

Beyin, iç kulak, böbrek ve  
göz hücrelerindeki minik çıkıntılar

# İçimizdeki Kıllar

1962 yapımı ilk James Bond filmi *Dr. No*'da doktoru öldürmek isteyen kişi, bıçağı göğsünün sol tarafına saplasa da Dr. No'yu öldüremez. Dr. No, ölümden kurtuluşunu şöyle açıklar: "Çünkü kalbim solda değil, sağ tarafta bulunuyor". İç organlarımızın, örneğin kalbimizin sağda veya solda oluşuna hücrelerimizdeki küçük kılların hareketinin sebep olduğunu biliyor muydunuz? Kılların yapılarındaki ve sistemlerindeki bir bozuklukta her şey tersine dönebiliyor. Filmdeki gibi, katil kalbi hedef alsada, kurbanını can evinden vuramıyor. 11 Eylül 2001'de İki Kuleler'e yapılan saldırı sonrası enkazı kaldırmak için büyük bir temizlik operasyonu düzenlendi. 2008'de o bölgeyi ziyaret ettiğimden enkazdan eser yoktu. Ortalık temizlenmiş, yeni binanın inşaatına başlanmıştı bile. Ama enkazda çalışan işçilerin birçok anısı vardı. Kurtarma çalışmalarına katılan işçiler enkaz temizleme sırasında toksinlere, kimyasal maddelere ve kanser yapıcı birçok maddeye maruz kalmıştı. Çoğunda solunum yolu hastalıkları ortaya çıktı. Solunum yolu şikâyetleri olan üç işçiye biyopsi yapılarak canlı dokuları incelendiğinde ikisinin solunum yollarındaki küçük kılçıklarda yapısal bozukluklar tespit edildi. Diğer bir kurtarma görevlisinin başka bir kötü anısı vardı. Sağlık muayenesinde iç kulağındaki tüycüklerde anormallikler olduğu belirlenmişti. Uzmanlar, enkazdaki zehirli maddelerin ve çevre kirlenmelerin kulak tüylerinde hasar oluşturduğunu tespit etti. Kurtarma görevlisi, ilk kez duyduğu ve kendini hayretler içinde bırakan konuyu yani kulağındaki tüyleri araştırmaya başlayınca çok enteresan şeyler öğreneceğinden habersizdi. Bunların ne olduğunu araştırmaya başlayarak işe koyuldu.

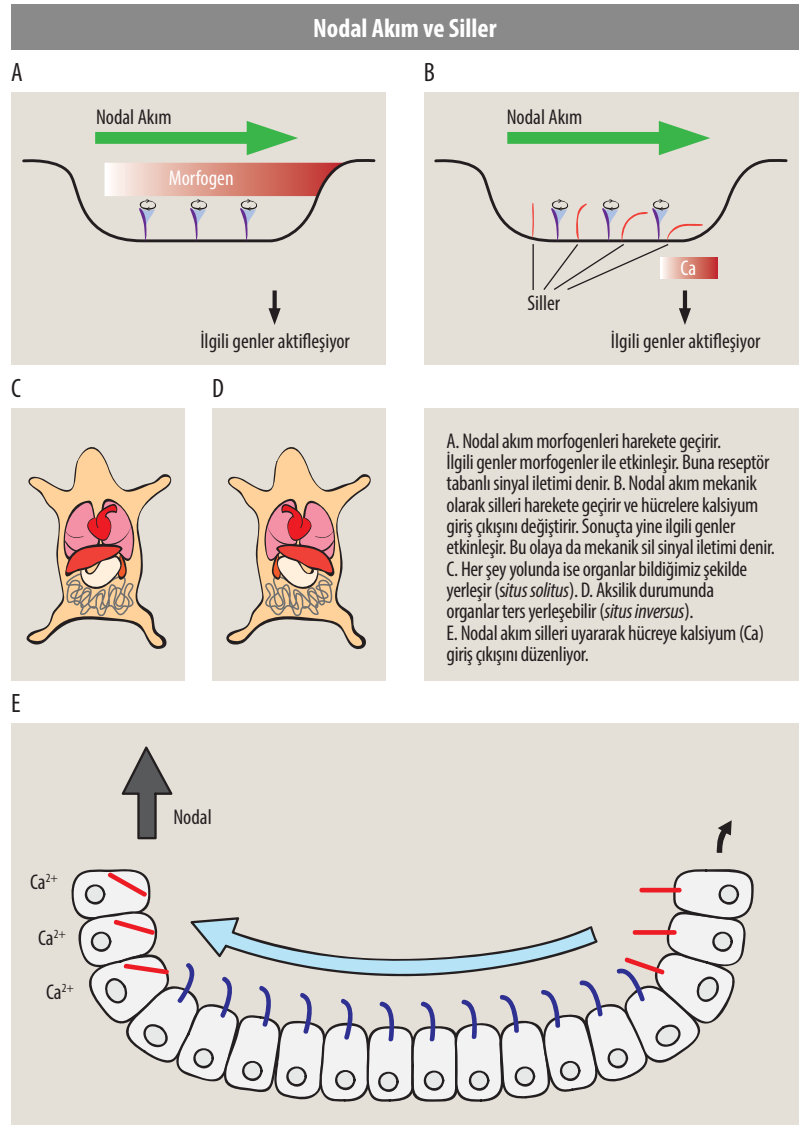
Edindiği ilk bilgi şuydu: "Sil" Latincedeki "*cilia*" kelimesinden geliyordu ve "kirpik" demektir.

