

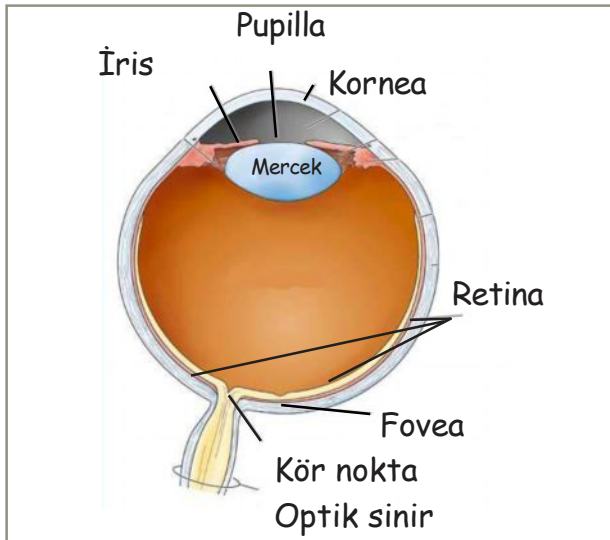
Görme



İnsanlar, çevreleri hakkında bilgi toplamak ve karar vermek için sürekli olarak gözlerini kullanan görsel canlılardır. Diğer primatlardaki gibi öne bakan gözlerimizle, vücudumuz dışında bulunan çevreyi çeşitli yönleriyle algılamak için görme duyusundan yararlanırız. Elektromanyetik enerjinin bir şekli olan ışık, retinada bulunan fotoreseptörlere etki etmek üzere gözümüzden giriş yapar. Bu ise nöral impulsları oluşturan ve daha sonra görsel beyin nöral ağları ve yolları içinde ilerlemesini sağlayan süreçleri tetikler. Orta beyne ve serebral kortekse gelen bireysel yollar, hareket, biçim, renk ve görsel dünyanın farklı diğer özellikleri gibi farklı görsel fonksiyonlara aracılık ederler. Tümü değil, fakat bazısı bilince ulaşır. Korteksteki çok sayıda farklı görsel alanlarda bulunan nöronlar, farklı türde görsel kararları vermek üzere özelleşmişlerdir.

Göze düşen ışık

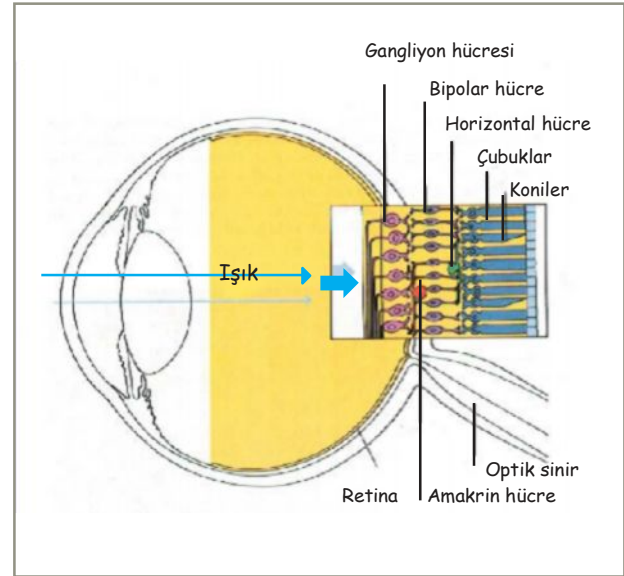
Işık, pupilla (gözbebeği) içinden giriş yapar, kornea ve mercekle tarafından odaklanarak gözün arkasındaki retina üzerine düşürülür. Pupilla, çeşitli ışık düzeylerine göre açıklığının küçülüp büyümesi için genişleyip daralabilen ve pigment içeren iris ile çevrelenmiştir. Gözü, dünyanın görüntüsünü oluşturan bir kamera gibi düşünmek doğaldır, fakat bu birtakım yönlerden yanıltıcı bir benzetmedir. Birincisi, gözlerin sürekli hareket etmesi nedeniyle asla durgun bir görüntü yoktur. İkincisi, retina üzerine düşen görüntü beyinde bir görüntüye



İnsan gözü. Göze gelen ışık merceklerle gözün arkasındaki retina üzerinde odaklanır. Reseptörler, burada enerjiyi detekte eder ve transdüksiyon süreciyle optik sinirde ilerleyen aksiyon potansiyelini başlatılır.

dönüştürülebilir bu ikinci görüntüye "bakacak" beyin içindeki bir başka kişiye ihtiyaç vardır! Bir yöntemle tam olarak açıklanamayan sonsuz neden sonuç ilişkisinden kurtulmak için gerçekten görsel beyin çözmek zorunda olduğu, dünya ile ilgili karar vermek ve yorum yapmak için gözlerden gelen kodlanmış mesajları nasıl kullandığı gibi büyük bir problemle karşı karşıyayız.

