

Renk Körlüğünde Genlerin Etkisi

Son on yıla gelene kadar, insanların renkleri tanımasının, gözün ağtabakasinda bulunan kırmızı, mavi ve yeşil renklendiricilerle sağlandığı düşünülüyordu. Araştırmalar, görme pigmentleri sayısının değişken olabildiğini ve kimi kadınlarda dört ve hatta beş tür görme pigmenti bulunabildiğini gösterdi. Genlerle ilgili bir problem daha!

RENK GÖRME, türden türe çok değişir; örneğin fareler, tavşanlar, köpekler ve gece hayvanları renk göremez. Sincaplar, maymunlar, balıklar ve kuşlarsa, renkleri çok iyi görürler. Hatta kimi kuşlar morötesi ışınlarını bile görebilir. Peki, acaba biz insanlar arasında renk görme bakımından farklar var mı? Kesinlikle evet. Renk körlüğü (daltonizm) olanlar bazı renkleri ya hiç göremez ya da güçlüklerle tanır, güçlüklerle seçerler. Bu anormalliklerin nedeni, ağtabakayı (retina) döşeyen ışığa duyarlı hücrelerdeki pigmentlerin (biyolojik renklendirici) değişmesidir. Görme pigmentlerinin genetik analizi ve renk körlüğünün kalıtsallığı son yıllarda şunu ortaya koymuştur: Renk görme kişiden kişiye ve bir cinsiyetten öbürüne değişimler göstermektedir.

Renk görme incelemesinin uzun bir tarihçesi vardır. Üç tür görme pigmentinin varlığı (trikromasi) 18. yüzyıl fizikçilerince gösterilmiştir. Bu fizikçiler üç temel rengin uygun oranlarda karıştırılmasıyla her rengin elde edilebileceğini kanıtlamıştır. 19. yüzyıl başlarında İngiliz doktor Thomas Young, renk algılanmasıyla ilgili bir kuram ileri sürmüş ve yurttışı fizikçi John Dalton'un gözündeki renk körlüğünü bununla açıklamıştır. Bu teoriye göre, ağtabakada kırmızı, yeşil ve mavi renklere duyarlı hücreler vardır. İşte renk körlüğü, kırmızıya duyarlı hücrelerdeki bir bozukluk ya da bu hücrelerin yokluğunun bir sonucudur. O zamandan beri renk körlüğüne daltonizm denilmektedir.

1964'te Harvard Üniversitesi'nden George Wald ve Paul Brown,

özel bir teknikle (mikrospektrofotometri) ağtabakanın ışığa duyarlı koni biçimi hücrelerinde üç tür pigment bulunduğunu gösterdi. Bu teknikte koni hücrelerine tek renkli (monokromatik) bir ışın gönderilerek bunun ne kadarının soğurulduğuna bakılıyor; böylece koni hücrelerindeki pigmentlerin renkleri bulunabiliyor.

1983'te Brighton Üniversitesi'nden H. Dartnall, Londra Üniversitesi'nden Jim Bowmaker ve Cambridge Üniversitesi'nden John Mollon ağtabakada sırasıyla 565, 530 ve 420 nanometre dalga boyuna duyarlı kırmızı, yeşil ve mavi pigmentler buldu. Bu üç pigment, bütün renkleri oluşturmak için yeterlidir.

Pigmentlerden birinin yokluğu o rengin görülmesine yol açar; en sık olarak kırmızı ya da yeşil pigment doğuştan beri yoktur; bu hastalar kırmızıyı veya yeşili göremezler; yalnız üç temel renkten iki temel rengi görebildiklerinden bunlara dikromat (iki rengi gören) denir. Buna karşın her üç pigment var olup da bunlardan biri görevini tam yapamıyorsa "anormal trikromasi" vardır. Bu son durumda ilginç olarak hasta bizim kırmızı olarak gördüğümüz rengi yeşil, yeşil olarak gördüğümüz

rengi de kırmızı olarak görür. Hem kırmızı, hem de yeşil pigmentin kaybı (monokromasi) halinde hasta hiçbir rengi göremez; dünyayı siyah beyaz olarak görür. Neyse ki bu tam renk körlüğüne çok az rastlanır; 100 000 kişide bir görülür. Koni hücrelerinde mavi pigment olmayışı da (tri-



tanopî) nadirdir; buna 13 000 -65 000 olguda bir rastlanmaktadır.

Renk körlüğü genellikle kalıtsaldır; fakat sinir sistemi ve ağtabaka hastalıkları da renk körlüğü yapabilir. Örneğin multipl skleroz denilen sinir hastalığında kırmızı ve yeşil pigmentler bozulabilir; bazı ağtabaka hastalıklarında (retinitis pigmentosa gibi) mavi pigment zarar görür. Mavi pigment çok parlak ışığa maruz kalmakla oksijen eksikliğiyle de bozulabilir. Örneğin 1991'de Teksas Üniversitesi'nden H.G. Sperling, çok parlak ışıkların, maymunlarda mavi konileri iyileşemez biçimde tahrip ettiğini gösterdi. Bu sonuçlara göre, parlak ışıklarla çalışmak zorunda olan gözlükçüler ve göz doktorları kendi mavi konilerine zarar verebilirler.

