

# Yolu- muzu Nasıl Bulu- ruz?

Soyut çevrede gezinme, bir yerden başka bir yere gitmek, hayvanlar için olduğu kadar insanlar için de en temel ve hayati becerilerden biridir. Başarılı bir şekilde gezinmek için bir hayvanın dış ortamın içsel bir "bilişsel haritasını" oluşturması gerekir.

# Beyindeki Grid Hücreleri

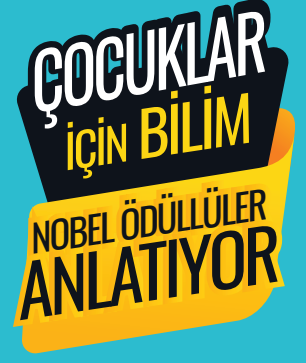
May-Britt Moser

Nobel Tıp Ödülü Sahibi, 2014

May-Britt Moser, beyinde bir konumlandırma sistemi oluşturan hücrelerin keşfi nedeniyle 2014 yılında Nobel Fizyoloji ve Tıp Ödülü'nü kazandı.

Soyut çevrede gezinme, bir yerden başka bir yere gitmek, hayvanlar için olduğu kadar insanlar için de en temel ve hayati becerilerden biridir. Başarılı bir şekilde gezinmek için bir hayvanın dış ortamın içsel bir "bilişsel haritasını" oluşturması gerekir. Bu, her biri navigasyondaki benzersiz rolü olan çeşitli beyin bölgeleri ve çeşitli hücre tiplerini içeren beyindeki belirli bir sistem tarafından gerçekleştirilir. Bu yazıda, beyinde bir koordinat sistemi oluşturan, keşfettiğimiz şaşırtıcı bir sinir hücresi grubu olan grid hücrelerine odaklanan dahili navigasyon sisteminin bazı ana bileşenlerini özetleyeceğim. Kendi yaşam deneyimlerime dayanarak size birkaç genel tavsiye ile bitireceğim.

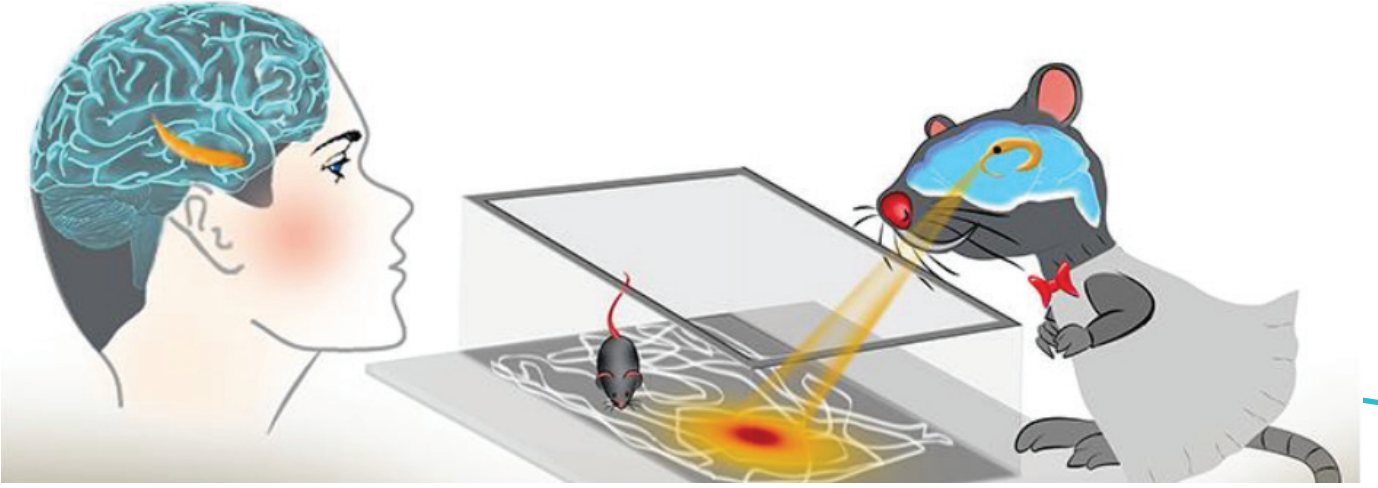
Navigasyon deyince aklınıza ilk ne geliyor? Cep telefonunuzdaki iyi bilinen GPS sistemi mi? Bir denizaltının hedefine sualtı yolculuğu mu? Ya da belki gece kampa dönüş yolunu bulmak için izcilerde bir ekip görevi? Ya size beyninizin, çevredeki konumunuzu temsil etmekten ve bir yerden diğerine başarılı bir şekilde gidebilmeniz için sizi yönlendirmekten sorumlu yerleşik bir navigasyon sisteminde sahip olduğunuzu söylesem? Çevrenin bu zihinsel temsiline genellikle bilişsel harita denir. Çevrede navigasyon kesintisiz ve otomatik görünse de, beynin navigasyon sistemi aslında oldukça karmaşıktır, birkaç beyin bölgesi ve çeşitli hücre tiplerinden oluşur. Bu makale sizi navigasyonla ilgili bir bilmece yolculuğuna götürecektir ve sonunda sizi beyinde grid hücreleri adı verilen çok özel bir sinir hücresi sistemine, keşfettiğimiz ve 2014 yılında Nobel Ödülü aldığımız bir konumlandırma sistemine götürecektir.