Işık, retina üzerine odaklanır odaklanmaz, retina yüzeyini baştan başa kaplayacak şekilde düzenlenen 25 milyon **fotoreseptöre** isabet eder, bunlar ışığa yanıt olarak çok küçük elektriksel potansiyeller oluşturur. Bu sinyaller, retinadaki hücreler açısından sinapslar aracılığıyla geçer, daha sonra sıra aksonlarının bir araya toplanmasıyla **optik siniri** oluşturan **retinal gangliyon hücrelerinin** aktivasyonuna gelir. Bu hücreler, farklı fonksiyonlarla farklı görsel bölgelere aksiyon potansiyelleri ileten yerlerden beyne giriş yaparlar.



Retina, Işık, retinanın arkasındaki çubuklar ve koniler üzerine düşmek için bir hücre açısından (bipolar hücreler gibi) ve optik sinir lifleri içinden geçer.

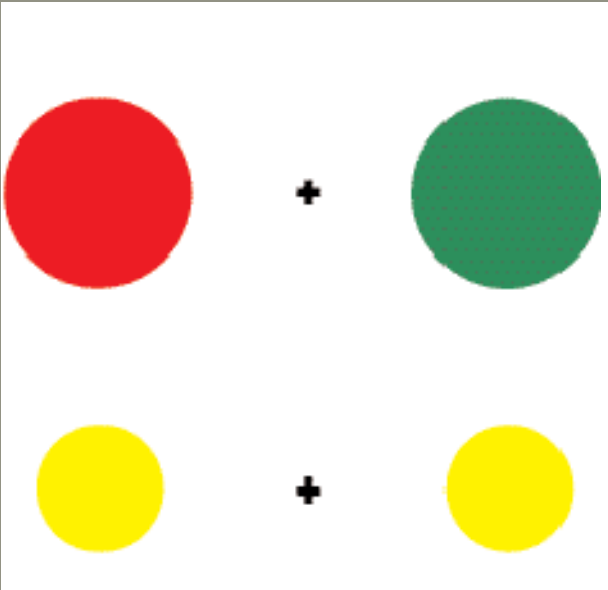
Görsel işlemenin ilk basamağı hakkında epey şeyler öğrenilmiştir. Çubuk olarak adlandırılan çok fazla sayıdaki fotoreseptörler, sayıca daha az olan fotoreseptör sınıfı **konilerden** hemen hemen 1000 kez daha fazla ışığa duyarlıdır. Kabaca, gece çubuklarla, fakat gündüz konilerle gördüğümüzü söyleyebiliriz. Işığın farklı dalga boylarına duyarlı olan üç tip koni vardır. Koniler sadece renkli görme oluşturur demek onu basite indirgemek demektir, fakat renkli görme koniler için yaşamsaldır. Eğer, koniler aşırı biçimde tek renkli ışık etkisinde bırakılırsa pigmentler uyum sağlar ve kısa bir sürenin ardından renk algılamamıza daha az katkıda bulunur (Deney Kutusuna bakınız).

Geçen 25 yılı aşkın süre içinde ışığın çubuklarda ve konilerde elektriksel sinyallere dönüşüm süreci (**foto-transdüksiyon**), bazı görsel pigmentlerin yokluğu nedeniyle oluşan renk körlüğünün genetik temeli, retinal ağın fonksiyonu ve iki farklı tipteki gangliyon hücrelerinin varlığı gibi konularda önemli bilgiler elde edilmiştir. Gangliyon hücrelerinin hemen hemen %90 ı çok küçük, oysa %5 i büyük M-tipi veya **magnoselüler** hücrelerdir. Daha sonraki bir bölümde, M-tipi hücrelerdeki anormalliklerin belli disleksi olgularının temelini oluşturabildiğini göreceğiz (Bölüm 9).



