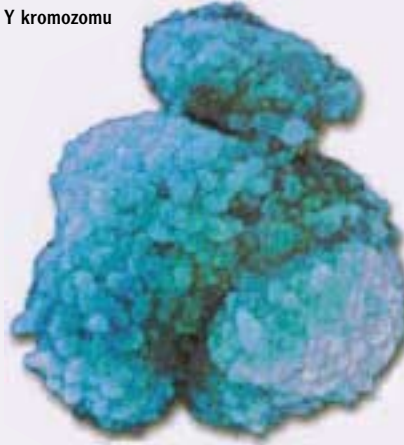


Y KROMOZOMUNUN GİZEMLİ GEÇMİŞİ

İnsanda dişiliği belirleyen X kromozomu, dış görünüş olarak otozomal (insanın üremeye ilgili olmayan özelliklerini belirleyen) kromozomlara benzer, fakat erkekliliği belirleyen Y kromozomu, otozomal kromozomlardan tamamen farklı bir yapı gösterir. X ve Y kromozomları yapısal olarak tuhaf bir ikili oluşturuyorlar. Hücrelerimizde bulunan diğer 22 çift otozomal kromozomsa, Őekil olarak birbirleriyle iyi uyum sağlamış çiftlerden (homolog) oluşuyorlar. Her homolog kromozomdan biri anneden, diğeri babadan geliyor. Fakat ikisi de, normal koşullarda aynı boyutlarda ve aynı genleri taşıyorlar. Ancak Y kromozomu X'den çok daha küçük ve X'in taşıdığı varsayılan 2000 ile 3000 genden çok daha az sayıda gen taşıyor. Y'nin taşıdığı genlerin sayısı, birkaç düzineden fazla değil. Y üzerinde bulunan genlerin belli bir kısmının, X üzerinde homologları (benzerleri ya da akrabaları) yok. Ayrıca, Y kromozomunu oluşturan DNA'nın çok yüksek oranda kullanılmayan DNA'dan oluşması, Y kromozomunu daha da gizemli hale getiriyor. Biyologlar, son zamanlara kadar Y kromozomunun nasıl bu hale geldiğini açık-