## Adım 1: Şimdi Neredesiniz?

Ortamda gezinmeye başlamak için gerekli olan ilk adım nedir? Evet doğru tahmin ettiniz! Şu anda nerede olduğunuzu bilmeniz gerekir. Beynin şu anda nerede olduğunuzu anlamasının bir yolunu düşünebiliyor musunuz? Size bir ipucu vereceğim; bu, cep telefonunuzdaki GPS'in konumunuzu belirleme biçiminden farklıdır. Bildiğiniz gibi GPS, dünyanın etrafında dönen en az dört farklı uydudan gönderilen sinyalleri kullanır. Gelişmiş fiziğe dayalı matematiksel hesaplamaları kullanan bu uydu sinyalleri, cep telefonunuz tarafından konumunuzu büyük bir doğrulukla belirlemek için kullanılır. Fakat beyin, konumunuzu belirlemek için bir dış kaynaktan sinyal alıyor mu? Cevap hayır. Peki, beyniniz nerede olduğunuzu belirlemek için ne yapar? Bir sonraki paragrafa geçmeden önce bu bilmenin en az iki olası çözümünü düşünmeye çalışın.

Beyinde, konumunuzu temsil eden, yer hücreleri adı verilen sinir hücreleri olduğu ortaya çıktı. 1971'de John O'Keefe ve John Dostrovsky adlı iki araştırmacı, sıçan beyinlerindeki elektriksel aktiviteyi inceliyorlardı. Hipokampus adı verilen beyin bölgesine baktıklarında, hayvan kendi ortamında belirli bir yerdeyken bazı sinir hücrelerinin aktif hale geldiğini ve yüksek oranda elektrik sinyalleri atışlemeye başladığını gördüler (Şekil 1). Sıçan farklı yerlerdeyken diğer yer hücreleri aktive edildi. Başka bir deyişle, odanızda belirli bir yerde duruyorsanız, hipokampusünüzde güçlü bir şekilde aktif olan belirli bir yer hücresi vardır ve bu hücre size nerede olduğunuzu söyler. Bu yer hücrelerinin elektriksel aktivitesi o kadar kesin ki, 100 tanesinin aktivitesini bir süreliğine aynı anda kaydederseniz, 5 cm içindeki bir farenin yerini doğru bir şekilde tahmin edebiliriz! Bu oldukça sıra dışı, çünkü bu hücreler beynin derinliklerinde, du-yulardan uzak; gözleri, kulakları veya başka bir duyu organı yoktur. Peki bu yer hücreleri çevre hakkında bilgileri nasıl alıyorlar?



**Şekil 1** Hipokampustaki yer hücreleri, çevrenin bir iç haritasının oluşturulmasına katılır. Yer hücreleri hem fare hem de insan beyninin hipokampusünde bulunur (açık kahverengi). Kutudaki beyaz çizgiler, bir farenin laboratuvar ortamındaki koşu yolunu göstermektedir. Kırmızı bölge, hipokampustaki belirli bir yer hücresinin (sıçanın hipokampusündeki siyah nokta) güçlü bir şekilde aktif hale geldiği yeri gösterir. Bu, bu belirli yer hücresinin temsil ettiği konumdur. Sıçan farklı yerlerde olduğunda farklı yer hücreleri aktiftir; birlikte çevrenin içsel, bilişsel bir haritasını oluştururlar.