Biyologlar uzun zamandan beri kalıtsal daltonizmle ilgilenmektedir. Bu konudaki ilk çalışmalar 1777'de başladı; fakat ancak 1911'de New York'daki

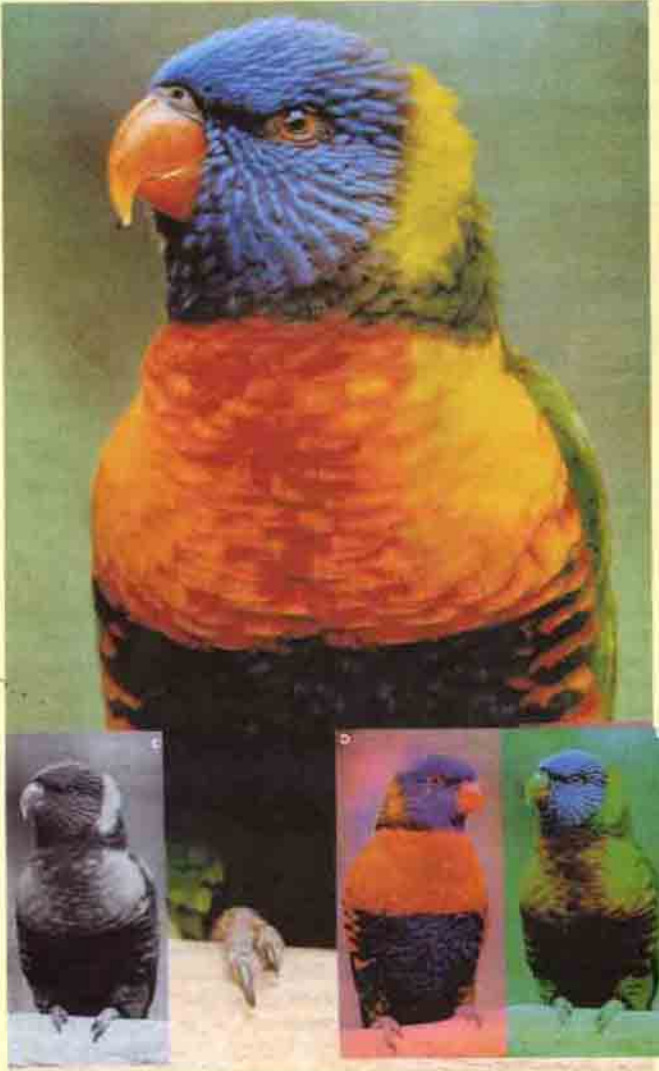
Columbia Üniversitesi'nden Amerikalı Edmund Wilson, bu hastalığın kalıtım şeklini aydınlatmıştı. Dr. Wilson, kırmızı ve yeşil pigmentlerin kalıtsallığının cinsiyetle ilgili olduğunu, mavi pigmentlerin ve ağtabaka çubuk hücrelerinin pigmentlerinin ise cinsiyetle ilgili olmadığını gösteren ilk bilim adamı oldu. Biz bu yazıda dördüncü ağtabaka pigmenti olan çubuk hücre pigmentlerinden söz etmeyeceğiz. Çubuk pigmentleri gece görüşüyle ilgilidir; renklerle ilgileri yoktur. Wilson'un buluşları daltonizmin neden erkeklerin % 8'inde, kadınların ise % 0,5'inde görüldüğünü de açıklar. Şöyle ki, kırmızı ve yeşil rengi görmemizi sağlayan genler X kromozomu üzerinde bulunduğu ve kadınlarda iki X kromozomu olduğuna göre, kadınlarda genlerden birinin anormal oluşu diğer X üzerindeki normal genle telafi edilebilir. Erkeklerdeyse, bir X kromozomu, olduğundan, anneden alı-

nan X kromozomu üzerindeki renk genlerinden birinin bile mutasyona uğraması, daltonizm için yeterlidir. Bunun aksine mavi renk körlüğü her iki cinsiyette de eşit oranda görülür.