Y kromozomu

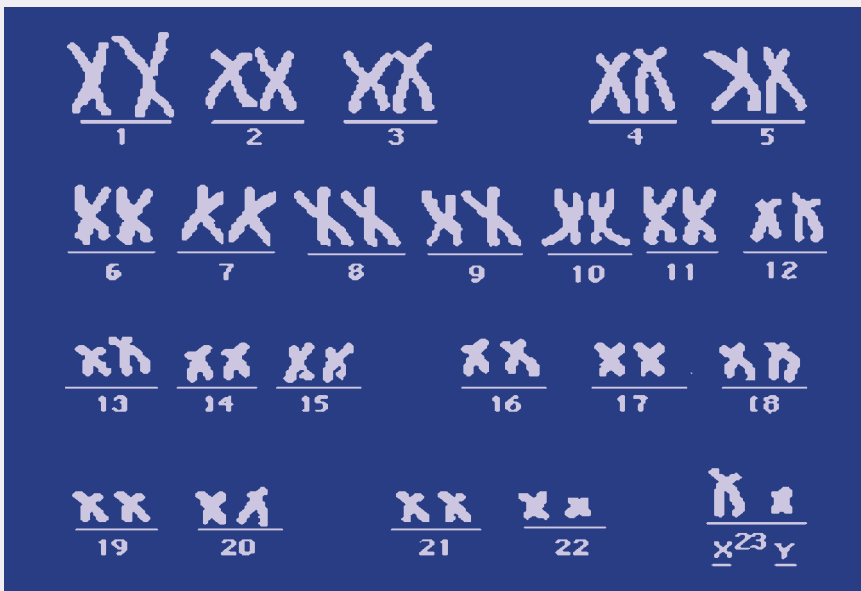


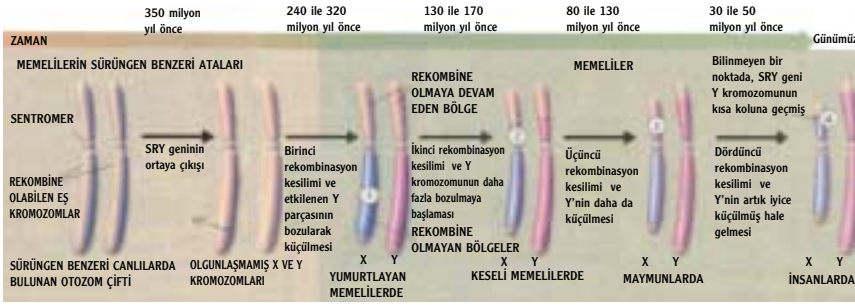
lamakta güçlük çektiler. Bu konuda çok çeşitli kuramlar bulunmakla beraber bunları test edecek yöntemlerin sayısı az. İnsan genom projesi ve bununla ilişkili çabalar sayesinde, bugün artık bu durum değişti. Yaşayan hayvanların ve fosillerin iskeletlerini inceleyerek bir türün evrimini izleyen paleontologları taklit eden moleküler biyologlar, DNA dizilerini inceleyerek genlerin ve kromozomların evrimini izlemeyi öğrendiler. Yeni bulgular, cinsiyet kromozomları tarihinin oldukça dinamik olduğunu göstermekte. Bunun kanıtı olarak, Y kromozomu üzerinde

meydana gelen büyük ölçekli yıkımlara ve X kromozomu üzerinde, bu yıkımları telafi edecek değişimlere işaret ediliyor. Bu karşılıklı değişimler kuşkusuz bugün de devam etmekte. Y kromozomu uzun süre, erkekleşme programını başlatmanın ötesinde, çok az Őeyi yapabilen bir kromozom olarak düşünöldü.

Fakat daha sonraları bu kromozomun, pek çok biyologun düşünödüğünden daha fazla Őeyi yaptığı ortaya çıktı. Y kromozomu 300 milyon yıllık bir süreçte, erkekliliği devam ettirmek açısından önemli olan çok az sayıda geni korumayı başarıırken; döleyebilme yeteneği için gerek duyulan başka genleri de kazanmış. Görünüşünden yola çıkarak, pek dikkate değer bulunmayan bu kromozomun, üstün bir güce sahip olduğu ortaya çıkınca, zaten merak konusu olan insan cinsiyet kromozomları konusunda çalışma yapmak, bilimadamları için iyice cazip hale geldi. Zamanla, erkekte kısırlılığın açıklanma ve geriye döndürölmesi çabaları da Y kromozomu üzerine çalışma yapılmasını teşvik etti. Üretkenlik gücünü etkileyen Y genlerinin bulunması, bu genleri eksik olan veya bu genlerin kusurlu versiyonlarını taşıyan erkekler için yeni tedavilerin uygulanabilmesini sağladı.

20. yüzyıl öncesinde, biyologlar modern sürüngenlerde olduğu gibi, insan ve diğer memelilerde de cinsiyetin çevre tarafından belirlendiğini düşünüyordular. (Sürüngenlerde erkek veya dişiliğin oluşumunda, gelişimin erken bir dönemindeki embriyonal ısının baskın bir etken olduğu düşünölüyor.) 1900'lü yılların başlarında araştırıcılar, belirli türlerde cinsiyetin kromozomlar tarafından belirlendiğinin farkına vardılar. Yaklaşık 20 yıl sonra, memelilerde de, cinsiyetin embriyonik gelişim sırasında kromozomlar tarafından belirlendiği gösterildi. Daha sonraki yıllardaysa, Y kromozomunun, erkekliliği belirleyici özelliğe sahip olduğu ortaya çıkarıldı.