## Adım 2: Ne Kadar Gittiniz ve Nereye Vardınız?

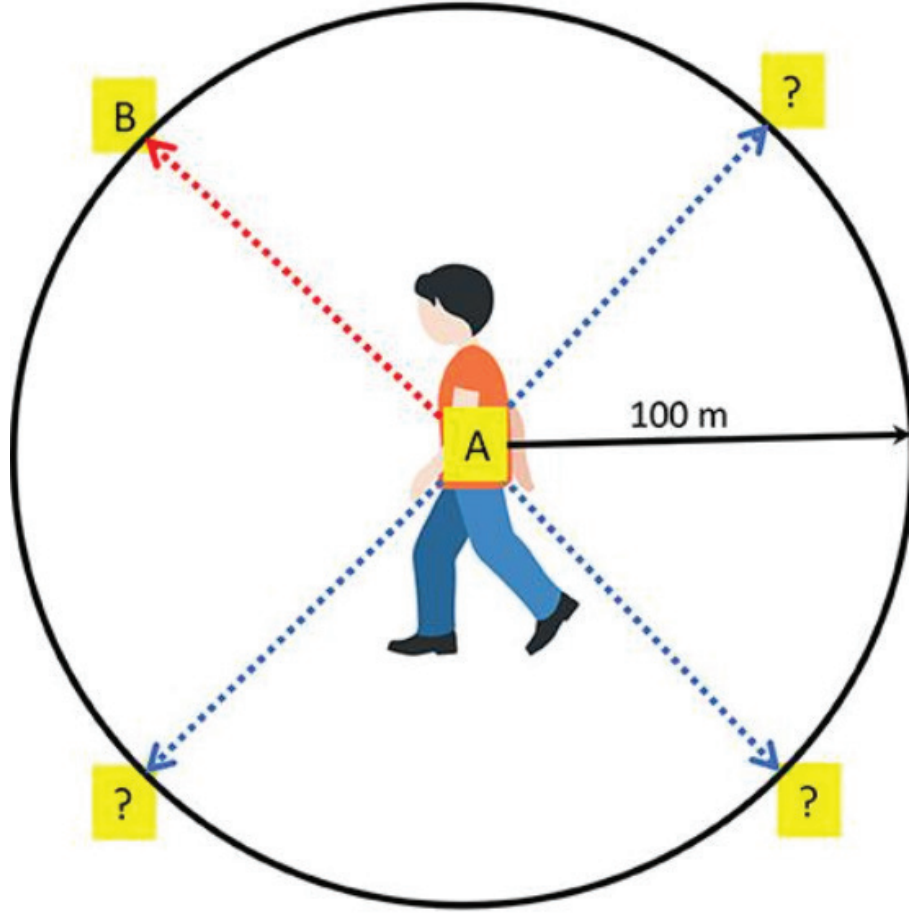
Diyelim ki belirli bir yer hücresini kullanarak belirli bir yerde durduğunuzu anladınız. Daha sonra bir süre yürüdünüz ve başka bir yer hücresini kullanarak yeni yerinizi belirlediniz. Ancak bu iki konum arasındaki mesafeyi nasıl bilebilirsiniz? Başka bir deyişle, iki yerin göreceli konumunu nasıl biliyorsunuz? İlk olarak, iki nokta arasındaki mesafeyi hesaplamak için bilmeniz gerekenleri düşünmeye çalışın. Size 2 dakika yürüdü-

ğümü söyleseydim, ne kadar yürüdüğümü belirlemem için bana ne sorardınız? Bu doğru, yürüme hızımı bilmen gerekir. Beyin bu sorunu hız hücrelerinin yardımıyla çözer, hangi hızda hareket ettiğinizi söyler. Bu hücreler hipokampusta değil, entorinal korteks adı verilen farklı, derin bir beyin bölgesinde bulunur. Başladığım yeri, yürüme hızımı ve ne kadar yürüdüğümü bilseydin, şimdi nerede olduğumu söyleyebilir misin? Yoksa ek bir bilgi mi gereklidir? Örneğin, başlangıç noktası ile varış noktasının birbirinden 100 m uzakta olduğunu