Ağtabaka pigmentleriyle ilgili genler üzerindeki ilk çalışma, 1986'da ABD'de Stanford Üniversitesi'nden Jeremy Nathans tarafından yayımlandı. Dr. Nathans ve ekibi, görme pigmentleri yapısına giren "opsin"i kodlayan geni incelediler. Bütün görme pigmentleri bir A vitamini türevi olan 11-cis retinal ve opsin içerir. Opsin bir proteindir. Görme pigmentlerinin 11-cis retinal kısımları aynıdır; yalnız opsinleri farklıdır. Opsin her pigmentin belli dalga boyunu soğurmasını (absorbe etmesini) sağlar. Nathans grubu, mavi pigment geninin 7. kromozom, çubuk pigmenti geninin 3. kromozom ve kırmızı ve yeşil renk genlerinin art arda olarak X kromozomu üzerinde bulunduğunu kanıtladı. Ye-

şil renk geninin yakınındaki kromozom parçaları birbirine çok benzer. Cinsiyet hücrelerinin oluşması sırasında genlerin dağılımı bozulabilir. Örneğin, X kromozomu üzerinde yalnız bir kırmızı renk geni bulunan bir erkek yeşil pigmentten yoksun kalacak, yeşili göremeyen, ama mavi ve kırmızıyı görebilen bir dikromat olacaktır. Bir kırmızı ve iki yeşil renk genini taşıyan bir X kromozomu alan bir erkeğe "normal" bir trikromat olacaktır; bu sonuncu, renk genlerinin dağılımı anormal olmasına karşın, üç rengi de görebilecektir. 1989'da Nathans ve ekibi tam renk körlüğünü şöyle açıkladılar: Çok nadiren yeşil renk geni, genetik materyal değiş tokuşu sırasında kaybolur; kırmızı renk geniye noktasal mutasyona uğrar. Bu durumda yeşil ve kırmızı konilerden yoksun kalan hasta, hiçbir rengi göremez; dünyayı siyah beyaz olarak görür. Bir başka ola-

Renkli görme, gözün ağtabakasındaki bulunan pigmentlerin sayısına ve bu pigmentlerin hangi dalga boylarını emdiklerine bağlıdır. İnsan ağtabakasındaki üç pigment vardır (trikromasi); insan bu sayede gökkuşağının bütün renklerini görebilir. Bazı kuşların, örneğin güvercinlerin ağtabakasındaki beş farklı pigment taşıyan koniler vardır (pentakromasi); bu pigmentlerden biri morötesi soğurur. Resimde tüyleri canlı renklerde olan bir Avustralya muhabbet kuşu görülüyor (A). Biz, güvercinlere kıyasla daha az renk ve renk ayrıntısı görürüz. İnsan ve maymun hariç bütün memelilerin, bu arada kedi, köpek ve atların retinasındaki koni hücrelerinde yalnız iki pigment vardır (dikromasi). Renk körlüğü (daltonizm) olan insanların ağtabakasındaki da yalnız iki pigment vardır; bu hastalar mavi pigment yoksa mavi rengi (B), yeşil pigment yoksa yeşil rengi (D) ve kırmızı pigment yoksa kırmızı rengi (E) göremezler. Mavi pigmentin yokluğunda, mavi renk yeşil olarak görülür; yeşil ve kırmızıyı görüş normaldir. Kırmızı pigment yoksa kırmızı, sarı olarak görülür; mavi ve yeşili görüş normaldir. Yeşil pigment yoksa, yeşil, sarı olarak görülür; kırmızı ve maviyi görüş normaldir. Eğer ağtabakada iki pigment de eksikse, yani tek bir pigment kalmışsa, (monokromasi) bu hastalar dünyayı grinin tonları olarak görür, asla tek bir renk bile göremezler (C). Ayrıca mavi pigmentler göze gelen ışınların ancak % 5-10'unu emdiğinden, kırmızı ve yeşil pigmentlerin yokluğu görme keskinliğini önemli ölçüde aksatır.



sılık, yeşil ve kırmızı renk genlerinin kendilerinin değil, onların görev yapmasını sağlayan genlerin mutasyona uğramasıdır.

Kısa bir süre sonra da şu nokta anlaşıldı: tek bir X kromozomu üzerinde iki yeşil renk geni vardır; fakat bu sayı 6'ya kadar çıkabilir. Ancak, kırmızı renk geni gerek Eski Dünya maymunlarında, gerekse insanda 1'den fazla olamaz. Kimi insanlarda kırmızı ya da yeşil renk genleri yerine veya onlara ek olarak melez genler olabilir; bu gibi genler hem kırmızı, hem de yeşil konileri kontrol eder. Yeşil ve kırmızı renk genleri arasında bir değiş tokuş sonrası oluşan bu melez genler, ya yeşil ya da kırmızı konileri aktive eder, ya hiçbir koniyi aktive etmez, ya da emdiği dalga boyu yeşile veya kırmızıya göre kaymış konileri aktive eder.

Kaliforniya Üniversitesi'nden G. Jacobs ile J. ve M. Neitz'in çalışmaları şunu göstermiştir: İnsanlarda ve iki tür Yeni Dünya maymununda, opsinin nötr ya da pozitif yüklü bir amino asidi yerine negatif yüklü bir amino asidin konulması, konilerin kırmızı ve yeşil ışınlara duyarlılığını açıklamaya yetmektedir; yeter ki bu amino asit değişimleri opsinin üç yerinden (180., 277. ve 285. pozisyonlar) birinde olsun. 180., 277. ve 285. amino asidin değiştirilmesi pigmentin emdiği dalga boyunda sırasıyla 5,3, 9,5 ve 15,5 nanometrelik bir kay-

maya yol açar. 1992'de Bowmaker ve Mollon ekipleri 233. amino asitte de benzer etkiler gösterdi.