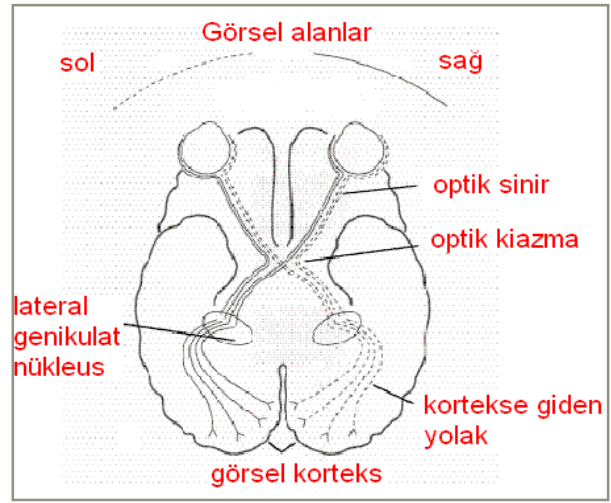
Renk uyumu ile ilgili bir deney

İki büyük daire arasında yer alan (+) işaretine en azından 30 saniye kadar odaklanın. Sonra gözlerinizi alttaki artı işaretine kaydırın. Şimdi, iki "sarı" daire farklı renklerde görünecek. Bunun neden böyle olduğunu düşünerek bulabilir misiniz?



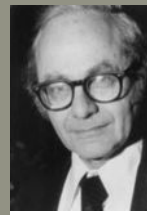
Görsel işlemede bitişik adımlar

Her bir gözün **optik siniri** beyne gider. Her bir sinirin lifleri, onların bir yarısının "çaprazlanarak" karşı tarafa geçtiği ve diğer optik sinirden gelen "çaprazlanmamış" olarak kalan yarıya katıldığı optik kiazma olarak adlandırılan bir yapıda karşılaşırlar. Bu yeni durumda, her iki gözden gelen lifleri içeren bu demetler, birlikte **optik yolu** oluştururlar ve lateral genikulat nükleus olarak adlandırılan bir yapıdaki sinaptik aktarmanın ardından serebral kortekse yönelirler. Burada etrafımızdaki görsel uzağı beyin içindeki "temsili" oluşturulur. Dokunma duyusuna benzer bir şekilde (bir önceki Bölüm), görsel dünyanın sol tarafı sağ yarıkürede ve sağ tarafı ise sol yarıkürededir. Bu nöral temsil, her iki gözden gelen girdilere sahiptir ve böylece beynin arka tarafında **V1**, **V2** gibi adlarla adlandırılan görsel alanlarda bulunan hücreler, gözlerin her ikisinden gelen görüntüye yanıtta bulunabilirler. Bu durum **binokülerite** olarak adlandırılır.



Gözden beyne giden yollar.

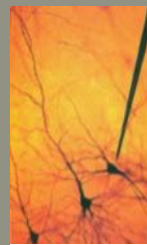
Görme korteksi görsel dünyanın biçim, renk, hareket ve uzaklık gibi çeşitli yönleri ile ilgilenen bir takım alanlardan oluşur. Bu hücreler, sütunlar şeklinde düzenlenmiştir. Görmeden sorumlu hücreler açısından önemli bir kavram, hücrelerin tercihli olarak yanıtta buldukları bir retina bölgesi olan **algılama alanı** (receptive field) kavramıdır. Kortikal bilgi işlemenin ilk basamağı olan V1'deki nöronlar, özel bir yönelimde bulunan çizgilere ve kenarlara yanıtta bulunurlar. Herhangi bir hücre sütunundaki bütün nöronların aynı **yönelimdeki** çizgiler ve kenarlara, komşu hücre sütunundakilerin biraz farklı yönelimdekilere en iyi yanıtta bulunduğunun ortaya konması önemli bir keşiftir ve bu durum V1 yüzeyi boyunca böylece devam eder. Bu, kortikal görsel hücrelerin dünyayı yorumlamak için kendine özgü fakat değişmez olmayan bir düzenlenime sahip olduğu anlamına gelir. Bireysel bir hücrenin sol veya sağ gözdeki aktivite ile harekete geçirilme miktarı deneyimle değiştirilebilir. Bütün duyu sistemlerinde olduğu gibi görsel kortekste de **plastisite** olarak adlandırdığımız durum görülür.



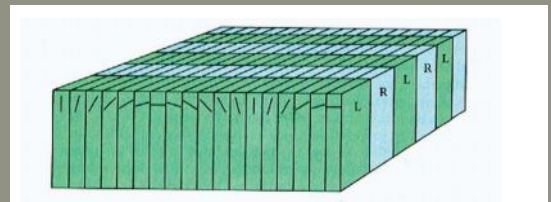
David Hubel



Torsten Wiesel



David Hubel ve Torsten Wiesel'in (yukarıda) görsel kortekste hücrelerden (solda) aldıkları elektriksel kayıtlar bazı şaşırtıcı özellikleri açığa çıkarmıştır. Bunlar yönelim seçicilik, hücrelerin harika sütun biçimli düzenlenimi (aşağıda) ve sistemin plastisitesidir. Bu keşifler onları Nobel Ödülüne götürmüştür.