## Hücrenin kirpikleri: Siller

Mikro borucuklardan ve çeşitli proteinlerden meydana gelen siller solunum yolu, beyin, iç kulak, böbrek ve göz hücreleri gibi birçok hücrede bulunan minik çıkıntılar. Vücudumuzda 300.000 protein olduğu hesaplanıyor. Bunlardan 500'ünden fazlası sillerin içinde olanlar. 600 proteinin bulunduğu hareketli siller nanomakineler de deniliyor. Hücre zarının dışı doğru çıkıntı yapması ile oluşan sillerin, buldukları hücreye göre çeşitli görevleri var.

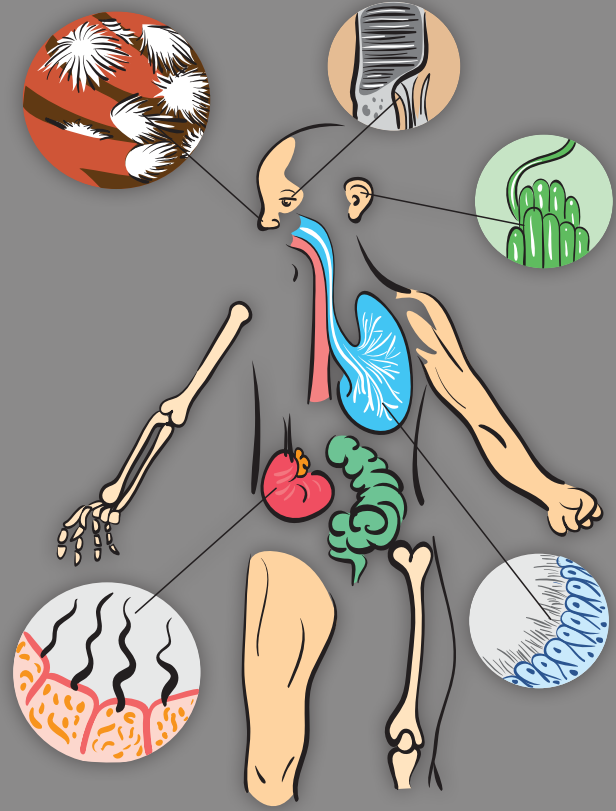
Kimi zaman dengemizin sağlanmasında, kimi zaman da göz ve sinir sisteminde görev yapıyorlar.

Silya, silyum, titrek tüyler, saç teli benzeri kılçıklar gibi çeşitli isimleri olan bu hücre çıkıntıları, Latince'deki *cilia* (kirpik) kelimesinden köken alıyor. Boyları 20 mikrometre civarında olan siller, hücreye hareket sağlamalarının yanı sıra dışarıdan gelen sinyalleri alan birer anten gibi görev yapıyor. Bu hücre kirpikleri ne kadar küçük acaba? Bir fikriniz var mı? 50 tane sil yan yana gelse 1 mm yapıyor. Hücrelerde bazen bir tane sil bulunurken bazen de 200-300 tane bulunur. 1898 yılında keşfedilmelerine rağmen yıllarca gereksiz birer organel gibi düşünülen bu yapılar, 1980'li yıllardaki buluşlarla tekrar gündeme gelmeye başladı.