Her Pigmentin Birçok Şekli Vardır

ABD'de Brandeis Üniversitesi'nden Daniel Oprian grubu yaptıkları deneylerle her görme pigmentinin bir değil birçok şekli olduğunu gösterdi. Bu amaçla yeşil ve kırmızı pigmentleri ayırt ettiren 15 amino asitten her defasında bir tanesini değiştirerek yapay görme pigmentleri yarattılar. Bu yolla görme pigmentlerinin belli bir dalga boyunu soğurmalarında 7 amino asidin rolü olduğunu gösterdiler. Bu deneyler 1980'li yıllarda Jacobs ve Neitz'in, insanda birçok görme pigmenti olduğu yolundaki çalışmalarını doğruladı. Bu araştırmacılar renk görmesi normal olan insanlara, kırmızı ve yeşil körlüğünü incelemeye kullanılan Rayleigh testini uygulamışlardı. Bu testte, hastadan kırmızı ve yeşili üst üste getirerek turuncu oluşturmaları istenir. Beyaz ırk üzerinde yapılan gözlemlerde, her görme pigmentinin

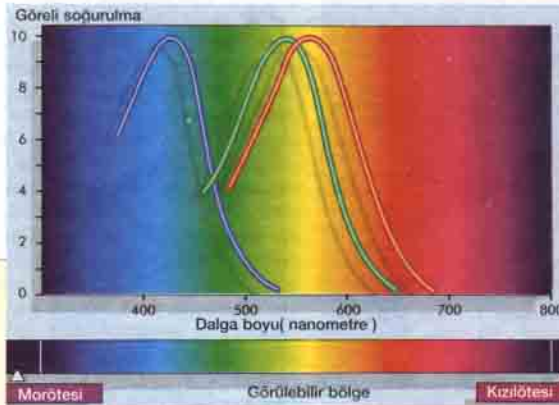
bir değil, birçok şekli olduğu saptanmıştı. Oprian deneyleri bunları doğrulamış oldu.

1983'te Dartnall ve arkadaşlarının mikrospektrometri deneyleri, insanlarda kırmızı konilerde iki tip görme pigmenti olduğunu göstermişti. Son iki yılda Neitz, Nathans ve Washington Üniversitesi'nden J. Winderickx bu çalışmaları doğruladı. Kırmızı görme pigmentinin iki şeklinin oluşu, 180. amino asidin serin ya da alanin oluşuna bağlıdır. Serin yerine alanin konulunca, maksimal soğurulma (absorpsiyon) dalga boyu, 4-6 nanometre kayar. Geçen yıl Neitz ve arkadaşları yeşil görme pigmentinin de iki şekli olduğunu ve bunların da 180. amino asit bakımından fark gösterdiğini kanıtladı. Kırmızı ve yeşil görme pigmentlerinin bir çok çeşidi olabileceği böylece anlaşılmış oluyor.

Mavi görme pigmenti üzerindeki çalışmalar daha azdır. Nathans ve arkadaşlarına göre mavi renk geninde bir ya da iki noktada mutasyon, mavi pigmentin yokluğuna neden olur; bunun için opsinde pozitif bir amino asidin yerine nötr bir amino asit konulması yeterlidir; çünkü bunun sonucu opsin molekülünün elektrik yükü değişir, bu ise proteinin katlanmasını ve kararlılığını bozarak görev kaybına yol açar. Bir insan da yeşil renk geninin birçok şekli ve ayrıca melez genler olabilir. Böyle bir insanın renk görmesi nasıl olacaktır? Mantıksal açıdan

Neden Birçok Pigment

İnsanda renk görme, ağtabakada koni hücreleri denilen ışığa duyarlı hücreler sayesinde mümkün olur. Üç tip koni hücresi vardır. Her koni tipi spektrumun (tayfın) belli bir dalga boyunu emer. Örneğin, kırmızı koniler dalga boyu 560 nanometre olan kırmızı rengi, yeşil koniler dalga boyu 540 nm olan yeşil rengi ve mavi koniler dalga boyu 420 nm olan mavi rengi en iyi algılar. Ancak sorun bu kadar basit değildir. Örneğin kırmızı koniler tek başlarına zayıf bir 560 nm dalga ile kuvvetli bir 540 nm dalga arasındaki farkı algılayamazlar. Yine kırmızı koniler dalga boyu sabit fakat şiddeti değişken bir ışığı, şiddeti sabit ve dalga boyu değişken bir ışıktan ayırt edemez. Bu olaya "ünivariyans" denir. Beyin ancak iki farklı renkte konilerden gelen sinyalleri karşılaştırır, ne kadar farklı tipte koni varsa, renkler o kadar iyi görülür. Konilerin yanıtlarını karşılaştırmak için çeşitli pigmentlerin ışığı soğurma