bilseydiniz, yarıçapı 100 m olan başlangıç noktamın etrafındaki çemberin neresinde olduğumu söyleyebilir misiniz? (Şekil 2). Cevap hayır. İhtiyacınız olan ek bilgi yöndür. Beyin ayrıca, çeşitli beyin bölgelerinde bulunan baş yön hücrelerine sahiptir. Bu hücreler aktif olduklarında hayvana hangi yönde hareket ettiğini bildirirler. İlk konumunuzu, yürüme hızınızı ve zamanınızı ve yürüyüşünüzün yönünü bilerek, başladığınız yere göre şu anda tam olarak nerede olduğunuzu bilebilirsiniz (Şekil 2).



Grid hücrelerinin koordinat modellerinin beyinde üretildiğini, dış dünyada var olmadıklarını vurgulamak önemlidir.

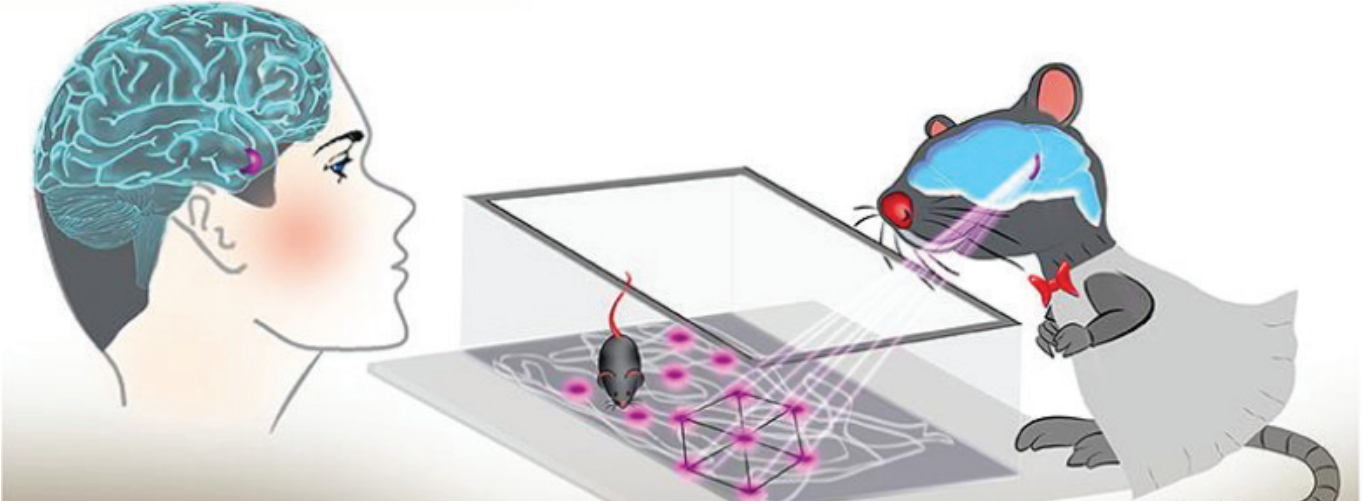


**Şekil 2** Ortamda başarılı bir şekilde gezinmek için başlangıç konumunuzu (A), hedef konumunuzu (B), yürüme yönünüzü ve hızınızı bilmeniz gerekir. Belirli bir yerden (yer hücreleri kullanarak) yürümeye başladığınızı ve dakikada 50 m hızla (hız hücreleri kullanarak) 2 dakika yürüdüğünüzü bilerek, toplam 100 m yol kat ettiğinizi bilirsiniz. Peki çevrenizde 100 m yarıçaplı çember üzerinde tam olarak nerede olduğunuzu belirleyebilir misiniz? Bunun için, gittiğiniz yönü (kırmızı kesikli çizgi) sağlayan baş yön hücrelerine ihtiyacınız var.

