekanizmayla ve nöronların ölümüne yol açmadan yapar. Bilinen en popüler antidepresan olan Prozac bu şekilde etki yapar. Ne var ki, eğer serotoninin kullanılabilirliğindeki artış "mutluluk"la ilişkiylese, ecstasy gibi serotonin salgılanmasını artıran bir uyuşturucunun kullanımı da kısa vadede benzer bir etki oluşturacaktır. Eğer antidepresanların tersine, ecstasy'nin defalarca kullanımı sinir uçlarının ölmesiyle sonuçlanıyor ve istikrarlı biçimde serotonin tükenmesine yol açıyorsa, sürekli kullanılan ecstasy'nin depresif bir yan etki oluşturacağı öne sürülebilir. Gerçekten de, uzun süreli ecstasy kullanımının depresyon ve intihara yol açabildiğine dair veriler vardır.

Harekete geçirdikleri beyin kimyasallarının çeşitliliği ve müdahale ettikleri sinaptik iletimin farklı aşamaları nedeniyle, uyuşturucuların beyni birçok yoldan etkilediğini görebiliriz. Nikotin ve morfin, doğal olarak oluşan belirli bir bileşiği, onun alıcısıymış gibi davranarak taklit ederler, kokain ise sinapstan geçerek dağılmadan önce başka türden bir maddenin kullanılabilirliğini artırır. Ecstasy, üçüncü bir iletici kimyasal türünü ortadan kaldırması bakımından farklıdır. Beynimizde çok sayıda iletici kimyasal bulunduğu için uyuşturucular hem çok çeşitli yollardan etki ederler hem de özgül bir hedefleri vardır. Uyuşturucuların yapabileceği şeyleri bir dereceye kadar bilsek de, uzun vadeli etkileri ve vücudun diğer kısımları üzerindeki yan etkileri konusunda tam bir bilgi sahibi değiliz.

Belki de en çözümsüz konu, bilinen moleküler/hücresele değişim ile hislerimizdeki değişiklik arasındaki bağıdır. Enkefalin alıcılarının morfin tarafından fazlaca uyarılması, neden öznel bir keyif hissi ve acıya karşı kayıtsızlık uyandırır? Antidepresanların, artan serotonin mevcudiyetinin depresyonun azalmasına yol açması gibi sinaps düzeyindeki etkisi nasıl gerçekleşir? Antidepresanların biyokimyasal açıdan birkaç saat içinde, tedavi açısından ise ancak on günde etkili olması, özellikle çetrefil bir bilmecedir. Tek bir moleköl sınıfı ile özel bir ruh hali arasında birebir basit bir ilişki bulunmadığı açıktır.

Uyuşturucuların etkisi üzerinde yapılan çalışmalar, sinaps sırasındaki özgül ve iyi tanımlanmış olaylarla bu sinaptik olayların fiilen bir duyguyu nasıl oluşturduğu arasındaki bağlantının hâlâ anlaşılamayan doğasını öne çıkarmaktadır. Sinirbilimin en büyük açmazlarından birisi, keyif gibi yukarıdan aşağıya bir fenomenin, sinaptik iletim ve kimyasal modülasyonun aşağıdan yukarıya yapıtaşları ile nasıl açıklanacağıdır. Benzersiz bilincimizin sonuçta bir beyin çorbası ile bir elektrik kıvılcımını karışımının elinde olduğu düşüncesi, gerçekten hayal kırıklığı yaratıyor. Benzersiz bir beynin nasıl bir araya getirildiği ve

nasıl ifade edildiğini sonraki iki bölümde sırasıyla inceleyeceğiz.

4. BÖLÜM

ÜST ÜSTE HÜCRELER

Bir zamanlar birisi, fizikçi Michael Faraday'e "Elektrik ne işe yarar?" diye sormuş. O da "Yeni doğmuş bir bebek ne işe yarar?" diye karşılık vermiş. Faraday'in ne kastettiğini kavramak zor değil: insan yavrusu yardıma muhtaçtır. Birer yetişkin olarak sahip olduğumuz potansiyeli fark etmemiz için on altı yıl gerekirken, yirmi altı günlük gebelikten sonra doğan bir farenin tam anlamıyla olgunlaşması sadece iki ay sürer. Bir fil, bizden iki kattan uzun bir süre, çoğunlukla yirmi ila yirmi iki ay boyunca ana rahminde kalır ama on bir yıl içinde olgunlaşır. Peki bizim hayata hazırlanmamız neden bu kadar uzun sürüyor? 1883 yılında, ABD'de evrim kuramını yaygınlaştıran felsefeci ve tarihçi John Fiske, "Bebekliğin anlamı nedir? İnsanın diğer yaratıklardan daha çaresiz bir halde dünyaya gelip büyüklüklerinin şefkatli bakımına ve bilgece öğütlerine diğer tüm canlılardan çok daha uzun bir süre ihtiyaç duymasının anlamı nedir?" diye sordu. Beynin gelişimine bakarak bir bireyi oluşturan etmenleri tanımlarken, bu soruyu inceleyeceğiz.

Hayat, babanın tek bir sperminin annenin yumurtasını dölemesiyle birlikte başlar. Bu edim, yumurta etrafında biriken diğer spermilerin içeri girmesini engelleyen kimyasal değişiklik-

lere neden olur. Ancak yaklaşık 0,0125 santimetrelik çapı olan bir yumurtanın içinde beynin oluşumuna kadar çok uzun bir süre geçecektir. Bir beynin ve tabii ki bedenin diğer kısımlarının inşası için atılacak ilk adım, yumurta ve spermden bir hücre, yani bir zigot oluşturmaktır. Bu zigot yaklaşık otuz saat sonra iki hücreye bölündüğü ve bu işlemi defalarca tekrarlayarak üç gün içinde dut şeklinde bir hücreler yumağı haline geldiği için, buna verilen ad *morula*dır (Latince dut anlamında).

Döllenmeyi izleyen beşinci günde, morulanın içinde yer alan hücreler iki gruba ayrılır. Bir grup, boş bir küre yaratacak şekilde bir dış cidar oluştururken, geri kalan hücreler kürenin bir ucunda dar bir iç kütle halinde bir araya toplanır. Morula artık bir blastosisttir. Dış cidarı oluşturan hücreler, iç hücre kütesinden yaratılacak gelişmekte olan embriyo için besin sağlayacaktır. Ancak, döllenmenin üzerinden henüz sadece altı gün geçmiştir. Bundan sonra atılacak hayati adım, blastosistin rahim duvarına aşılmasıyla, yeni yaşamın bunu izleyecek otuz dokuz hafta boyunca ihtiyaç duyacağı tüm besinlere erişmesidir.

Aşılamadan yaklaşık bir gün sonra, blastosist içinde bir araya gelen hücreler yumağı dış cidardan ayrılarak dölyatağıyla kaynaşır. Bu karmakarışık hücreler topluluğu, iki hücre katmanını genişliğinde oval bir tabaka şeklindeki embriyo diskinin içinde düzleşmeye başlar. Bu küçük ince diskin, insan bedenini oluşturacak farklı hücrelerin nihai kaynağı olduğunu düşünmek inanılmaz bir şey olsa da, bu ilk öncüler şimdiden değişmeye başlamışlardır.

On ikinci gün dolaylarında, diskin üst katmanında yer alan belirli hücreler sanki prova edilmiş ve koreografisi düzenlenmiş bir dans eşliğinde ortaya doğru hareket ederler. Embriyo diskinin ortasında bulunan bu hareketli hücreler, ilk üst ve alt katmanların arasına sokularak üçüncü bir hücre katmanını yaratırlar. Embriyo diski artık üç katman kalınlığındadır. İşte bu

aşamada, dikkatimizi ilk kez gelecekteki beyne verebiliriz. Orta katmandaki hücrelerin üst katmandakilere, bir kez daha daha değişerek nöronlar haline geleceklerini bildiren kimyasal sinyal gönderdikleri görülür. Embriyologlar, haberci nöronların bu üst katmanını, sinirsel levha (neural plate) diye nitelendirirler.

On sekiz ve yirminci gün civarında, sinirsel levhanın ortası değişmeye başlar; merkezi içeriye çökerken kenarları yukarı ve dışa doğru hareket eder. Üç hafta sonra, bu kenarlar yükselmeye başlayacak ve bir sinir oluğu yaratacaktır. Oluğun kenarları daha sonra içeriye kıvrılıp eriyerek bir çeşit silindir şeklindeki sinir tüpünü oluşturacaktır. Dölyatağındaki ilk ayın sonunda, artık ilkel bir beyin oluşmuştur. Aslında sinir tüpünün şekillenmesinden çok önce, genç beyin kendini belli etmeye başlamıştır. Sinirsel levha evresinde bile, bazı kesimler belirli beyin bölgelerini oluşturmak üzere görevlendirilmiştir.

Dölyatağındaki beşinci haftada, muazzam gelişmiş olan beyin yarıkürelerimizin temelini oluşturan ön taraftaki iki tümseğin yanı sıra, 2. Bölüm’de hareket açısından önemli olduğunu gördüğümüz bazal ganglionlar gibi korteksin altında bulunan belirli bölgelerini de tespit etmek mümkündür. Yeni yeni filizlenmeye başlayan bu çalkantılı faaliyeti, kafatası gizlemektedir. Gelişmekte olan kafatasında, genişlemesine ve çılgınca büyümesine izin verecek zarımsı bölgeler bulunur; kemiğin birleşip kaynaşması ise ancak, hayatın daha sonraki bir döneminde, beyin en son haline ulaştığında mümkün olacaktır.

Gelecekteki nöronların her biri birkaç kez bölünür, böylece hücre sayısında büyük bir çoğalma görülür: maksimum oranlarda, hücreler dakikada 250.000 yeni nöron verecek şekilde bölüneceklerdir. Sinir tüpünün tepesi üç kabarcığa dönüşecek şekilde kalınlaştıkça, ilkel beyin gelişimini sürdürür. İkinci ayın başlangıcında, ayırt edilebilir beyin bölgeleri ortaya çıkar. Beynin bazı bölümleri diğerlerinden daha hızlı büyürken, sinir tüpünün ön kısmındaki kabarcık da geliştirmekte olan omurilikle

neredeyse dik açılar oluşturacak şekilde iki yerden kıvrılır. En öndeki kısım iki yarıküreye ayrılır; on birinci haftada ise arka kısım, kolayca fark edilebilen beyincik haline gelecek şekilde bir gelişim gösterir.

Beynin içindeki karıncık (ventrikül) adı verilen oyukların oluşumu kapalı sinir tüpü sayesinde gerçekleşir. Bu karıncıklar, en sonunda omuriliğe açılan birbiriyle bağlantılı bir labirent oluştururlar. Bu labirent aracılığıyla da gözenekler, tüm beyni ve omuriliği ömür boyu yıkayacak olan renksiz sıvının dolaşımını sağlar. Felsefeci Galen'in (bkz. 1. Bölüm) yüzyıllarca önce "psişik pnöma", yani ruhun bulunduğu yer olarak düşündüğü ve günümüzde teşhis koymak için örnek olarak bel omurları arasından iğneyle (lumbar puncture) alınan, işte bu beyin-omurilik sıvısıdır.

On dokuzuncu yüzyılda, beyin gelişiminin evrimdeki gelişmeyi yansıttığı fikri oldukça yaygındı; buna göre, döl yatağında dayken beynimiz önce bir sürüngenin, sonra bir balığın, sonra bir kuşun ve son olarak da sıçan gibi alt düzey memeliler beynini andırıyor, kediler ve benzerleri yoluyla da üst düzey memelilerinkine ulaşıyordu. Gene bu düşünceye göre, gebeliğin sonlarına doğru, beyin en ileri hayvan grubunun, yani insanların türediği primatlarinkine benziyordu. Yirminci yüzyılın ilk yarısında bile bu düşünce tarzı devam etmiştir: Aldous Huxley, bir romanında, piskopos cübbesine bürünerek piskopasa yüzüğünü uzatan "eski-balık" a gönderme yapar.

Ontojenin (bireysel gelişim) filojeni (türün gelişimi) yansıttığı fikri ne kadar ilginç ve çekici olursa olsun, bunun geniş kapsamlı bir genelleme olarak değer taşıdığı söylenemez. Bir beyin sadece "alt düzey" bir türün beyninden daha fazla gelişmiş değildir. Evrim, belirli yaşam biçimlerinin dayatmaları ve ihtiyaçlarına göre farklı çizgilerde gelişen türlerle, bir merdivenden çok, bir burca benzer. İnsan ceninin beyni hiçbir zaman, örneğin koklama (koku yumrusu) ile ilişkili bölgelerin

özellikle iyi gelişmiş olduğu yılanın beynine benzemez. Her beynin, belirli bir türün yaşam biçimine göre evrilmiştir. İnsan beyni, gelişimin hiçbir aşamasında, yavru horoz ve bazı balıklarda olduğu gibi, toplam beyin kütlesinin yarısını ya da yüzde 90'ını kaplamaz. Beyincik, türden türe en az değişmiş olan yapıdır; beyincige ayrılmış olan yüksek orandaki beyin kütlesi ise, temel plandan ayrılarak belirli bir türe uyan izleğe göre bir farklılaşmadır. Balık ve yavru horozun yaşam biçimlerine, dışarıdan gelen duyularla inceden inceye eşgüdümlü olan hareketleri üretme ihtiyacının, insaninkine kıyasla çok daha fazla hâkim olduğu söylenebilir. Orantısız büyüklükteki beyincik, tüm türlerin gelişmekte olan beyinlerinde rastlanan bir şey değildir.

Diğer yandan, gelişmekte olan insanın dikkat çekici bir özelliği de, olgunlaşmamış korteksin farklı aşamalarda diğer türlerinkine benzemesidir. Sıçanların, tavşanların ve kobayların korteksi aslında düz dokulu olduğu halde, kedilerinki biraz kıvrımlıdır. Primat beynine ulaştığımızda bu kıvrımlar belirgin biçimde artarken, olgunlaşmamış insan korteksi bir cevizi andırır. İlginç bir şekilde, bu kıvrımlar insan beyninin gelişiminde, görece geç bir dönemde, gebeliğin yedinci ayına doğru belirmeye başlar. Kıvrımlı korteksin avantajı, kısıtlı bir alana çok daha fazla yüzeyin sığmasıdır. Örneğin, bir kutuya kâğıt sıkıştırmaya çalıştığınızı düşünün: ne kadar buruşturursanız, kutuya o kadar çok kâğıt sığabilir.

Burada kıvrımlı korteksin gelişimi, ontojeninin filojeniye gerçekten yansıttığı bir durum gibidir. Ancak belki de korteksin işlevi, türlerin kendine özgü yaşam biçimlerine bakılmaksızın, beyin genel gelişimiyle doğrudan ilintili olabilir. Eğer korteks, 1. Bölüm'de anlatıldığı gibi bilişsel süreçler açısından en önemli alan ise, o zaman bireyin korteksi ne kadar büyükse, özel çevresine karşı o kadar esnek ve uyumlu olacağı açıktır.

Öte yandan yunusların, bizimkinden daha kıvrımlı bir kor-

tekse sahip olmakla birlikte, ancak köpekler kadar zeki oldukları tahmin edilmektedir. Korteksin boyutu ve dolayısıyla kıvrım sayısı tek belirleyici özellik değildir. Yunusların büyük beyinli olmalarının nedeni, boyutun insanlardaki gibi annenin leğen kemikleri yüzünden kısıtlanmamış olmasıdır. Yunusların korteks alanları geniş yüzeyli olsa da, insanlarınkinden daha incedir ve içinde yer alan nöronlar daha az karmaşık bir yapıdadır. Dolayısıyla da korteks kıvrımlarının beyin nihai gücünü belirleyen bir etken olduğu, biz döllyatağında gelişirken ve evrim sırasında bunların arttığı açıktır. Ancak, önemli olan başka etmenler de vardır.

Gelişmekte olan beyin temel yapıtaşları olan nöronlar düzeyindeki olaylar dizilimi bütün türlerde aynıdır. Büyümesi gereken beyin nöronlardan oluşuyorsa, o halde nöronlar sayıca artmaya devam etmek zorundadır. İleride nöron olacak hücreler, ikiye bölünerek gelişmekte olan beyin taleplerini karşılar. Bir nöron adayı bölünmek için, birçok kez tekrarlanabilecek kısa bir yolculuğa çıkar. Nöronun merkez kütlesi dokungacımsı bir uzantıyı dışarı çıkararak sinir tüpünün dış bölgesinden merkeze doğru kayar. Merkeze vardığında çekirdek bölünecek, böylece yeni oluşan iki hücre sinir tüpünün dış kenarına tekrar baskı yaparak döngüyü yeniden başlatacaktır.

Beynin sadece homojen bir kütle olmayıp, 1. ve 2. Bölüm'de gördüğümüz gibi genel beyin işlevi açısından gerçekleştirdikleri işlere ve şekillerine göre ayırt edilebilen oldukça uzmanlaşmış bölgelerden meydana geldiğini unutmamak gerekir. Gelişmekte olan bir beyin için, daha fazla hücreye sahip olmanın yanı sıra, bunları doğru bölgelerde barındırmak da hayati önem taşır. O halde bir nöron, birkaç kez bölündükten sonra, yeni beyinde doğru mekâna göç etmelidir.