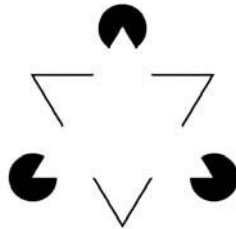
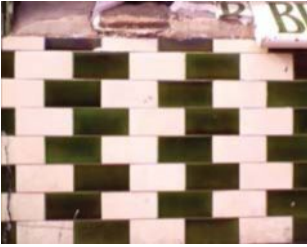


Araştırmada Gelen Son Nokta

Görme engelliyseniz görebilir misiniz? Kesinlikle hayır. Bununla birlikte, beyinde çoklu görsel alanların keşfedilmesi bilinçsiz olarak bazı görsel yeteneklerin oluştuğunu göstermiştir. Primer görsel korteks (V1) yönelik kalıcı hasara sahip kişiler görüş alanlarında bulunan nesnelere göremediklerini ifade ederler, fakat bu görememekten yakındıkları nesnelere uzanmaları istendiğinde dikkate değer doğrulukla bunu yaparlar. Tuhaf, fakat çok ilginç olan bu durum "kör görüş" olarak bilinir. Bu duruma, muhtemelen gözlerden korteksin diğer bölgelerine olan paralel bağlantılar aracılık eder.

Nesnelerin farkında olmaksızın görmek, normal kişilerin de yaptığı günlük bir olaydır. Arabanızı sürerken bir yolcu ile konuşursanız bilinçli farkındalığınızın tümü ile sohbete yönlendirilebilir fakat ışıklarda durarak ve engellerden sakınarak hala etkin bir biçimde araba kullanabilirsiniz. Bu yetenek bir tür bir işlevsel kör görüşün varlığını yansıtır.

Görsel korteksin karmaşık devresi, sinirbilimcileri meşgul eden büyük bulmacalardan biridir. Farklı nöron tipleri, henüz günümüzde anlamaya başladığımız çok incelikli yerel devrelerde birlikte birbirlerine bağlanmış altı kortikal tabaka boyunca düzenlenmişlerdir. Bu bağlantıların bazıları eksitator, bazıları ise inhibitördür. Bazı sinirbilimciler, bilgisayardaki çiplere benzeyen bir **kanonik kortikal mikrodevrenin** olduğunu öne sürmektedir. Herkes buna katılmamaktadır. Bir görsel alanda ve diğer bir alandakiyle çok sayıda benzer özelliklere sahip, fakat görsel beyin her bir parçasının görsel dünyanın farklı yönlerini yorumlama şeklindeki ince farkları yansıtan bir devreyi düşünelim. Görsel yanılsamaların (illüzyonlar) incelenmesi de görsel analizin farklı aşamalarında devam eden bilgi işleme türünü anlamamızı sağlar.



Bristol'deki meşhur kafenin duvarının fayansları gerçekte dikkörtgendir, fakat öyle görünmezler. Bu fayans düzenlenimi çizgileri ve kenarları değerlendiren nöronlar arasındaki karmaşık eksitator ve inhibitör etkileşimlerden kaynaklanan bir yanılsama oluşturur. Kanizsa Üçgeni (sağda) aslında yoktur, fakat bu durum onu görmenizi engellemez. Görsel sisteminiz şekilde görülen diğer cisimlerin üstünde bir beyaz üçgenin bulunduğu "karar verir".

Kararlılık ve kararsızlık

Serebral korteksin anahtar bir fonksiyonu, birçok kaynaktan alınan duyu bilgisine etki etme ve onu biçimlendirme yeteneğidir. **Karar verme**, bu yeteneğin hassas bir parçasıdır. Bu, süreci bilgi temelli veya "bilişsel (kognitif)" olarak düşünmez. Varolan duysal kanıt ölçülüp tartılmalı ve o anda elde edilebilen en iyi kanıt seçilmelidir (örneğin, bir eylemi yerine getirmek veya kaçınmak gibi). Bazı kararları verme basit ve otomatik olabilirken diğerleri karmaşıktır ve geniş



Sadece siyah beyaz noktalar mı? Başlangıçta görüntünün kenarlarını veya yüzeyini tanımlamak zordur. Fakat, bir kez onun bir Dalmacıyalı köpeğe ait olduğunu bilerseniz görüntü "hemen oluşur". Görsel beyin, algısal sahneyi değerlendirmek için içsel bilgiyi kullanır.