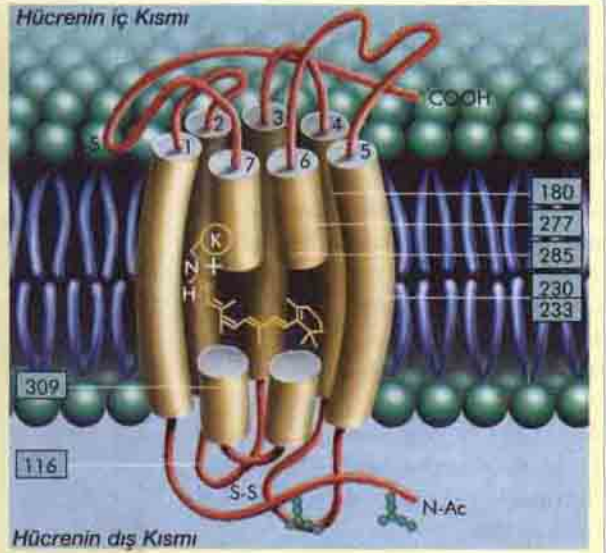


karakteristikleri (absorpsiyon spektrumları) iç içe geçmiş olmalıdır. Kırmızı ve yeşil pigmentlerin ışığı soğurma eğrileri o derece iç içe geçmiştir ki maksimal ışık soğurmaları arasında yalnızca 35 nm fark vardır. Üç pigmentin spektrumunda daha aralıklı dağılmış olsalardı, renk görme daha mükemmel olurdu. Ancak kırmızı ve yeşil renklerin absorpsiyon eğrileri arasında bu kadar az fark olması da boşuna değildir. Konilerin farklı dalga boylarına yanıt vermeleri renk görmeye yarıyor; kırmızı ve yeşil konilerin birlikte verdikleri sinyaller de aydınlanma (yüzey birimi başına ışık şiddeti) değişimlerini algılamaya yaramaktadır; iki farklı koniden gelen sinyallerin netliği kıyaslanarak yüzeydeki girinti ve çıkıntılar algılanır. Bir merceğin odak noktasının nerede olacağını ışığın dalga boyu belirler. Bu nedenle pigmentlerin ışık soğurmaları (absorpsiyon spektrumları) ne kadar farklıysa, duyarlı olduk-

ları ışıkların odak noktaları da o derece farklıdır. Bu nedenle görüntü, konilerin bir bölümünde çok netken bir diğer bölümünde net değildir. Buna kromatik aberasyon (renksel sapma) denir. Şimdi iki koninin absorpsiyon spektrumları birbirinden ne kadar uzaksa, iki sinyalin birleştirilmesiyle elde edilen imge aslından o kadar farklı olacaktır. Buna karşı konilerin emdikleri ışınların dalga boyları birbirine yakınsa, görme bozulmayacak ve aksine cisim ayrıntılı olarak (girinti ve çıkıntılarla birlikte) algılanacaktır. Soğurduğu ışığın dalga boyu kırmızı ve yeşilden hayli uzak olan mavi koniler, bu nedenle ayrıntılı görüşü yaratamaz ve yalnız mavi rengi görme ve yarar. Bu da konilerin neden ancak % 5-10'unun mavi olduğunu açıklar. Ancak, burada ressamlıktaki üç temel rengi (mavi, sarı, kırmızı) konilerin üç rengiyle karşılaştırmayalım. Örneğin sarı ve mavi boyaların uygun oranda karıştırılması, dalga boyu 530 nm olan ve yeşil konileri uyaran bir ışığı oluşturur. Mavi ışık mavi konileri, sarı ışıkta hem kırmızı, hem yeşil konileri uyarır (sarı ışığın dalga boyu kırmızı ile yeşil arasındadır). Üç tip koni de eşit olarak uyarılırsa,