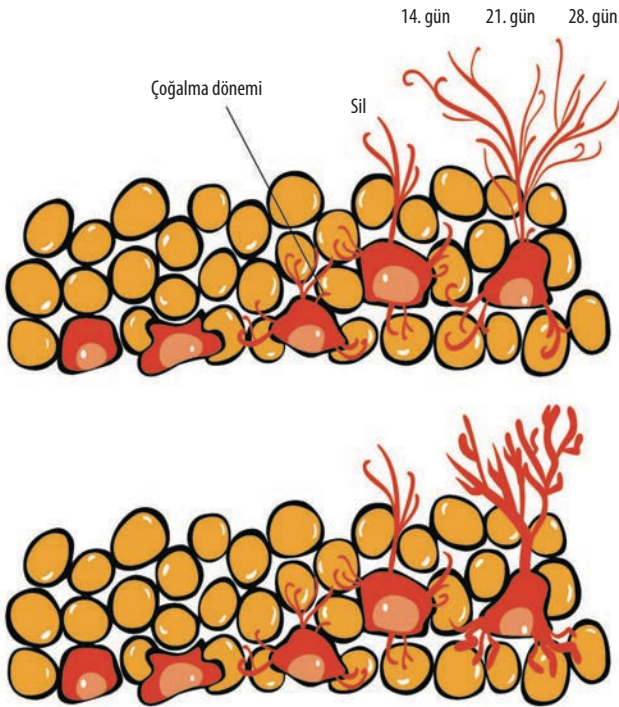


## Kılar da hasta olur!

İlk kez 1890'lı yıllarda böbrek hücrelerinde keşfedilmelerine rağmen siller yeni anlaşılmaya başlandı. Görevlerini saymakla bitiremeyiz: Ependimal akım adı verilen beyindeki sıvı hareketinde, spermilerin hareketinde, karaciğerde, pankreasta, böbrek ve safra yollarında idrar ve enzimlerin taşınmasında, koklamada, görmede ve hücre bölünmesinde sillerin rolü var. Sillerin bozuk veya kusurlu olması haline siliopati adı verilir. Çok çeşitli siliopatiler var. Sillerin çalışmadığı veya eksik çalıştığı siliopatilere çeşitli örnekler verilebilir: Usher sendromunda işitme ve denge kaybı söz konusu. Meckel Gruber sendromunda nöral tüp kusurları gözleniyor. Embriyonik bir yapı olan nöral tüp, beyin dokusundan başlayıp omuriliği de içine alacak şekilde uzanan borucuk şeklinde bir yapı. Bu yapı, anne karnındaki hayatımızın üçüncü haftasında gelişimini tamamlar. Nöral tüp kusurları en sık görülen doğum kusurları arasındadır. Ayrıca beynin olmaması veya omuriliğin kapanmamasının en sık raslanan nedenlerindedir. Türkiye'de görülme sıklığı ortalama binde üçtür. Beyindeki, tüp şeklindeki bu küçük embriyonik yapı hasarlı ise omurilik ve beyin gelişiminde kusurlar olur. Örneğin sırtta omurilik kapanmaz ve açık kalır, sinir doku bu açıklıktan dışarı çıkar; buna "spina bifida" deniyor.



## Hücre göçü ve farklılaşma dönemi



Yukarıdaki çizimde sinir sisteminin gelişimi normal. Siller çalışıyor. Sinir hücreleri sağlıklı olarak olgunlaşıyor. 28. günde sinir uzantılarının şekli normal (kırmızı renkli çıkıntılar). Altındaki çizimde ise sil proteinleri kusurlu. Sil gelişimi anormal. Sonuçta sinir hücreleri olgunlaşmıyor. Sinir uzantıları kısa kalıyor. (N. Kumamoto tarafından 2012'de yapılan bir çalışma.)

## Sağ mı sol mu?

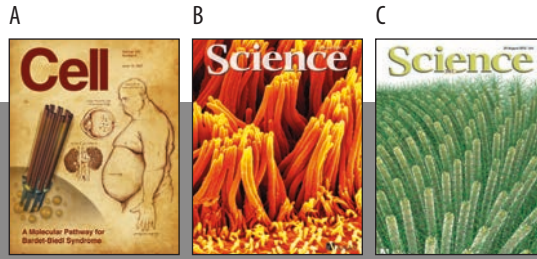
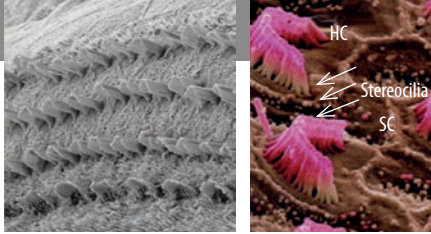
Anne karnındaki üç haftalık embriyoda dış, orta ve iç katman olmak üzere üç katman meydana gelir. Bu katmanlardan, çeşitli vücut organları oluşur. Ancak buradaki en kritik olaylardan biri vücut eksenlerinin oluşumudur. Embriyonun sağ sol, üst alt ve ön arka eksenleri nasıl belirlenecek? Bu yön tayini olmazsa milyarlarca hücre yolunu nasıl bulacak? Tam bir kaos ortamı olur değil mi? Hücre nereye doğru gidecek? Sil hareketleri, embriyoda bir sıvı hareketinin oluşmasına sebep olur. Bu sıvı hareketine nodal akım denir. Bu akım tıpkı bir sandalın küreği gibi yön ve hız tayininde iş görür. Protistalar gibi bazı tek hücreli mikroskobik canlılarda 17 adet kürek sayılmış. Nodal akım embriyoda sağ sol kullaşmasında rol alır.