### Adım 3: Konumunuzu Bulmanın ve A'dan B'ye Gitmenin Başka Yolları Var mı?

Grid Hücreleri, işte zor (ama ödüllendirici) bir bilmece. A konumundan B konumuna gitmek için ilk yeri, hızı, zamanı ve hareket yönünü bilmenin yeterli olduğunu gördük. Bununla birlikte, birçok beyin araştırmacısını şaşırtacak şekilde, beyin navigasyon sorununu çözmek için ek ve şaşırtıcı bir numara kullanır. Size bir ipucu vereceğim: haritadaki bir koordinat sistemi ile ilgilidir. Bu beyin sistemine grid hücre sistemi denir. Grid hücre sistemi, beynin ortasında, kulak seviyesinin biraz altında, hipokampüsün yakınında bulunan entorhinal korteks adı

verilen derin bir beyin bölgesinde (Şekil 3, mor alan) bulunur. Hayvan belirli bir konumdan geçtiğinde aktif hale gelen hipokampal yer hücrelerinin aksine, çevredeki birçok yerde bir grid hücresi aktif hale gelir (Şekil 3). En şaşırtıcı olanı, bu konumların, yakın konumların merkezlerini birbirine bağlayan eşkenar üçgenlerle karakterize edilen, simetrik ve son derece hassas kristal benzeri bir model oluşturmasıydı. Koordinatlar olarak adlandırılan bu konumlar altıgen (altı kenarlı çokgen) bir ızgara oluşturur ve bu nedenle bu hücrelere grid (ızgara) hücreleri adını vermeye karar verdik. Grid hücrelerinin koordinat modellerinin beyinde üretildiğini, dış dünyada var olmadıklarını vurgulamak önemlidir.

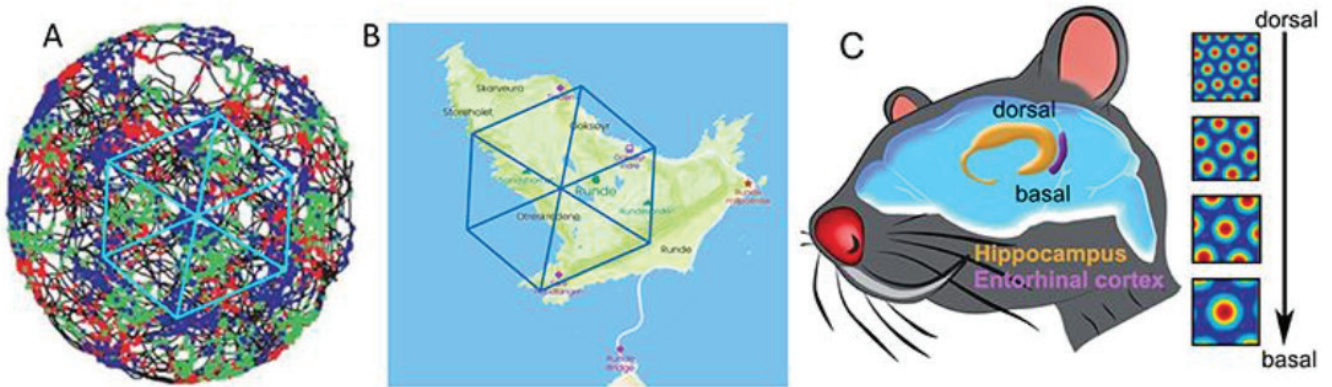


**Şekil 3** Entorhinal korteksteki grid hücreleri, beyinde simetrik bir koordinat sistemi oluşturarak birden fazla yerde aktive edilir. Grid hücreleri, entorhinal korteks (mor) adı verilen bir beyin bölgesinde bulunur. Kutudaki beyaz çizgiler, bir farenin bir ortamdaki koşu yolunu gösterir. Aynı grid hücresi, farenin yolu boyunca birden fazla yerde (mor daireler) elektriksel olarak aktif hale gelir. Grid hücresinin ateşlendiği yerler, oldukça simetrik bir altıgen ızgarada düzenlenmiştir. Her grid hücresi, diğer yakındaki grid hücreleri tarafından oluşturulan koordinatlara göre kaydırılan benzersiz bir koordinat modeli oluşturur. Bu şekilde, tüm ortam ızgara desenleriyle "doldurulur" (Şekil 4A).

