

Beyin ve Bilinç Evrimi

T. Erhan Coşan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Tıp Fakültesi Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı
*email: ecosan@ogu.edu.tr

ÖZET: Dünyanın oluşumundan bu yana karmaşık işlemler gerçekleştirebilen insan beynine nasıl ulaştık? Kendi farkındalığımızı nasıl oluşturduk? Tüm bunların cevabı; evrim ağacının her bir dalı keşfedildikçe yavaş da olsa açıklığa kavuşmaktadır. Bu derlemede günümüze kadar beyin ve bilincin nasıl şekillendiği konusu literatürdeki makalelerden toplanan bilimsel veriler eşliğinde ortaya konmaya çalışılmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: Beyin, bilinç, evrim, embriyoloji.

EVOLUTION of THE BRAIN AND CONSCIOUSNESS

ABSTRACT: Since formation of the world, how did we get a human brain which can perform complex operations? How did we create our own awareness? The answer to all of this; as each branch of the tree of evolution is being discovered, albeit slowly becomes cleared in front of the eyes. On the light of the scientific data collected from the literature, this review presents the issue of how the brain and consciousness shaped.

KEYWORDS: Brain, consciousness, evolution, embryology.

1. Giriş

Biyolojik doğanın farklılaşması; tüm canlıların ortak özelliklerini her zaman öne çıkarır. Beyin evrimi sürecini izleyebilmemiz için öncelikle doğanın değişmez kurallarından ikisini hatırlamak gerekir. Bunlar; “var olma, hayatta kalabilme yetisi” ve buna paralel olarak “genetik aktarma kabiliyeti” dir. Ayrıca, bir diğer üçüncü kural ise evrimi anlamamızda yardımcı olmaktadır. “Organizmada (tek hücreliler dâhil) kullanılabilen ve uyum sağlayabilen yapılar gelişmeye devam eder. Kullanılmayanlar ise körelir.”

Evrin verilerinin elde edildiği dallardan birisi fosil kaynaklarıdır. Ancak, beyin ne yazık ki fosilleşmiyor. Buna rağmen paleontoloji, biyoloji, jeoloji ve gen teknolojisindeki ilerlemeler sayesinde beklenmedik şekilde ayrıntılı bilgilere ulaşabiliyoruz. Kranyum evrimi ve antropolojisi fosiller sayesinde

incelenebilir. Genetik sürüklenme, sessiz genler ve izlerinin takibi moleküler genetiğin son yıllardaki ileri atılımlarıyla kusursuz olarak ortaya konabiliyor. Jeolojik tarihlendirme, embriyoloji ve moleküler saatleri (genom diziliminin geriye doğru tarihlendirilmesi) inceleyerek ilkel canlılardan ileri primatlara kadar olan yelpazede günümüzde yaşayan canlıları karşılaştırarak gelişimsel evrim hakkında bilgi elde edebilmekteyiz.

Jeoloji, matematik, fizik, paleontoloji ve evrim gibi bilim dalları tüm dünyada başarılı bir şekilde işleyen ortak bir bilgi ağına sahiptir. Bu bilim dalları bulunan her yeni veriyi anında paylaşmakta ve geliştirebilmektedirler. Bu sayede, keşfedilen eksik parçalar hızla yerini bulmaktadır.

İlkel Beynin Oluşum Süreci

Beynin hikâyesi yüz milyonlarca yıl önce okyanuslarda başlamıştır. Beyni olmayan tek

hücreliler, çevreyi hissedebiliyor ve tepki verebiliyorlardı (1). Hücrelerin birbirleriyle iletişim kurması ve koordinasyon içinde çalışmaya başlaması çok hücreli canlıların evrimleşmesinin yolunu açmıştır. Hücrelerin beslenmesi ve hayatta kalması bu şekilde daha elverişli hale gelmiştir. Örneğin, süngerler sudaki besini içlerindeki kanallara aktarabilirler ve posasını kasılma-gevşeme hareketleri ile dışarı atabilirler. Kanallar, bu hareketleri hücrelerden salınan GABA veya glutamat gibi kimyasallar sayesinde yaparlar. İnsan beynindeki iletişim ağında da bu kimyasallar vardır (2). Ancak, demosünger türünde suda kimyasalların salınması ve kanal hareketinin başlaması dakikalar alır. Cam süngerler ise daha hızlı bir uyarıcı kullanmaya başlamışlardır: Saniyeler içinde iletim yapabilen elektriksel impuls.

Bu son derece olağandır, çünkü yaşayan her hücre membranlarından dışarıya iyon salarak elektrik üretirler. Komşu hücreler oluşan bu potansiyele cevap verince “Meksika dalgası” şeklinde bir yayılım olur. Bunların koordinasyon içinde çalışmasıyla da var oluş şansı artar (3).