Mesela kalp sola, karaciğer sağa yerleşir. Peki ama dışarıdan hiçbir sinyal gelmeden bu nasıl olur? Gelişim biyologlarının ve kuramsal biyologların en merak ettiği konulardan biri budur. Bu konudaki ilk büyük buluş morfogenlerdir. Morfogenler, embriyoda yön tayininde görevli maddelerdir (örneğin retinoik asit). Sirke sineğinin embriyo aşamasında morfogenleri araştıran ve açıklayan araştırmacılar 1995 yılında Nobel Ödülü kazandı. İkinci büyük buluş ise sillerin sağ sol eksen oluşumundaki rollerinin ortaya çıkarılmasıdır. Embriyoda eksen tayini ve yapısal değişimler hâlâ gizemini koruyor. Araştırmalar tüm hızıyla devam ediyor. Ancak nodal akımın ilgili genleri nasıl harekete geçirdiği henüz tam olarak anlaşılacak değil. "Nodal Akım ve Siller" şeklinde nodal akımın morfogenlere ve sillere etkisi görülüyor.



Sillerdeki ve sillerin yapısındaki proteinlerde bozuklukların olduğu kalıtsal Bardet-Biedl sendromu, sillerde işlev bozukluğuna bağlı olarak gelişen bir hastalık. İlk sil ilişkili hastalık olan Bardet-Biedl sendromlu kişilerde şişmanlık, retina dejenerasyonu, böbreklerde kist ve polidaktili (parmak sayısının fazla olması) gözlenir. Bardet-Biedl sendromunda görülen anosmi (koku hissinin kaybolması) burundaki sillerin kusurlu olmasından kaynaklanır. 2011 yılında Amerikan Hücre Biyolojisi Derneğinin (ASCB) Denver'daki toplantısında ilginç bir sunum yapıldı. Beynin iştah bölgesi olan hipotalamustaki hücrelerdeki sillerin bozuk olması obezite ile ilişkili olabilir. Bu da Bardet-Biedl sendromlu kişilerin niye fazla kilolu olduğunu açıklayabilir. Araştırmacılar şu an kılların iştahla alakalı melanin yoğunlaştırıcı hormon ve leptin hormonu ile bağlantısını araştırıyor.

Siller vücudumuzda bir çok hücrede bulunur. Görevlerini saymakla bitiremeyiz: Beyindeki sıvı hareketinde, spermelerin hareketinde, karaciğerde, pankreasta, böbrek ve safra yollarında, koklama, görme, işitme ve hücre bölünmesinde sillerin rolü var. Sol alttaki resimde iç kulaktaki siller, sağ alt resimde ise stereosil (stereocilia) denilen özel kulak sillerinin komşu hücrelerle beraber yerleşimi elektron mikroskopunda görülüyor. HC: sil hücresi, SC: sil hücresini destekleyen destek hücreleri. (Trends in Cell Biology, 2001 ve Journal of Biological Chemistry, 2010)



Ependimal akımda görevli siller bozuk olursa hidrosefali (beyinde sıvı toplanması) görülebilir. Spermlerdeki sil kusurlarında kısırılık ortaya çıkabilir. Yumurta yumurtanın üreme yollarındaki hareketinde de siller görev alır. Yumurta kanalındaki yumurta hücresi siller yardımıyla yoluna devam eder. Mekanik sensör ve kalsiyum iyon salınımında görevli sillerin böbreklerde çalışmaması sonucu görülen polikistik böbrek hastalığı, en yaygın siliopatiler arasındadır. Alström hastalarında gözün retina tabakasında hasar vardır. Son yıllarda hücre bölünmesindeki rolleri sebebi ile sillerin kanser ile ilişkisi de araştırılmaya başlandı. *Cellular and Molecular Life Sciences* dergisinin 11 Temmuz 2012 tarihli sayısında hücre bölünmesi ile siller arasında bir diyalog olduğunun keşfedildiği duyuruldu. Böyle bir diyalog olduğu yüz yıldır biliniyordu, ancak bilim dünyasında asıl heyecanla karşılanan şey sillerin hücre döngüsünü etkilediğinin anlaşılmasıydı.