Y kromozomunun bozunması 300 milyon yıl önce başladı ve dört ayrı basamak kapsamında gerçekleşti. Bozulma sürüngen benzeri bir memeli atasının bir otozomal kromozomunda, yeni bir SRY geninin ortaya çıkmasıyla başladı. Her basamak Y kromozomuna ait bir parçanın, X ile rekombine olma yeteneğini kaybetmesiyle karakterize. Rekombinasyon kesildiğinde, etkilenen bölgedeki genler çalışmayı durdururlar ve bozulmaya başlarlar. Şekilde gösterilen dizi oldukça basitleştirilmiştir.

di. Yine bu yıllarda X ve Y'nin, geçmişteki tek bir atadan köken alan ve birbirleriyle uyumlu olan bir çift otozomdan evrimleştikleri ileri sürüldü. Memelilerin ortaya çıktığı sıralarda (sonradan Y kromozomu olarak adlandıracağımız) bir otozomun küçük bir parçasında meydana gelen rastlantısal bir mutasyonun, bu otozomu taşıyan embriyonun erkeklik karakteri kazanmasına neden olduğu düşünülüyor. Böylece, iki X kromozomu taşıyan embriyolar, dişi olma özelliği kazandılar.

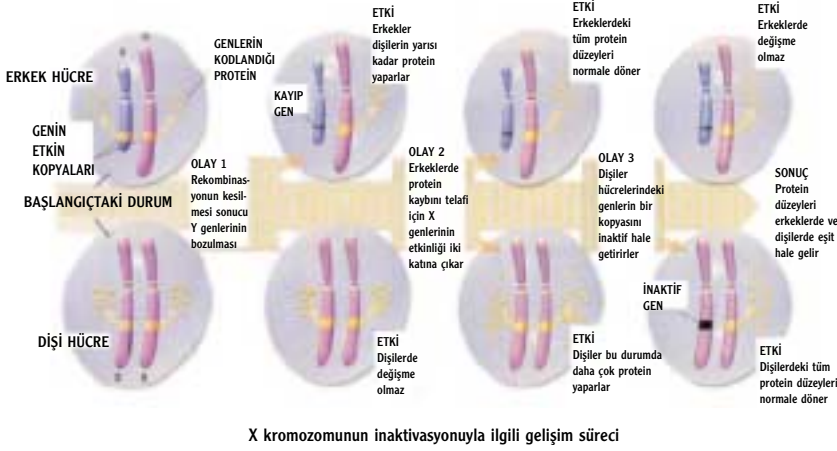
Genetikçiler 1990 yılında erkeklik karakterini belirleyen Y kromozomu üzerindeki bölgeyi belirlediler ve bu bölgeye SRY (Sex Determining Region / Cinsiyeti Belirleyen Bölge) ismi verildi. SRY tarafından kodlanan proteinler, çeşitli kromozomlar üzerindeki genleri etkinleştirerek testislerin oluşmasını başlatırlar. Bundan sonra testislerde üretilen testosteron (erkeklikle ilgili karakterlerin ortaya çıkmasını sağlayan hormon) ve diğer maddeler, erkekliğin şekillenmesi için devreye girerler. Bilim adamları X ve Y kromozom uçlarının ikili yapı oluşturacak şekilde kaldığını ve rekombinasyon (kromozomların eşler teşkil edecek şekilde yeniden bir araya gelmeleri) kapsamında birbirleriyle iletişime geçebildiklerini gördükten sonra, insan cinsiyet kromozomlarının, yaşama birbirleriyle uyumlu bir çift halinde başladıkları sonucuna vardılar. Mayoz sırasında birbirleriyle eşleşen kromozomlar yan yana dizilirler ve parça değişimi olur. Bundan sonra her otozomun birer kopyası ve bir cinsiyet kromozomu, düzenli bir şekilde üreme hücrelerine dağılırlar. Y kromozomu, X kromozomuyla çok az bir benzerlik gösterse de, bu iki kromozomun uç kısımları (erkeklerde) mayoz sırasında, yan yana gelir ve sanki tam eş yapılmış gibi

