

Bir sivri farenin beyni bir filinkinin milyonda biri kadardır. Bu büyüklük farkını sağlayan nedir ve bu nasıl başarılır? *İlk olarak*, uzun dendritler ve aksonlar aynı pasif kablo özelliklerini sürdürmeleri büyük beyinli olmanın önünde engeldir. *İkincisi*, sinir hücreleri ve destek glia hücrelerinin artmasıyla, bir sinir hücresinin diğerine ulaşma ve ilişkiye geçme problemi ortaya çıkar.

Her hedef yerde sinir hücrelerinin bağlantı sayısının artmasına ek olarak, diğer sinir hücreleri de bağlantıyı devam ettirmek için uzantılarını artırır. Diğer bir çözüm de, daha az sinir hücresinin birbiriyle bağlantı kurmasıdır. Bunlarla ilişkili olarak beyin kabuğunda büyüklük artar, sinir hücresi ana uzantısı olan aksonların genişliği artışına ek olarak sinir hücreleri de büyümek zorunda kalır. Dendritler ve aksonlar daha da kalın hale gelir. Bu büyüme ile her sinir hücresinin diğerine olan bağlantısı orantısız olarak azalır. Uzak mesafelerde hücrelerin ilişki kurması zorlaşır.

Beyni ve hücrelerden oluşan kabuğu küçük tutmak da ayrı bir problemdir. Çünkü sinir hücresi sayısını, büyüklüğünü ve bağlantılarını işlevsel olarak ideal tutmayı gerektir. Eğer bu sağlanamazsa, bazı işlevsel sinir ağlarının ortadan kalkmasıyla belli yeteneklerin kaybı oluşabilir.

Büyük beyinlerdeki sinir hücreleri, küçük beyinlere göre daha büyük olmalıdır. Büyük beyinli olmak, büyük sinir hücresi anlamına gelmez. Büyük beyinlerde bazı sinir hücreleri ileri derecede küçüktür. Beyincikteki granüler denilen hücreler buna bir örnek teşkil eder. Daha büyük sinir hücreli beyinlerde beyin kabuğu doğal olarak daha kalındır. Bu kalınlaşma, hücre büyüklüğüne ek olarak bağlantıların da daha çok olmasının bir sonucudur. Beyin kabuğu kalınlığı arttıkça sinir hücrelerinin paketlenme yoğunluğu azalır. Yani birim hacim başına düşen sinir hücresi sayısı azalır. Daha az paketlenme ile sinir hücreleri ideal sayıda komşu sinir hücresiyle ilişkiyi devam ettirmek için daha büyük dendritik dallanmaya gerek duyar. Tepe (apikal) dendritli kabuk piramidal hücreleri birçok kabuk tabakasından girdileri üzerinde toplar. Kabuk kalınlığının arttığı oranda dendritik uzunluk da artmalıdır. Eğer sinir hücresinin dendritik çıkıntısı iki kat uzarsa, pasif elektriksel kablo özelliklerini devam ettirebilmesi için kalınlığının dört kat artması gerekir. [1]

Eğer, beyin kabuğu kalınlığı azalır, dendrit kalınlığı, dendrit uzunluğuna göre çok daha belirgin bir azalma gösterir. Ancak, bu esnek yetenekler tüm beyin hücrelerinde bulunmaz. Örneğin, bu nedenle hipokampus piramidal hücreleri uzunluğuyla birlikte kalınlığını da artırır.

Oysa granüler hücreler, yapıları gereği dendrit kalınlığını yeterince artıramazlar. Benzer farklılıklar beyin kabuğundaki piramidal ve granüler hücrelerde de vardır.

Büyük beyinli ve büyük bedenli memelilerde, sinir hücreleri daha uzun ve daha kalın aksonlu olmak zorundadır. Aksiyon potansiyeli ya da sinir iletisi akson üzerinde saniyede 1 ila 70 metre hızında iletilir. Bu hız büyük oranda aksonun çapına ve dışını saran yağ yalıtımına (miyelinizasyon) bağlıdır. Beyin büyüklüğü artışı ile sinir hücresi gövdesi ve hedef arasındaki akson uzunluğu iki kat artarsa, akson aynı iletim özelliklerini koruması için kesitsel kalınlığını 4 kat kadar arttırmalıdır. Fakat uzak yerler arasında iletişimi sağlamak için akson boyutunun artışı beyin hacminin de artmasına neden olur. Akson uzantıları, alttaki ak madde de hesaba katıldığında yarıbeyin kabuğu hacminin %67'sini oluşturur. Böylece, basit bir hesapla, akson yapısının uzunluk olarak iki kat büyümesi, kabuk hacminde 4 kat artışa neden olur. Bütün bunlardan sonra ortaya çıkan büyük bir beyine doğru yolculuktur. Olay bu kadarla da kalmaz, büyüyen hücre ve akson metabolik/beslenme ihtiyaç artışı da beraberinde getirir. Bu nedenle, metabolizmaya yardım eden destek hücreleri ve sinir hücrelerinin yaşamı için vazgeçilmez glia hücrelerin de artması gerekir. Aynı zamanda kan akımının sağlanması için ek damarsal yapılara da gerek duyulur. Doğal olarak büyük beyinler, küçük beyinlere oranla daha çok glia hücresi içerir. Bütün bunlar toplam beyin büyüklüğüne katılırlar. Beyin büyüdükçe büyür. Kısaca, akson uzunluğu ve genişliğinde bir artış, beyinin toplam büyüklüğü üzerinde ekonomik olarak epey maliyet yükler.