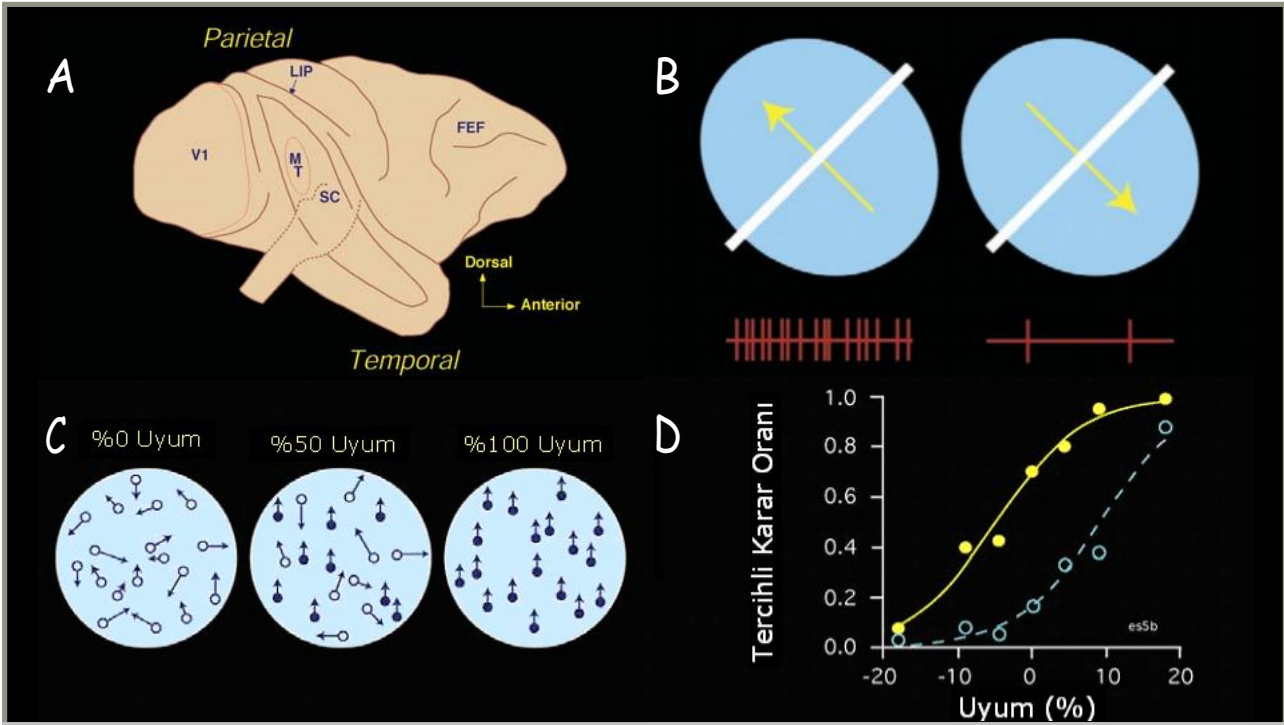
düşünmeyi gerektirir. En basit karar vermede bile duysal girdi ile mevcut bilgi arasında bir etkileşim vardır.

Karar vermenin nöral temelini anlamaya çalışmanın bir yolu, normal günlük aktivitelerini sürdürebilmeleri için kişileri serbest bırakırken onların çeşitli işleri yapmaları sırasında nöronlarında gerçekleşen aktiviteleri kayıtlamaktır. Beyinde bulunan 10^{11} nöronun her birinin aktivitesini milisaniyeler mertebesinde duyarlıkla kayıtlayabildiğimizi düşünelim. Bu durumda, sadece çok fazla veriye sahip olmakla kalmayıp, aynı zamanda onların tümünün işlenmesindeki zor görevle de karşılaşırız. Hatta onu yorumlamada büyük sorun da yaşayabiliriz. Bunun nedenini anlamak için, bir an insanlar birşeyleri niçin yaparlar sorusunun farklı nedenleri hakkında düşünelim. Demiryolu istasyonuna doğru yürürken gördüğümüz biri trenle yetişmek, trenden incek birisini karşılamak veya "farklı trenlere bakmak" için oraya gidiyor olabilir. Amaçlarını bilmeksizin onların beyinlerindeki herhangi bir aktivasyon deseni ile davranışları arasındaki ilişkiyi yorumlamak ve doğruluğunu kanıtlamak çok zor olabilir.