Yakalı kamçılılar grubundan olan tek hücreli protozoalar hem elektriksel sinyal hem de kimyasal sinyali kullanırlar. Bu kısım önemlidir, çünkü bunların tek hücreli atalarının 850 milyon yıl önce hayvanlar âlemine geçiş anı olduğu düşünülmektedir. Şimdiye kadar var olan tüm hayvanlarda elektriksel ve kimyasal mesajlaşmayı düşünürsek bu çok da olağanüstü bir geçiş sayılmaz. Bu yöntem sayesinde canlıdaki bazı hücre grupları bir araya gelerek özelleşmişler ve mesaj iletebilme özelliği kazanmışlardır. Uzun sürede evrimleşen aksonal ağ görünümü ilkel sinir sisteminin doğuşudur. Bu sistem, günümüzde denizanaları ve anemonlarda halen mevcuttur. “Hidra”larda da iletim sağlayan nöronal ağ mevcuttur. Ancak bu örneklerde bir merkez yoktur.

Bazı hayvanlarda ilkel ağız açıklığı ve sadece ışığı algılayabilen ilkel göz yakınındaki bir merkez bilgiyi alıp işleyebilen basit nöron gruplaşmaları oluşturmuştur. Günümüz ahtapot solucanlarının atası ‘urbilaterian’ ın bu şekilde bir nöron grubuna sahip olduğu düşünülmektedir. İlkel beyin benzeri yapı günümüz balık benzeri “lancelet”lerdeki gibi olabilir. Lanceletler’de notokord boyunca ayrı bir yapı olan nöral kordun bazı bölümleri özelleşmiştir. Arka beyin yüzme

hareketleriyle, ön beyin görme ile ilgilidir (1). Notokord; günümüz insan embriyo gelişiminde önemli bir düzenleyicidir ve sonradan fonksiyonunu kaybeder. Lanceletler’de küçülmeden kalması ilginçtir.

Yaklaşık 500 milyon yıl önce genom duplikasyonu, üstelik ebeveynlerden alınan DNA dizilimlerinin iki kez duplike edilmesiyle ve bunların çaprazlanmasıyla başlayan devasa boyutlarda genom çeşitliliği ortaya çıkmıştır (1.mayoz, 2.mayoz). Böylece zengin bir evrimleşme çeşitliliğinin yolu açılmıştır (4). Merkezi sinir sisteminin gelişimi bu şekilde hız kazanmıştır.

Eş ve yiyecek bulabilen, saldırganlardan kaçabilen ilkel deniz hayvanları daha fazla hayatta kalabilme şansını elde etmişlerdir. Bu dönemde bazı ilkel nöral kord yapıları (insan beyninde de bulunan yapılara benzer bir şekilde) özelleşmeye başlamıştır. Günümüzde yaşayan bofa balığı (“lamprey”) türünün ilkel beyninde bu bölümler ayırt edilebilmiştir. Optik tektum gözlerin objeleri takip edebilmesi, amigdala tehlikeden kaçabilmek, limbik sistem ödül ve hatırlama, bazal ganglionlar hareketi kontrol etmeyle ilgilidir (5).

Canlıların 360 milyon yıl önce karaya çıkışından sonra, günümüzden 200 milyon yıl önce memelilerin evriminin ortaya çıktığı bildirilmiştir. DNA duplikasyon avantajı da eklenince çok daha çetin doğa şartlarına uyum yarışı başlamıştır.

Modern İnsan Beynine Yolculuk

O zamanki memelilerin beyin yüzeyinde, memeli davranışlarını sağlayan küçük bir neokorteks oluşumu vardı. Neokorteksin nasıl evrimleştiği konusu bir gizem olmakla beraber, “hayatta kalma yarışı ve çevreye uyum sağlayanların avantajlı olması” ana başlığı bunu açıklayabilir.

Yaşayan sürüngenler ve “amfibian”ların beyni, kraniyumu tam olarak doldurmaz. Ayrıca, 65 milyon yıl öncesine kadar evrimleşen dinazor gibi hayvanların kafasında daha çok çeneye yönelik kas oluşumları ve kaba kemik oluşumları vardı. Bu nedenle, nörokraniyumun gelişmesini sağlayacak kadar yeterli alan yoktu. O dönemlerde yırtıcılarla mücadele etmekte olan memelilerin beyni, evrim süreci içinde kraniyumdaki ve vücuttaki bazı gereksiz kısımları atarak kraniyumun

içini dolduracak şekilde boyut artışına gitmiştir. Çene küçülmüş, ilgili kasların hacmi azalmış ve beyin gelişimi için olası alanlar artmıştır (6).

Örneğin, görsel neokorteksin gelişmesiyle avlama ve kaçma kabiliyeti artmıştır. Türlerin birlikte yaşama avantajı ise birbirleriyle ilişkilerini destekler nitelikte frontal neokorteksin gelişimini ortaya çıkarmıştır. Gelişen frontal korteks sayesinde bilgi işletim sistemi ve tür içindeki bireyler arasında iletişim artmıştır (7).