çeşitli genlerin çeşitli proteinler yaptıracağı, bu nedenle çeşitli görme pigmentleri olacağı, bu sayede çeşitli dalga boylarının soğurulabileceği ve dolayısıyla renk görmeyi daha da mükemmel olacağı, örneğin renklerin bütün ayrıntılarının görülebileceği düşünülebilir. Ancak 1992'de Samir Deeb'in araştırmaları bunun aksini göstermektedir. Bir renge ait birçok gen olsa da bunlardan yalnız biri görev yapmaktadır; dolayısıyla böyle bir insan, aktive olan gene göre, normal (trikromat) ya da renk körü olabilir; demek ki bir renge ait birçok gen oluşu birçok görme pigmenti yapılışı anlamına gelmez; o renge ait yine tek bir pigment vardır; bu pigment normal ya da anormal olabilir. Ağtabaka hücrelerinin haberci RNA'ları incelenerek de bu kanıtlanmıştır; iki yeşil renk geni taşıyanlarda yeşil için tek bir haberci RNA vardır. Peki, iki X taşıyan ve bu nedenle 2 kırmızı, 2 yeşil renk geni taşıyan kadınlarda durum nedir? Bu dört yerden birinde melez gen varsa bu kadının ağtabakasında 4 görme pigmenti olacaktır: kırmızı, yeşil, mavi ve dördüncü görme pigmenti (tetrakromasi). Bir yeşil ve bir kırmızı renk geninin yerini bir melez gen alırsa bu kadının ağtabakasında 5 farklı görme pigmenti bulunacaktır (pentakromasi). Ancak ağtabakada ek bir görme pigmenti bulunmasının renk görmeyi arttırması için bir şart vardır: Anormal ve normal pigmentleri yapan koniler, ağtabakada homojen olarak

Ağtabakada renk görmeye ilgili hücrelere, koniye benzedikleri için, koni hücreleri denir. Koni hücrelerinde ışığa duyarlı pigmentler vardır; koni hücreleri bu pigmentler sayesinde ışık sinyalinin, sinir hücrelerince kullanılabilen elektrik sinyallerine dönüşür. Her pigment bir opsin molekülü (hücre zarında bulunan bir protein) ile bir 11- cis retinalden (A vitamininden türemiş bir aldehid) oluşur. Işığı emen retinal, opsin molekülü içinde bulunur. Retinalin ışığa cevabı opsinin elektrik yüküne bağlıdır. Opsinin elektrik yükü, kendisini oluşturan amino asitlerden yalnızca birinin elektrik yükünün değiştirilmesiyle bile değişir. Opsinin kalıtımla değiştirilebilen 7 amino asidi şeklinde görülmektedir. Pigmentlerin retinal kısımları aynı, opsin kısımları farklıdır.



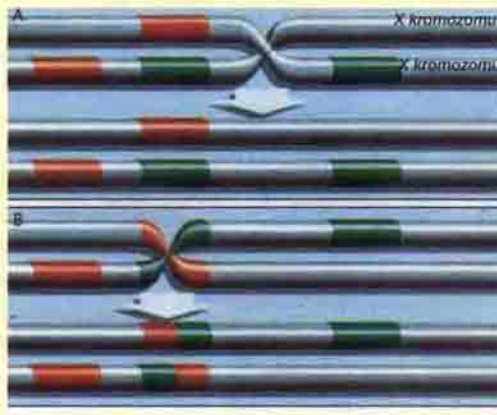
dağılımalı ve böylece beyne karşılaştırmaya olanağı vermelidir.

İngiltere'de Mary Lyon'un 1961'de bulduğu yöntemle erken embriyoner hayatta X kromozomlarından biri inaktive edilebilir; bu yöntemle, homojen dağılış teorisi ispatlanmıştır. Şöyle ki, bu inaktivasyon rastgele yapıldığından, hücrelerin yarısı babadan gelen aktif X'i, yarısı da anneden gelen inaktif X'i taşıyacak, böylece konilerde iki çeşit pigment olacaktır. Ancak erken embriyoner hayatta, daha göz oluşmadan, bu iki tip hücre oluşacak ve bu iki pigment ağtabakada homojen değil, adacıklar şeklinde dağılacaktır; bu durumda iki gen oluşu renk görmeyi arttırmaz.

Bu makalenin yazarı 1993'te Cambridge Üniversitesi'nde Güney Amerika'nın beyaz perçemli "ouistiti" maymunu (*Callithrix jacchus jacchus*) üzerinde araştırma yapmıştır. Bu Yeni Dünya maymunlarında mavi görme pigmenti vardır; fakat Eski Dünya maymunlarından farklı olarak X kromozomu üzerinde kırmızı-yeşile karşılık olan tek bir gene sahiptirler. Bu genin üç farklı şekli, üç farklı koni pigmenti yaptırır. X'lerden her biri aynı geni taşırsa tek bir pigment, farklı genleri taşırsa iki tip pigment yapılır. Bu maymunda bir önceki deney yapılsa X kromozomlarından biri yeterince geç inaktive olduğundan, her iki pigment ağtabakada homojen olarak dağılır.