parça değişimi yaparlar. (Bu yan yana geliş, kromozomların spermilere uygun dağılımları açısından oldukça önemli.) X ve Y kromozomlarının geçmişte benzer olduklarıyla ilgili diğer bir kanıt da, Y kromozomunun X ile rekombine olmayan bölgesine saçılmış pek çok genin, X kromozomu üzerindeki eşlerinin hâlâ bulunuyor olması durumu. Bu rekombine olmayan ve Y kromozomunun % 95'ini oluşturan bölgenin varlığı, kromozomun nasıl kendi orijinal yapısının bir gölgesi haline geldiğini göstermesi açısından oldukça önemli. Rekombinasyonun, hem doğada hem de laboratuvarında kromozom bütünlüğünün korunmasına yardımcı olduğu ve rekombinasyonun olmaması durumunun da, rekombine olmayan bölgelerdeki genlerin yıkıcı mutasyonlara maruz kalmasına, bozulmasına ve sonradan ortadan kaybolmasına neden olduğu düşünülüyor. Bu nedenle, bir şeyin X ve Y kromozomlarının büyük parçaları arasında DNA değişiminin kesilmesine neden olduğu ve bundan sonra Y kromozomunun rekombine olmayan bölgesindeki genlerin yıkılmış olduğu, akla uygun görünüyor. Ancak, Y kromozomu ortaya çıktıktan sonra, rekombinasyonun nasıl ve ne zaman durduğu, yıllarca belirsiz kaldı.

Son altı yılda yapılan çalışmalarla, Y kromozomunun zamanla nasıl şekillendiği açıklığa kavuşmuş bulunuyor. 1999 yılında yapılan bir çalışmayla, Y kromozomunun X kromozomuyla DNA değiş tokuşu yapma yeteneğini kaybettiği ortaya çıktı. Çalışmayı yürüten araştırmacılar, bu iki kromozom arasında DNA alışverişinin azalması, zamanla dereceli bir şekilde meydana geldiğini; önce SRY geni çevresindeki bir DNA bölümünün bu yeteneğini kaybettiğini, daha sonra bu durumun farklı DNA bloklarına yayıldığı

nı ve zamanla kromozomun çok büyük bir kısmının bu yeteneğini kaybettiğini ileri sürdüler. X ve Y kromozomlarının rekombine olma özelliklerini kaybetmelerine karşın, yalnızca Y kromozomunun bozularak gerilediği, X kromozomunun bozulmadan yoluna devam ettiği anlaşılıyor. Çünkü, dişi bireylerde mayoz sırasında X kromozomunun iki kopyası bir araya gelerek rekombine oluyor ve böylece kromozomun bütünlüğü korunabiliyor. Burada sorulması gereken soru şu: X ve Y kromozomları arasındaki rekombinasyonun kesilmesinin nedeni ne? Bugünkü memelilerin ilk atalarının bazılarında bulunan ilkel X ve Y kromozomları, mayoz sırasında aralarında parça değişimi yapmaya çalışırken, Y kromozomu üzerindeki bir DNA parçasının olasılıkla inversiyona (bir DNA parçasının, koştığı kromozoma ters dönerek yapışması) uğradığı, bu nedenle eskiden birbirleriyle eşleşebilen X ve Y kromozom bölgelerinin bundan sonraki etkileşimlerinin baskılandığı düşünülüyor. X ve Y kromozomlarının her ikisinin de rekombine olmayan bölgelerinde bulunan 19 genin nükleotid dizileri incelendiğinde, rekombinasyonun birbirinden ayrı olaylar kapsamında kesilmiş olduğu görülmüş. (Y kromozomunun üzerinde bulunan kopyalardan bazıları, şu anda işlevsel değil.) Eğer genlerin çiftleşebilen kopyaları, çiftleşmekten alıkonulurlarsa; zamanla, bu gen dizileri artan bir şekilde farklılaşacaklardır. Farklılıkların, az sayıda olması, rekombinasyonun oldukça yakın bir zamanda durduğu anlamını taşıırken; çok sayıda olması da, rekombinasyonun uzun süre önce kesildiğini göstermekte.