İlk olarak nöronlar, sinir tüpünün dışından iç bölgeye doğru göç edeceklerdir, ama bu bölge hücrelerle kalınlaşarak iyice yerine oturduğunda, hücreler farklı kaderlerine göre farklı

yönlere taşınacaktır. Örneğin, bu orta bölgenin tam altına taşınan bazı hücreler, diğer nöronları küçük bölgesel devreler halinde birbirine bağlayan özel bir nöron türü –internöron– haline geleceklerdir. Bu bölgeye taşınan hücrelerden bazıları ise glial hücrelere dönüşecektir.

Kesinlikle nöron olmayan glial hücreler, beyinde bol miktarda bulunurlar ve sayıca nöronlardan on kat fazladırlar. *Glia* terimi Yunanca'da zamp anlamına gelen sözcükten türemiştir. Bu hücreler ilk incelendiklerinde, nöronlara yapışık görünüyordular. Farklı işlevleri olan çeşitli glial hücre türleri vardır. Bir glial türü (makrofajlar), beyinde meydana gelen bir hasardan sonra ölü hücre kalıntılarını temizlemekle görevlidir; diğer bir glial hücre sınıfı ise birçok nöronun etrafında, elektriksel yalıtım işlevini görecektir yağlı bir tabaka oluşturur.

Yıldızimsı şekli dolayısıyla astrosit diye adlandırılan ve her yerde bulunan bir glial hücre türünün birden fazla rolü olduğu anlaşılmaktadır. Eskiden astrositlerin, formel olarak "ekstrase-lüler matris" diye bilinen bir tür biyolojik ağ oluşturarak nöronların etrafta kaymalarını engelleyen daha pasif bir işlevi olduğu düşünülürdü. Oysa günümüzde, astrositlerin çok çeşitli ve daha dinamik roller oynadığı biliniyor. Sağlıklı bir yetişkinde, nöronla ilgisi olmayan bu hücreler, nöronun etrafındaki mikro ortamın kimyasal oluşumunun zarar görmemesini sağlayarak nöronları korur. Potansiyel olarak aşırı miktardaki toksik kimyasalları temizlemek için bir tür sünger ya da tampon işlevi görürler. Nöronlar fiilen hasar gördüğünde, astrositler hasarın onarılmasını sağlayacak maddeleri yüksek düzeylerde salgılayabilmek için, iki kat çaba harcayarak boyut ve sayı bakımından büyürler.

Glial hücreler, gelişmekte olan beynin uzak köşelerine yapılan nöron göçünde nasıl önemli olurlar? Nöron göçü tam olarak anlaşılan bir konu olmasa da, glial hücrelerin beynin gelişiminde bir çeşit yapı iskeleti işlevi görerek önemli bir rol oyna-

dığı bilinmektedir. Glial hücreler nöronların önündeki başlangıç noktalarından, sanki bir ray döşercesine yola koyulurlar. Ardından nöronlar da, tek yönlü bir tren rayı üzerindeymişçesine, glial hücrelerin peşi sıra kayarlar. Gliallar yoksa, bazı nöronlar göç edemeyecek, bu da korkunç sonuçlara yok açacaktır.

Beyindeki nöronlar tek yönlü glial raylar boyunca göç edemediklerinde ortaya çıkan sorunun en iyi bilinen örneği, sergilediği ciddi davranış bozukluğu nedeniyle zikzakçı diye adlandırılan mutasyona uğramış belirli bir fare neslinde görülür. Bu fareler, düz çizgiler üzerinde yürümek yerine, aniden gelişigüzel yönlerle dönerler. Ayrıca zayıftırlar ve sürekli titrerler. Bu farenin sorunu, kafasının arkasında yer alan beyinciktir. Genlerdeki bir mutasyon yüzünden, bu bölgedeki glial hücrelerin gerektiği gibi gelişmemesi, beyincikteki nöronların doğru yerlere göç edememesine neden olur. Sonuç olarak, diğer nöronlar da yanlış dizilirler ve beyinciğin tamamı anormal derecede küçük kalır. 2. Bölüm’de gördüğümüz gibi beyincik, hareketle duyuların eşgüdümünde önemli olduğu için, böylesine zarar görmüş bir beyinciği olan hayvanların hareket bozuklukları göstermeleri olağandır. Her bir nöronun gelecekteki beyin içinde kendi özel yerini almak üzere tek yönlü raydan ne zaman ineceğini nasıl bildiği, günümüzde hâlâ bir gizemdir.

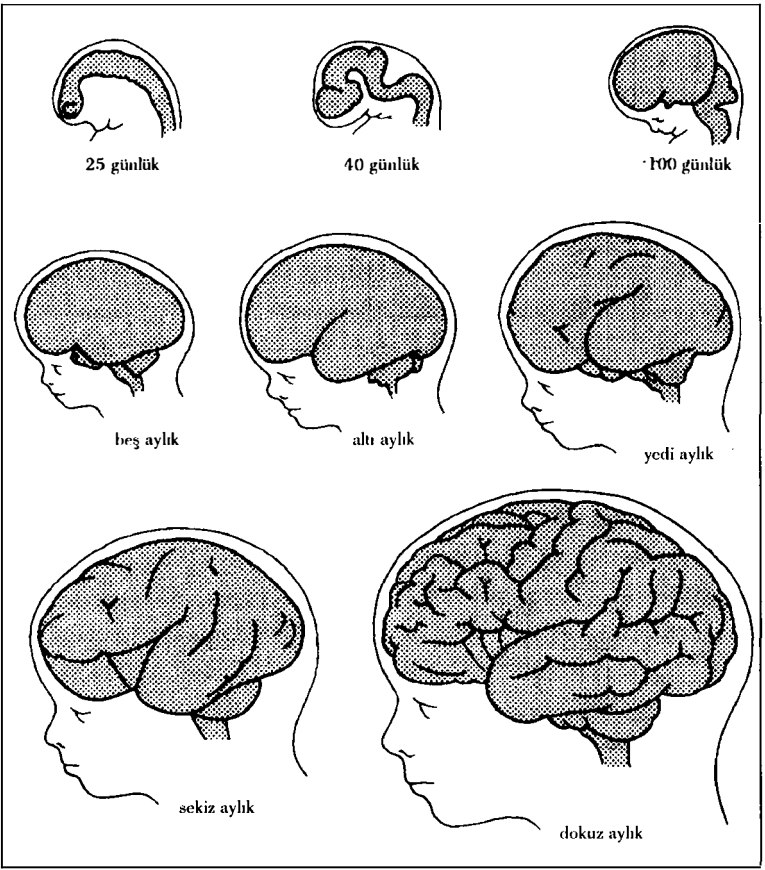
Gitgide daha fazla nöron çoğalarak, tek yönlü glial ray üzerinde göç edip ardından indikçe, beyin yavaş yavaş büyür ve hücreleri üst üste adeta bir soğan gibi katmanlar şeklinde yığar. Sonunda, en dış katman olan korteks, başlangıçta ince bir hücre katmanı olan korteks levhasından başlayarak toparlanır. Sonradan gelen hücreler, ikinci bir katman oluşturmak üzere yeni korteksin bu ilk katmanından geçmek zorunda kalırlar. Olgunlaşmış kortekste toplam altı katman bulunur. Gelişme sırasında ilk olarak gelen nöronlar, sonuçta korteksin en derin katmanını, yani beynin dış yüzeyinden en uzak olanı oluşturur-

lar. Korteksin en dış yüzeyindeki nöronlar ise, son göç edenlerdir.

Bir hücrenin kortekse ait bir nöron olmasını sağlayan nedir? Tek yönlü glial raydan inme noktasında olduğu gibi, bu konuda da çok az bilgi sahibiyiz. Beyinde nöronların bir grup oluşturmak için birbirine yapışmasını kolaylaştıran ve adeta bir yapışkan rozet işlevi gören hücre yapıştırma molekülleri bulunduğunu biliyoruz. Örneğin, gelişmekte olan retinanın farklı bölümlerinden hücrelerin tek tek alınıp potansiyel beyin bölgelelerinde bulunan diğer topluluklarla karıştırıldığı deneyler yapılmaktadır; retinadan alınan ilk hücreler genelde özelliklerini korudukları için birbirini bulup yeniden bir araya gelebilirler. Herhangi bir nöronun belirli bir boyut ve şekil alma, belirli bir yere yerleşme ve diğerleriyle belirli bir bağlantı kurma gibi özellikleri farklı zamanlarda oluşur. Ayrıca muhtemelen, bir hücrenin kendi ileticisi olarak kullanacağı kimyasal, nöronlar çoğalmayı durdurur durdurmaz tek bir seferde belirlenmektedir. Gebeliğin dokuzuncu ayında, sahip olabileceğimiz nöronların büyük bir kısmı beynimizde bulunmaktadır. (Bkz. Şekil 8)

İşte şimdi doğduk! Beyin doğumdan sonra büyümeye devam edecektir, çünkü aksi halde bebeğin kafası annenin doğum kanalından geçemeyecek kadar büyük olurdu. Doğum sırasında, insan kafasının büyüklüğü aşağı yukarı şempanzeninki kadar, yaklaşık 350 santimetre küptür. Altıncı ayda, gerçek boyutunun yarısı kadar, ikinci yılın sonunda ise bir yetişkin kafasının dörtte üçü büyüklükte olur. Dördüncü yılda, insan beyni doğum sırasındakinin dört katı büyüklükte, yani 1400 santimetre küp kadardır.

Hayatının ilk ayında bile, bebeğin bazı refleksleri vardır. Refleks, 2. Bölüm’de gördüğümüz gibi belirli bir sabit duruma karşı verilen değişmeyen tepkidir. Bu tür reflekslerden biri de, sonuçta eşyaları kavramaya ilişkin incelikli yeteneğin temelin-



ŞEKİL 8.

Gelişmekte olan insan beyni.

[M. Cowan'dan uyarlanmıştır, *Scientific American* (Eylül 1979)]

....

deki, kolun kepçe gibi hareket etmesidir. Bu refleks, bir kişi bebeğin kolunu çekmeye çalıştığında görülebilir: bebek kolunu kendine doğru geri çekerek tepki verir. Bu kavrama refleksi aylar geçtikçe gitgide daha incelikli bir hal alır. Bebek, tüm

parmaklarını doğrudan avcunun içine konulan bir nesnenin etrafında kıvırmaktan başlayarak, elinin arkasına değen bir nesneyi kavramak için elini çevirebilecek hale gelir. Sonuçta, istemli kavrama hareketini gerçekleştirebilir ve ilk kez, görüş alanı içindeki her şeye kendi isteğiyle erişebilir.

Kavramanın gelişimindeki bu aşamalar, bebeğin korteksinde oluşan değişikliklere paraleldir. Hayatın ilk aylarında, kortekste yalıtıcı miyelin maddesinde büyük bir artış görülür (bkz. 3. Bölüm). Akson miyelinle yalıtılır yalıtılmaz, elektrik sinyalinin çok daha verimli bir şekilde taşır. İstemli olarak erişme gibi hassas bir hareketin, ancak kortekste nöronların olabildiğince verimli bir şekilde çalışmasıyla gerçekleşebildiği çok açıktır. Aksonların miyelinle yalıtılması on beş yaşına ve hatta daha ileri dönemlere kadar hızla devam eder. Ayrıca, miyelinin altmış yaşına kadar yoğunlaşmaya devam edebileceğini düşünmek hoş bir şeydir.

Nesneleri tutma becerisi, hayatın birinci yılının sonunda, genelde farkına varılmadan oluşur. Küçük bebekler sadece bütün parmaklarını aynı anda oynatabilirken, daha büyük bir çocuk bağımsız bir şekilde hareket ettirebilir. Özellikle de, küçük bir nesneyi baş parmak ve işaret parmağıyla kavramaya yarayan kısa hareketini yapabilir. Bu tür hareketleri yapabilen başlıca hayvan grubu primatlardır. Kedi ya da köpek gibi diğer birçok türün aksine primatlarda, hareket kontrolüyle ilişkili olan korteks alanından (motor korteks, bkz. 2. Bölüm), her parmaktaki adalelerin kasılmasından sorumlu olan omuriliğe yakın sinirlere giden doğrudan bir bağlantı vardır. İşte bu hassas parmak hareketi, en gelişmiş ve incelikli harekettir. Motor korteks içinde en büyük nöron tahsislerinden birine sahip olan, parmaklardır. Dahası, motor korteks zarar gördüğünde, diğer hareketlerin çoğu mucizevi şekilde geri dönse bile, incelikli parmak hareketi çoğunlukla geri kazanılamaz.

Her bir parmağı diğerlerinden bağımsız bir şekilde hareket

ettirebildiğimiz andan itibaren, el becerileri çok büyük ölçüde artar. Gelişmiş el mahareti, alet yapımının kolaylaşması demektir. Bu ise, türün ilerlemesine ve hayatta kalma şansının artmasına yardımcı olacaktır. Öte yandan, bağımsız parmak hareketi tek başına, primat yaşam biçiminin çokyönlülüğüne ve karmaşıklığına açıklama getiremez. Hamster ve rakun da parmaklarını gayet iyi kontrol edebilir.

Bebeklikteki reflekslerin tümü, istemli hareket kalıplarının habercisi değildir. Bu konu hakkında yazı yazan ilk kişi olduğu için onun adıyla anılan Babinski belirtisi, bebeklikte yok olur. Yetişkin bir kişi ayak tabanının parmak dibine vurularak uyandırıldığında, parmaklar genelde bir saniyelik gecikmenin ardından içeriye doğru kıvrılır. Bebeklerde ise aynı vuruş, parmakların yelpaze gibi açılarak yukarıya kıvrılmasına yol açar. Kavrama refleksinde olduğu gibi, gelişim süresince Babinski refleksindeki değişimler, değişmekte olan bir sinir sistemini yansıtır. Motor korteksteki (bkz. 2. Bölüm) nöronlar, adale kasılmasını kontrol eden omurilikteki nöronlarla uygun şekilde bağlantı kurar kurmaz, Babinski belirtisi değişir. Normal, olgunlaşmış sinir sistemlerinde motor korteks, ayak parmaklarının kıvrılması olarak görülen adale kasılmasını sağlamak için omuriliğe dürtüler gönderir; uyarma girdisinin omurilikten yukarı beyne iletilerek işlem gördüğü, ardından omurilikten aşağı geri gönderildiği süre olan bir saniyelik gecikmenin nedeni de budur. Ayak parmaklarının, dipten vurulmaya tepki olarak kıvrılması, beynin belirli bölgeleri ile inip çıkan omurga bölgelerinin entegrasyonunu gerektirdiği için, bu test ayrıca omurilik ya da beyin zedelenmesi konusunda şüphe uyandıran yetişkinlerde teşhis amacıyla da kullanılır. Beynin belirli bölümleri ya da aşağı doğru inen omurga bölgeleri zedelenmişse, pozitif Babinski belirtisi yeniden ortaya çıkacak, ayaktaki lokal devre hâkimiyeti ele geçirecek ve yetişkin kişi, bebeklik refleksine geri dönerek ayak parmaklarını yelpaze hareketiyle ayıracaktır.

Bazı refleksler tamamen yok olur; örneğin ayakları yere değerken destek verilerek koltuk altından tutulan küçücük bebekler bile yürüme hareketleri yapacaklardır. Kimse bu yürüme refleksinin sırrını tam olarak anlayabilmiş değildir. Eskiden, bir çocuk ne kadar yürüme refleksi gösterirse, yürümeyi o kadar çabuk ve etkili bir şekilde öğreneceğine dair bir kanaat vardı. Artık bunun doğru olmadığı biliniyor.

Doğumdan sonra yavaş yavaş gelişen, yalnız bu kavrama ve yürüme gibi istemli işlevlerimiz değildir. İstemsiz işlevlere yönelik başka bir sistem de devreye girer. Beynin dış dünyadan gelen bilgileri işleyerek bedenin kendine özgü yaşam biçimine uyarlanmasını sağladığını biliyoruz. Beyin sadece dış dünyadan değil, ayrıca bedenden de sinyal alır. Bu iç sinyaller, biz genellikle olup bitenlerin farkında olmasak da, beyni aralıksız olarak bombardımana tutarlar. Örneğin nefes alışımızı, kalp atışını ya da kan basıncını sürekli ve bilinçli olarak kontrol etmeyiz; aksi halde bu tür tekrar eden ve sıkıcı işler, uyku dahil olmak üzere diğer faaliyetler için vakit bırakmazdı.

Beyinle hayati organlarımız arasındaki iletişim, daha çok kendiliğinden gerçekleşiyormuş gibi görüldüğü için, buna otonom sinir sistemi denilir. Otonom sinir sistemi beynin idaresi altındadır, ama omurilikten çıkan tüm hayati organlarla temas halindeki sinir kümelerini içermesi bakımından, fiziksel olarak onun ötesine uzanır. Bu sinirler, gebeliğin çok erken bir aşamasında, merkezî sinir sistemini oluşturan beyin ve omurilikten ayrı olarak gelişmiştir. Sinirsel levha döllenmeden yaklaşık üç hafta sonra sinir tüpünü oluşturmak üzere kapanırken, her iki taraftaki nöron adaylarından oluşan küçük bir grup dışarıda kalır. Bu hücre grupları, sinirsel tepe diye nitelendirilen otonom sinir sistemini meydana getiren sinirleri ortaya çıkaracaktır.