Ek pigmentin etkili olabilmesi için sinir sistemi bu iki pigmentten gelen uyarıları ayırt edebilmelidir ve bu zordur; çünkü 1992'de Cambridge'de bu makalenin yazarı, Mollon ve Bowmaker gösterdiler ki ouistiti maymunlarında iki tür kırmızı-yeşil pigmentinin ışık soğurması arasındaki fark çok küçüktür: dalga boyu cinsinden 6 nanometre. Buna karşın ouistiti bu iki tip koniden gelen uyarıları ayırt edebilmektedir. Böylece kadınlarda tetrakromasi veya pentakromasi olabileceği anlaşılmaktadır. 1992'de G. Jordan ve J. Mollon bunu kanıtlamıştır. Bu iki araştırmacı, normal kırmızı ve yeşil renk genlerine ek olarak bir çok melez gen taşıyan 31 kadını inceledi. Kadınlardan en az birisinde ek bir pigment ve buna bağlı tekrakromasi var-

Üç pigmentin yapılmasını sağlayan genler, genomda aynı yerde değildir. Mavi gen 7. kromozom üstündedir; kırmızı ve yeşil genleriyse X kromozomu üzerindedir. Kadınlarda iki X, erkeklerdeyse bir X ve bir de Y kromozomu olduğundan ve kırmızı ve yeşil renk genleri X kromozomu üzerinde bulunduğundan, renk körlüğü kadınlarda ve erkeklerde eşit dağılımaz. Ayrıca kırmızı ve yeşil genleri X kromozomu üzerinde art arda sıralandığından ve kromozomun yeşil genine yakın bölümleri de kısmen yeşil etkisi yaptığından, cinsiyet hücrelerinin oluşumu sırasında (mayozis) kromozom parçalarının çaprazlama değiş tokuşu (crossing over) kırmızı ve yeşil genleri için sık, mavi için çok nadirdir. Çapraz değiş tokuş sonucu bir X kromozomu üzerindeki yeşil geni, diğer X kromozomuna geçebilir; böylece bir X kromozomunda yalnız kırmızı geni, diğer X kromozomu üzerinde iki yeşil ve bir kırmızı geni bulunur (A). Yalnız kırmızı genini taşıyan X kromozomu bir erkeğe gidince, o erkekte yeşil geni olmadığından renk körlüğü olur; bu hastalar yeşil rengi göremez. Bazen yalnız kırmızı ve yeşil genlerinin yarısı birbirleriyle değiş tokuş yapar; bu durumda melez (hibrid) genler oluşur (B). Melez genlerin yarısı kırmızı, yarısı yeşil geninden gelmiştir. Melez genlerin yaptırdığı pigmentin ışık soğurma karakteristiği (absorpsiyon spektrumu) kırmızı ve yeşil pigmentlerin ışık soğurmasından farklıdır.



dı. Öteki kadınlarda da bir ya da iki ek pigment olması mümkündür. Ancak bu pigmentler ve normal pigmentler arasındaki ışık soğurulması farkı bugün için ölçülemeyecek kadar azdır.

Görme pigmentlerinin incelenmesi, maymunlarda renk görmenin evrimini gündeme getirmiştir. Nathans ve arkadaşları 1986'da kırmızı ve yeşil renk genlerinin yapıcı çok (% 97) benzer olduğunu, buna karşın bu genlerin mavi renk geniyle ancak % 40 benzerlik gösterdiğini buldu. Herhalde kırmızı ve yeşil renk genleri ortak bir ata genden türemiştir. Diğer türler üzerindeki çalışmalar da bu tezi doğrulamaktadır.

Amerika Maymunları: Trikromasiye Geçiş

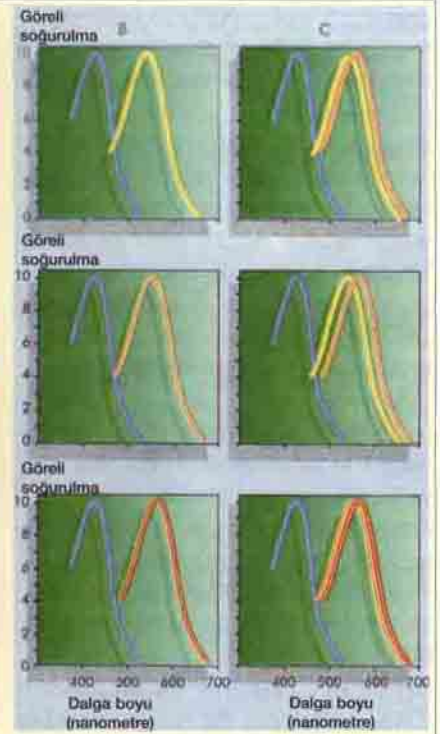
Bu güne kadar, maymunlar dışında, renk gören bütün hayvanlar üzerindeki çalışmalar şunu gösterdi: Konilerde spektrumun (tayfin) kırmızı yeşil bölümüne duyarlı tek bir pigment vardır. Bir başka deyişle hayvanlar iki renk görür, yani dikromattır.

Yeni Dünya maymunları dikromat, insan ve Eski Dünya maymunları ise trikromatdır. X kromozomu üzerindeki ikinci pigment geni, 35-40 milyon yıl önce Eski ve Yeni Dünya maymunları ayrılırken belirmiştir. Trikromasi, ikinci genin belirmesiyle ortaya çıkmıştır. Mutasyonlar daha önce belirttiğimiz çeşitliliği sağlamıştır.