Siller, son yıllarda sık sık ünlü tıp dergilerinin kapaklarını süslüyor. Sillerde ve sillerin yapısındaki proteinlerde bozukluk olması durumunda görülen Bardet-Biedl sendromu, genetik bir hastalıktır. Bardet-Biedl sendromlu kişilerde şişmanlık, retina dejenerasyonu, böbreklerde kist ve polidaktili (fazla parmak sayısı) gözlenir. Burun sillerindeki kusurlar sebebiyle anosmi (koku hissinin kaybolması) görülür. (A) *Cell* bu sendromu ve silleri 2007 yılında kapağına taşıdı. (B) *Science* da zaman zaman silleri kapağına taşıyor. Fare akciğer hücrelerindeki sillerin 34.000 kez büyütülmüş hali (Ağustos 2009). (C) İnsan akciğerlerindeki sillerin grafik çizimi (Ağustos, 2012)

## Solunum yolları temizliği

Nefes borusunun iç duvarını döşeyen dokuya nefes borusu epitelyumu denir. Her epitelyum hücresinin, havanın geçtiği boşluğa doğru 200 kadar çıkıntısı vardır. Siller nefes borusunun içini sürekli süpürmekle görevli, hareketli tüycüklerdir ve buğday tarlasındaki başakların rüzgârla dalgalanmasına benzeyen bu sürekli hareketleri sonucu mikroplar ve tozlar mukus sıvısı ile beraber yutağa doğru hareket eder, oradan da midenin asitli ortamına geçip parçalanır. İşte İki Kuleler'in enkazının temizlenmesinde çalışan kurtarma görevlisi, içindeki mikro kolları anlamak için çıktığı yolculukta arkadaşlarının da neden hasta olduğunu anlamaya başlamıştı. Solunum yollarındaki süpürgeçiler çalışmayınca tozlar solunum yollarını tıkamıştı.

4 Ağustos 2012 tarihli *Science* dergisinin kapağı bir kez daha sillerle süslendi. Sağlıklı akciğerler için sillerin önemi bir kez daha gösterildi. Bu çalışmaya göre siller fırça gibi çalışarak hücrelerin yüzeyinde biriken mukus tabakayı temizliyor.

## Hücrenin kontrol kuleleri

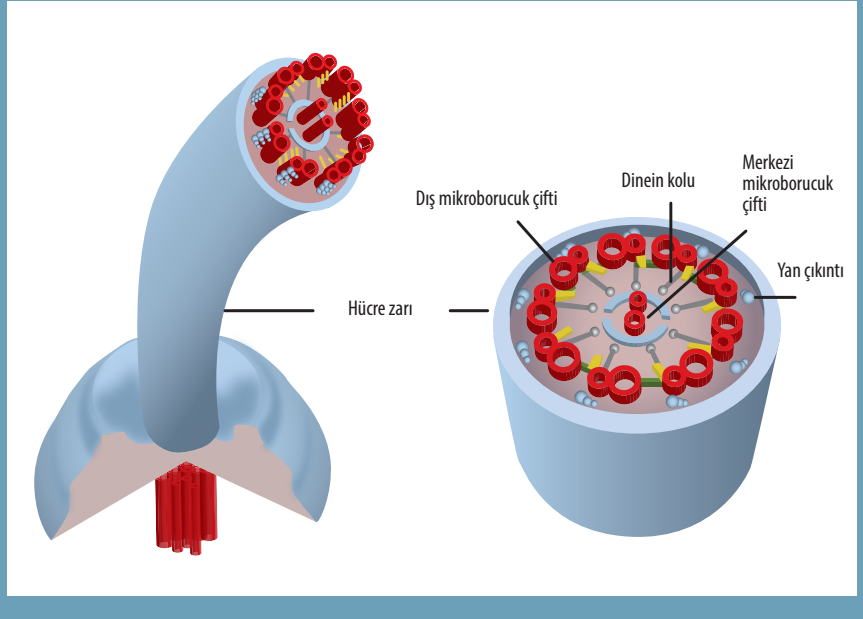
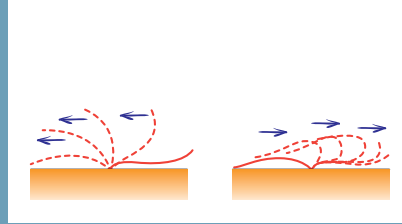
Günümüz otoyollarına, trafik levhalarına, haritalara ve navigasyon cihazlarına rağmen bazen hâlâ gideceğimiz yere ulaşmada zorluk yaşarız. Gideceğimiz yeri bulmak için son model otomobilimizle dolanır da dolanırız. Vücudumuz da Dünyamızdan farklı değildir. Dünyada 7 milyar insan yaşarken vücudumuzda trilyonlarca hücre vardır. Vücudumuzun Dünya trafiğinden de karmaşık olan trafiğinde hücrelerin yollarını şaşırmasın, bir tür yön bulma sistemine sahip olmaları hayret verici bir olaydır. Bilindiği üzere birçok hayvanda GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi) gibi işleyen navigasyon sistemleri var. Kuşlar ve balıklar, Dünya'nın bir ucundan diğer ucuna kaybolmadan gidiyor. Hücrelerin GPS sistemi sayılabilecek olan siller, dışarıdan gelen mesajları anten gibi çalışarak hücreye aktarır. Sillerde çeşitli haberleşme sistemlerinin, örneğin "sonik kirpi" sinyal yolunun görev üstlendiği biliniyor. Pe ki niye sonik kirpi adı seçilmiş dersiniz?