X-Y kromozom çiftlerinin çoğu, dört farklı aşamadan birine dahil. Her aşamanın kapsamına giren X-Y kromozom çiftleri, hemen hemen aynı oranda farklılaşmış ve aralarındaki rekombinasyon hemen hemen aynı zamanda durmuş oluyor. Aşağı yukarı SRY geninin ortaya çıktığı dönemde, X üzerindeki eşlerinden farklılaşmaya başlayan Y genleri, en çok farklılaşmış gen grubunu oluşturmuşlar. İlerleyen zamanla, X ve Y kromozomları üzerinde bulunan diğer gen kopyalarının farklılaşmasında bir azalma gözlenmiş. Biyologlar, türler arasında DNA dizilerini karşılaştırarak, daha önceleri birbirle-



riyle eşleşen genlerin kendi yollarına ne zaman sapmaya başladıklarını kaba bir şekilde hesaplayabilirler. Bu yöntemle, memelilerin dallanmasından önce yaşayan sürüngenlerde bulunan X ve Y kromozomlarının, otozomal öncülerinin orijinal hallerine benzer olarak ya da orijinal hallerinde buldukları ortaya çıkarıldı. Ancak, Yumurtlayan Memeliler takımından platypus (gagalı-memeli) ve echidna (gagalıkirpi) hem SRY genini, hem de bitişinde bulunan ve rekombine olmayan bir bölgeyi taşırlar. Bu farklılıklar, SRY geninin ortaya çıktığı zamanın (hemen hemen rekombinasyonun durduğu zaman) memeli hayvanların ortaya çıkmaya başladığı döneme yakın bir dönem olduğunu gösteriyor. Bu da bizi, yaklaşık olarak 300 milyon yıllık bir geçmişe götürüyor.

Moleküler saat analizi yaparak, zamanlama hakkında daha fazla bilgi edinebiliriz. Biyologlar, DNA dizilerinin değişmesi için gerekli olan zamanı yaklaşık olarak tahmin edebilirler. Buna göre, rekombinasyonu durduran ilk inversiyonun 240 ile 320 milyon yıl arasında değişebilen bir zaman diliminde meydana gelmiş olabileceği sonucunu çıkarabiliyoruz. Bir sonraki inversiyonunsa, 130 ile 170 milyon yıl önce meydana geldiği ve bu zaman diliminin de Marsupiallerin (keseli memelilerin) dallanmasına yakın bir zamana rastladığı tahmin ediliyor. Üçüncü değişimin 80 ile 130 milyon yıl önce meydana geldiği, bu zamanın da presentali memelilerin farklılaşmasından önceki döneme rastladığı görülüyor. Y kromozomunda oluşan son inversiyonun gerçekleştiği 30 ile 50 milyon yıl öncesiye, hominidlerin dallanmasından önceki döneme rastlıyor. Y

kromozomunun rekombine olmayan bölgesinde bulunan bazı genler, X'teki eşleri tarafından kodlanan proteinlerden oldukça az farklılaşmış proteinleri kodlarlar. Bu da söz konusu genlerin, inversiyona en erken uğramış bölgelerde bulunsalar bile, X-Y kromozom çiftleri arasındaki tüm süreci atladıkları anlamına geliyor. Bunların korunmuş olması, olasılıkla basit bir evrimsel ilkeyle açıklanabilir. Eğer sözkonusu gen, yaşamın devamı için gerekiyorsa, bunun korunması eğilimi olacaktır. Aslında en az değişime uğrayan Y genleri, evin korumalığını ya da kahyalığını yapan genler. Bunlar, vücuttaki hemen tüm hücrelerin bütünlüğü için çok önemli.

Mantık gereği olmasının yanında, yapılan çok sayıda araştırma da, X ve Y kromozomları arasında rekombinasyonun meydana gelmemesi sonucu pek çok Y geninin bozulma sürecine girmesini, üçüncü bir işlemin takip etmiş olduğunu gösteriyor. Bu da, Y kromozomunda meydana gelen bozulmanın telafi edilmesi işlemi. Aynı hücredeki genlerin tümü etkin durumda değiller. Ancak, herhangi bir hücre, bir proteine ihtiyaç duyduğunda, bu proteini anneden gelen veya babadan gelen gen kopyaları üzerinde üretir. Her kopyadan üretilecek protein miktarı, optimal gelişmeye ve organizmanın günlük çalışma durumuna bağlı olarak, iyi bir şekilde ayarlanır. Bundan dolayı Y kromozomu üzerindeki genler kaybolmaya başlarken, eğer söz konusu olan tür, kaybolan genlerini düzenlemek için herhangi bir yola sapsa, o türün erkeklerinde kaybolan genlerle ilişkili proteinlerin üretimi, yavaş bir şekilde yarıya inmiş olacaktır.