Büyük Beyin Sorunu

Beyin büyüklüğü farklılıkları, esasen farklı çevresel etkilere uyum sağlama ihtiyacının bir sonucudur. Her zaman büyük beyinli olmak daha iyi uyum anlamına gelmez. Bir aslan, evinizdeki kediye göre çok daha büyük beyinlidir (evcilleştirme beyin büyüklüğünü azaltır). Aslanlarda ve kedilerde beyin işlevleri aşağı yukarı aynıdır. Beyin kabukları da aynı işlevsel alanlardan oluşur. Genellikle, vücut büyüklüğü artışıyla orantılı olarak, beyin büyüklüğü de yaklaşık 2/3 oranında artar. Bu anlamda, büyük memelilerde büyük beyinli olmanın nedeni, yani kalan fazladan 1/3 artışın nedeni açık değildir. [2] Geleneksel açıklama, büyük bedenlerde daha çok çevresel duyarga (reseptör) olması ve girdileri işlemek için daha çok sinir hücresi gerektiği şeklindedir. Diğer bir açıklama da bunun genlerden kaynaklandığıdır. Genler daha büyük beden yaptıkları gibi daha büyük beyin de oluşturabilirler. İlk düşünceye göre, beyin büyümesi çevresel uyumla ilişkiliyken, ikincisi beyinin herhangi bir işlev yerine getirmeden büyüdüğünü ileri sürer. Evcilleştirilmiş memelilerin, vahşi atalarına göre daha küçük beyinli ve kabuklu olmaları hem genlerin hem de çevresel uyumun beraber etkisini göstermektedir. Kediler ve aslanlar işlevsel ve anatomik olarak benzer beyin kabuğu alanlarına sahip olabilirler. Ancak, aslanlar aynı alanlarda daha çok hücre içerirler. Aslanlardaki bu daha fazla hücre, orantılı olarak

daha çok hücreler arası bağlantıya sahip olmasına rağmen, hücrelerin toplam sayısının oranına bakıldığında daha az bağlantılar içerir. Beyin büyüklüğündeki farklılıklar, kedilerde ve aslanlarda yerel sinir ağlarını farklı kılar. Kaba anlamda bu ağ farklılıkları, aynı gibi görünmelerine rağmen, aslanın aslan gibi ve kedinin kedi gibi davranmasını sağlar.

Şekil. Vücut ağırlıklarına (kg) göre insan ve diğer hayvanların beyin (gr) ağırlıklarının logaritmik ölçekte gösterimi

Büyük Beyinli Olma Probleminin Çözümü

Daha büyük beyin kabuğu olan memelilerdeki hücrelerin diğer hücrelerle bağlantılarının daha fazla olduğu yönünde kanıt yoktur. [3] Makak maymunlarında görme ile ilgili 30 kadar alan olduğu halde, küçük beyinli memelilerde 2-5 alan bulunur. Yine makak maymunlarının beyinleri, 10'dan fazla bedensel duyu alanı, 12 kadar devinimsel alan içerir. Küçük beyinli memeliler de bu alanlardan yalnızca birkaçı bulunur. Ama, aynı yaşamsal işlevleri sürdürürler. Büyük beyinli memelilerde birincil görme alanı büyüktür, ama yine de beklenen kadar büyük değildir. Orantısal olarak, insanlar sıçan ve farelere göre daha az birincil görme kabuğuna sahiptirler.

[4]

Büyük beyinlerde alanlar arası bağlantılar her zaman yeterli değildir.

Kabuk alanlarının tümü işlevsel olarak tek tip değildir. Örneğin, görme kabuğundaki bazı hücreler, belli uzaysal yerleşim gösteren barlara yanıt verirken, bazıları harekete, bazıları ise renklere yanıt verir. Yani, alanlar kendi içinde alt bölgelere ayrılırlar (parçalar=modüller). Böylece ideal işlevini, en ekonomik şekilde yerine getirmeye çalışır. İşlevsel olarak benzer parçalar, benzer alanlarda toplanma eğilimi gösterir. Bu şekilde ara bağlantılarda kısalma meydana getirilebilirler. Görme, duyuusal ve devinimsel alanlar yakın yerleşim gösterirler. Büyük

beyinlerde, benzer alanları bir araya toplanarak, ara bağlantıların uzunluğunda kısaltma sağlanmış olur. Eğer bu alanlar arası yakınlaşma sağlanamıyorsa, en azından benzer işlevsel alanlar aynı yarıküre içinde tutulmaya çalışılır. İnsanlarda böyledir ve her iki beyin yarı küresi işlevsel olarak birbirinin "aynası" değildir. Tıpkı konuşma merkezlerinin (Broca ve Wernicke) sol beyin yarıküresinde yer alması gibi. Böylece bu iki alan arasında olması gereken anatomik ve işlevsel bağlantı olabildiğince aynı beyin yarı küresi içinde tutularak kısaltılır. Bu şekilde beynimizi olabildiğince küçük tutarak, enerji ve yer tasarrufu sağlanır.

[1] Bekkers JM and Stevens CF. Two different ways evolution makes neurons larger. Prog Brain Res 1970; 8 3:37

[2] Deacon TW. Fallacies of progression in theories of brain-size, evolution. Int J Primatology 1990; 11:193–236

[3] Stevens CF. How cortical interconnectedness varies with network size. Neural Computation 1989; 1:473–479

[4] Rakic P. Specification of cerebral cortical areas. Science 1998;241:170–176.