Embriyologlar, bu tür hücre olaylarını, "hücrenin kaderi" diyor. Her hücrenin nasıl davranacağı ve nereye gideceği planlı ve programlı. Hücreler hiç "eğitim görmeden" ve "tatbikat yapmadan" görevlerini kusursuz biçimde gerçekleştirir. Sonuçta her organ yerli yerine yerleşmiş olur. İç organların yerli yerinde olmasına "situs solitus" adı verilir. Sillerde bozukluk olur ve nodal akım oluşmazsa organlar ters yönlere yerleşebilir. Bu duruma da "situs inversus" denir. *Situs inversus* hayatla bağdaşır yani eğer doğumsal bir kalp kusuru yoksa organları ters yönde olan kişiler dışarıdan normal görünür ve yaşamlarına sağlıklı olarak devam eder. Kartagener sendromlu hastaların % 20'sinde anormal siller vardır. Kartagener hastalarında -tıpkı Dr. No gibi- kalp sağda, karaciğer soldadır.

Hareketli ve hareketsiz olmak üzere iki grupta incelenen bu mini kıllar, alttaki şekilde görüldüğü gibi enine kesitlerinde çevresinde 9, merkezinde 2 mikro borucuk varsa 9+2 olarak isimlendirilir. Deste deste biçilip ardında bağlanan ekinler gibi mikro borular da birbirine bağlanır. 9+0 siller, embriyonik gelişim sırasında vücudun sağ sol simetrisinin oluşumunda görev alır. Nodal sil adı verilen bu yapılar, döllenmiş yumurtanın 8-10 hücreli ilk dönemlerinde görev yapar. Siller akciğerlerimizdeki mukusları süpürürken sağdaki şekildeki gibi hareketler yapar.

Joubert sendromu, Meckel-Gruber sendromu ve Bardet-Biedl sendromu gibi durumlarda sillerde ve sillerin içindeki taşıma sisteminde bozukluklar oluşur.

Sillerin rüzgârdaki başaklar gibi salınımı



Bilim insanları ilginç adamlar. Sonik kirpi 1991'de piyasaya çıkan bir bilgisayar oyununun kahramanlarından biri; Mario'nun rakibi. 1995 yılında Nobel Ödülü kazanan araştırmacılar buldukları proteine işte bu oyun kahramanına atfen böyle bir ad vermiş. Eğer siz de bir protein bulacak olursanız ona istediğiniz ismi verebilirsiniz.

Sonik kirpi haberleşme sistemi iskelet gelişimi açısından çok önemli bir molekül. Verma-Naumoff sendromu, Majewski sendromu, Jeune sendromu ve Ellis-van Creveld sendromu gibi bir çok silio-patide iskelet bozuklukları vardır. Bu ne-

denle iskelet bozuklukları ile siller arasında bir ilişki var. Düzgün bir iskelet yapısı için siller ihtiyacımız var. İskelet silio-patileri de denilen bir hastalık grubunda şu ana kadar ondan fazla gen tanımlanmış. Örneğin 2011'in Aralık ayında bulunan TMEM231 proteini bunlardan biri. TMEM231 geninin ürettiği protein olmazsa, sil gelişiminde ve sonik kirpi sinyal iletiminde kusurlar meydana geliyor.

Hücre navigasyon sisteminde önemli bir aktör olan hücre kıllarının, doğal olarak hücre sinyal mekanizmasının bozulduğu kanserle de yakın bir bağlantısı var. *Nature Medicine* dergisinde 2009 yıla-

lının Eylül ayında iki makale yayımlandı. Bu makalelere göre, siller kanseri hem tetikliyor hem de engelliyordu. Bilim dünyasına "Kanserde Sillerin İki Yüzü" başlığıyla duyurulan bu haberlerden sonra hücre bölünmesi ve sinyal iletimi üzerine çalışmalar daha da hızlandı. Bilindiği gibi kanser gelişimi hücre bölünmesi ile bağlantılı bir süreç.