Otonom sinir sistemi bir çeşit durağan mekanizma değildir; aslında iki işleyiş şekli vardır. Savaş ve barış hali. Yüksek bir

ses sizi şaşırttığında, kalp atışınız otomatik olarak hızlanır. Hızlanmış bir kalp atışının varkalımsal değeri, bedeniniz koşarak ya da dövüşerek çaba harcamak zorunda kalacağınız acil bir harekete hazırlandığı için, kanınızın size daha fazla oksijen sağlamak üzere çok daha hızlı pompalanmasıdır. Bu savaş halidir ve otonom sinir sisteminin sempatetik bölümü olarak adlandırılır. Bu bölüm, sağ kalma açısından gerekli olmayan sıradan günlük etkinlikler ertelendiği zaman harekete geçirilir. Bu durumda, sakinleşmek için çaba harcamanız gerekir, sindirime ayrılacak zaman yoktur ve hayati organlarınız oksijen taşıyan kana ihtiyaç duyduğu için kalp atışı ve kan basıncınız yükselir; hava yolları genişler, böylece daha kolay nefes alırsınız ve adrenal medulla diye bilinen bir organ, organların doğru tepki vermeye devam etmesine yardımcı olmak üzere vücutta dolaşacak olan adrenalini salgılar.

Günümüzde avlamanız ya da av durumuna düşmeniz şart değildir; ancak sinirlendiğinizde ya da heyecanlandığınızda, bedeniniz erken dönem Cro-Magnon savanalarında atalarınızın ihtiyaç duyduğu tüm tepkilere sahiptir. Sempatetik sinir sisteminiz, hiçbir şey yapmasanız bile, kavga edecek ya da kaçacakmışınız gibi çalışır. Bir sınavın, bir iş görüşmesinin ya da bir tahlilin sonucunu öğrenmek üzere telefonu kaldırdığınızda, kalbinizin gümbürdediğini, sıcak bastığını ve özellikle de avuç içlerinizin terlediğini hissedebilirsiniz. Derinin elektrik iletme yetisini değiştirebilen, dolayısıyla da yalan makinelerinde değişmekte olan bir sinyal olarak saptanabilen, işte bu avuç terlemesiyle verilen tepkidir.

Parasempatetik bölüm olarak bilinen barış hali ise, normal koşullarda geçerli olan durumdur ve sağ kalmayı en öncelikli sıraya almadığımız zaman devrededir. Aniden değişen bir koşula tepki vermek üzere kırmızı alarma geçmeden, gevşemeye ve besinleri sindirmeye zaman buluruz. Kalp atışı yavaş ve sakinidir, besin de düzgün bir biçimde sindirilir; sakinleşmek için

aba harcamaya ya da nefes alışımızı en yüksek düzeye çıkar-
mak için genişlemiş havayollarına ihtiyaç duymayız.

Hayati organları normalde beyin kontrol etse de, beden-
inde bulunduğu durum beynin durumunu etkilemek için ge-
ribildirim verebilir. Örneğin, kalp atışını yavaşlatan proprano-
lol (bir beta-önleyici) gibi belirli bir ilaç kendi başına beyne
erişemez. Yine de bu ilaç, sakinleştirici olarak alınabilir çünkü
yavaşlamış kalp atışı, tıpkı derin nefesler gibi, beyne stressiz
bir durumun hüküm sürdüğünü; yani parasempatetik sinir sis-
teminin işbaşında olduğunu kaydeder.

Otonom sinir sisteminin refleks tepkileri, kırmızı alar-
ma geçme ya da gevşeme gibi genel koşullardan çok, belirli organ-
lara özgü olan durumlara uyarlanmaları kapsayabilir. Herkesin
gözlemleyebileceği bir refleks, göz bebeğinin ışığa verdiği tep-
kidir. Bildiğimiz gibi ışık parlak olduğunda, göz bebeği otoma-
tik olarak küçülür ve ışık loş olduğunda tekrar büyüyerek göze
uygun miktarda ışığın girmesini sağlar. Göz bebeği ayrıca duy-
gulara da otomatik olarak tepki verir. Bir şeye hayranlık ya da
sevgi ve şefkat duyuyorsak, göz bebeklerimiz otomatik olarak
büyür. Bazı kurnaz satıcılar, satış yapıp yapamayacaklarını an-
layabilmek için, kendilerini müşterinin gözlerini inceleme ko-
nusunda eğitmiş görünürler. Ayrıca, göz bebeklerinin genişle-
mesi, çekiciliği artıran bir özellik olarak kabul edilir.

İyi bilinen, klasik bir deneyde, erkek deneklere bazı fotoğ-
raflar gösterilerek, bunları kadınların çekici olup olmamalarına
göre iki kümeden birine girecek şekilde ayırmaları söylenmişti.
Çok fazla fotoğraf olduğu için, deneklerin yüzleri teker teker
anımsamaları olanaksızdı. Sonuç olarak, aynı kadının birbiri-
nin kopyası olan fotoğraflarını farklı kümelere koymuşlardı.
Tek fark, bir tanesinde kadının göz bebeklerine, büyümüş g-
rnmesi için rötuş yapılmış olmasıydı. Erkekler bilinçaltında,
büyütülmüş gözbebeklerini çekicilik değerlendirmesinde
nemli etken olarak kaydetmişlerdi. On dokuzuncu yüzyılda

kadınlar, iletici asetilkoline ait (bkz. 3. Bölüm) belirli bir alıcı türünün önünü kesen bir ilaç olarak bu refleksi yapay olarak yaratırlardı; bu nedenle ilacın (atropine) konuşma dilindeki adı, "güzel kadın" anlamına gelen bella donna'dır.

Böylece, strese uyum sağlayacak bir donanım ve belirli sayıdaki reflekslerle doğmuş olduk. Peki ama bilinçli miyiz? Bu şaşırtıcı soru hiçbir zaman tatmin edici bir şekilde yanıtlanmamıştır. Tüm olasılıklar tuhaf görünmektedir. Bir senaryoya göre, döl yatağındaiken bilinçliyizdir, fakat hemen ardından, bu önemli olayın tam olarak ne zaman başladığını belirleme sorunu ortaya çıkar. Döllenen tek yumurtanın bilinçli olmadığı açıktır, o halde bilinç aniden ne zaman ortaya çıkar? Ve bir cenin nasıl bilinçli olabilir? Diğer bir fikir de bebeğin doğduğu anda tam olarak bilinçlendiği yönündedir. Birçok bebek zamanından önce doğduğu için, bu da garip bir fikirdir. O halde bilinci ortaya çıkaran doğum ediminin kendisi midir? Bu düşünciyi kabul etmek oldukça zordur çünkü beyin doğum sürecinden hiç etkilenmez.

Buna alternatif bir düşünce de, çocuğun doğumdan belli bir süre sonra bilinçlenebileceğidir. Bu senaryo yeni doğan bebeğin bir otomat olduğunu ima etmekle kalmaz, ayrıca bilincin oluştuğu kritik aşamayı belirleme sorunu da gene ortaya çıkar. Hem ceninde hem de yeni doğan bebekte beyin gelişimi aşamalı bir süreçtir. Dolayısıyla da, bilinçliliğin başlamasıyla ilintilendirilebilecek açık ve belirgin olayları saptamak olanaksızdır.

Bir olasılık daha vardır. Beyin yavaş ve aşamalı olarak geliştiği için, bilinç de aynı şekilde gelişiyor olabilir. Belki de bilinç aniden ortaya çıkan bir fenomen olmayıp, beyin büyüdükçe gelişmektedir. Bilinci bu şekilde süregelen bir şey olarak kabul edecek olursak, bundan çıkacak sonuç, ceninin yetişkin birine ya da yeni doğmuş bir bebeğe göre çok daha düşük bir derecede de olsa, bilinçli olduğudur. Bilince bu şekilde yaklaşmak, hayvanların bilinçli olup olmadığına dair bilmeceyi ele al-

mak açısından da yardımcı olacaktır. Beyin ne kadar az gelişmişse, bilinç düzeyi o kadar düşüktür. Dolayısıyla da hayvanlar bilinçli; ama bir şempanze insandan daha az bilinçli sayılacaktır, çünkü bu iki türün beyinleri doğumda birbirine çok benzemekle birlikte, sonradan farklı bir yol izler.

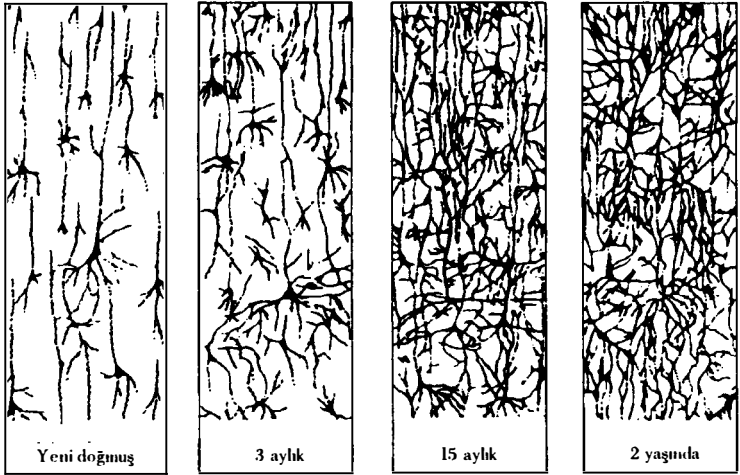
İnsan ve şempanzenin beyinleri doğum sırasında benzer ağırlıktadır. En önemli fark, şempanzeninki de dahil olmak üzere primat beyninin, gelişiminin büyük bir kısmını ana rahminde tamamlamış olmasıdır. İnsanda ise bu gelişimin büyük bir kısmı ana rahminin dışında gerçekleşir. Beynin bu doğum sonrasındaki gelişimi, DNA'ları (dioksiribonükleik asit) bizden yalnızca yüzde 1 oranında farklı olan şempanze akrabalarımıza karşı bize bazı üstünlükler sağlamış olabilir mi acaba?

Beynimiz ve ana rahmindeki gelişim süreci, son otuz bin yıldan beri aynıdır. Yeni doğmuş bir bebekken sahip olduğumuz beyinle, erken dönem Cro-Magnon insanının dünyasına kolayca girebilirdik. Bir başka ifadeyle, erken dönem Cro-Magnon bebeği de, bilgisayarlar konusunda entelektüel bakımdan, bugün gelişmiş ülkelerdeki pek çok genç insan kadar kıvrak ve rahat bir biçimde davranabilirdi. Uyarlanabilir ve etkilenebilir genç insan beyni için önemli bir zorluk, hayatını sürdürmek zorunda olduğu ortam ister orman olsun ister bilgisayar, onun özel güdüsü ve kısıtlamaları altında gelişip olgunlaşmaktır. Şempanze akrabalarımızın aksine bizim beynimiz, içinde bulunduğumuz ortama uyum sağlama konusunda olağanüstü bir yeteneğe sahiptir. Yeni doğmuş insan beyninin, şaşırtıcı büyüme hızı ve buna paralel olan davranış gelişimi açısından bakıldığında, çok sıkı bir program izleyerek çalışmakta olduğu açıktır.

Döllenmeden dokuz ay sonra, beynimizi oluşturacak nöronların çoğu uygun beyin bölgesine geçmek üzere çoğalmıştır. Hedefe vardıklarında, her bir nöron etkili bir şekilde köklerini aşağıya doğru uzatır ve sinaptik bir devre oluşturarak komşu

nöronlarla iletişim kurmaya başlar (bkz. 3. Bölüm). Yeni be-
yinde sürekli olarak, nöronlardan onları diğer nöronlara bağla-
yacak aksonlar büyümektedir. Doğumdan sonra beyin boyu-
tundaki olağanüstü büyümenin büyük bir kısmı, daha fazla nö-
ronun eklenmesinden çok, nöronlar arasında iletişim hattı işle-
vini gören bu süreçlerin gelişimine atfedilebilir (bkz. Şekil 9).

Bir kapta —doku kültüründe— geliştiği zaman bile, beyin
hücreleri aksonlarını dışarı doğru uzatacaktır. Bu nedenle, bir
zaman-ayarlı video kullanarak, bağlantı kurmak için komşuları-
na doğru uzanan beyin hücreleri doğrudan gözlemlenebilir.
Bu şekilde bakıldığında, gelişmekte olan hücreleri insana ben-



ŞEKİL 9.

İnsan korteksindeki gelişimin belirgin özelliği, bağlantı sayısındaki artıştır. Yeni doğmuş bebeğin korteksinde birbirinden ayrı hücreler rahatça görüle-
bilse de, ikinci yılda yoğun bir bağlantı ağı içindeki nöronlar zor ayırt edile-
bilir.

[J. L. Conel'dan, *Post - Natal Development of the Human Cerebral Cortex*
(Cambridge: Harvard University Press, 1939)]

zetmemek elde değil. Film üzerinde hareket ettiklerinde, sanki bir amaçları varmış gibi grnrlere, inanılmaz bir hızla ekranın üzerinden geçerken dalgalanıp titreyen ağımsı ve yivli uçlarıyla, yollarını neredeyse kelimenin tam anlamıyla hissederek karşı konulmaz gelişimlerini tamamlarlar. Yaklaşık bir asır önce Ramon y Cajal (bkz. 3. Bölüm), bu sinir uçlarını son derece uygun bir terimle *toslaşan koçlar* diye nitelendirmiştir; ancak bunun bilimsel adı büyüme konileridir. Bu tür filmlere bakıldığında, insan beyninin nasıl bilgisayar gibi görülebildiğini, hatta onun nasıl bilgisayara benzetilebildiğini anlamak oldukça zordur.

Bu gen nöronlar nereye gideceklerini nasıl bilirler? Temel yönelimlerinin büyük olasılıkla genetik olduğu, nihai rotanın ise sonradan lokal faktörler tarafından hassas bir şekilde ayarlanacağı dşnlmştir. Diğer bir fikir ise hedef hücrelerin yol gösterici bir kimyasal madde salgıladığı yönündedir. Bu kimyasal maddenin yoğunluğu hedefin yakınında daha güçlü, uzaklara yayıldığında ise daha zayıf olacaktır. Yol gösterici kimyasalın yoğunluğunun kuvvetlendiği yöne doğru ilerleyen akson, en sonunda hedefine ulaşır.

Sinirlerin büyümesini denetlemekte önemli olduğu tespit edilen prototip kimyasal, sinir büyüme faktörüdür (nerve growth factor-NGF). NGF'nin öncelikli olarak, nöronlar arasında bağlantı kurulduğu anda, hücrenin içine geri taşınarak faaliyet gösterdiği düşünülmektedir. Bu şekilde geri taşındıktan sonra NGF, genetik olarak programlanmış olan bir kendi kendini yok etme mekanizmasını kapatarak, genlerin dışavurumuna müdahale etmek için olasılıkla çekirdeği istila eder. NGF'ye antikorlar verildiğinde ise, normal olarak içinde işlev gördüğü nöronlar ölecektir. Fakat beynin gelişimi sadece NGF'ye bağlı değildir. Beynin dışındaki nöronlarda ve beyin içindeki bazı nöronlarda kullanılan NGF, pek çok olası yol gösterici kimyasalın yalnızca bir örneğidir.

Bu tür süreçlerin, aksonların katettiği bilinen uzun mesafelerde etkili olabileceğini hayal etmek oldukça güçtür. Bir başka olasılık da, beyin yapılarının hâlâ birbirine yakın olduğu ilk gelişme sırasında birkaç öncü lifin bulunması ve diğer aksonların bunları takip etmesidir.

Her halükârda, büyüyen aksonların kendi rotalarında sabitlenmedikleri kesindir. Aksine, büyüyen nöronlar ters giden bir durumun üstesinden gelebilmek için, dışarıya doğru büyüyen aksonların azalması ya da hedefin kısmen yok olması gibi değişen koşullara hassas bir biçimde uyum sağlayabilirler. Bu tür senaryolar, deneysel manipülasyonla izlenebilen görece basit sistemlerde kanıtlanmıştır ve hızla büyüyen nöronların, hedefleriyle birebir, düzenli bir bağlantı kurdukları artık bilinmektedir.

Kurbağa gözünde örneğin, gözden çıkan her aksonun, beyindeki ilgili hedef yapı (tektum) içinde istila edeceği özel bir hedef bölgesi vardır. Bir nöron, gözün en sağ ucundan geliyorsa, tektumun en sağ noktasındaki bölgeyi istila edecektir. İlk hücrenin hemen solunda yer alan bir sonraki nöron, onun hemen solunda bulunan bölgeyi işgal edecek ve bu şekilde devam edecektir. Bu tür bir örgütlenme topografik olarak nitelenir. Nöronların topografik bağlantıları öyle kesindir ki, göz 180 derece dönmüş olsa bile, aksonlar kendi bölgelerinde yıkıcı sonuçlara yol açarak büyümeye devam ederler. Bu şekilde değişikliğe uğramış herhangi bir kurbağa şimdi dünyayı başaşağı görecek, dolayısıyla da sinekleri yakalamada büyük sorunlar yaşayacaktır.

Ancak, nöronlar topografik düzenlenmeyle değişen bir durumdan en iyi sonuçları çıkaracak şekilde çevreye uyum sağlayabilirler. Dışarıya doğru büyüyen nöronların yarısı yok edilmişse, normal koşullarda tektumun sadece yüzde 50'sini kaplayacak olan geri kalan yüzde 50 nöron artık bölgenin tamamını istila edecektir. Bunun tersine, tektumun yarısı yok edilmiş-

se, dışarıya doğru büyüyen aksonların tamamı daha küçük hedef bölgesi içinde, ama gene topografik bir tarzda toplanacak; böylece her biri normalin yarısı kadar hedef bölgeye sahip olacaktır.