Evrimsel süreçte boyutu büyümekte olan ön-beyin, frontal lob içindeki alt bölgeler içinde ve parietal lobta nöronlar arası iletişimin artmasına da neden olmuştur. Bu sayede sensorial input'ların ve motor hareket kontrol işletimi evrimleşmiştir. Hatta frontal alt bölgelerde (orbitofrontal korteks) tek tek nöronların dahi birbirleriyle iletişimi diğer bölgelere daha fazla duruna gelmiştir (8).

Moleküler saat çalışmaları, ilk primat dalının yaklaşık 85 milyon yıl önce ortaya çıktığını göstermektedir. Bu primatlar oldukça küçük boyutlardaydılar. Dinozorların 65 milyon yıl önce yeryüzünden çekilmesiyle memelilerin ve primatların yükselişi başlamıştır.

Doğu Afrika'nın sık ormanlarla kaplı olduğu dönemlerde (miyosen devri: 23-4 milyon yıl önce) primatlar daha çok ağaçlardaki yaşam tarzına uyarlanmışlardı. Dört ekstremitenin de kavrama yeteneği, gözlerin önde olması ve stereoskopik görme kabiliyeti, renkli görme (55 milyon yıl önce), yüzün düzleşmesi ve çenenin küçülmesi beyin gelişimi ile paralel gitmiştir.

Dünyanın jeolojik evrimiyle kıtaların yer değiştirmesi, bazı bölgelerde iklim değişikliğine neden olmuş ve canlıların değişen ortamlara uyum sağlaması gerekmiştir. Afrika plakasıyla Hint plakasının etkileşimleri ile belirginleşen "Büyük Rift Vadisi", Doğu Afrika'da yükselen kara parçalarına neden olmuştur. Okyanus düzlüklere gelen nemli hava kesilince birçok yerel bölgede iklim değişmiştir. Kurak sahalarda mahsur kalan primatlar hayatta kalabilmek için 4 milyon yıl önce düz savana (çöl ve ormanlar arasında kalan geniş çayır) arazilere uyum sağlamak zorunda kalmışlardır. Evrim ağacında bipedal primatların dallanması bu dönemde ortaya çıkmıştır. İri kuyruksuz maymun türlerin iki

ayaklı olması sayesinde boşta kalan ellerin evrimleşmesi kolaylaşmıştır. Ayaktayken uzak mesafeleri görebilme ve değerlendirebilme artmış, uzak mesafelere ilerlemek kolaylaşmıştır (4).

İki buçuk milyon yıl önce, yukarıda bahsedilen iklim ve coğrafik şekillerin değişmesiyle evrimleşen erken hominidlerin besin alışkanlıkları, çene ve kraniyumun güçlü kaslarının daha da küçülmesine ("miyosine gene mutation") ve kraniyumun beyin büyümesine zemin hazırlayacak şekilde avantajlı hale gelmesine neden olduğu bildirilmiştir (9).

Gelişen beyin; tüm vücuttaki tüketilen enerjinin büyük bölümünü talep eder ve kullanılır. Günümüzde bu oran %20'dir. Evrimin Homo sapiens'e doğru yürüyen adımlarında etle beslenme sayesinde daha zengin enerji depolama imkânı ortaya çıkmıştır. Bu durum, yüksek enerji talep eden ve harcayan beyin gelişimine yarar sağlamıştır. Ateşin kullanılması da benzer bir şekilde, yiyeceklerden daha fazla enerji edilmesini sağlamıştır. Pişmiş besinlerin tüketimiyle gastro-intestinal sistemin (GİS) küçülmesi de vücut içinde bir enerji tasarrufu sağlamıştır. Bu sayede, karmaşık GİS yapısını oluşturmak için gerekli enerji azalmıştır.

"Evrin Ekonomisi"; işlevsiz olan uzuvların kaybolması ve işlev gören yapıların kalan enerjiyi kullanabilme olanağıdır (4). Biyo-enerji tasarrufuyla, anatomik gelişme için alan açılması ve pozitif geri besleme etkisiyle beyin gelişiminin arttığı düşünülmektedir.

Erken dönemlerdeki beyin gelişimi süreçleri, aşağıda bazı fosil kayıtlarıyla sıralanmaya çalışılmıştır (10):

- 'Lucy' Fosili (Australopithecus afarensis), 4 milyon yıl önce. Nörokranium beyin hacmi 400-500 mililitre (cc). Neokorteksin ileri gelişiminde en önemli adım olduğu düşünülmektedir.
- Homo habilis, 1,9 milyon yıl önce. Özellikle 'Broca' (konuşma) alanının gelişimiyle bir miktar daha hacim artışı olmuştur.
- Homo erectus, 1,8 milyon yıl önce. Beyin hacmi 600 cc civarında olduğu tahmin edilmektedir.

- Farklı fosillerde 500.000 yıl önce beyin hacminin 1000 cc'ye ulaştığı belirlenmiştir.
- Erken Homo sapiens'ler de beyin hacmi 1200 cc' dir.
- Homo naladi (Güney Afrika'da 2015'te bulundu, tarihleme çalışmaları devam etmektedir. Sınıflama henüz yapılmamıştır.) Beyni portakal büyüklüğündedir. Bacaklar uzun ve toplu halde yaşıyorlardı. Güçlü çene yapısına rağmen insansı olması ilginçtir.