Siller hücrenin GPS navigasyon sisteminin bir parçası. Stanford Tıp Fakültesi araştırmacıları *Cell* adlı dergide yayımlanan çalışmalarında silleri, hücrenin haberleşme ağının kontrol kulesi olarak tanımladı. Bu küçük kılçıklar hücrenin haberleşme şebekesinin önemli elemanları; aynı hava trafiğini kontrol eden kuleler ya da açık deniz tankerlerine yol gösteren deniz fenerleri gibi. Yaraların iyileşme süreci bu haberleşme şebekesine güzel bir örnek. Yaralanma durumunda salgılanan bir büyüme sinyali sillerle ulaştığında, mesaj hücre merkezine aktarılır. Sonuçta hücre iskelet sisteminde bir hareketlenme olur. Yara kapama sistemi tetiklenir. Sili olmayan hücrelerle yapılan deneyler, bu hücrelerde yara iyileşmesinin olmadığını göstermiştir.

## Kulaktaki kıllar

Ses dalgaları, kulak zarının titreşmesi ile orta kulakta bulunan kemikçiklere iletilir. Zarın titreşimi iç kulak içindeki sıvının ileri geri hareket etmesine yol açar. Çok küçük kanalcıklar içindeki titreşimli hücreler, iç kulak sıvısına gömülü haldedir. Silli hücreler kokleadaki korti organındadır. İç kulaktaki işitme hücrelerinde bulunan 40-70 sil, denizdeki yosunlar gibi salınarak mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Sillerin hareketi, işitme siniri aracılığıyla beynin ilgili bölgesine taşınır ve ses olarak işlenir. İleri derecede işitme kaybı olan kişilerin yaklaşık % 90'ında titreşimli tüyler hasarlıdır ya da işlevini kaybetmiştir. Koklear implant adı verilen konuşma işlemcisi, titreşimli tüylerin görevini üstlenen işitme cihazlarından biridir. Mekanik ses enerjisini elektrik sinyallerine dönüştüren bu elektronik cihaz, ileri derece-



Doç. Dr. Kadir Demircan, 1994'te Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Tıbbi Biyolojik Bilimler Bölümü'nden mezun oldu. 1999'da yüksek lisans çalışmasını tamamladı. 2001-2005 yıllarında Japonya'nın Okayama Üniversitesi Tıp Fakültesi Moleküler Biyoloji ve Biyokimya Anabilim Dalı'nda doktora, 2005-2009 yıllarında da doktora sonrası eğitimini tamamladı. 2011'de tıbbi genetik konusunda doçentliğini aldı. Halen Fatih Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı başkanı olarak çalışıyor. Aynı zamanda, Adli Tıp Kurumunda Biyoloji İhtisas Dairesi Başkanı olarak görev yapıyor. Hücre dışı matrisle ilişkili ADAMTS genleri üzerine çalışan Demircan'ın yayınları 250 atıf almıştır.

de işitme kaybı olan kişilerde kokleaya yerleştirilir. İkiz Kuleler'in enkazında çalışan ve iç kulağında bir rahatsızlık olan işçiye doktoru koklear işitme cihazından bahsedince işçi sillerin hayati önemini daha iyi kavradı. Akşam evine dönünce çocuklarıyla ilginç bir bilgiyi paylaşmak istedi. Çocuklarına bilim kurgu gibi gelse de, bu kısım kulak taşları ile ilgili.

## Kulaktaki taşlar

İç kulaktaki işitme ile ilgili bölüme salyangoz, denge ile ilgili bölüme yarı dairesel kanallar adı verilir. Yarı dairesel kanalların konumu aşağı yukarı, öne arkaya, sağa sola hareketlerin tümünü algılayacak şekildedir. Bu kanalların içi sıvıyla doludur, sıvının içinde de otolitler (kulak taşları) bulunur. Kulakta taş mı olurmuş? Balıklardaki bu taşlar sayesinde balıkların yaşı bile hesaplanabiliyor. Kütleçekimi ve hız değişimine karşı hassas olan otolitler, vücudun dengesini korumakla yükümlü kalsiyum karbonat kristalleridir. Yarı dairesel kanallardaki sıvıda bulunan bu taşların esas görevi dengedir. Ama henüz bilinmeyen başka görevleri olduğu da tahmin ediliyor. Zebra balığı ile yapılan çalışmalar çok ilginç bir keşfe yol açmış. İç kulaktaki, hareketli ve hareketsiz sillerin, otolit oluşumunda önemli görevleri olduğu bulunmuş. Anlaşılacağı gibi sillerin hareketsiz olanları da var. Hareketli sillerin bir karıştırıcı gibi iş görerek ortamı devamlı hareket halinde tuttuğu, bu şekilde kalsiyum kristallerinin ugunsuz ve vaksiz çöküp birikmesini önlediği bulundu. Daha ilginç olan bir şey daha var: Hareketsiz sillerin, özellikle iç kulağın gelişimi sırasında ortaya çıkan kesede (otik vezikül) olduğu ve otolit denilen kulak taşlarının çökme vakti geldiğinde kalsiyum kristallerinin uygun yerlere birikmesini düzenleyen birer ustabaşı gibi hareket ettiği bulundu.