Nöronların uyum sağlama yeteneğini değerlendirebilmenin diğer bir yolu da, bedenin hayvanlar için çok önemli olan bıyıklarına bakmaktır. Bıyıklar, hayvanların dar deliklerden geçebilmelerini sağlar. Hayvan bedeninin en geniş bölümüyle aynı genişlikte olan bıyıklar, dokunulduğu anda, sinirler aracılığıyla beyne sinyal gönderirler. Bıyıklara aynı anda her iki yandan dokunan bir şey varsa, belli ki hayvanın başı, bedeninin diğer kısımlarının geçemeyeceği kadar dar bir geçitle temas halindedir.

Bıyıklar, beynin içine uzanan sinirlerden yardım alırlar. Burada bir fıçı silüetine benzeyen düzenlemeler halinde gruplandırılmış nöronlar bulunur. Bu nöron fıçıları bir ışık mikroskopunda bile kolayca görülebilir. Bıyıkların bazılarını kökünden sökerek bu özel nöron-hedef ilişkisine deneysel olarak müdahale edilebilir. Fare beyinde, kurbağa beyindekine benzeyen bir uyarlanma durumu görebiliriz. Sistem, katı bir biçimde programlanmış ve değişikliğe elverişsiz olsaydı, nöronların beyinde fıçıyı andıran örgütlenme şeklinde belirgin boşluklar görülebilirdi. Bu boşluklar ise, çekilip alınmış olan bıyıklara ayrılmış nöronlara artık gerek kalmadığı için ortaya çıkardı. Oysa kurbağa örneğinde görmüş olduğumuz gibi, sonuçta hedef bölgenin tamamı kullanılmaktadır: çünkü geride kalanlara ayrılan çok daha büyük nöron grupları vardır. Nöron fıçıları kullanılabilir alanı doldurmak üzere genişlemiştir.

Bu deney, ilk bakışta insanlarla pek ilgili değilmiş gibi görünse de, buna benzer bir olaylar zinciri genç bir İtalyan çocukta çok kötü sonuçlara yol açmıştır. Bu altı yaşındaki çocuğun bir gözü kördü. Körlüğünün nedeni tıbbi bir gizemdi. Optalmologlara göre, gözü tamamen normaldi. Sonunda, muam-

ma çözüldü. Bebekken, küçük bir enfeksiyon tedavisinin bir parçası olarak gözü iki haftalığına bandajlanmıştı. Böyle bir tedavi, bağlantıların daha iyi kurulu olduğu bizim yaşlı beyinlerimizde hiçbir değişiklik yaratmazdı. Ancak, doğumdan kısa bir süre sonra göz bağlantıları, beyin-göz devrelerinin kurulması bakımından çok kritik bir dönemdeydi.

Bandajlı göze hizmet eden nöronlar çalışmadığı için, daha önce kurbağanın gözü ve farenin bıyıklarında gördüğümüz gibi, normal hedeflerinin kontrolü, normal ve işleyen gözün sınırlarına geçmişti. Bu durumda, çalışmayan nöronlara beyin, sanki hiç orada yokmuşlar gibi muamele etmişti: dolayısıyla da bu hareketsiz, işlevsel olarak varolmayan nöronların hedefi, hareketli beyin hücreleri tarafından istila edilmişti. Ne yazık ki, gözün bandajlanması beyin tarafından, çocuğun o gözü ömür boyu bir daha kullanmayacağına dair bir gösterge olarak yanlış yorumlanmıştı.

Normalde, bu "kullan ya da kaybet" kuralı yararlı olacaktır, çünkü nöron devrelerinin çalışan hücrelere göre oluşturulduğu anlamına gelecek, bu ise kişinin içinde yaşaması gereken çevrenin taleplerini yansıtacaktır. Genişleyen insan beyinde, beyin devresinin içindeki lokal faktörlere karşı bu duyarlılık gitgide artar. Gelişimimiz doğumdan sonra devam ederken, beyin içinde itişip kakışan, yerinde duramayan nöronlar, dış dünyada neler olduğunu yansıtacak devreleri oluşturdukları sırada çok reaktiftirler. Beynin içinde, on altı yaşına kadar, nöronlarımız arasında kanlı bir savaş yaşanır. Bu, bağlantıları kurmak için verilen bir savaştır. Bir nöron, hedef nöronla temas kurmazsa ya da yeterince uyarılmazsa, ölür.

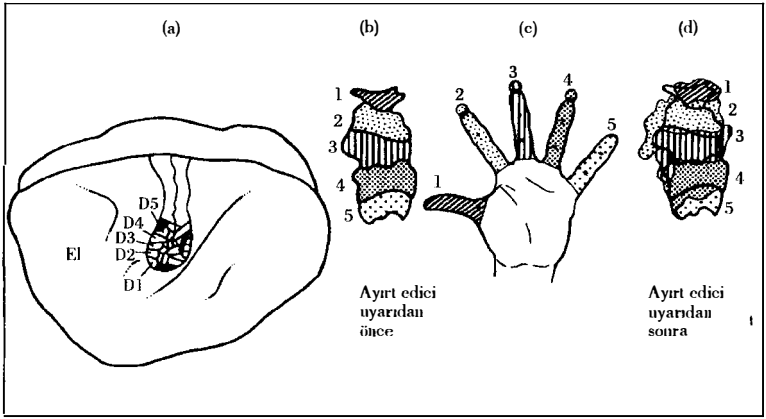
Çevremizle bu şekilde etkileşime girdiğimizde, gitgide daha fazla sayıda uygun (yani, en sıkı çalışan) nöron en etkili sinyalleşmeyi mümkün kılmak için birbiriyle bağlantı kurarken, o çevrede hayatımızı sürdürmekte ustalaşırız. Özgül bir beyin bölgesi içinde bile, bazı beyin devreleri diğerlerine göre daha

fazla büyür. Bunlar hem elektriksel (bkz. 3. Bölüm), hem de metabolik bakımdan en etkin devrelerdir, çünkü enerji depolayan adenozin trifosfat (ATP; bkz. 1. Bölüm) adlı kimyasalın üretiminde kullanılan kimyasallar açısından en zengin olanlarıdır. O halde beyinde, etkinlik ve gelişme el ele devam eder: bu sadece "kullan ya da kaybet" meselesi değildir, "kullana-bildiğin kadar kullan" kuralı da geçerlidir. (Bkz. Şekil 10)

Normal yaşam biçiminde ya da içinde bulunduğumuz çevredeki küçük bir değişiklik, nöron devresindeki bir değişiklikle yansıtılır. Örneğin kedi yavrularına, yataya karşı dikey çizgilerden oluşan şekiller arasında ayırım yapabildiklerini göstermek üzere bir patilerini kaldırmaları öğretilmişti. Beyinlerinde yapılan inceleme, korteksin o patiye ait hislerle ilgili olan özgül bölümündeki bağlantılarda yüzde 30'luk bir artış olduğunu gösteriyordu. Dolayısıyla, önemli olan bağlantılardır; çevreden gelen uyarının derecesi nöron bağlantılarının nasıl oluştuğunu belirleyecektir. Bireysel anılarınızı belirleyen ve bir sonraki bölümde göreceğimiz gibi sizi olduğunuz kişi haline getiren de budur.

Bu bağlantı seçkisinin, varolan ve sonradan "kaybolan" daha geniş bir bağlantı havuzundan alındığı yaygın bir fikirdir; bu biraz da mermer ya da graniti ortadan kaldırarak ya da yok ederek heykel yapmaya benzer. Pek çok nöron bağlantısı hiç kuşkusuz gelişim aşamasında göçüp gitse de, nöronların kullanılma ve sonuçta etkinleşme derecesine bağlı olarak aralarındaki uygun bağlantıyı kuvvetlendirdiği için, bu tür bir kayıp beynin büyüme hızıyla kıyaslandığında önemsiz sayılır. Bu nedenle bireye ait beynin içinde şekillenen geniş kapsamlı bir beyin yoktur ve yaklaşık on altı yılda beyin büyürken, birey de büyür.

On altı yılda olgunlaşan beyin, son on bir yıl içinde yüzde 5 oranında büyümüştür. Beyin gelişirken etkilere özellikle açıktır; ancak bu uyarlanma becerisi olgunluk döneminde yok ol-



ŞEKİL 10.

Beynin sürekli olarak deneyime uyarlanması. Maymunun beş parmağından her biri (D1-D5) korteks içinde dokunma duyusunu işlemeye ayrılmış olan bölümde yer alan iki bitişik alanda temsil ediliyor: "somatik-duyusal korteks" (a). (b) ve (d) diyagramları yetişkin bir maymundan, eğitimden önce (b) ve sonra (d), (c)dekilere tekabül eden her bir parmağa yönelik nöron tahsislerini gösteriyor. Eğitim sırasında, maymun günde bir saat boyunca 2. ve 3., zaman zaman da 4. parmağıyla disk çevirdi. Üç ay sonra beyinde çevirme işleminden ek uyarı alan parmakları temsil eden alan (d), belirgin bir biçimde büyümüştü.

[E. Kandel ve R.D. Hawkins'ın *Mind and Brain* adlı kitabından uyarlanmıştır. (New York: W.H. Freeman & Co. 1993)]

....

masa da biraz azalır. Ortamı manipüle ederek, olgunlaşmış beyindeki uzun vadeli değişiklikleri gözlemlemek mümkündür. Örneğin, ergin sıçanlar oynayabilecekleri pek çok oyuncak, tekerlek, merdiven ve benzerlerinin bulunduğu "zenginleştirilmiş bir ortam"a bırakılmış, diğer benzeri sıçanlar ise oyuncak olmasa da istedikleri kadar yiyecek ve su bulabilecekleri sıradan bir kafeste tutulmuştur.

Bu iki sıçan grubunun beyinleri incelendiğinde, sadece "zenginleştirilmiş ortam"da bulunanların beynindeki bağlantı

sayısının arttığı, diğerlerinde sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Beyindeki nöron sayısı, aralarındaki bağlantılar kadar önemli görünmemektedir. Bu bağlantılar sadece gelişme döneminde değil, ergenlikte de epey değişebilir. Özgül deneyimler, son derece özgül nöron devreleri arasındaki bağlantılılığı artıracaktır.

Bu tür bir çalışmanın çok açık görünen toplumsal sonuçları konusunda dikkatli olmalıyız. Bir insan için zenginleştirilmiş bir ortam, daha maddi edinimlerin bulunduğu ya da asi bir gencin yaptığı tekrara dayalı dans figürleri gibi, fiziksel etkinliğin arttığı bir ortam değildir. Kilit etmen beynin uyarılmasıdır. Sıçanlar üzerine yapılan bir çalışmada, beyindeki en büyük değişikliklere sadece fiziksel etkinliğin değil, öğrenme ve bellikle ilgili etkinliklerin de neden olduğu bulgulanmıştır. "Zenginleştirilmiş ortam"la beyninizi uyarmak için zengin olmanız gerekmez. İnsanlar, okuldaki resmi eğitimin dışında, ister şehir içinde olsun, ister Karayipler'de bir plajda, konuşmalar, anlamlı ilişkiler, bulmacalar ve sürekli okumayla uyarılabilirler.

Böylece, hayatımızı yaşarken bize bireysel, benzersiz bir beyin bağışlayan nöronlar arasında bağlantılar kurarız. Yine de, orta yaşa geldiğimizde, kişiliğimiz artık iyice oturmuştur, ya da biz öyle zannederiz: orta yaşlı bir kişinin beyinde, bazı işlemler elbette biraz yavaşlar. Daha genç insanlar daha hızlı tepki verirler. Orta yaşlı bir kişinin beyni gelişmeye ve çevreye tepki vermeye devam ederken, bazı süreçlerde —örneğin araba kullanma gibi yeni beceriler edinmede— yavaşlama görülür. Gençler daha iyi araba kullanmasalar da, araba kullanmayı öğrenme açısından daha beceriklidirler: British School of Motoring'den elde edilen istatistikler, ortalama ders saati sayısının (bir kişinin okulda araba kullanmayı öğrenmek için para ödediği saat sayısı) genelde öğrencinin yaşıyla orantılı olduğunu göstermektedir.

Beynimiz bazı yönlerden yavaşlamaya, diğer yönlerden çevreye uyum sağlamaya ve değişmeye devam eder. Çoğumuz

uzun yaşayıp sonunda yaşlılık günlerimize erişmek isteriz. İnsan ömrünün uzadığı gayet iyi bilinmektedir. Aslında, yaşlıların beyin bozukluklarının gitgide daha fazla öne çıkması, beynin incelenmesini zorunlu kılan başlıca nedenlerden biridir. 1900 yılında ortalama ölüm yaşı kırk yediydi ve nüfusun sadece yüzde 4'ü 65 yaşın üzerindeydi. 1990 yılında, nüfusun yüzde 12'sinden fazlası 65 yaşın üzerine çıkmıştı. 2020 yılında ise nüfusun yüzde 20'sinin 65 yaşın üzerinde olacağı tahmin edilmektedir. İyi beslenme, daha iyi tıbbi bakım ve fiziksel egzersizlere giderek artan ilgi sayesinde, geçmiş nesillere göre çok daha sağlıklı olma şansına sahibiz.

Ancak, hayatın bu son evresinde beyin hacminde küçülme başlar. 90 yaşına varıldığında, beyin ağırlığı yüzde 20'lik bir kayba uğrar. 70 yaşında bile beyin yüzde 5'lik ağırlığını yitirmiş durumdadır. Öte yandan, 1. Bölüm'de belirtildiği gibi kalan nöronlar bazı rolleri üstlenebilirler. Beyin neden yaşlanır? Genetik enformasyona artık ulaşamayan yaşlanmış genlerin etkinleşmesi ya da genetik programların zaman içinde birdenbire bozulması ya da hareketsiz veya zararlı proteinlerin üretilmesi gibi çeşitli teoriler bulunmaktadır. Yaşlılık döneminin tahrip edici hastalıkları olan Alzheimer ve Parkinson'un sebebini hâlâ bilemiyoruz. Ancak, bu rahatsızlıkların yaşlılığın doğal bir sonucu değil de, aslında birer hastalık olduğunu anlamamız önemlidir.

Alzheimer hastaları üzerinde yakın zamanlarda yapılan bir çalışmada, beynin belirli bir bölgesinin (orta temporal lob) Alzheimer olmayan aynı yaşta bir hastanınkinin yarısından daha küçük olduğu bulgulanmıştır. Alzheimer hastalarında beynin bu bölgesindeki daralma hızının, normal yaşlı insanlardakine kıyasla çok daha fazla oluşu daha da dramatik bir buluştur. O halde Alzheimer, beyinde yıkıcı sonuçlara yol açan feci bir hastalık olmakla birlikte, hepimizin doğal yazgısı değildir.

Yine de beyin hücreleri, normal yaşlılıkta gerçekten değiş-

mektedir. Bazıları nöronların alıcı bölgesi olan dendritlerde bir azalma olduğuna inanmaktadır ama bu fikir üzerindeki yoğun tartışmalar hâlâ sürüyor. Eğer bu doğruysa, bilgiyi işleme becerilerimizin azaldığı düşünülebilir. Ne var ki, yakın tarihli bir çalışma, hâlâ inanılmaz miktardaki bilgiyi işleyebildiğimizi göstermiştir. Yaşlı sıçanların zengin bir ortama tepki olarak yeni bağlantılar kurabildiğini biliyoruz. Yaşlı insanların problem çözmede daha kötü performans göstermelerine ve bilgiyi daha yavaş işlemelerine karşın, elimizde öğrenme becerisinin yaşla azaldığına dair bir delil bulunmamaktadır. Aslında, söz dağarcığı gelişmektedir. Politikacılar, şirket başkanları, dini ve siyasi liderler, güçlerinin zirvesine çoğunlukla altmışlı ve yetmişli yaşlarında ulaşırlar. Eski Roma’da insanların ancak altmışından sonra yargıç olabilmelerinin nedeni belki de buydu.

Fiziksel düzeyde bile, hepimizin yaşlanınca güçten düşeceğini varsaymak için bir neden yoktur. Hildo Crooks adlı bir hanım 91 yaşında Fuji Dağı’na tırmanmıştır. Yaşlılık, bir birey olarak kişiliğinizin nihai dışavurumu olabilir. Bir sonraki bölümde bireyselliğin fiziksel beyin açısından nasıl dışavurulabildiğini göreceğiz.

ZİHNİ AKLIMIZDA TUTARAK

Bireyselliğin kökleri nereye uzanır? Tek bir insan beynine bakarak, kişinin kadın mı yoksa erkek mi olduğunu belirlemek eğitim gerektiren bir tahmindir. Ancak bu kadın ya da erkeğin, nazik veya esprili bir kişi olup olmadığını söylemek olanaksızdır. 1. Bölüm’de de gördüğümüz gibi, tüm beyinler aynı temel tasarıma uyar: bazı sinirler, duyuvar hakkında içeri bilgi taşıırken, dışarıya uzanan diğerleri de adaleleri kasar ve hareketten sorumludur. Beynin nöronlardan meydana geldiğini ve bu nöronların faaliyetlerini sürdürdükleri devrenin kısmen genetik olduğunu ama büyük ölçüde —en azından karmaşık beyinlerde— çevreden de etkilendiğini görmüştük. Peki ama bu tür bir devre, nasıl bireye dönüşebilir? Bu bölümde bu konuya değineceğiz.