Kültürel (tür içi iletişim şekli) ve genetik evrim, sadece türlerin ileri evrimleşmesine değil, aynı zamanda tür içinde evrimsel baskı ve dışlanmaya da neden olmuştur (Luke Rendell'ın, balina ve yunusların sosyal iletişimleriyle ilgili çalışmaları mevcuttur). Örneğin, bazı FOX (forkhead box) genlerinin mutasyonu ile konuşma kapasitesi artmıştır (11). Bu genler insan beynindeki konuşma merkezlerinde alt türlere göre daha fazla etkindir. Konuşma özelliği kazanamayan tür içi bireylerin dışlanacağı açıktır. Dilin evrimiyle beyin evrimi ivme kazanmıştır.

Afrika'da primatların gelişmekte olan diyet alışkanlıkları, kültür, teknoloji, sosyal ilişkiler ve genlerindeki değişimler, 200.000 yıl önce günümüz modern insan beyinine doğru yolculuğu başlatmıştır.

Beyin Gelişiyor Ama Nereye Kadar?

Modern insana kadar olan dönemde, beyin kapladığı alan genişlemiştir. Ancak, son zamanlarda dikkati çeken bir durum söz konusudur, beyin hacminde artış olmamaktadır.

Beyin hacmindeki artış 200.000 yıl önce durmuştur. Nöronal şarj kapasitesinin ve işletim sisteminin artışına rağmen günümüz insan beyini son 15.000-20.000 yılda %3-4 küçülmüştür (1). Robson'un yorumlarını da ekleyerek bu küçülmenin bazı nedenlerini sıralayabiliriz:

- Bipedal atalarımızın uzun bacaklarıyla daha koordineli yürüyebilmeleri pelvis yapısındaki daralmayla paraleldir. Yana doğru geniş olan pelvis düz yürümekten ziyade yalpalayarak yürümeye neden olur (şempanzeler ve orangutanlarda olduğu gibi). Modern insana giden yolculukta ise daralan pelvis, büyük

kraniyumu olan bebeğin doğumunda zorluklara neden olur. Bu da nörokraniumun daha fazla büyümemesine yol açmış olabilir. Ancak, evrimsel süreçte hayatta kalabilmek için beyin kapasitesinin doğumdan sonra artışı da söz konusudur.

- Beynin enerji ihtiyacı oldukça fazladır. Daha büyük beyin, daha fazla enerji gerektirir. Evrim ekonomisi şimdilik buna izin vermemektedir. Enerji artışı ve beynin sıcaklığını arttırmamak için soğutma gerekliliği de söz konusudur. Beyin kan hacmi artış kapasitesi sınırlıdır (12).
- Beyin kapasitesinin artışı kısmen de olsa nöronal aktivitenin artmasıyla mümkün olabilmektedir. Ancak on katlık bir enerji artışı, 100 metrelik koşudaki enerji artışıyla aynıdır.

İnsan beyini evrimsel süreçte daha ne kadar büyütebilir ve kapasitesini arttırabilir? Teorik model olarak beyin hacminin 3500 cc olduğundan yola çıkarak yapılan ayrıntılı bir bilimsel çalışma, şu anki genel anatomik ve fizyolojik yapıların beyin hacim ve işletim kapasitenin optimum sınırlarında kalmasının nedeni olduğunu ortaya koymuştur (12).

Hacim artışından ziyade, nöronal aktivite kapasitesinin artışı beyin evriminde elde kalan son fırsattır.

Erken hominidlerin, Afrika'dan kuzey enlemlerine göçleri sonrasında bile evrimleşmenin devam ettiğine dair deliller vardır. Buna en güzel örnek, Pearce'in yaptığı çalışmadır. Afrika'da güneşten gelen ışık şiddeti yüksek, kuzey enlemlerinde ise daha azdır. Bu nedenle, göç ile kuzey enlemlerine gelen ve orada yaşayan insanların orbital kemik alanı ve görmeyle ilgili olan oksipital korteksinde kapasite artışı olmuştur (13).

Beynin, alt türlere göre kıvrımlaşması (girus ve sulkuslar) serebral korteksin evrimsel gelişimine paraleldir. Hacimsel olarak 3-4 cm³' den daha büyük beyinlerde, korteks beyaz cevhere göre orantısız büyüme göstererek katlanmaktadır (14). Katlanma aynı zamanda nöronlar arası iletişim zamanını ("processing time") da kısaltmış ve işletim hızı artmıştır. Şempanze ve insan beyini gebeliğin 16. haftasına kadar benzer boyutlarda büyür, fakat 22. haftadan sonra insan beyini gelişmeye devam ederken

şempanzeninki geriler. Ayrıca, doğum sonrası (infant) insan beyni beyaz cevheri çok daha fazla gelişim gösterir (15).