Bu nedenle, deneysel sinirbilimciler davranışla ilgili durumları **hassas deneysel kontrol** altında tutmaktan hoşlanırlar. Bu, özel görev düzenlenmesi yapılarak insan deneklerin yoğun pratiklerin ardından yapabileceklerinin en iyisini yapmaları sağlanarak ve daha sonra onların görevi yerine getirmeleri izlenerek gerçekleştirilebilir. Görevin en iyisi, ilginç olduğu kadar yeterince karmaşık, ama yine de neler olduğunu analiz etme imkanı sunacak kadar basit olmalıdır. İyi bir örnek, çoğunlukla ikiden fazla olmayan ve yanıtın basit bir seçim (örneğin hangi ışık lekesi daha büyük ve daha parlaktır?) olduğu uyarıların görünümü hakkında görsel karar verme sürecidir. Böyle bir görev oldukça basit olmasına rağmen, tam bir karar verme döngüsünü kapsar. Duysal bilgi, sonradan kazanılır ve analiz edilir; verilen karar için doğru ve yanlış cevaplar vardır ve ödüller görevin yerine getirilmesindeki doğru veya yanlışlara göre belirlenebilir. Bu tür bir araştırma bir çeşit "görme fiziği" dir.

Hareket ve renkle ilgili karar verme

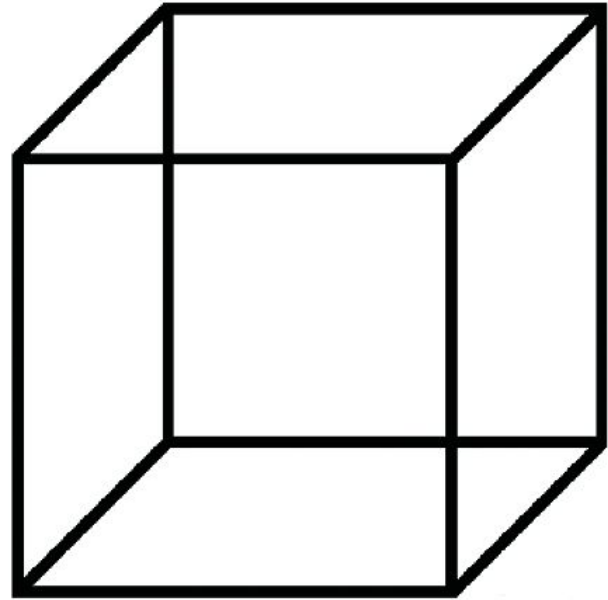
Nöronların, **görsel hareket** ile ilgili karar verme sürecine nasıl katıldıkları günümüzün en ilgi çeken konusudur. Bir cismin hareket edip etmediği ve ediyorsa hangi yönde hareket ettiği insanlar ve diğer canlılar açısından son derece önemli kararlardır. Göreceli hareket, genel olarak bir cismi yakında bulunan diğer cisimlerden farklı gösterir. Hareket bilgisinin işlenmesine katılan görsel beyin bölgeleri, insan beynini görüntüleme teknikleri (Bölüm 14) kullanılarak elde edilen beynin alanları arasındaki bağlantı biçimleri incelenerek ve insan olmayan canlılardaki bireysel nöronların aktivitesi kayıtlanarak ayrı anatomik bölgeler olarak belirlenebilir.



Hareket duyarlılığı. A. Solda primer görsel korteks (V1) ve harekete duyarlı nöronların bulunduğu MT alanı (bazen V5 olarak da adlandırılır) ile bir maymun beyninin yandan görünüşü. B. Kuzey-batı yönündeki, fakat nadiren zıt yöndeki, harekete karşı aksiyon potansiyelleri (düşey kırmızı çizgiler) oluşturarak yanıtta bulunan bir harekete-duyarlı nöron. MT (veya V5) de bulunan farklı hücre sütunları, hareketin farklı yönlerini kodlar. C. Dairesel bir TV ekranı, noktaların gelişigüzel yönlerde (%0 uyum) veya bir yönde (%100 uyum) hareket ettikleri durumda hareket duyarlılığının incelendiği bir deneyde kullanılmıştır. D. Maymunun uyumu arttıkça, onun noktaların olası yönünü göstermesi de artar (sarı çizgi). Farklı yönelime sahip sütunların elektriksel mikrostimülasyonu, tercihli yönelimin hesaplanmasında kayma oluşturur (mavi çizgi).