Meyve sineği gibi pek çok hayvanın

erkek bireyleri, bu dengesizliği gidermek için kayıp Y genlerinin X versiyonlarının etkinliğini iki katına çıkarırlar. Diğer hayvanlarda daha karmaşık bir yol izlerler. Bu hayvanlarda, ilk aşamada hem erkek ve hem de dişi bireylerde X genlerinin etkinliği artar. Bu artış, erkek bireylerde Y genlerinin bozulmasıyla oluşan boşluğu doldurarak protein miktarının aynı düzeyde kalmasını sağlarken, dişi bireylerde aşırı protein üretimine neden olur. Nematod kurtçukları gibi bazı hayvanların dişilerinde daha sonra X genlerinin etkinliği yarıya iner. Memeliler de dahil olmak üzere diğer hayvanların dişi bireyleri, erken embriyo döneminde iki X kromozomlarından birinin üzerindeki genlerinin çoğunu kapatırlar ve bizim "X inaktivasyonu" olarak tanımladığımız bir sürece girerler. Komşu hücrelerde X kromozomunun farklı kopyalarının (anneden ya da babadan gelen) inaktivasyonu görülebilir. Fakat herhangi bir hücreden oluşan tüm oğul hücrelerde, aynı X kromozomunun kopyasının inaktif olduğu görülecektir. Yani, inaktivasyon kalıtsaldır.

Uzun bir süre, X inaktivasyonunun, Y genlerinin bozulmasına bir cevap olduğu düşünülmüşse de, bu görüşü destekleyen kanıtlar az. Eğer Y genlerinin bozulması X'in etkinliğini kaybetmesi sonucunu doğuruyorsa, Y'nin rekombine olmayan bölgesinde işlevsel eşlere sahip X genlerinin, dişi bireylerde çalışmaya devam etmeleri beklenir ki, bu şekilde dişilerdeki protein düzeyleri erkeklerdeki protein düzeyleriyle eşit kalsın.

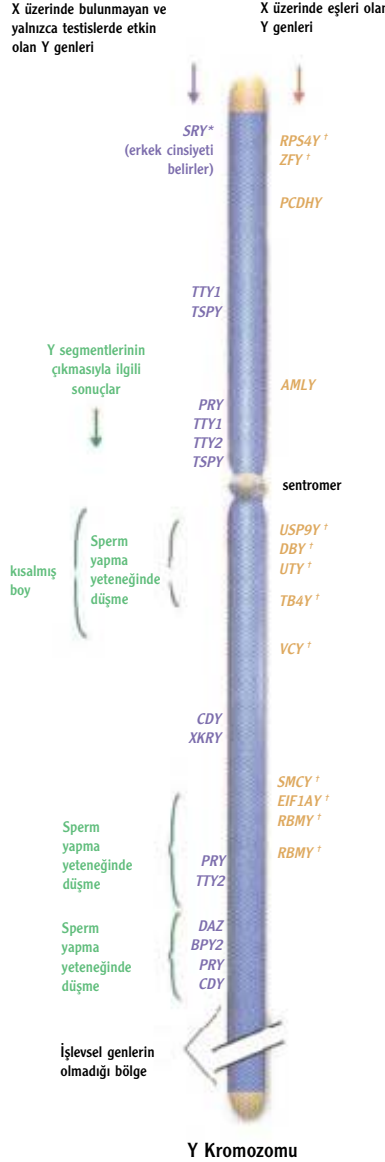
İki düzine memeli türündeki X-Y kromozom çiftlerinin etkinlik düzeylerinin incelendiği çalışmalarda, etkin Y genlerinin X'teki kopyalarının, inaktivasyon sürecine girdiği bulgusuna ulaşılmış. Ayrıca, bu çalışmalar X kromozomu inaktivasyonunun, bir defada meydana gelmediğini; aşamalı olarak gerçekleştiğini de ortaya koymuş durumda.