Beyin hacim artışındaki evrimsel duraklamanın nedenleri ile ilgili diğer bazı sosyal spekülasyonlar ise şöyle sıralanabilir:

- Kompleks toplumların ortaya çıkmasıyla daha az beyin kapasitesine sahip olanlar, akranlarının arasında yaşamaya devam edebilirler ya da en azından eş bulabilirler (David Geary at the University of Missouri-Columbia).
- Çalışmalar entelektüel seviyesi yüksek olanların diğerlerine göre daha az çocuk sahibi olduklarının göstermektedir. Yine de, 10.000-15.000 yıllık hacim küçülmesine rağmen son yüzyılda artan sosyal ve sağlık imkânları sayesinde, entelektüel zekâ (IQ) istikrarlı bir şekilde artmaktadır.
- Ancak, Amerika Birleşik Devletleri'nde, göçmenlerin araştırmaya alınmadığı bir çalışmada, insanların mevcut koşullarda yaşamaya devam etmeleri durumunda her nesilde IQ'nun 0,8 azalacağı ortaya konuldu (16).
- Teknolojideki ilerlemeler, atalarımızın evrimsel gelişimini sağlayan uyum sağlama baskısını ortadan kaldırmıştır.

Evrimsel-Gelişimsel Çalışmaları (“Evolution-Development”, Evo-Devo)

Beynin fosilleşmemesi nedeniyle, korteksin kantitatif ve kalitatif evrimi; yaşayan canlılarda hücresel seviyede farklılaşmış gen ekspresyonlarının ve embriyolojik gelişimlerin karşılaştırılması yoluyla anlaşılmasına çalışılmaktadır (“Evo-Devo Yaklaşımı”, gen teknolojisiyle günümüzde ivme kazanmıştır). Embriyodaki gelişim sürecinde nöral kök hücrelerinden başlayarak hücrelerin farklılaşması, migrasyonu, korteks katmanlarındaki yerini alması ve diğerleriyle iletişim kurması gibi her aşamada tespit edilebilen gen ekspresyonları, türler arasında karşılaştırılabilmekte ve moleküler seviyede evrimleşme saati ortaya konabilmektedir (17).

Primatlarda korteksin katlanarak (giruslar) daha fonksiyonel olması, nöronların hacim büyüklüğüne ve ekstrasellüler hücre uzantılarının daha fazla olmasına bağlıdır. Bölgeler ve korteksler arasında bağlantı

sağlayan aksonal uzantılar sayesinde beyin bugünkü şeklini almıştır.

Embriyonel dönemde nöronların ve internöronların uygun katmana migrasyonunda radyal glial (RG) hücreler büyük rol oynar. Bu hücreler, ventriküler zondan başlayarak piaya kadar uzantılar oluşturup, yaklaşık 30 kadar nörona yol gösterirler. Radyal glial hücreler, embriyogenezin erken dönemlerinde glial fibriler asidik protein (GFAP) ve vimentin açığa çıkarırlar. Bu süreç sürüngelede çok daha geç dönemde olur. Radyal glial hücre yoğunluğu primat frontal korteksinde diğer alt türlere göre daha belirgindir (17).

Türler arasındaki akrabalık ve evrimsel süreçlerin karşılaştırılması oldukça fazla olan moleküler çalışmalarla haritalanabilmektedir. Farklı türlerde bulunan aynı genin transkripsiyonları, farklılaşmaları gibi süreçler insanda çok daha fazladır. Örneğin, primat embriyosunda (sürüngelede olmayan) prefrontal granüler kortekse (Broca) doğru migrasyona uğrayan postmitotik nöronlar bu bölgenin oluşturulmasındaki bilgiyi taşırlar. Migrasyon sonrasında ve hücreler arası bağlantılar oluşuktan sonra, aktiviteye (doğum sonrasında olduğu gibi) bağlı sinaptik düzenlemeler yapılmaktadır (18).

Korteks oluşumunda fibroblast büyüme faktörü (FGF), kemik morfogenetik proteini (BMP) ve wingless (WNTs) genleri öncü rol oynamaktadırlar. Farelerin ön beynindeki kommisural bölgeden salınan FGF8 ve FGF17 somatosensoriyal korteksin oluşturulmasında rol oynar. Ratlarda deneysel olarak FGF'nin aşırı ekspresyonu sağlandığında kortekste hayali bıyık bölgesi oluşmaktadır. FGF'nin birçok genle etkileşim içinde olduğu bilinmektedir. FGF çalışmaları, genetik yolların ufak bir mutasyonuyla kortikal değişikliğin nasıl ve hızlı bir şekilde adaptasyon sağlayabileceğini göstermekte ve evrim süreçlerini anlamamıza yardımcı olmaktadır (19). Mutasyon kullanılabiliyorsa kalıcıdır, kullanılamıyorsa fonksiyonel olmadığı için kalıcı değildir.