Tek yumurta ikizleri birbirinin klonudur. Döllenen tek yumurta ikiye ayrıldığı için, onlar aynı genleri taşıyan iki ayrı insandır. Fakat birbirinin tıpatıp aynısı mıdırılar? Tek yumurta ikizlerine ait beyinlerin nükleer manyetik rezonans (NMR) taramalarıyla görüntülenmesi elbette ki genel yapısal düzeyde büyük bir benzerlik olduğunu göstermektedir (Bkz. 1. Bölüm). Tek yumurta ikizlerine tercihleri, tavırları ve deneyimleri hak-

kında sorular sorulduğunda çoğu kez, belki de pek şaşırtıcı olmayacak şekilde benzerliklere rastlanır. Aynı ortamda yetiştirilmiş kardeşlerde rastlanan zevk ve fikir uyumu ise o kadar dikkat çekici görünmeyebilir.

Tek yumurta ikizlerinin gösterdiği farklı algılama ve düşünme belirtileri, genetik oluşumları aynı olsa da, onların kendine özgü bir bilince sahip olduklarını kesin bir biçimde ortaya koyar. Bireysellik genlerle açıklanamadığına göre, kısmen de olsa, beyinde bulunan ve aynı yumurtadan gelen kişiler tarafından bile paylaşılmayan başka bir etmene bağlı olmalıdır.

Bir önceki bölümde deneyimlerin bir kilit etmen olarak beynin mikro-devresini nasıl şekillendirdiğini görmüştük. Hoş olmayan bir olayla ilişkilendirdiğiniz bir şeyi yemeniz, o özel yiyecek türünden hoşlanmamanızı sağlayabilir. Ya da basit bir örnek olarak, bir kişinin Mozart'ı tercih ettiğini söyleyebilmesi için Mozart müziğine mutlaka aşina olması gerekir. Hiç yaşamadığımız deneyimlerin, kişiliğimizin şekillenmesinde bir rolü olamaz: bir kişi kalıtsal olarak çok sayıda dil öğrenme potansiyeline sahip olduğu halde farklı dillerin konuşulduğu ortamlarda hiç bulunmamışsa, bu dil yeteneği hiçbir zaman anlaşılmayacaktır.

Bir beynin evrimindeki belki de en kritik süreç, ergenlik yıllarına kadar olan ve o yılları da kapsayan dönemdir, ancak daha sonra da beyin sabit olarak kalmaz. Aralıksız olarak önümüze çıkan deneyimlere tepkiler verip geri çekildikçe, karakterimiz uyum sağlamaya devam eder. Deneyimlerin bu şekilde kalıcı bir etki bırakabilmesi için, hatırlanmaları gerekir. Dolayısıyla bireyselliğin özü büyük ölçüde, kişinin hatırlayabildiği şeylerdedir. Belki biz de bireyselliğin fiziksel temeline ilişkin gizeme yaklaşmanın bir yolu olarak, işe bellekle başlayabiliriz.

İngilizce'de bellek (memory) birbirinden oldukça farklı süreçleri kapsayan bir terimdir. Bir ahtapotla bir insanın bellek süreçlerini karşılaştıralım. Tüm omurgasız beyinleri arasında

en büyüklerinden biri olan ahtapot beyninin büyüklüğü aşağı yukarı bir balığinkine eşittir ve 170 milyon kadar nörondan meydana gelir. Bu sayı büyük gibi gözüktense de, insan beynindeki 100 milyar nöronla karşılaştırıldığında önemsiz kalır. Gene de ahtapot, çok gelişmiş gözleri ve çok sayıdaki dokungaçlarıyla çalışan karmaşık bir dokunma sistemine sahip olduğu için, öğrenme ve bellek deneylerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Deneylerde, ahtapot belirli renkleri birbirinden ayırt ederek her birine farklı anlamlar verebilir. Örneğin, arkasından gelecek bir karidesle ilişkisini önceden öğrenmiş olduğu renkli bir topu kolayca yakalayan ahtapot, ödüllendirici ya da itici bir şeyle eşleştirilmemiş olan farklı renkteki bir topa hiç tepki vermez.

Renkli bir top ile karides arasında basit bir ilişki kurmaktan ibaret olan bu bellek türü, deniz kıyısında geçen sıcak bir yaz gününe ya da bisiklete binmeyi öğrenmeye ilişkin bir anıdan ya da "pencere"nin Fransızcasının ne olduğunu anımsamaktan çok farklı görünebilir. *Bellek* sözcüğünün genel tanımına giren birbirinden değişik birçok beyin süreci vardır. En temel ve en tanıdık olanı, kısa süreli ve uzun süreli bellek arasındaki ayırımdır. Kısa süreli bellek, bir sayı dizisini anımsamaya çalıştığımız sırada devreye girer. Dikkati dağıtan bir şey yoksa her şey yolunda demektir, çünkü kullanılan strateji genellikle diziyi zihnimizde sürekli olarak tekrarlamaktan ibarettir. Bu, şaşırtıcı bir şekilde mütevazı bir süreçtir: ortalama olarak ancak 7 rakamı anımsayabiliriz.

Kısa süreli bellek konusunda sorulacak en açık sorulardan biri de, uzun süreli bellekle nasıl bir ilişkisi olduğudur. Daha az yapmacık olan bu bellek süreci türü, tekrarlama ya da prova gerektirmez. Kısa süreli ve uzun süreli bellekler, birbirine paralel olarak, tamamen bağımsız bir şekilde mi işlemektedir? () anın ötesinde yaşadığı şeyler hakkında hiçbir şey anımsamayan, bu yüzden de genel bir amnezi sergileyen hastaların, ge-

ne de amnezi sorunu olmayanlardan ayırt edilemeyecek kısa süreli bellek yetisine sahip oldukları gayet iyi bilinir. O halde iki sürecin birbirinden ayrıştırılabileceği açıktır, ancak kısa süreli bellek yetisinden yoksun bir kişi, buna rağmen normal bir uzun süreli belleğe sahip olabilir mi?

Kısa süreli bellek bozukluklarının üzerinde çalışmak zordur. Uzun süreli bellek, tek aşamalı bir süreç değildir. 2. Bölüm'de diğer beyin işlevleriyle ilgili olarak gördüğümüz gibi, farklı yönlerden ele alınabilir. Bu farklı yönlerden her birinin karşılığında kısa süreli bir bellek şekli mevcuttur. Örneğin anlamsız kelimelere karşı kısa süreli bellekleri zayıf olan küçük çocukların, tanıdık olmayan oyuncak isimlerine karşı uzun süreli bellekleri de zayıftır. Anlaşılan, kısa süreli ve uzun süreli bellekler birbirinden bağımsız bir şekilde paralel olarak değil, seri olarak çalışmaktadır. İlk önce kısa süreli bellek devreye girer; bu geçici, büyük ölçüde istikrarsız ve hassas bir süreçtir, daha kalıcı ve durağan olan uzun süreli belleğe öncülük etmesi için de, dikkat ve tekrarlama gereklidir. Kısa süreli belleğe yönelik başarılı tekrarlamalar, sonuçta özel bir telefon numarasının sabit dikkat gerektirmeksizin akılda kalmasına yol açacaktır.

Örneğin, bir telefon numarası ya da bina ve kasanın güvenlik numarası gibi önemli rakamlar akılda tutulduğunda, kısa süreli belleğin geliştiğini hepimiz biliriz. Her halükârda, herhangi bir şey belleğimizde otuz dakikadan uzun bir süredir canlılığını koruyorsa, büyük olasılıkla, en azından birkaç gün boyunca unutulmayacaktır. Bir sarsıntı ya da elektrik şoku tedavisinden (şiddetli depresyona karşı radikal bir tedavi yöntemidir bu) sonra kendine gelen hasta, karakteristik olarak olaydan bir saat kadar önce neler olduğunu hatırlayamazken, uzun süreli belleği çalışmayı sürdürür. Bu vakalarda, bellek sürecinin sadece ilk basamağında, yani kısa süreli bellek aşamasında bir bölünme olduğu tahmin edilmektedir. Olayların normal

seyrinde meydana gelen bu kopukluk, hayatın o anının kişinin zihninde kalıcı bir biçimde kaydedilmesi olasılığını ortadan kaldırır.

Kısa süreli bellek, uzun süreli belleğe hizmet etmek için çalışır. Peki ama uzun süreli bellekle ne kastediyoruz? Kapsayıcı bir kavram olan belleğin bu ikinci temel kategorisi de, kendi içinde iki ayrı fenomene ayrılabilir. Yaşadıkça çok şey öğrenir ve anımsarız: araba kullanmayı, "teşekkür ederim" in Fransızcasını, halamız bizi son kez ziyarete geldiğinde yaptığımız şeyleri... Bunların tümü, işbaşındaki farklı bellek türlerine ilişkin örneklerdir. Ancak bu üç örnek içinde biraz garip olanı, araba kullanmayı öğrenmektir. "Teşekkür ederim" in Fransızcası gibi bir olgunun ya da halamızın son ziyareti gibi bir olayın anımsanması belirgin bir biçimde bilinçli çaba harcamayı gerektirir. Araba kullanmak ise, birçok beceri ve alışkanlık gibi, neredeyse otomatik pilota takılı olarak gerçekleştirilir. Dolayısıyla da bu bellek türü, *örtük* bellek (implicit memory) olarak nitelendirilir, çünkü bir şeyi nasıl yapacağımızı etkin ve bilinçli bir biçimde anımsamamız gerekmez: sadece arabaya biner ve süreriz. Bir kırmızı ışığa yaklaştığımızda ayağımız "otomatik olarak" frene basar. Bu sürecin aksine, olayların ve olguların anımsanması ise *açık* bellek (explicit memory) olarak nitelendirilebilir.

Açık belleğin tamamen yitirilmesine ilişkin en ünlü ve derinlemesine araştırılmış vakalardan biri, H.M. adlı şiddetli epilepsisi olan genç bir erkektir. Epilepside, nöbet geçirerek kıvranan hasta, bilinç kaybına da uğrar. H.M. vakasında bu epilepsi nöbetleri o kadar sıklaşmıştı ki, normal bir hayat yaşaması imkânsız bir hal almıştı.

1953'te, yirmi yedi yaşındayken H.M.'nin beyninin bir kısmı, epilepsi krizlerinin kontrol altına alınabilmesi amacıyla alındı. Epilepsiyle mücadeledeki başarısına karşın, bu ameliyat korkunç sonuçları nedeniyle bir daha asla yapılmadı: cerrahi

müdahaleden sonra H.M. yalnızca, ameliyattan iki yıl öncesine kadar olayları anımsayabiliyordu. Müdahaleden sonra ise adeta şimdiki zamana hapsolmuş gibiydi.

H.M.'nin ruh halini hayal etmek gerçekten zor. Ameliyattan sonra tanıştığı arkadaşlarını ya da komşularını tanıyamıyor. Doğum tarihini verebilse de, yaşını doğru söyleyemiyor, daima gerçek yaşından küçük bir tahminde bulunuyor. Gece boyunca hemşireye nerede olduğunu ve neden orada bulunduğunu soruyor. Bir önceki güne dair olayları kafasında toparlayamıyor. "Neye sevinirsem sevineyim, neye üzülürsem üzüleyim, her günüm kendi başına bir gün" diye açıklıyor. H.M. için artık dün diye bir şey yok.

Sonuç olarak H.M., sadece bazı basit işleri yerine getirebiliyordu. Dolayısıyla da çakmakları karton kutulara istifleme gibi monoton işlerde çalışabiliyordu. Çalıştığı yeri, yaptığı işi ya da her gün işe giderken geçtiği yolu tarif edemiyordu.

Bütün bunlara rağmen, H.M. hâlâ yedi rakamlı sayı dizilerini anımsayabiliyordu ve bu da kısa süreli belleğin, hemen ardından gelen uzun süreli bellek aşamasından ayrı bir süreç olduğunu gösteriyordu. Üstelik H.M. uzun süreli bellek yetisini kaybetmiş görünse de, beyni farklı bir bellek türünü korumuştur. H.M. bir yıldız çizmek gibi bazı motor becerilerde oldukça iyi performans gösterebiliyordu. Ancak bu, pek de kolay bir iş değildir, çünkü taslağın aynaya bakarak çizilmesi gerekir: bisiklete binmek ya da araba kullanmak gibi pratik yaparak geliştirilen, duyuşsal motor eşgüdümüyle ilgili zorlayıcı bir egzersizdir. Gerçekten de H.M. her geçen gün gelişerek, farklı bir bellek türü olan örtük belleğin, beynin olaylara ilişkin anıları barındırdığı kısmında işlemediğini göstermiş oldu. İşin ilginç yanı, H.M.'nin beyni çizim işinde gitgide ustalaşsa da (örtük bellek), H.M. yıldız çizmeyi öğrenme *olayını* anımsadığının (bir açık bellek örneği) bilincine varamıyordu.

H.M. ameliyattan sonraki ve ondan iki yıl önceki olayları

anımsayamasa da, geçmişe ait anılarının beynin içinde sanki mumyalanmış gibi hiç zarar görmeden saklanmış olması, şu anki tartışmamızla özellikle ilgilidir. Bu anıların belli ki beynin ameliyatla alınmış olan kısmıyla bir ilgisi yoktu. O halde tek bir beyin bölgesinin olgular ve olaylarla ilgili toplam bellek sürecinin tüm sorumluluğunu üstlenmesi yerine, anılar büyük olasılıkla bir beyin bölgesinde bir şekilde işlenmekte, ancak başka bir yerde pekiştirilmektedir. H.M. vakasında hasar, yeni bir anının ilk önce işlem gördüğü aşamada meydana gelmiş olmalıdır. Bu yüzden daha önce pekiştirilmiş olan anıların tümü sağlam kalmıştır. Tıpkı 2. Bölüm'de duyuları ve hareket kontrolünü gözden geçirirken gördüğümüz gibi, farklı beyin bölgeleri bir işlevin farklı yönlerinden sorumludur.

H.M.'de ameliyatla alınan bölge, beynin her iki tarafında, isminden de anlaşıldığı gibi şakakların kenarında kulakların hemen üzerinde bulunan temporal lobun orta kısmıydı. Bu bölge aynı zamanda korteksin hemen altındaki, denizata benzetildiği için Yunanca'da "denizati" anlamına gelen hipokampusu da içerir. Bence korteksin altında bulunan hipokampusu, beynin iç kütlesi etrafında kıvrılmış koç boynuzlarını andıran bir yapı olarak göz önünde canlandırmak en kolaydır. H.M. vakasının hemen ardından elde edilen pek çok klinik ve deneysel delil, beynin bu bölgesinde oluşan herhangi bir hasarın, sonuçta anıların saklanmasında aksaklıklara yol açtığını göstermiştir.

Belleğin daha özgül bir yönü olan bu ilk pekiştirme işlemi açısından önemli görünen bir bölge daha vardır: gelen duyu bilgilerinin kortekse aktarılması açısından hayati önem taşıyan orta talamus (bkz. 2.Bölüm). İşitme ve görme süreçlerinin talamusun farklı bölümlerine dayalı olması gibi, özgül bir bölgesi de belleğe katkıda bulunur.

Eskrim kılıcı ya da bilaro sopasının insanların burun deliğinden girerek orta talamusta tahribata yol açmasıyla sonuçla-

nan birkaç talihsiz ve garip kaza sayesinde, orta talamusun belleğe katkıda bulunduğunu biliyoruz. Bu tür kazaların kurbanları, yaşadıkları olaylara karşı amnezi sergilemişlerdi. Ancak buraya kadar incelediğimiz amnezi örneklerinin aksine, sorun çoğunlukla geçiciydi. Amnezi geçici olsa bile, devam ederken meydana gelen olaylar, o sırada orta talamus iyi çalışmadığı için olsa gerek, hiçbir zaman anımsanamaz. Dolayısıyla hipokampus gibi orta talamusun da anıların pekiştirilmesi açısından önemli bir rolü olduğu söylenebilir.

Kaynak amnezi, bir olayın ne zaman ve nerede meydana geldiğine dair bellek kaybıdır. Zamana ve mekâna ilişkin bir ipucu yoksa, olaylar ayırt edilemez ve kişi olup bitenlere bizzat müdahale edemez. Olaylar benzersiz ve kişisel, olgular ise genel, zaman ve mekân çerçevesinin dışında olduğundan, kaynak amnezi öncelikle olgulara değil de, olaylara ilişkin belleği etkileyecektir. Hem olaylara hem de olgulara ilişkin bellek, hipokampus ile orta temporal lobun birbiriyle bütünleşmesine dayalı görünürken, 1. Bölüm’de değindiğimiz üçüncü bölge olan prefrontal kortekste meydana gelen bir hasardan yalnızca olaylara ilişkin bellek etkileniyor gibidir.

Prefrontal korteksle bağlantısı olan medial talamusta meydana gelen bir hasarın, aynı zamanda anılara ayrılan zaman-mekân açısından bazı özel hatalara yol açması oldukça ilginçtir. O an konuşulan ve düşünülen şeylerle ilgisiz olan anılar, yerli yersiz, bağlam dışı bir şekilde öne çıkabilir. Prefrontal korteksin, belli bir anda ve yerde meydana gelen olayların anımsanma şeklinin yanı sıra, muhtemelen benzer bir zamanda ya da yerde meydana gelen ilintili olaylarla ilişkilendirilme şekli üzerinde de etkili olduğu sanılmaktadır.