Yalnızca bir grid hücresi kullanarak hayvanın nerede olduğunu bilemezsiniz, çünkü her bir grid hücresi birden fazla yerde aktiftir ve bir ızgara oluşturur. Ancak, farklı grid hücreleri arasındaki konumdaki kayma ve ızgaraların değişen ölçekleri nedeniyle

(Şekil 4C), birkaç hücrenin örtüşen ızgaralarını kullanarak hayvanın mevcut konumunu büyük bir doğrulukla tanımlamak mümkündür. Bu ızgara desenleri, beyinde dahili bir koordinat haritası görevi görür ve aynı zamanda, navigasyon için kritik bir ge-

reklilik olan uzaydaki farklı noktalar arasındaki mesafeyi ölçmek için de kullanılabilir (Şekil 4B).



**Şekil 4** Iızgara hücreleri koordinatları çevreyi eşler. (A) Bir sıçan dairesel bir ortamda koşarken aynı anda kaydedilen üç grid hücresinin (yeşil, mavi ve kırmızı) ızgara yapısı. Mavi hücrenin ızgara yapısı açık mavi altıgen ile vurgulanmıştır. Üç hücre aynı ızgara aralığına ve oryantasyona sahiptir ancak uzayda kaydırılır. (B) Iızgara yapısı, çevrenin bilişsel haritası için bir koordinat sistemi olarak hizmet edebilir. (C) Entorhinal korteksin (mor) dorsal (üst) kısmında yer alan grid hücreleri, ortamı ince ölçekte (sağ üstte yoğun ızgara) temsil ederken ventral (daha derin) grid hücreleri kaba bir cetvel (seyrek ızgara) oluşturur. sağ).

## Grid Hücreler Hakkında Başka Sürprizler

Bir hayvanın karanlıkta yürürken bile grid hücrelerinin ızgara yapısının devam ettiğini bulduk. Izzarayı hayvanın içinde bulunduğu belirli ortama (büyük veya küçük bir oda mı?) sabitlemek için hayvanın duysal bilgileri, özellikle duvarlardaki ipuçları ve duvarların konumu gibi görsel bilgileri kullandığını bulduk. Izzgara desenleri, duvarlardaki ipuçları döndürüldüğünde döner ve odayı büyütme veya küçültme için duvarlardan biri hareket ettirildiğinde ızgaralar genişleyebilir veya büzülebilir. İlginç bir şekilde, entorinal korteks boyunca farklı derinliklerde bulunan grid hücreleri, aynı ortamı farklı ölçeklerde temsil eder. Entorhinal korteksin dorsal (üst) kısmında yer alan grid hücreleri ~25 cm aralıklarla yakın fiziksel konumlarda ateşlenir (Şekil 4C, sağ üst)—çevreyi ince bir cetvelle temsil ederken, daha derin (ventral) grid hücreleri kabaca aralarında 3 m'ye kadar daha uzak yerlere ateş eder (Şekil 4C). Değişken ölçeklere sahip ızgara hücrelerinin tümü, benzer bir simetrik ızgara desenini korur. Size grid hücreleriyle ilgili bir sürpriz daha anlatayım. Görünüşe göre, başarılı ve verimli navigasyon için grid hücrelerini

kullanan sadece beyin değil. Londra, İngiltere'de DeepMind adlı bir yapay zekâ şirketinde yakın zamanda gerçekleştirilen büyüleyici bir çalışmada, araştırmacılar bir öğrenme makinesine kafa yönü ve hızı hakkında bilgi verdi. Makinenin yeni ve zorlu bir ortamda gezinmeyi öğrenmesi gerekiyordu. Öğrendikten sonra, makine navigasyonda insanlardan daha iyi performans gösterdi. Şaşırtıcı bir şekilde, makine kendiliğinden, beyindeki grid hücrelerine çok benzeyen ızgara desenleri olan yapay birimler yarattı. Bu bize ne anlatıyor? Grid hücresi modeli, evrim sırasında "az önce meydana gelen" bir şey olsa bile, navigasyon için son derece faydalı olmalıdır. Beynin çok verimli olduğunu biliyoruz ve neredeyse tesadüfen oluşan bir fenomen (grid hücreleri gibi) varsa, hayvanın işleyişi için faydalı olabilir. Bunu şu şekilde düşünün. Bir tornavida gibi bir alet aldığınızı ve ne için kullanıldığını bilmediğinizi hayal edin. Zaman geçtikçe, muhtemelen tornavidayı farklı durumlarda kullanmayı deneyeceksiniz ve sonunda faydalı olmasının yollarını bulacaksınız, değil mi? Aynı şey beyin için de geçerlidir, sahip olduğu tüm araçları kullanmanın yollarını araştırır ve bu araçların hayvanın hayatta kalması için faydalı olmasının yollarını bulur. Grid hücreleri birlikte,