Evrimsel süreçte genetik aktarım ve çevresel uyum önemlidir. Gelişimsel evrim daha çok nöronal oluşum sırasındaki hücre içi bilgiyle ilgilidir. Doğum sonrası, “tecrübeye bağlı sinaptik plastite” ile evrimsel süreç haritalanamamaktadır. Ancak, ilginç bir çalışmada, insan serebral korteks oluşumunda

alt nesillere genetik aktarımın, şempanzelere nazaran daha az olduğu bulunmuştur. Böylece insan korteksinin çevresel etkilere uyum sağlaması, yani doğum sonrası tecrübeye bağlı plastitesi daha da kolaylaşmıştır (20). Ayrıca, serebral korteksin plastitesinin daha çok astrositler ve mikrogliaların fonksiyonlarıyla şekillendiği ile ilgili oldukça fazla çalışma vardır.

Doğum öncesi primat beyinde alt türlere göre farklı olan bazı oluşumlar ve genler:

Geçici Subpial Granüler Katman: Gebeliğin 11. haftasında görülür, orta dönemde pik yapar ve doğumda kaybolur. Bu katman sürüngenlerde yoktur, farelerde yok veya çok küçüktür. Maymunlarda primer vizuel korteksin katman-4'ünde olağandışı bir kalınlığa neden olur.

Ganglionik Eminens: Nükleus kaudatusun ön yüzünden başlayıp talamusa kadar migrasyona uğrayan hücre grubunun başlangıç bölgesidir. Sadece insan embriyosunda bulunmaktadır. Alt türlerde şu ana kadar gösterilememiştir. Bipolar nöronların göç sonucunda talamusun ilgili bölgesinde oluşturduğu alan ('Dlx1/2 homeodomain-containing proteins, GABAergic neurons in the dorsal thalamus'); kognitif fonksiyonlar, sembolik değerlendirme ve dil ile ilgilidir (21).

Öncül Nöronlar ("Predecessor Neurons"): İnsan dışındaki diğer türlerde bulunmayan hücre grubudur. Büyük ve bipolar olan öncül nöronlar; nöral tüp kapanmadan ve hatta migrasyonu başlatan ventriküler zon oluşmadan önce 1 aylık embriyoda ventrolateral ön beyinde ortaya çıkarlar ve frontal bölgede yaygın bir "net-work" oluştururlar (21). Frontal ventrolateral bölge; yaşayan primatlarda herhangi bir durumda eyleme başlamadan önce son karar verme yeridir.

Biyoinformatik Çalışmaları: Pollard; genom dizilimindeki baz çiftlerinin moleküler saat içinde ne zaman mutasyona uğradığını güçlü bilgisayarlarla tespit ederek insan evrimindeki dönüm noktalarını ortaya koymuştur (22). Genomdaki sadece on altı satırın mutasyonu ile insanlık tarihinde önemli değişimler olduğu keşfedilmiştir. Beynin kıvrımlı yapısının oluşmasını sağlayan "human accelerated region 1" (HAR1) geni son 6 milyon yılda on sekiz kez mutasyona uğramıştır. El parmaklarımızdaki ince beceri gerektiren işleri ve aletleri kontrol edebilme

yetimiz ise HAR2'deki değişimlerle kazanılmıştır. Beyin işletim kapasitesi artışından sorumlu olan insan ASPM geni, günümüze kadar on beş kez mutasyona uğramıştır. İnsan ASPM genindeki mutasyonlardan biri 100 milyon yıl önce Afrika'da modern insanın doğuşu ile ilgili ilk adımlara denk gelmektedir. Son mutasyonu ise 5.800 yıl öncesine, yani yazının bulunduğu ve tarımın başladığı döneme denk gelmektedir (23). Bu tür örnekler gün geçtikçe çoğalmaktadır.

Bilincin Evrimi

"Cogito, ergo sum" Düşünüyorum, öyleyse varım (René Descartes).

Bilinçle ilgili tarih boyunca merak edilen evrensel sorular: Beyin fiziksel olarak bilinci nasıl oluşturuyor? Bu yetenek niçin ve nasıl evrimleşti? Felsefe Bilimi bu konuda oldukça fazla alanlarda ve kavramlarda yorum yapmaktadır. Ancak, net olarak pozitif bilimin bakış açısıyla cevap aramak en doğrusu olacaktır.

Richard Dawkins; tartışmalı bir yorum yaparak, kültürel ve zihinsel evrim sonucunda ortaya çıkan inançları ve kültürleri, bilincin evrimleşmesinin bir sonucu hatta yan etkisi olabileceğini ifade etmektedir.

Bilinç, sosyal olarak bir arada yaşayan canlıların bir ürünüdür. Arılar, şempanzeler de sosyal canlılardır. Bu nedenle evrim ağacının dallarında yer alan ve günümüzde yaşayan canlı türlerinin incelenmesiyle bilincin evrimini anlayabiliriz.