Yeni Dünya maymunları, evrimsel açıdan dikromat memeliler ve trikromat insan ve Eski Dünya maymunları arasında bir ara safhayı temsil eder. Yeni Dünya maymunlarının konilerinin



Yeni Dünya'dan beyaz perçemli ouistiti maymunu (*Callithrix jacchus jacchus*) dikromattır (A). Konilerde mavi pigment ve geni X kromozomu üzerinde bulunan, kırmızı-yeşil arası dalga boylarının pigmenti vardır. Bu son pigmentin üç şekli vardır: 543 nm (sarı), 556 nm (portakal) ve 563 nm (kırmızı) dalga boylarını soğururlar. O halde bu maymunlarda üç tip dikromat erkek vardır (B). Dişi ise pigmentin ya üç şeklinden ikisini almıştır ve olası üç dikromat tipinden biridir ya da pigmentin üç şeklinden ikisini almıştır ve olası üç trikromatdan biridir (C). Bu tür maymunlarda renkli görmenin büyük değişimler göstermesi, bazı kadınlardaki tetrakromasinin ve insanlarda renkli görmenin evriminin araştırılmasında değerli bilgiler sağlayacaktır.



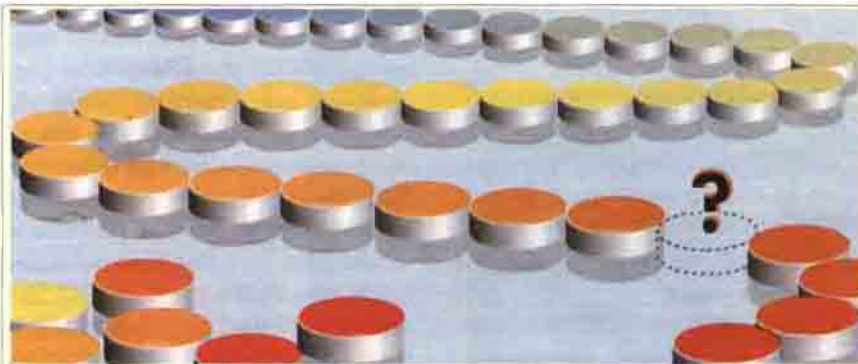
deki çeşitlilik onlara evrimde bir üstünlük sağlamıştır. Şöyle ki bu maymunlar arasında trikromat dişiler ormanda yeşil zemin üzerinde kırmızı böğürtlenleri daha iyi görerek daha üstün duruma geçmiştir; bir diğer deyişle evrim trikromasi karakterini seçmiş ve gelecek kuşaklarda devam ettirmiştir (doğal seçilme). Yeni Dünya maymunlarının bir bölümünün dikromat oluşu, onların çevreye uymalarının dandır. Şöyle ki trikromatlar cisimleri

renkleriyle ayırt ederken dikromatlar yüzey ayrıntılarıyla ayırt eder. Bu maymunlar küçük gruplar halinde yaşadıklarından, içlerinde hem dikromat, hem de trikromatların oluşu çevreye uyumu kolaylaştırmıştır; bu nedenle bu maymunlarda evrim sırasındaki trikromasi yaygınlaşmamıştır.

Eski Dünya maymunlarında da genetik çeşitlilik (polimorfizm) vardır. Bowmaker ve Mollon, bunların 6 türünde çoğunlukla yeşil renk genleri buldu. Ancak insanın aksine, bu maymunlarda yeşil renk geninin olmayışına asla rastlanmaz. Doğal seçilmede gelen kuvvetli bir baskı, bu hayvanların trikromasiden sapmalarını önlemektedir.

Bir topluluktaki bireylerde, görme pigmentlerinde varyasyon (çeşitlilik) oluşu ayrıcalık olmaktan çok bir kuraldır diyebiliriz. Gördüğümüz renkler aynı olsa da algılarımız farklıdır. Hepimiz renkler için aynı adları kullanıyoruz; ama hiç kuşku yok ki komşumuz örneğin kırmızı rengi bizden farklı bir şekilde görüyor.

Tovée, M.J., La Recherche, Ocak 1995
Çeviri: Selçuk Alsan



Farnsworth-Munsell testi klasik olarak insanlarda renkli görmeyi incelemeye kullanılmıştır. Denekler renkleri hafifçe farklı 80 pastilli renklerine göre sınıflandırır ve sıralar. Normal trikromat bir insan, pastilleri güneş ışığı spektrumuna (tayf) uygun olarak dizer: kırmızı, sarı, yeşil ve mavi. Görme körlüğü olan bir insan, pastilleri renk sırasına dizmekte zorluk çeker. Örneğin ağtabakasında kırmızı pigment olmadığı için kırmızı rengi göremeyenler kırmızı pastilleri yerine koyamaz.