bir hayvanın bir konumdan diğerine gitmesine izin veren dâhili koordinat haritaları üretir. Grid hücreleri, yer hücreleriyle ve baş yön hücreleri ve hız hücreleri gibi diğer hücre türleri ile uyum içinde çalışır. Bu navigasyon sistemi aynı zamanda iç haritaları çevre ile kalibre etmek için duyulardan gelen bilgileri de bütünleştirir. Beyindeki tüm bu navigasyon sistemi, karmaşık navigasyon görevlerini sorunsuz bir şekilde gerçekleştirmemizi sağlar. Bu büyüleyici beyin sistemi hakkında çok şey öğrenmiş olsak da, pek çok yönü henüz bilinmiyor. Örneğin ortamdaki veya bellekteki ipuçlarına dikkat etmek navigasyon sistemini nasıl etkiler? Bir hayvanın vücudunun hacmi, hayvan gezinirken nasıl dikkate alınır? Alzheimer hastalığında olduğu gibi, entorinal kortekste hücrelerin öldüğü ve gezinme yeteneğinin kaybolduğu hasta bir beyindeki navigasyon sistemine ne olur? Bir başka heyecan verici soru da, bir hayvan ve dış nesnelere arasındaki mesafenin ve yönün entorinal kortekste nasıl kodlandığı ve hücrelerin bir futbol maçındaki top gibi hareket eden nesnelere de kodlayıp kodlamadığıdır. Bunlar, beyin bilimcisi olmak isteyenler için büyüleyici bir bilimsel yolculuğun parçası olabilecek zorlu ve önemli sorulardır.



# Genç Beyin- lere Öneri- ler

Çocuklar ve gençler olarak, yetişkin olduğunuzda hayatın nasıl görüneceğini anlamının çok zor olduğunu hatırlamalısınız. Hem şimdi hem de yetişkin olarak, bir şeyler hakkında merakınızı korumanın ve tutku duyduğunuz, sizi coşkulu ve canlı hissettiren bir şey bulmanın önemli olduğuna inanıyorum. Bence her şey tutkuyla ilgili - tutkunuz matematik ya da fizik, dans, yazı ya da başka bir şey olabilir. Her zaman bu içsel dürtüyü takip etmeli ve hayatınızı güçlü yanlarınız ve tutkunuz etrafında inşa etmelisiniz. O zaman hayatın, aksi halde olduğundan çok daha iyi olacak. Birçok insan size hangi kariyere sahip olmanız gerektiğini ve nedenini söyleyecektir; çünkü o zaman para kazanabilirsin, itibar kazanabilirsin ya da Nobel Ödülü alabilirsin... ama bu yola girmeyin. Sizin için doğru olduğunı düşündüğünüz yoldan gidin. Sizi zenginleştiren, sevdiğiniz, ustalaşabileceğiniz herhangi bir şey olabilir. Kendi adıma bazı şeyleri çok merak ettiğimi ve bir şeyleri anlamının benim için son derece önemli olduğunu söyleyebilirim. Daha önce anlamadığım bir şeyi anlamak bana çok zevk veriyor - bu benim başrol yıldızım. Son olarak, Nobel Ödülü'nü kazanmış bir kadın olarak, tutkunuzu bulduğunuzda kadın ya da erkek olmanızın bir önemi olmadığını vurgulamak benim için önemli. Kendimi her zaman bir insan olarak düşündüm ve bir bilim insanı olarak. Bir kadın olduğum gerçeği hakkında çok fazla düşünmedim. Kendimi çok şanslı, çok çalışkan ve harika işbirlikçileri olan bir bilim insanı olarak görüyorum. Bu, sonunda, bir Nobel Ödülü kazanmamı sağladı. Ancak konu tutku olduğunda kadın ya da erkek olmak önemsiz olsa da, insanların kadınları bir kenara itmeye çalıştıkları belirli ortamlar olduğunu hepimiz bilmeliyiz. Bu ortamlarda hepimiz - hem erkekler hem de kadınlar - kadınları veya diğer azınlıkları güçlü bir şekilde desteklemeliyiz.