Bir maymun, hareketli noktaların deseni hakkında basit görsel karar verirken, MT (veya V5) alanında bulunan nöronlardan kayıtlar alınmıştır. Noktaların büyük bölümü farklı yönlerde gelişigüzel, fakat küçük bir kesri ise ahenkli bir biçimde aşağı, yukarı, sağa veya sola doğru bir tek yönde hareket etmektedir. Gözlemci, desenin hareketinin bütün yönlerini değerlendirmek zorundadır. Görev, gelişigüzeldekinin veya ahenkle hareket eden noktaların kesrinin azaltılarak güçleştirildiği durumun tersine, noktaların büyük bir yüzdesinin ahenkli olarak bir yönde hareket edecek şekilde düzenlenmesiyle çok basit hale getirilebilir. Bundan V5'de bulunan hücrelerin aktivitesinin hareket sinyalinin şiddetini doğrulukla yansıttığı ortaya çıkar. Buradaki nöronlar, tercih ettikleri hareket yönünde hareket eden noktaların kesri arttığında aktivitelerini sistematik olarak ve doğrulukla artırarak hareketin belli yönlerine seçicilik yanıtı oluştururlar.

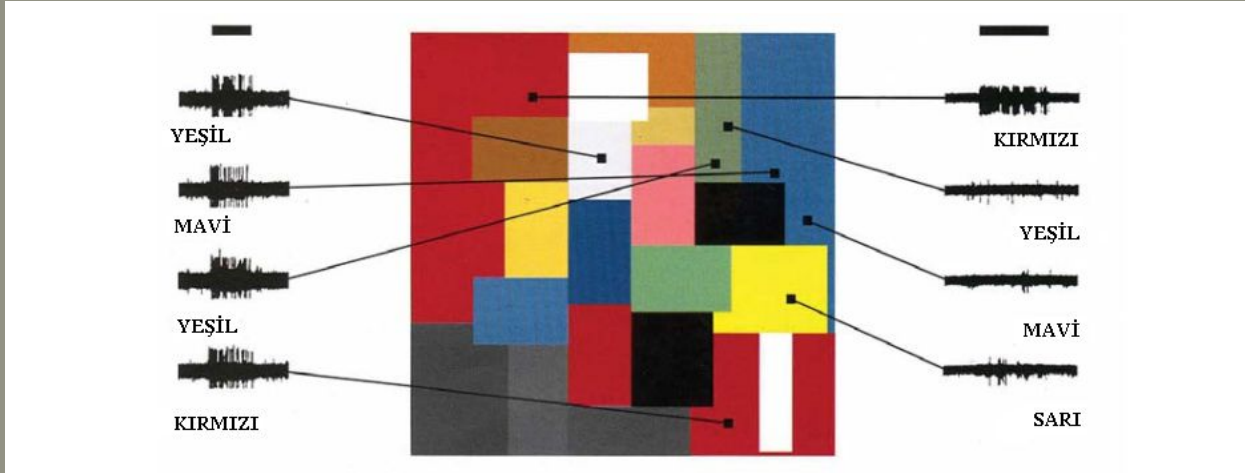
İster maymunda isterse insanda olsun bazı bireysel nöronlar, şaşırtıcı bir şekilde, davranışla ilgili bir karar verirken bir gözlemci olarak noktaların hareketini detekte etmede sergiledikleri kadar iyi görev yaparlar. Bu nöronların kayıtlama elektrotları aracılığı ile mikro-uyarımı, bir maymunun yaptığı bağlı hareket değerlendirmesini bile etkileyebilir. Çok büyük sayıda nöronun görsel harekete duyarlı ve kararların sadece birkaç değil, birçok nöronun aktivitesine dayandırılması gerektiği beklentisi dikkate alındığında bu dikkate değerdir. Renk ile ilgili kararlar benzer şekilde gerçekleşir (bakınız Araştırmada Geline Son Nokta Kutusu).



Necker küpü, algısal olarak sürekli tersyüz olup değişikliğe uğrar. Retinal görüntü değişmez, fakat küpü öncelikle sol üst köşesi bize yakın olacak şekilde sonra uzaklaşmış gibi görürüz. Nadiren, düz bir düzlem üzerinde birbirleri ile kesişen çizgiler takımı olarak da görülür. Görsel beynin hangi durumun bir an için baskın olduğuna karar verdiği zaman görülen nöral sinyalleri incelemek için kullanılan birçok tersinir şekil vardır.