Son zamanlarda, bilincin oluşması "ayna nöronlar"la (mirror neurons) ilişkilendirilmektedir. Ayna nöronlar, hem kişinin kendi eyleminde hem de başkasının eyleminde aynı şekilde aktive olurlar (bir bakıma empatik davranış modeli denilebilir). İnsanlarda, makak maymunlarında ve ötücü kuşlarda kesin olarak belirlenmişlerdir. En fazla bilinenleri prefrontal korteks (karar verme) ve inferior parietal lob (konuşma ve dil desteği) bölgelerindedir. Ayna nöronlar, belirli eylemleri gerçekleştirebilmek için evrim sürecinde adaptasyon sağlamak, diğerlerinin ne yaptığını anlamak, sosyal öğrenme, gözlemlene ve taklit yapmayı öğrenme için ortaya çıkmışlardır (24).

Ayna nöronların aktive olmasıyla empati, konuşma, düşünme, his ve tecrübeyle birbirini takip eden bir süreç söz konusudur. Ayna nöronlar sayesinde, insan sadece kendinin değil, başkalarının eylemlerini de kayıt edebilir. Hatta diğerlerinin aklını okuyarak ilk adımı atabilme özelliği gösterebilir. Ayna nöronlar bilincin ortaya çıkmasında önemli bir aşamadır. Ayna nöronlar aracılığı ile olayların içsel yaşanması, hafıza ve düşünme tetiklenmekte, bilincin ortaya çıkmasıyla geleceği ön görmemiz mümkün olabilmektedir.

Hatırlama ve geleceği tasarlama ile ilgili beyin bölgeleri aynıdır (23). Magnetoensefalografi ile yapılan bir çalışma, hafızayla tetiklenen karar verme eyleminin hipokampustan çıkan teta dalgalarının medial prefrontal kortekse ulaşmasıyla ortaya çıktığını göstermiştir (25).

Descartes; vücudunu yokmuş gibi düşünebildiğini ama bilincinin yokmuş gibi düşünemediğini test ederek “Düşünüyorum, öyleyse varım” demiştir. Descartes; ironik bir şekilde bu sonuca ayna karşısında kendini gözlemleyerek varmıştır.

Evrimsel süreçte ayna nöronların rolü yadsınamaz. Bir toplulukta varlığını sürdürebilmek için diğerlerini anlamaktan ziyade doğrudan taklit etmek daha elverişlidir. Taklit yapmayı öğrenme ve kültürel aktarım, insanların doğada dominant olmasını sağlamıştır. Varlığımızdan haberdar olmamız, dil evrimi ve inançların bilinç kazanması, dolayısıyla bilincin oluşması bu şekilde daha mantıklı görünmektedir (Rizolatti G, University of Parma, Italy; Eleanor Barrie, Oxford mezunu biyoloji öğretmeni; Chiren Boumaaza, Bilincin Oluşması ‘TED Talking’, Akademik kariyeri yok).

Bu bakış açısıyla şöyle bir soru akla gelebilir. Taklit etmekten ziyade sorgulayan ve anlamaya çalışan bir bilinç; sosyolojik evrimde bir mutasyon olarak görülebilir mi ve bu tür mutasyon evrimsel gelişimin ateşleyicilerinden olduğuna göre ileride ne kadar uyum sağlayabilir?

Beyinde bilincin ortaya çıkması ve evrimleşmesi ile ilgili son birkaç yıldır bilimsel çalışmaların ve hararetli tartışmaların olduğu bir diğer konu ise “Mikrotübül Kuantum Vibrasyonları”dır. Bu konuya aşağıda değinilmiştir:

Hücre sitoplazmasının iskelet yapısında önemli rol oynayan mikrotübüller, protein dimerlerinden (alfa, beta) oluşur. Flajella ve silioların yapısında da bulunurlar. Hücre içi transportta, kromozom ayrılmasında (mitoz) ve birçok hücre içi reaksiyonda rol oynarlar. En ilkel canlıdan (tek hücreliler), karmaşık beyin yapımıza kadar tüm biyolojik yapılar içinde bulunurlar.

Alzheimer hastalığında, tau protenlerinin dejenerasyonu mikrotübüllerin yapısının bozulduğu ve buna bağlı bilinç değişikliklerinin geliştiği bilinmektedir (26).

Mikrotübüllerin kuantum vibrasyonları sayesinde ortaya çıkan bilinç çalışmaları, son zamanlarda hız kazanmıştır. Mikrotübüler dimerlerin manyetik alanları üzerinde yapılan teorik fizik kuramları laboratuvar çalışmalarıyla desteklenmektedir. Kuantum vibrasyonlarının (Orchestrated Objective Reduction=Orch OR), nöronların hafıza depolayan mikrotübüllerinde ve sinaptik impulslarda ortaya çıktığı ve düzenlendiği düşünülmektedir (27,28).

Kuantum uyumu (Quantum Coherence); fotosentezde, kuşlardaki beyin navigasyonunda, koku yollarında ve beyin mikrotübüllerinde başarılı bir şekilde gösterilebilmiştir. Anirban Bandyopadhyay (Japonya) ve Massachusetts Institute of Technology (MIT) çalışmalarında; ileri teknoloji EEG kayıtlarıyla derinlerden gelen mikrotübüler vibrasyonlar tespit edilebilmiştir. Bilincin mikrotübül kuantum uyumuyla ortaya çıktığı ile ilgili çalışmalar farklı disiplinlerde tekrarlayan araştırmalarla sınanmış ve aksi ispat edilememiştir (29). Mikrotübüllerin ilkel tek hücrelilerden kompleks canlılara kadar olan yapılarının incelenmesi, bilincin evrimsel gelişimini anlamamıza daha da yardımcı olacaktır.