## Yüz gelişimi

Ülkemizde ilk yüz nakli yapıldı. Kadavradan alınan yüz, alıcıya başarıyla nakledildi. Yüz gelişiminin karmaşık bir mekanizması var. Anne karnında, dördüncü haftanın sonunda, bebeğin yüz gelişimi başlar. Beşinci hafta sırasında buruna ait tümsekler ve çıkıntılar oluşmaya başlar. Burun, gelişim döneminde beş adet tümsekten oluşur. Alt ve üst dudak, bu tümseklerin ve çukurların etkileşimi ile oluşur. Peki, yüzümüzle kılçıkların ne alakası var? "Burada da mı kılçık" dediğinizi duyar gibiyim. Siller, yüz gelişimi sırasında haberleşme sisteminde ve hücre göçünde çok önemli rol oynuyor. Mil-

yarlarca insanın kendine has yüz yapısı sil hareketleri sayesinde şekilleniyor. Bu mekanizmada bir kusur olursa ne olur? Aynada kendimize bakınca üzülebiliriz. Yüze ve kafaya ait, örneğin gözlerin birbirine çok yakın olması veya aralarının çok açık olması, yarık damak, yarık dudak gibi birçok anomali biliniyor. Uzmanlar sebebi bulunamayan yüz anomalilerinde sillerin dikkate alınmasını öneriyor. Çünkü siliopati denilen, sillerin bozuk olmasından kaynaklanan bazı hastalıklarda, yüz ve kafa anomalileri de gözleniyor. *Nature Medicine*'ın 2012 Eylül tarihli sayısında siliopati bozukluklarının gen tedavisi ile ilk kez düzeltildiği bildirildi. Çalışmada farelerin işitme hücrelerindeki sil bozukluğu tedavi edilmeye çalışılmış. Bu çalışma ile işitme kayıplarında gen tedavisine bir giriş yapılmış oldu.

## Biyoteknolojiye ilham veren siller

Biyomimetik (tabiattaki canlıları inceleyip tasarımlarını taklit ederek veya onlardan ilham alarak insanların ihtiyaçlarına uygun icatlar yapan bilim dalı) ve fizik alanındaki sıvı ve akışkan dinamiğinde, mikroçipler üzerine monte edilen yapay siller biyolojideki silleri fiziğe ve teknolojiye taşımıştır. Yakın gelecekte mikrosıvı sistemleri ve sentetik kimya alanında, nanomakineler olan yapay sillerle ilgili buluşların ve teknolojilerin hayatımızın bir parçası olma ihtimali var. Örneğin bir tencerenin tabanına yerleştirilmiş, ısıyla birlikte hareketlenerek, tenceredeki yemeği dibe yapışmasını diye durmadan karıştırmamızı gerektirmeyecek mikroçipler ve kim bilir daha niceleri... Mark Twain "Bilimin büyüleyici bir yanı var. İnsanı küçük gerçeklerden bütüne ulaştırıyor" diyor. İçimizdeki mikro kılçık gibi küçük gerçekler, belki nice bilim meraklısının zihninde kıvılcıklar oluşturuyordur.

Çizimler: Rabia Alabay

### Kaynaklar

Girard, D. Ve Petrovsky, N., "Alström Syndrome: Insights Into The Pathogenesis Of Metabolic Disorders", *Nature Reviews Endocrinology*, Sayı 7, s. 77-88, Şubat 2011.  
Zaghloul, N. A., Brugmann, S. A., "The emerging face of primary cilia", *Genesis*, Cilt4, Sayı 49, s. 231-246, 2011.  
Yu, X., "Cilia-driven fluid flow as an epigenetic cue for otolith biomineralization on sensory hair cells of the inner ear", *Development*, Cilt 3, Sayı 138, s. 487-494, 2011.  
McMahon, J. T., "Unusual ciliary abnormalities in three 9/11 response workers", *Annals of Otolaryngology, Rhinology and Laryngology*, Cilt 1, Sayı 120, s. 40-48, 2011.

Stubbs, J. L., "The forkhead protein Foxj1 specifies node-like cilia in Xenopus and zebrafish embryos", *Nature Genetics*, Cilt 12, Sayı 40, s. 1454-1460, 2008.  
Christensen, S. T., "Sensory cilia and integration of signal transduction in human health and disease", *Traffic*, Sayı 8, Cilt 2, s. 97-109, 2007.  
Benzing, T., "Cilium-generated signaling: a cellular GPS?", *Current Opinion Nephrology Hypertension*, Cilt 3, Sayı 15, s. 245-249, 2006.  
Doherty, D., "Joubert syndrome: insights into brain development, cilium biology, and complex disease", *Seminars in Pediatric Neurology*, Cilt 3, Sayı 16, s. 143-154, 2009.