Araştırmada Geline Son Nokta

Renge duyarlı hücreler. Belli nöronlar, farklı dalga boylarına sahip ışığa karşı farklı aktivite desenleri gösterirler. Bazısı uzun dalga boylu, bazısı ise kısa dalga boylu ışığa karşı daha iyi yanıtta bulunur. Bunun, renkleri algılamak için yeterli olacağını düşünebilirsiniz, fakat bu doğru olmayabilir. Soldaki aktif hücreleri sağdakilerle karşılaştırın. Farkı söyleyebilir misiniz?



Solda. Mondrian (sanatçı Piet Mondrian'den dolayı) olarak adlandırılan, bir renkli yama işinin akıllı tasarımı. Burada, renkleri çevreleyen yamaların varlığı nedeniyle onları daima olduklarından farklı renkler olarak algılamamıza rağmen, her bir renk paneli sırası ile tam olarak aynı ışık karışımını yansıtacak şekilde uzun, orta ve kısa dalga boylu ışığın farklı kombinasyonları ile açıklanmıştır. V1 den kayıtlanan soldaki hücre, tüm durumlarda aynı miktarda impuls oluşturur. Bu hücre, renkleri "algılamaz", basit bir şekilde her bir yamadan yansıyan birbirinin aynı dalga boyu karışımına yanıtta bulunur.

Sağda. V4 içinde bulunan gerçeğe duyarlı bir hücre, diğer alanlara daha az olmak üzere Mondrian'ın kırmızı olarak gördüğümüz alanına impuls çıkarır. Her birinden yansıyan dalga enerjisi üçlüsünün aynı olmasına rağmen bu farklı yanıt oluşur. Bu nedenle, bazı sinirbilimciler sadece V4 alanının işe karışmadığına şüpheyle baksa bile V4 alanı renkleri algılamamızı sağlayan bir beyin alanı olabilir.

İnanmak görmektir

Algılanan hareketi kaydeden V5 alanı, sadece görsel uyarının hareketini kaydetmekten daha fazlasını yapar. Sadece çevredeki noktaların hareketi (yani bir hareket yanılması) kullanılarak noktaların oluşturduğu bir alanın bir yönde veya diğer yönde hareket ettiği algılanmasını oluşturan görsel hileler oynatılırsa, yanılma alanına karşılık gelen nöronlar sağa veya sola doğru algılanan hareketlere farklı biçimde yanıtta bulunacaklardır. Hareket tamamen gelişigüzel ise deneme yapıldığında gözlemci gelişigüzel hareket sinyalinin "sağa doğru" hareket ettiğini bildirir. Normal olarak sağa doğru hareketi tercih eden nöronlar biraz daha fazla impuls oluşturacaktır (tersi de doğrudur). Hareketin "sağa" veya "sola" doğru olduğunu belirten nöronal kararlar arasındaki fark, hareketli uyarıların mutlak doğasını değil, gözlemcinin hareketin görünümü ile ilgili yargılarını yansıtır.

Görsel karar verme ve kararsız kalmanın diğer örnekleri, **Necker küpünde** (önceki sayfadaki şekil) olduğu gibi gerçekten anlaşılması güç algısal hedeflere karşı oluşan reaksiyonları kapsar. Bu tip uyarılarla gözlemci sürekli olarak bir yorumdan diğerine dalgalanan bir kararsızlık durumunda kalır. Benzer bir çekişme ile sağ göz yatay çizgilerin oluşturduğu desene bakarken, sol göz düşey çizgilerin desenine bakıyorsa karşılaşırlar. Sonuçta gerçekleşen algı, **binoküler rekabet** olarak adlandırılır ve gözlemci önce düşey çizgilerin baskın olduğunu söylerken, daha sonra yatay çizgilerin baskın olduğunu söyler ve sonra tekrar düşey çizgilere döner. Tekrar ifade edilirse, görsel korteksin birçok farklı alanlarındaki nöronlar, gözlemcinin algılamasını ne zaman yataydan düşeye atladığını yansıtır.

Görsel dünyamız hayret verici bir yerdir. Gözlerden giren ışık, en basit nesnelere gözümüzü kamaştıran ve büyüleyen sanat eserlerine kadar etrafımızdaki dünyayı değerlendirmemizi sağlar. Milyonlarca ve milyonlarca nöron, bir ışık taneciğine (foton) yanıtta bulunan bir retinal fotoreseptörün yaptığı işten, görsel dünyada bir şeylerin hareketli olup olmadığına karar veren V5 alanındaki bir nörona kadar değişik görevlerle bu sürece katılır. Bunların hepsi, görünüşte bir çaba harcamadan beynimiz içinde meydana gelir. Onların nasıl olup bittiğini anlamayız, ancak sinirbilimciler büyük gelişmeler katetmektedir.