Semantik (anlamsal) bellekteki olgular, epizodik (oluntusal) bellekteki olaylardan yalnızca, özgül bir an ve yerden koparılmış olmaları bakımından farklı olsa gerektir. Geçen yaz tatilinde bir gece ormandaki sığınağında görmüş olduğunuz pembe

fil oradan çıkarıldığı anda, fillerin pembe olabileceğine dair genel düşünceye indirgenmiş olur. Olguların zaman ve mekâna yapılan göndermelerle olaylara dönüştürülerek kişiselleştirildiği alanların hasar görmesi, belleğin kendisini tahrip etmek yerine, olguları meydana geldikleri bağlamdan koparacaktır. Zaman ve mekân açısından özel ve benzersiz özellikleri olmayan belirli olaylar ise, genel olgulara indirgenecektir.

Eğer prefrontal korteks, olaylara ilişkin belleğe ayrılan bu tür zaman-mekân açısından gerekliyse ve eğer 1. Bölüm'de gördüğümüz gibi gelişim sırasında olağandışı ayırt edici bir büyüme göstermişse, o halde olaylara ilişkin belleğin bu türü, diğer hayvanlarınkiyle kıyaslanamayacak büyüklükte prefrontal korteksleri olan biz insanlarda, özellikle belirgin olacaktır. Hayvanlarda, olaylara ilişkin bellek, yer ve zaman koordinatlarıyla daha az bağlantılı ve daha genel olabilir. Bir kedi, arka bahçede fincan tabağındaki sütü içtikten hemen sonra ve ağaca tırmanmadan önce bir fare yakaladığı bahar gününü anımsayamasa da, fareyi yakaladığına ilişkin daha genel ve belli belirsiz bir anısı olabilir. İlginç bir şekilde, biz insanların da bu genel bellek türünü andıran anılarımızın olduğu belli bir durum vardır.

Bu konuda öncü çalışmalar 1950'lerde Kanadalı bir cerrah olan Wilder Penfield tarafından yapılmıştır. Penfield, sinir ameliyatı geçiren beş yüz hasta üzerinde çalışmalar yapmıştır. Pek çok insan için, beyinde hiçbir acı algılayıcısının bulunmaması tuhaf bir sürprizdir; ama bu sayede hastanın beynine bilinci yerindeyken, herhangi bir acı vermeden müdahale edilebilmektedir. Penfield, hastaların rızasıyla, zaten yapılması gereken bu ameliyatlardan yararlanarak beynin bellek deposunu incelemiştir. Beynin yüzeyi açık ve hastanın bilinci tamamen yerindeyken, korteksin farklı bölgelerini elektrikle uyararak hastaların yaşadığı deneyimleri belgeleyebilmiştir.

Hastaların çoğunlukla yeni bir deneyimden söz etmemiş ol-

maları belki de şaşırtıcı değildir. Ancak kimi zaman ilginç sayılabilecek bir fenomen gerçekleşmiştir: hastalar çok canlı sahneler anımsayabildiklerini iddia etmişlerdir. Çoğunlukla bu anılarının bir rüyaya benzediğini, belirli bir zaman ve mekân referansı verilemeyecek genel deneyimler olduğunu belirtmişlerdir. Belki de bu fazlasıyla yapay durumda, elektrik uyarısı orta temporal lobu devreye sokuyor, diğer gerekli ama daha uzak bölgeleri ise harekete geçirmiyordu. 1. Bölüm'de ve burada gördüğümüz gibi, anılarımız prefrontal korteks olmasa da varlığını korur, ancak daha silik ve daha az özgül, belki de Pensfield'ın hastalarının rüyaya benzer anıları ya da normal rüya gibidir. Hangi nedenle olursa olsun, prefrontal korteksin rolündeki azalma gerçekten de rüyaya benzer bir ruh haline yol açıyorsa, o halde prefrontal korteksi daha az belirgin olan hayvanların bizim gibi keskin anıları yok demektir. Onların anıları daha ziyade, zaman-mekân bağlamından yoksun, cisimsizleştirilmiş olgulardır: bir olaya ilişkin "epizodik" bellek, neredeyse bir olguya ilişkin "semantik" bellek haline gelir.

1. Bölüm'de de gördüğümüz gibi prefrontal korteks, gelen bilgilerin ve sürüp giden davranışların, bazı içselleştirilmiş ve bireysel fikirler, algılar ya da kurallardan, yani kendine özgü bir zihni oluşturan içsel kaynaklardan etkilendiği yer olan işleyen bellek açısından önemlidir. Bu içsel kaynaklar, müthiş bir duyuşsal bilgi akışıyla beyinde oluşan bombardımana karşı bir çeşit denge gücü sağlar. Prefrontal kortekste oluşan hasarlar, sıklıkla şizofreniyle karşılaştırılmış, şizofreni ise kısmen, prefrontal korteksin işleyişindeki bir bozulmaya atfedilmiştir (bkz. 1. Bölüm). Şizofreninin yaygın ve göze çarpan bir özelliği, dış dünyaya karşı aşırı dikkattir ve bu çoğunlukla, ciddi bir perspektiften ve içsel kaynakların deneyime dayalı yorumundan yoksun, son derece parlak ve tiz bir görünüme sahiptir. Belki de hayalperestler, şizofrenler ve insan dışındaki hayvanlar, geçmiş olaylara ilişkin zayıf bir belleğe ve genel olguların bas-

kın olduğu, burası ve şu an üzerinde yoğunlaşan benzer bir bilinç türüne sahiptirler. Eğer öyleyse, bu tip bir bilinç profili, prefrontal korteksinin ciddi biçimde zedelenmesinden sonra Phineas Gage’de görölen karakter değişikliğine (bkz.1. Bölüm) de katkıda bulunmuş olabilir.

Buraya kadar hem olaylar hem de olgulara ilişkin açık bellek konusunda klinik vakalardan (H.M. gibi), hipokampus ve orta talamusun yaklaşık iki yıllık anıların saklanmasıda rolü olabileceğini; bu uzun süreli belleğin, Penfield’in araştırmalarının da gösterdiği gibi, bir şekilde temporal lobda "depolandığını" gördük. Bu arada, hem hipokampus hem de orta talamusla bağlantısı olan prefrontal korteks, uygun bir zaman ve mekân bağlamı olan olguları koordine ederek bir olayın benzersiz bir oluşum olarak anımsanmasını sağlamaktadır.

Bir olgu ya da bir olay beyinde nasıl depolanır? Geçmişteki olaylara ilişkin anıların, talamus ve hipokampusta meydana gelen hasarı atlatabilseler bile, asla yok edilemeyecekleri söylemez. Orta temporal lobu alınmış olan H.M.’nin bellek kaybını, başka bir hasta grubunda karşılaşılan değişik türden bir bellek kaybıyla karşılaştırmakta fayda var. Bu hastalar kronik alkolizm nedeniyle bellek sorunu yaşamaktadırlar. Yüksek miktarlarda alkol almanın getirdiği pek çok risk arasında, beslenmedeki tiamin eksikliğiyle ilişkili bir hastalık olan Korsakoff sendromu da vardır. Bu hastalığa yakalananlar, H.M. ile aynı türde bir bellek bozukluğunun –ameliyattan sonra gerçekteşen her şeye, yani ileriye yönelik amnezinin– yanı sıra, hastaneye alınmadan, hatta hastalığın başlamasından önceki olaylara ilişkin bir bellek kaybı da yaşarlar (geriye yönelik amnezi).

İleriye ve geriye yönelik amneziler arasındaki ayrım, 1970’li yıllarda yapılan bir çalışmada ortaya konulmuştur. Korsakoff hastaları, 1930 ve 1940’larda ünlü olan kişileri tanımada, H.M.’ye göre daha kötü bir performans göstermişlerdir. Bellek konusunda Korsakoff hastalarından bilgi edinmede

yaşanan sorun, bellek boşluklarını diğer düşünme süreçlerinden ayırmanın zor olmasından kaynaklanır. Alkoliklerde, beyindeki tahribat öylesine yaygındır ki, bellek dışında pek çok süreç de bu durumdan etkilenmiştir. H.M.'nin durumundan farklı olarak Korsakoff hastalarında, korteksin büyük bir kısmı dahil olmak üzere beynin diğer pek çok bölgesinde de yoğun hasar söz konusudur.

Bir anının en sonunda koruma altına alındığı belirli bir beyin bölgesi var mıdır? 1940'larda psikolog Karl Lashley bu soruyu yanıtlamaya çalıştı. Lashley sıçanları labirentler içinde bellek işlemleriyle eğittikten sonra kortekslerinin farklı kısımlarını çıkarıp alarak anı izlerinin nerede depolandığını tespit etmeye çalıştı. Şaşkınlık ve dehşet içerisinde, korteksin farklı bölümlerini çıkarıp aldıktan sonra, belirli bir bölgeyle belirli bir anının hatırlanması arasında tam ve birebir ilişki bulunmadığını gördü. Alınan bölgenin özgüllüğüyle ilgisiz olarak, korteks ne kadar küçülürse, bellek de o kadar kötüleşiyordu. Anıların depolanmasında tüm korteksin önemli bir rol oynaması belki de o kadar şaşırtıcı değildir.

Lashley'in sıçanlardan elde ettiği delillere paralel olarak Penfield'in bildirdiği klinik vakalar da, belleğin basit bir biçimde depolanmadığını; doğrudan doğruya beyinde saklanmadığını göstermektedir. Penfield'in çalışmalarında görüldüğü gibi, anıların bıraktığı damga adeta karmaşık bir rüya dizisini andırıyordu. Önemli bir sorun, anıların bir video bant üzerindeki son derece özgül kayıtlara benzememesi ve bir bilgisayar belleğinden çok farklı olmasıydı. Diğer bir sorun da, aynı bölge Penfield tarafından farklı nedenlerle uyarıldığında, farklı anıların ortaya çıkmaydı. Bunun aksine, farklı bölgelerin uyarılmasıyla aynı anılar ortaya çıkabiliyordu. Henüz kimse bu fenomenlerin beynin işleyişi açısından nasıl açıklanabileceğini kesin olarak gösterememiştir. Olasılıklardan biri, Penfield'in aynı yeri her uyarışında farklı bir nöron devresini harekete geçirdiği

ve her devrenin belirli bir anıyla ilişkili olduğudur. Penfield başka bir bölgeyi uyardığında ise, belki de bazen daha önce harekete geçirdiği bir devreyi bu sefer farklı bir tetikleme noktasından etkinleştiriyordu; hangi tetikleme noktasından olursa olsun, aynı devre harekete geçirildiğinde, büyük olasılıkla aynı anı ortaya çıkıyordu.

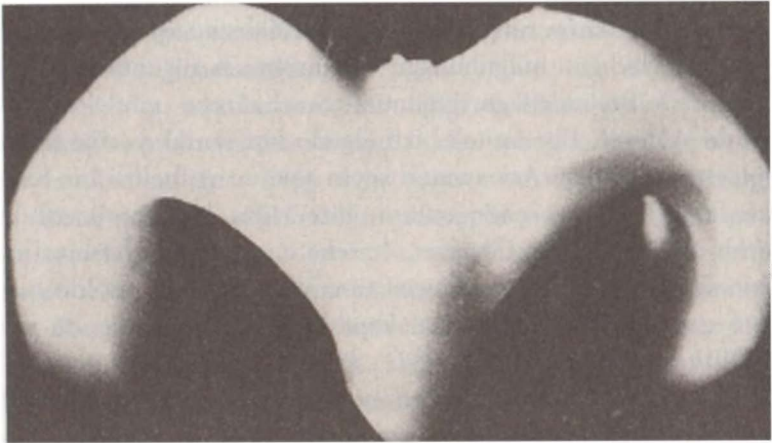
Penfield'ın bulgularının diğer bir yorumu, belleğin bir şekilde üst üste binen nöron devreleriyle ilişkili olduğudur. Bir nöron, çok sayıda farklı devrenin üyesi olabilir; her seferinde bir devreyi diğerinden ayırt eden şey, belki de özgül bileşimidir. Belleğin oluşumuna her devre katkıda bulunur, böylece tek bir beyin hücresi ya da özel olarak görevlendirilmiş bir hücre grubunun sorumluluğu üstlenmesi yerine, bellek paylaştırılmış olur. Biyokimyacı Stephen Rose, piliçlere doğal eğilimlerine karşı koyarak bir boncuğu gagalamaktan kaçınmayı öğrettiği sırada bu sonuca varmıştır.

Özetle Rose, piliç beyninin farklı kısımlarının, boncuğun büyüklüğüne karşı rengi gibi farklı özelliklerini işlemekten geçirerek hatırladığını bulgulamıştır. Bir nesnenin görüntüsüne ilişkin anı, 3. Bölüm'de gördüğümüz görsel sürece paralel bir biçimde saklanır. Bir anı tek bir bölgede toplanmak yerine farklı bölgelere dağıtılır. Anımsanan şeyin şekline ve belirli bir bağlamda uyandırdığı çağrışımlara göre, tüm korteks üzerinde farklı düzeylerdeki devreler harekete geçirilir. Lashley'in, anımsama sürecinde neredeyse tüm korteksin bir şekilde birlikte çalıştığı izlenimine nasıl kapıldığını anlamak hiç de zor değildir.

İlk olarak anılar kortekste pekiştirilmiş hale nasıl gelir? Tüm anı türlerinin başlangıçta, oldukça geçici ve ayırt edilebilir bir aşama olan kısa süreli belleğe girdiğini, fakat kısa süreli belleğin en fazla yarım saat sürdüğünü görmüştük. Şaşırtıcı H.M. vakası bunun tam aksidir; hayatının ilk dönemine ilişkin mükemmel bir belleğe sahipken, ameliyatından önceki iki yıllık

dönemde olup bitenlere dair dair hiçbir şey hatırlamıyordu. Hipokampus ve orta talamusun anıları pekiştirmesi birkaç dakikalık bir mesele değildir, oldukça önemli bir süre gerektirir.

Hipokampus ve orta talamusun korteksle birlikte, bu korteksaltı yapıların bütünleşmesine artık bağlı olmayacak anıları saklamak için yıllar boyunca nasıl çalıştıklarını kimse tam olarak bilmemektedir. Cazip bir fikre göre bellek, gelişigüzel unsurların, anımsanması gereken olay ya da olgu halinde ilk kez bir araya getirilmesiyle oluşmaktadır. Hipokampus ve orta talamusun rolü, birbirinden ayrı ve önceden ilişkilendirilmemiş olan bu unsurların artık ilişkilendirilmesini ve böylece bir şekilde yapışık bir bellek halinde bağlanmasını sağlamaktır. Tıpkı Rose'un deneyindeki boncukların rengine karşılık şekline ilişkin basit örnekte gördüğümüz gibi, korteksin farklı kısımları işe dahil olacaktır. Dolayısıyla da bu birbirinden farklı ve uzak



ŞEKİL 11.

Bir sıçan beyninden çıkarılmış olan hipokampus.

[Fotoğraf, Dr. Nick Rawlins, Oxford]

nöron topluluklarını işleyen bir ağ halinde bir araya getirmek için bazı mekanizmalara ihtiyaç duyulacaktır.

Başlangıçta, belleği temsil eden işleyen korteks ağındaki bağlılığın, hipokampus ve orta talamusla sürüp giden bir diyaloga dayalı olduğu düşünülebilir. Ancak, birkaç yıllık bir süre boyunca ağ kurulurken, korteksaltı yapılar giderek önemini kaybeder, sonunda H.M.'de gördüğümüz gibi yerleşmiş bir bellek, hipokampustan kurtularak ve ondan tamamen bağımsız olarak, sağlam kalabilir. Bunu yapı iskelesi metaforuyla açıklayabiliriz: bina inşa edilirken iskelenin kaldırılması, yapının çökmesine yol açabilir, bina tamamlandıktan sonra ise iskele gereksiz hale gelir.

Eğer olaylar ve olaylara ilişkin açık bellek, korteks ile belirli korteksaltı yapılar arasındaki bir başlangıç diyaloguna dayalıysa, belki beceriler ve alışkanlıkların korunmasında da aynı düzenleme geçerli olabilir: örtük bellek. Bir sayı dizisini hatırlamak ya da belirli bir hareketi uygun bağlamda düşünmeye gerek kalmadan yapmak gibi bazı alışkanlıklar, medial temporal lobu zedelenmiş olan amnezi hastalarında gereğince yerine getirilebilmektedir. Ancak Parkinson hastalığı ve Huntington koresi (bkz. 2. Bölüm) gibi bazal ganglionlardaki bozukluklardan mustarip olan hastalar, olguları ve olayları açıkça hatırlamakta herhangi bir sorun yaşamıyor gibidirler. Aksine onların sorunu, bir dizi uygun hareketten oluşan alışkanlığı artık yerine getirememeleri ya da kendilerine defalarca gösterilen ve normalde örtük olarak anımsanması gereken bir dizilim içinde bir sonraki nesneyi tanıyamamalarıdır.

Sıradan bir alışkanlık örneği, doğru hareketi doğru zamanda yapabilmektir. Huntington koresi hastaları bir hareketi uygun bir bağlamda yapamazlar —örneğin, bu rahatsızlığın özelliği sayılabilecek kolunu savurma hareketi beyzbol sahasında uygun olabilir, ancak bir alışveriş merkezinde hiç değildir. Öte yandan Parkinsonlu hastalar ardışık bir hareketi gerçekleştire-

mezler; ardışıklık ne kadar karmaşıksa —örneğin ayağa kalkmak ya da kendi etrafında dönmek gibi— aksaklık o kadar artar. Birbirinden oldukça farklı olan bu bazal ganglion bozukluklarının her ikisinde de, örtük bellek sisteminde hareketleri gerçekleştirme alışkanlığının farklı yönlerinde de (sırasıyla, bağlam ve ardışıklık) bir hata vardır.