Y kromozomunun rekombine olmayan bölgesi, X'te de eşleri bulunan değerli birçok geni barındırmakla kalmayıp; aynı zamanda erkeklerde dölleme yeteneğini teşvik eden bir düzine gen daha barındırıyor. Bu genler, yalnızca testislerde yapılan proteinleri kodluyorlar ve olasılıkla sperm üretiminde de yer alıyorlar. Bu genlerden bazıları, otozomal kromozomlardan Y'ye sığa-

miş gibi görünüyor. Geriye kalan diğer genlerse başlangıçtan beri Y kromozomu üzerinde olmakla birlikte, önceleri farklı işlevlere sahipken, zamanla yeni işlevler kazanmış durumdadır. Bozulma, Y kromozomunun evriminde öncü bir olay. Son yıllara kadar az bilinen diğer bir konuysa, Y kromozomunun dölleme yeteneği kazandıran genleri taşıyor hale gelmesi olayı. Kuramcılar arasında, Y kromozomunu bu genler için çekici hale getiren kuvvetler hakkında fikir birliği yok. Türler bir bütün olarak erkeğe özgü genlerin oluşturmaktan yararlanabilirler. Ancak, bu genler ya dişi bireylere zarar verirler ya da dişi bireylere hiç bir katkı yapmazlar. Erkek fertilitate genlerinin Y kromozomu üzerinde bulunmaları ve bu şekilde yalnızca erkek bir bireyden başka bir erkek bireye aktarılmış olmaları, dolayısıyla dişi bireyler kanalıyla başka bir yola sapmamış olmaları, bu genlerin korunmasına yardımcı olmuş olabilir. Eğer bu genler başka bir kromozomla dişi bireylere de aktarılmış olsalardı, en azından dişi bireyin hücrelerinde inaktif durumda olmak zorunda kalacaklardı ve bu durumun dişi bireylere doğrudan bir etkisi de olmazdı.

Bu olayla ilişkili bir gizem de, fertilitate genlerinin, rekombinasyonun yokluğunda nasıl böyle iyi korunduklarıyla ilgili. Çünkü rekombinasyon olmayan bölgedeki diğer Y genlerinin çoğu, değişikliğe uğramış durumdadır. Bu sorunun yanıtı, Y kromozomundaki tüm fertilitate genlerinin çok sayıda kopyasının bulunmasıyla ilgili. Bu genlerin çoğul kopyalar halinde bulunmaları, her seferinde yalnızca bir genin bir kopyasını etkileyecek yıkıcı mutasyonlara karşı tampon durumunun oluşmasına neden olmuş olabilir. Örneğin, bir genin bir veya birkaç kopyasında mutasyon meydana gelebilir ve sonuçta bu gen kopyaları devre dışı kalabilirler. Bu durumda, geriye kalan gen kopyaları kendi kendilerini çoğaltarak, kaynak görevi görürler ve böylece erkeklerin üreme yetenekleri korunmuş olur.

İnsanlarda cinsiyet kromozomlarının evrimi üzerinde, çok kapsamlı olarak çalışıldı. Fakat türler arası karşılaştırma çalışmaları sayesinde, cinsiyet kromozomlarına sahip diğer canlılarda da genel çalışma ilkeleri ortaya çıkarıldı. Bu hayvanlardan bazıları, örneğin kuşlar ve kelebekler, cinsiyet belirlen-