Örtük bellekle ilgili olan beyin bölgeleri yalnızca bazal ganglionlar değildir. Bu bölümün başındaki ahtapot örneğinde gördüğümüz gibi, kimi bellek işlemleri şartlanmayla ilgilidir: top gibi nötr bir uyarıcının gösterilmesi, karides gibi anlamlı bir uyarıyla ilişkilendirildiğinde bir tepki uyandırıyordu. Günümüzde, ani bir adale hareketiyle ilgili olan belirli şartlanma türlerinin, başın arka kısmındaki beyincik tarafından kontrol edildiği düşünülmektedir (Bkz. 1. ve 2. Bölümler). Örneğin, hem tavşanlar hem de insanlar, çingirak sesi gibi nötr bir uyarıcıyı göz kırpmaya sebep olan üfleme gibi doğal bir uyarı ile ilişkilendirerek göz kırpmaya şartlandırılabilir.

Alışkanlıklar ve becerilerde kullanılan beyin yapılarının, olgular ve olaylara ilişkin açık bellekte kullanılanlardan değişik olduğunu görebiliriz. Bu yapıların özdeşliğinin yanı sıra korteksle ilişkilerinde de önemli bir fark vardır. Orta talamus ve hipokampusun korteksle karşılıklı bağlantıları güçlüyken, bazal ganglionlar ve beyincikle bağlantıları o kadar güçlü ya da baskın değildir. Hem Huntington koresi hem de Parkinson hastalığında, bazal ganglionların eksen niteliğindeki kısmı olan striatum, korteksten veri alır fakat kendisi kortekse veri göndermez. Benzer bir şekilde, kortekse dolaylı olarak bağlı olan beyinciğin de doğrudan bağlantıları yoktur. Dolayısıyla bu beyin bölgelerinin, açık bellekle ilgili olanların aksine, bir anlamda daha serbest bırakıldıkları düşünülebilir. Bu senaryonun, örtük bellek gibi dikkat ya da bilinçli bir çaba gerektirmeksizin gerçekleştirilen etkinliklerde geçerli olması beklenebilir: bu tür etkinliklerde bilinçli dikkat konusunda anahtar rollerden birini

üstlendiği bilinen kortekse sürekli olarak başvurmaya gerek yoktur. 2. Bölüm’de de gördüğümüz gibi, bir hareket, ya bazal ganglionlardaki içselleştirilmiş uyarıcılarla, ya da beyincikten gelen duyuşsal verilerle otomatik hale gelir gelmez, korteks, olguları ve olayları anımsama, yani açık bellek gibi diğer işlevler için serbest kalır.

Belleğin farklı süreçler halinde alt gruplara ayrılabilmesini ve her süreçte beyin bölgelerinin farklı bileşimlerinin katkısı olduğunu görmüştük. Ancak tüm bu bellek süreçleri açısından belki de en gizemli mesele şudur: bazı insanların doksan yıl önce yaşadıkları olayları anımsayabildiğini, ama o zaman zarfında bedenlerindeki her bir molekülün defalarca yenilendiğini biliyoruz. Peki ama beyinde devamlı olarak anılara aracılık eden uzun süreli değişiklikler gerçekleşiyorsa, anılar nasıl muhafaza ediliyor? Hangi beyin bölgesinde olursa olsun, nöronlar kalıcı sayılabilecek değişikliği nasıl deneyimden kaynaklanan bir sonuç olarak kaydediyor?

Şimdiye kadar belleği, yukarıdan aşağıya stratejiler kullanarak ele aldık. Bu son soruyu yanıtlayabilmek içinse, aşağıdan yukarıya doğru ilerlememiz gerekiyor. Herhangi bir bellek sürecine katılmış olan bir sinaps hayal edelim. İş basitleştirmek için de, belleği en basit şekliyle, önceden birbiriyle ilişkilendirilmemiş olan iki unsur arasındaki bir ilişki olarak düşünelim. Gene sadece basitleştirmek amacıyla, bu unsurların her birinin ikişer hücreyle temsil edildiğini düşünelim.

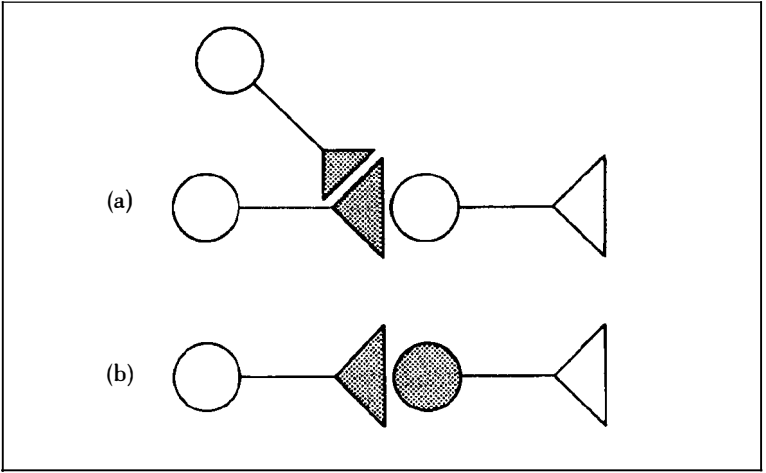
Anımsama sırasında önceden ilişkisiz olan bu iki nöron aynı anda etkinleşecek ve bu rastlantısal etkinlik sonuç olarak, her bir hücrenin başlangıçtaki etkinleşme süresini geride bırakacak kadar uzun süreli olacaktır. Hayal edilebilecek en kolay senaryo, psikolog Donald Hebb tarafından 1940’larda açıklanandır. Hebb, içeri gelen bir *X* hücresi özellikle etkinleşip hedef hücre *Y*’yi uyardığında, *X* ile *Y* arasındaki sinapsın kuvvetlendiğini öne sürmüştür. Hebb’in kuvvetlenme kelimesiyle kastettiği, da-

ha fazla durağan girdinin Y ile temasa geçmesiyle, bu sinapsın kimyasal sinyaller göndermekte diğerine göre daha etkili olduğudur. Bu, bir önceki bölümde görmüş olduğumuz gibi, gelişim sırasında, en yoğun çalışan nöronun (bu örnekte X) sonuçta en etkili bağlantıya sahip olduğu fikrinin bir versiyonudur.

Bağlantıyı kuvvetlendirmenin alternatif bir yoluna ilişkin ikinci ve daha yakın tarihli bir önerme de, kuvvetlendirilmiş temanın doğrudan doğruya hedef hücre Y 'yle değil de, üçüncü bir hücre olan Z 'yle ilgili olduğu yolundadır. Bu üçüncü hücre Y 'ye sinyal göndermeden önce X 'e çarpacaktır. Bu nedenle kuvvetlenme Hebb'in şemasındaki gibi sinaps sonrası (postsynaptic) değil, sinaps öncesi (presynaptic) olacaktır. Z ve X tesadüfen etkinse ve Z , X 'in etkinliğini ayarlıyorsa (bkz. 3. Bölüm), son hedef Y üzerine daha fazla sinir ileticisi salgılanacaktır. X ve Z 'nin aynı anda etkin olması sonucunda ise X , Y 'ye daha fazla iletici salgılayacaktır.

Bu senaryo, bağımsız nöronların bile isimleriyle tanımlandığı çok daha basit bir sinir sistemine sahip olan deniz salyangozu, *Aplysia*'da en etkili biçimde açıklanmıştır. *Aplysia*'nın basit sinir sisteminde, aşağıdan yukarıya ile yukarıdan aşağıya yaklaşımlarını birleştirmekte sorun yaşanmaz: nöron devrelerindeki etkinlikler doğrudan sergilenebilir davranışlara dönüşür. İşte size bir örnek: kuyrukta hissedilen, doğal olarak itici bir uyarıya tepki veren bir Z siniri (yukarıdaki Z ile karşılaştırılabilir), hoş bir uyarıya tepki veren bir duyu sinirine (X) çarpar. Bu duyu siniri daha sonra, *Aplysia*'nın solungacını geri çekmesine yardımcı olan motor siniri (Y) ile doğrudan bağlantı kurar.

Aplysia, duyu sinirine gelen nötr bir uyarı ile solungacını geri çekmeye şartlandırılabilir, tıpkı bizim bir çingirak sesi ile gözlerimizi kırıştırılmaya şartlandırılabileceğimiz gibi. Z ve X tesadüfen etkin olduğunda (yani hoş ve itici uyarılar aynı anda ortaya çıktığında), Z , X sinirinde bir dizi kimyasal tepkime başlatır, bu da potasyum kanallarının kapanmasına yol açar



ŞEKİL 12.

Nöronların deneyimlere uyarlanmasının olası temelleri, içeri gelen hücrele-rinin etkinliğinde görülüyor. Aplysia'da (a), birbirleriyle çakıştıkları yerde iki hücrenin rastlantısal etkinliği ile hedef hücre üzerine daha fazla sinir ile-ticisi salgılanır. Memelilerin beyinlerinde (b), önceden etkinleştirilmiş bir hücre, taralı alanda gösterildiği gibi, sonraki uyarılara daha kolay yanıt ve-rebilecektir.

[Dr. O.Paulsen'ın çizimi,
MRC Anatomik Nörofarmakoloji Birimi, Oxford]

....

(bkz. 3. Bölüm). Bu artı yüklü iyonun akışı engellendiğinde, hücre zarından geçen voltaj daha pozitif hale gelir: Bu tam ola-rak, kalsiyumun hücreye girebilmesi için özel kanalların açıl-masında gerekli olan voltaj ihtiyacıdır. Sonuç olarak, hücreye daha fazla kalsiyum girdiğinde, daha fazla ile-tici salgılanır (bkz. 3. Bölüm). Duyu siniri X tarafından motor siniri Y'ye da-ha fazla ile-ticinin salgılanması, motor sinirinin daha fazla çalış-sacağı ve bunun sonucu olan solungacın geri çekilmesi davran-ışının çok daha kuvvetli olacağı anlamına gelir. Z etkinliğini

durdursa bile X siniri, bu güçlendirilmiş halde kalabilir. Bu şekilde davranış şartlandırılmış olacaktır.

Aynı şekilde memelilerin beyinde de, bellekle ilgili birçok beyin bölgesindeki çok sayıda sinapstan herhangi biri sırasında, yoğun çalışan bazı sinapslarda bir kuvvetlenme olması akla yakındır. Bu senaryonun gerçekleşmesinde payı olduğu düşünülen esas mekanizma, uzun süreli güçlendirilme (long-term potentiation; LTP) diye adlandırılır. LTP, belirli bir iletili türü (glutamat) için, belirli bir hedef alıcı türünün (NMDA; N-metil-D-aspartat) seçici doğasından yararlanarak işlev görür. 3. Bölüm'deki daha normal senaryodan farklı olarak bu alıcı, iyon kanallarını sadece iki koşul yerine getirildiğinde açılmak üzere uyarır. Birincisi, normalde, söz konusu sinir ileticisinin —burada glutamat— alıcısına kenetlenmek üzere serbest bırakılabilmesi için, içeri gelen hücre de etkin olmalıdır. İkincisi ise, hücrenin her zamankinden daha artı yüklü bir voltaja sahip olması gibi olağandışı bir koşuldur. Seçici alıcı büyük miktarlarda kalsiyumun hedef hücreye akmasına, ancak bu koşullar yerine getirildiği zaman izin verir.

Bu iki koşul, sadece iki yoldan biriyle rastlantısal bir etkinlik olduğu zaman yerine getirilebilir. Birinci yol, içeri gelen iki hücrenin aynı anda etkin olmasıyla her birinin iki koşuldan birini yerine getirmesidir; gelen hücrelerden biri glutamat salgı-larken, diğeri bir sinir ileticisi salgılayarak voltajın düşmesine neden olacaktır. Her iki koşulu yerine getirmenin ikinci yolu, glutamat salgılayan hücrenin ta kendisidir. Başlangıçta seçici kanal açılmayacaktır, çünkü glutamat salgılanmış olsa da, hücrenin voltajı normaldir. Glutamat, normal olarak daha az seçici bir glutamat alıcısını etkileyecektir. Bu glutamatın salgılanması *uzun sürdüğünde* daha az seçici olan alıcıyı harekete geçirmenin etkisi, hedef hücredeki voltajın düşmesiyle ikinci koşulun yerine getirilmesi olacaktır. Sonra da seçici glutamat alıcısı, kalsiyum iyonlarının içeri akması için kanalı açabilecektir. Böy-

lece, uzun süren etkinlik gibi, içeri giren hücrelerin rastlantısal etkinliği de, bir hedef nöronun uzun vadeli tepkisinde her iki durumda da bir değişikliğe neden olabilir.

İçeri giren nöronların bu tür rastlantısal ya da uzun süreli etkinliği, bir anımsama durumunda ortaya çıkabilir. Ardından gelen yüksek oranda kalsiyumun akışı hedef hücre içinde tekrar bir kimyasal tepkimeler zinciri başlatır, böylece başka bir kimyasal salgılanarak sinaps boyunca bilardo topu gibi sekerek içeri gelen hücreye girer ve onun daha fazla sinir ileticisi salgılamasını sağlar. Buna karşılık hedef hücre daha da etkindir ve sinaps kuvvetlendirilmiş sayılır. Kuvvetlendirilmiş sinapsın içeri giren hücresi gene hafifçe uyarıldığında, ardından gelen tepki daha büyük olacaktır; bu, *Aplysia*'nın solungacını daha fazla geri çekmesi gibi bir şeydir ve güçlendirilme olarak bilinir.

Bu tür bir fenomen, kısa süreli belleğe açıklama getirebilir. Ancak, kısa süreli belleğin bir saatten kısa erimli olduğunu biliyoruz. Anılarımızın görünürdeki kalıcılığını, hücresel düzeyde daha kalıcı değişikliklerin meydana gelmesiyle açıklayabiliriz. Memelilerin beynindeki LTP, tıpkı *Aplysia*'daki güçlendirilme olduğu gibi, gerekli ama yeterli olmayan bir etmendir. Sinir ileticilerinin daha fazla salgılanması, bir anının saklanması olduğu gibi süreklilik kazandığında, kısa vadede daha şiddetli ve güçlendirilmiş bir tepki için mesajın, sinapsın diğer tarafındaki hedef hücreye iletilmesi gerekir. Ayrıca bu kuvvetlendirilmiş etkinliğin uzun vadedeki sonucu, aslında hedef hücre içerisinde olup bitenlerde meydana gelen bir değişim olmalıdır.

Açıkgası, kalıcı değişiklikler mevcut kimyasalların sadece daha yüksek miktarlarda salgılanmasına dayalı olamaz. Bazı enzimler birdenbire etkinleşseler bile, ki bunu yaptıklarında sinapsın randımanını da artırmış olurlar, bu tür moleküllerin yaşam süresi dakikalarla haftalar arasında değişmektedir. Anımsama sırasında hücre içerisinde olup bitenlerin büyük bir kısmı hâlâ gizemini korusa da, bazı olgular su yüzüne çıkmaya

başlamıştır. Hem *Aplysia* hem de memelilerin beyinlerindeki LTP'nin temelinde yatan ortak olayın, nörona kalsiyum girişi olduğunu gördük.

Bu giriş, otuz dakika gibi kısa bir sürede, kendileri de kısa ömürlü olan proteinleri kullanarak, belirli genleri harekete geçirmek için bir tetikleyici işlevi görebilir. Gene de bu tip genlerin ürünleri, daha sonra diğer genleri harekete geçirebilir, bunlar da kendilerinininkinden farklı bir dışavurum yoluyla, bir nöronu çok uzun bir süreliğine değişikliğe uğratabilir. Nöronun içindeki genlerin harekete geçirilmesinin etkileri; sinir ileticisinin randımanının artırılması, alıcıların sayısının artırılması ya da bir alıcının bir iyon kanalını açma randımanının artırılması olabilir. Ancak, nöronun gen dışavurumuyla değiştirilebilmesine ilişkin alternatif yol, akla daha yakındır.

Bir önceki bölümde, deneyimin etkisinin, nöronların sayısından çok, aralarındaki bağlantıları değiştirmesi olduğunu öğrendik. Geniş bir genelleme olarak, deneyim arttıkça bağlantıların da arttığını gördük. Belirli bir işlem üzerinde bir saatlik eğitim süresinde, bazı önemli proteinlerin hızla hizmete girdiği artık bilinmektedir. Bu proteinlerle ilgili iki iyi örnek, bir önceki bölümde değindiğimiz hücre yapıştırma molekülleri ile büyümeyle ilişkili protein, GAP-43'tür. Hücre yapıştırma molekülleri nöronun tanınması ve nöronlar arası temasın dengelenmesi açısından önemli görünmektedir. Hücre yapıştırma molekülleri beyinde üretilirken bazı şekerler de onların bünyesine dahil olur. Hücre yapıştırma moleküllerinin bellek açısından önemli olduğunu biliyoruz, çünkü uygun bir ilaç verilerek şekerin bünyeye katılması engellenirse, sonuçta amnezi ortaya çıkar.