Y Kromozomu

Normal bir erkeğin kromozomlarından 22 çifti, otozomal kromozomlardır. Bundan başka erkeklerde X ve Y kromozomları da bulunur. Çiftleri oluşturan kromozomlardan biri anneden, diğeri babadan gelir. Y'nin rekombinasyon olmayan bölgesinde bulunan genler, (şekilde mavi ile gösterilmiş) X ve Y kromozomlarının tarihinin açıklanmasına yardımcı olmuşlardır. Şekilde hâlâ aktif olan genlerin bir listesi de verilmiş. Bu genlerin yaklaşık yarısının X kromozomu üzerinde eşleri vardır (kırmızı). Bu genlerin bir kısmı, yaşam için mutlaka gerekli olan genlerdir. Rekombinasyon olmayan bölgedeki genlerin bir kısmı yalnızca testislerde etkindirler (mor) ve bunlar dölleme yeteneği açısından önemlidirler.

mesinde W-Z sistemini kullanırlar. Belirli bir kromozomun tek bir kopyasının erkek oluşumuna yol açtığı durumlarda, bu kromozoma Y, bunun eşine de X adı verilir. Bir kromozomun bir kopyasının dişi oluşumuna yol açtığı durumlarda ise bu kromozoma W, eşine de Z denir. Diğer bir ilke de, cinsiyet kromozomlarının otozomlardan türemesiyle ilgili. Yalnız burada üzerinde durulması gereken bir konu da,

değişime uğrayarak cinsiyet kromozomlarına dönüşen otozomlardaki çeşitlilik. Örneğin, kuşlarda değişerek W ve Z'ye dönüşen otozomlarla memelilerde X ve Y kromozomlarına dönüşen otozomlar farklı. Eşeyli olarak üreyen türlerde önce cinsiyet kromozomları ortaya çıkar. Sonra bu kromozomlar üç veya daha fazla aşamadan geçerek artan bir şekilde farklılaşırlar. Bu basamaklar, sırasıyla rekombinasyonun baskılanması, cinsiyet kromozomlarının rekombinasyon olmayan parçalarının bozulması ve sonuç olarak bozulmuş bölgelerin diğer eş kromozom tarafından telafi edilmeleridir.

Kendi türümüz söz konusu olduğunda geleceğin ne getireceğini merak etmek oldukça mantıklı. Farklılaşma, X ve Y kromozomları arasındaki rekombinasyonu tümüyle sona erdirecek şekilde devam edebilecek ve binlerce ya da milyonlarca yıl sonra Y tamamen ortadan kalkacak mı? Yeni bulgular, erkeklerin yaşamak ve fertil olmaları için gerekli olan Y genlerini koruyabileceklerini gösteriyor. Dolayısıyla Y kromozomunun tümüyle ortadan kalkması kuramsal bir olasılık olmakla kalıyor.

Genlerle ilgili araştırmalar, sıklıkla insan hastalıklarını anlamak ve tedavi etmek amacıyla yapılmakta. Y kromozomuyla ilgili bazı araştırmalar da böyle bir hedefe yönelik olarak başladı. Burada amaç, erkek cinsiyetini geliştirmeyi anlamak ve kısırlık sorunlarına çözüm bulmak. Tıbbi araştırmalar ve sistematik dizinlendirme çalışmaları sayesinde X ve Y kromozomları üzerindeki pek çok gen tanımlanırken, doğabilimcileri şu soruyu kaçınılmaz olarak soruyorlar: Bu genler, birbirleriyle iyi uyum gösteremeyen X ve Y kromozomlarının uzak geçmişleri hakkında yeni şeyler söylüyorlar mı? Sonuç olarak, genlerin bize anlatacak çok şeyleri var gibi görünüyor.

Biyolog Erdal Tunç,
Doç. Dr. Osman Demirhan
Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi
Tıbbi Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı

Kaynaklar

1. Jegalian K, Lahn BT. Why the Y. Scientific American, February sayfa 56-61, 2001
2. Bruce T.Lahn and David C.P. Functional Coherence of the Human Y Chromosome. Science, Vol. 278, sayfa 675-680; October 24, 1997
3. Bruce T.Lahn and David C. Page. Four Evolutionary Strata on the Human X Chromosome. Science, Vol.286, sayfa 964-967; October 29, 1997