GAP-43, bellekte rolü olduğu düşünülen başka bir protein örneğidir ve isminin de ima ettiği gibi nöronların büyümesiyle ilgilidir. Büyüme konileri (bkz. 4. Bölüm) GAP-43 içerir ve nöronlar aksonlarını uzattığı sırada sentezin büyük bir hızla ger-

çekleştği bilinmektedir. GAP-43, LTP sırasında belirgin bir biçimde harekete geçer. Bu yüzden de bir anımsama işlemi sürerken, bir temasın kuvvetlenmesi esnasında kalsiyum girişinin, belki de GAP-43 aracılığıyla nöron temaslarının giderek artmasına ve belki hücre yapıştırma molekülleri aracılığıyla bu temasların dengelenmesine yol açtığı tahmin edilmektedir.

4. Bölüm’de gördüğümüz gibi, beynin ortamdaki değişimleri dikkatlice yansıttığı gelişim süreci sırasında, bu şekilde yeni sinaptik temaslar olacaktır. Biz yaşadıkça, deneyimlere uyarlanma sürecinin, yani belleğin, beynimizde gelişimsel sürecin bir yansıması olması şaşırtıcı değildir.

Nöronlar arasındaki gitgide artan bağlantılar bellek sürecinin temeli nasıl olabilir? Bu yanıtlanması zor bir sorudur, çünkü memelilerin beyinlerinde, bir önceki bölümde tartıştığımız hücresel aşağıdan yukarıya düzeyi ile bu bölümün başlarında değindiğimiz işlevsel yukarıdan aşağıya yaklaşımı arasındaki boşluğu doldurmak anlamına gelir. Pek çok nöronun içindeki mikroskopik olaylar dünyasını, makrofenomenolojik bellek dünyasıyla nasıl ilintilendireceğimizi bilmemiz gerekiyor. Aplysia’da belirli bir nöron devresinin etkinliğini, solungacı geri çekmek gibi mekanik bir davranış şeklinde açıklamak kolay olsa da, insan beyinde belirli bir anımsama davranışını özgül bir nöron devresine dayandırmak imkânsızdır. Yine de anımsama sürecinin bazı özellikleri, nöronlar arasındaki bağlantılılığın, her ne kadar karmaşık ve tanımlanmamış olsa da, önemli olduğuna dair belirtiler sunmaktadır.

Belleği geliştirmek için, anımsanması gereken şeyi pek çok çağrışım uyandıracak bir şeyle ilişkilendirmek, gayet iyi bilinen bir hiledir. Örneğin, bir sayıyı ("3") göz önünde kolayca canlandırılabilir ("gökten üç elma düştü") ve çok tanıdık bir şeyle ("eski bir masal tekerlemesi") ilişkilendirmek, sayının sonradan daha iyi anımsanmasını sağlayacaktır. Alternatif bir strateji ise, bir alışveriş listesindeki malzemelerin odanın farklı

bölümlerine dağıtıldığını, örneğin çikolatanın kapıya dayalı durduğunu, tereyağının masanın altında yerleştirildiğini ve sü-tün masanın üzerinde, çayın da lavabonun içinde olduğunu ha-yal etmektir. Belleği geliştirmenin diğer bir yolu da, kendinizi anımsanan olayın gerçekleştiği bağlama yerleştirmek ya da o bağlamda hayal etmektir. Yaz tatilinde sohbet ettiğiniz cankur-tarının adını anımsamak için o plajda olduğunuzu hayal edebi-lirsiniz. Bu fikrin daha gelişmiş bir versiyonu ise, aynı ortama ait diğer eşyaları hayal etmektir (güneş yağı, havlu, güneş göz-lüğü). Bu örneklerin hepsinde, ya bir anıyı pekiştirme edimi sı-rasında çok fazla sayıda çağrışım yaratırız ya da anımsama sü-recinde bu tür çağrışımlardan yararlanırız.

Pek çok kişinin üç yaşından önce yaşadığı olayları anımsa-yamadığı gayet iyi bilinir. Bu fenomen sadece zamanın uzunlu-ğuyla açıklanamaz, çünkü doksan yıllık olayları birbirinin peşi sıra anımsayabiliriz. Ayrıca, küçük çocuklar erken bir yaşta edindikleri alışkanlıkları ve becerileri anımsayabilirler; sorun sadece açık bellektir. Öte yandan, beş aylık bebekler, önle-rine iki eşya birden konulduğunda, yeni eşyaya daha önce gör-düklerine kıyasla daha fazla bakarak açık bellek sergileme ye-teneğine sahiptirler. Bir yaşın altındaki çocuklar, bir gün önce başka birini oyun oynarken bir kez bile görseler onu taklit ede-bilirler.

O halde çocuklarda basit şekliyle bir açık bellek bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu ise hipokampus ve orta talamuslarının işle-mekte olduğu anlamına gelecektir. Olgunluk bakımından, kor-teksin durumu daha kuşkuludur. Korteksteki nöronların birçok çağrışım oluşturmaması durumunda, çocukların açık belleği pek sağlam olmayacaktır, ki zaten değildir. Üç yaşından sonra, nesneleri deneyimlerle kazanılan daha geniş bir repertuarla ilişkilendirme yeteneği, korteksteki artan sayıda nöron bağlan-tılarının da yardımıyla, bildiğimiz şekliyle, anımsamayı müm-kün kılar.

Bu stratejiler ve örnekler değişebilse de, ana izlek hep aynıdır: anımsanan şeyle ilgili çağrışımlardan yararlanmak. Nöron düzeyinde, bu çağrışımlar kesinlikle bağımsız hücrelerin birebir uyuşmasından ibaret değildir. Ancak, farklı karmaşıklıkta nöron devrelerinin geniş kapsamlı etkileşimi içinde, ana değişim birimi sonuçta tartışmakta olduğumuz bağlantılılık konusundaki değişikliklere yol açacaktır. Uzun süreli belleğe, sinaps öncesi terminal sayılarındaki bir artışın eşlik ettiğini ve o belleğin yeni çağrışımlar kurmayı da içerdiğini biliyoruz. İnsan beyninde, fiziksel ile fenomenolojik arasında henüz nedensel bir ilişki kuramıyoruz, ancak şimdilik, bu iki işleyiş düzeyi arasındaki ilintinin farkında olmak yeterlidir. Bellek çokyönlü ve çokaşamalıdır; bu, salt bir beyin işlevinin ötesinde, bireyin çevresini, tamamen benzersiz bir biçimde yorumlamakta kullandığı içsel kaynakları da kapsar. Zihnin temel taşı olması bakımından bellek, beyin içindeki bu küçük gezimizi sona erdirmek için uygun bir yerdir.

SONUÇ

İLERİYE BAKMAK

Önceki bölümlerde, beyin araştırmacılarının karşılaştığı bazı çetin soruların önemini takdir etme olanağını bulduk. 1. ve 2. Bölüm’de, beynin, bir mini-beyinler topluluğu gibi çalışmadığını ama çok sayıda beyin bölgesinin bir şekilde farklı işlevlere katkıda bulunduğunu gördük (paralel işlem). Ancak, beyindeki tamamen farklı bölgelerin, parçaların toplamından ibaret olmayan bir bütünü, hareket veya görme gibi bir işlevi nasıl ortaya çıkarabildiğini kimse açıklayamıyor.

3. Bölüm’de, beynin nasıl oluştuğunu inceledik. Çoğu sinir-bilimci nöronlar hakkındaki temel bilgilere artık vâkıf olsa da, bunların işleyiş şekli insanları şaşırtmaya devam ediyor. 1970’lerde beyin araştırmalarına oldukça dogmatik bir kesinlik hâkim oldu; buna göre beyindeki tüm işlevler, uyarım (bir nörondaki devinim potansiyellerinin sayısını artırmak) ve engelleme (devinim potansiyellerinin sayısını azaltmak) gibi temel süreçlerden türüyor ve böylece gitgide daha fazlailetici kimyasal gereksiz görünüyordu. Bu kimyasalların devinimlerindeki karmaşıklığı ancak şimdi tam olarak anlayabiliyoruz. Nöromodülasyon, yani nöronların tepkilerini saptırma kavramı, hâlâ çok çeşitli biyoaktif maddelerle ilgili olarak araştırılıyor. 3. Bö-

lüm'de gördüğümüz gibi aminlerle asetilkolinlerin beyin sapındaki fıskiye benzeri düzenlemeleri, bu tür işlevleri yerine getirmek için uygun konumdadır. Buradaki zorluk, genellikle ruh halini değiştiren ilaçların hedefi olan bu fıskiyelerin değiştirici eylemlerinin, beynin genel işleyişiyle nasıl ilintilendirilebileceğini keşfetmektir.

4. Bölüm'de, bir önceki bölümde ele alınan sinapsların, benzersiz fakat çabuk etkilenebilen bireyleri ortaya çıkaracak şekilde, çocuklukta gelişen daha karmaşık devreler halinde nasıl inşa edildiğini gördük. Bir yanda, bir nöronun beynin doğru bölgesine giden tek yönlü glial rayından ne zaman ineceğini nasıl bildiği ve belirli bir devre içinde ekip kuracağı benzer nöronları nasıl tanıdığı gibi, çözülmesi gereken çok özgül sorular; diğer yanda ise, tam bir muamma olarak kalan daha genel bilmece var. Gelişmekte olan beynin içinde, bireysellik hangi aşamada filizleniyor? Nöron devreleri bireysel bir beynin yanı sıra bireysel bir bilinci nasıl ortaya çıkarıyor? Bir cenin neyin bilincinde olabilir? Bu konuda olası bir senaryo öne sürmeye çalışmış olsam da, kesintisiz devam eden bir bilinç sürecinin daha alt ucundaki cenin bilinci fikri henüz kanıtlanmış değildir.

5. Bölüm'de belleği incelediğimiz sırada, bilincin ve zihnin fiziksel temeline ilişkin bilmece iyice öne çıkmıştı. Bellekle ilgili her çalışma, bizi sinirbilimin iki çok kapsamlı meselesiyle karşı karşıya bırakır. İlk mesele, yukarıdan aşağıya yaklaşımını, aşağıdan yukarıya yaklaşımıyla bağdaştıramamızdır. Deniz salyangozlarında, biyokimyasal mekanizmanın işleyişini bir solungacı geri çekmek gibi anımsanan bir davranış şeklinde açıklamak mümkündür. Ancak daha karmaşık memeli beyinlerinde, belli sayıdaki hücresel mekanizmanın bellek açısından sadece gerekli değil, yeterli de olduğunu gösteremiyoruz. Bunun nedeni, belleğin, paralel olarak çalışan pek çok beyin bölgesinin yeni ortaya çıkan bir özelliği gibi gözükmesidir. Dolayısıyla

da, yukarıdan aşağıya organizasyonu, aşağıdan yukarıya mekanizmaları kadar anlamlıdır. Bu ikisi birleştirici bir tanımlama içinde kaynaştırılana kadar, insan belleğinin zengin dokusunu anlama girişimleri kaçınılmaz olarak tökezleyecektir.

Bellekle ilgili ikinci büyük mesele, belki de en zorlu olanıdır: beynin zihinle ilişkisi. Belleğin fiziksel beynin bir ürünü olduğu açıktır (H.M.'nin hikâyesini düşünün), ancak daha belirgin olan duysal ya da motor işlevlerle kıyaslandığında, zihnin bir yönü olarak da görülebilir. Zihni ele almanın bir yolu, onu 1. ve 5. Bölümlerde anlatılan içsel kaynaklarla denk tutmak olabilir. Anı, önyargı ve deneyim birikiminin, her gün yaşanan duysal deneyim akışını dengeleyebileceğini gördük. Ayrıca daha basit beyinlerde, şizofrenide veya rüyalarda, bu yeteneğin azabileceğini de gördük. Bu şekilde bakıldığında zihin, yaşam boyunca gelişip uyum sağlayan fiziksel beynin kişiselleşmesi olabilir. 4. Bölüm'de gördüğümüz gibi, daha karmaşık beyinler, daha bireysel ve daha az kalıplaşmış bir zihin konusunda daha şanslı olacaklardır.

Daha önce bilinç açısından ele aldığımız devamlılık fikrine yeniden geri dönmüş görünüyoruz. Bellek, fiziksel beynin evrilmekte olan kişisel yönü olarak görülürse, bunun bilinç ile nasıl bir ilişkisi olabilir? Benim bakış açıma göre, zihin sadece bilinçli olduğumuz zaman fark edilebilir. Her şeye rağmen, uyurken bilincimizi kaybetsek de zihnimizi kaybetmeyiz. Gene de bilinçsiz olduğumuzda, zihin anlamsızdır. Bu nedenle bilinç, belirli bir zihnin, kişiselleştirilmiş bir beynin o anki birinci el, birinci şahıs deneyimi olarak görülebilir. Bilinç, zihne can katar; bu, sinirbilimcilerin önündeki nihai bilmece ve sizin en özel yerinizdir.

Bu nihai bilmece, yani bilinçliliğe ilişkin öznel deneyim, nesnel olguları kapsayan salt bilimsel bir araştırmayı bitirmek için iyi bir nokta olabilir. Bu meselelerin tümü şu anda ürkütücü görünse de, sinirbilimcilerin bazı heyecan verici ve temel

keşifleri vardır; ben de bunların bir kısmını bu kitapta gözden geçirmeye çalıştım. Sormamız gereken soruların ve beklememiz gereken yanıtların ne türden olduklarını yavaş yavaş görmeye başlıyoruz. 1970'lerden bu yana, çok şaşırtıcı gelişmelere tanık olduk, ancak serüven gerçekten daha yeni başlıyor.

- Blakemore, C. B., ve S. A. Greenfield. *Mindwaves: Thoughts on Intelligence, Identity and Consiousness* (Oxford: Basil Blackwell, 1987).
- Bloom, F. E., ve A. Lazerson. *Brain, Mind, and Behavior* (New York: W. H. Freeman and Co., 1988).
- Churchland, P. S., ve T. J. Sejnowski. *The Computational Brain* (Cambridge: MIT Press, 1992).
- Corsi, P. (ed.). *The Enchanted Loom* (Oxford: Oxford University Press, 1991).
- Crick, F. *The Astonishing Hypothesis: The Scientific Search for the Soul* (New York: Macmillan Publishing Co., 1994).
- Goldstein, A. *Addiction: From Biology to Drug Policy* (New York: W.H. Freeman and Co., 1994).
- Greenfield, S. A. *Journey to the Centers of the Mind: Toward a Science of Consiousness* (New York: W. H. Freeman and Co., 1995).
- Kolb, B., ve I. Q. Whislaw. *Fundamentals of Human Psychology*, 3. basım (New York: W. H. Freeman and Co., 1990).
- Levitan, I. B., ve L. K. Kazmarek. *The Neuron: Cell and Molecular Biology* (New York: Oxford University Press, 1991).
- Oswald, S. *Principles of Cellular, Molecular, and Developmental Neuroscience* (New York: Springer-Verlag, 1989).
- Pinel, J. P. J. *Biopsychology*, 2. basım (Boston: Allyn and Bacon, 1992).
- Rose, S. *The Making of Memory: From Molecules to Mind* (London: Bantam Press, 1992).
- Scott, A. *Stairway to the Mind* (New York: Springer-Verlag, 1995).
- Shepherd, G. S. *Neurobiology* (Oxford: Oxford University Press, 1983).
- Smith, J. *Senses and Sensibilities* (New York: John Wiley and Sons, Inc, 1989).
- Zeki, S. *A Vision of the Brain* (Oxford: Blackwell Scientific, 1993).

SCIENTIFIC AMERICAN LIBRARY DİZİSİNDE

...

Barondes, S. H. *Molecules and Mental Illness* (1993).

Hobson, J. A. *Sleep* (1989).

Posner, M. I., ve M. E. Raichle. *Images of Mind* (1994).

Ricklefs, R. E., ve C. E. Finch. *Aging: A Natural History* (1995).

Snyder, S. *Drugs and the Brain* (1986).

VARLIK / BİLİM

ANTONIO R. DAMASIO
DESCARTES'İN YANILGISI
Duygu, Akıl ve İnsan Beyni



RICHARD LEAKEY
İNSANIN KÖKENİ

JOHN D. BARROW
EVRENİN KÖKENİ

JARED DIAMOND
SEKS NEDEN KEYİFLİDİR?
İnsanın Cinsel Evrimi

PAUL DAVIES
SON ÜÇ DAKİKA
Evrenin Nihai Kaderi Hakkında Tahminler

RICHARD DAWKINS
CENNETTEN AKAN IRMAK
Yaşama Darwinci Bir Bakış

DANIEL C. DENNETT
AKLIN TÜRLERİ
Bir Bilinç Anlayışına Doğru

P.W. ATKINS
KİMYASAL ELEMENTLERİN DÜNYASI

LYNN MARGULIS
ORTAKYAŞAM GEZEĞENİ
Evrimde Yeni Bir Bakış

SUSAN GREENFIELD

İNSAN BEYİNİ

Oxford Üniversitesi'nde farmakoloji profesörü olan araştırmacı yazar Greenfield, insan beyninin nasıl çalıştığını, hiç bilimsel birikimi olmayan okurun bile anlayabileceği biçimde açıklıyor ve şu ilginç soruları yanıtlıyor:

- * Beyin hücreleri birbiriyle nasıl haberleşir?
- * Ruh halini değiştiren ilaçlar kullanıldığında, beyinde ne olur?
- * Kaza ya da inme sonucu beyin bir yanı işlevsizleştğinde, ne olur?
- * Nörolojik anlamda, bilinçlilik nedir?
- * İnsan cenini neyin bilincinde olabilir?
- * Bireysellik nedir ve gelişimin hangi noktasında ortaya çıkar?