Bu derlemede evrimin tüm aşamalarını tartışmaktan ziyade beyin ve bilincin ortaya çıkmasıyla ilgili temel geçişler ve kavramlar üzerinde durulmuştur. İnsan beyni; kuşaklar boyunca daha fazla anlama ve farkındalığa ulaşmaktadır ve bu süreç devam etmektedir. Bu sayede gelişmekte olan teknoloji ile ortaya çıkan kavramlar her yeni nesilde daha da anlam bulacaktır.

KAYNAKLAR

1. Robson, D. (2011). A brief history of the brain. *New Scientist*, 211(2831), 40-45.
2. Elliott, G. R., & Leys, S. P. (2010). Evidence for glutamate, GABA and NO in coordinating behaviour in the sponge, *Ephydatia muelleri* (Demospongiae, Spongillidae). *The Journal of experimental biology*, 213(13), 2310-2321.
3. Leys, S. P., & Mackie, G. O. (1997). Electrical recording from a glass sponge. *Nature* 387, 29-30.
4. Kaya, T. (2015). Yaşam, Evrim ve Biz, *Alfa-Bilim Yayınları*, İstanbul.
5. Robertson, B., Saitoh, K., Ménard, A., & Grillner, S. (2006). Afferents of the lamprey optic tectum with special reference to the GABA input: combined tracing and immunohistochemical study. *Journal of Comparative Neurology*, 499(1), 106-119.
6. Rowe, T. B., Macrini, T. E., & Luo, Z. X. (2011). Fossil evidence on origin of the mammalian brain. *Science*, 332(6032), 955-957.
7. Rakic, P. (2009). Evolution of the neocortex: a perspective from developmental biology. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(10), 724-735.
8. Shatz, C. J. (1990). Impulse Activity and the Patterning Review of Connections during CNS Development. *Neuron*, 5, 745-756.
9. Stedman, H. H., Kozyak, B. W., Nelson, A., Thesier, D. M., Su, L. T., Low, D. W., .. & Mitchell, M. A. (2004). Myosin gene mutation correlates with anatomical changes in the human lineage. *Nature*, 428(6981), 415-418.
10. Hawks, J. (2013). How has the human brain evolved? *Scientific American*, 6.
11. Marcus, G. F., & Fisher, S. E. (2003). FOXP2 in focus: what can genes tell us about speech and language? *Trends in cognitive sciences*, 7(6), 257-262.
12. Hofman, M. A. (2014). Evolution of the human brain: when bigger is better. *Front. Neuroanat*, 8(15), 10-3389.
13. Pearce, E., & Dunbar, R. (2011). Latitudinal variation in light levels drives human visual system size. *Biology letters*, rsbl20110570.
14. Hofman, M. A. (2012). Design principles of the human brain: an evolutionary perspective. *Evolution of the primate brain: from neuron to behavior*. London: Elsevier, 373-90.
15. Sakai, T., Matsui, M., Mikami, A., Malkova, L., Hamada, Y., Tomonaga, M., ... & Nakatsukasa, M. (2013). Developmental patterns of chimpanzee cerebral tissues provide important clues for understanding the remarkable enlargement of the human brain. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 280(1753), 20122398.
16. Meisenberg, G. (2010). The Reproduction of intelligence. *Intelligence*, 38(2), 220-30.
17. Rakic, P. (2007). The radial edifice of cortical architecture: from neuronal silhouettes to genetic engineering. *Brain research reviews*, 55(2), 204-219.
18. Fukuchi-Shimogori, T., & Grove, E. A. (2001). Neocortex patterning by the secreted signaling molecule FGF8. *Science*, 294(5544), 1071-1074.
19. Rakic, P. (2001). Neurocreationalism: making new cortical maps. *Science*, 294, 1011-1012.
20. Gómez-Robles, A., Hopkins, W. D., Schapiro, S. J., & Sherwood, C. C. (2015). Relaxed genetic control of cortical organization in human brains compared with chimpanzees. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(48), 14799-14804.
21. Bystron, I., Rakic, P., Molnár, Z., & Blakemore, C. (2006). The first neurons of the human cerebral cortex. *Nature neuroscience*, 9(7), 880-886.
22. Franchini, L. F., & Pollard, K. S. (2015). Genomic approaches to studying human-specific developmental traits. *Development*, 142(18), 3100-3112.
23. Kaku, M. (2014) *Zihnin Geleceği*. ODTÜ yayıncılık, Ankara.
24. Suzuki, W., Banno, T., Miyakawa, N., Abe, H., Goda, N., & Ichinohe, N. (2015).

- Mirror neurons in a New World monkey, common marmoset. *Frontiers in neuroscience*, 9.
25. Backus, A. R., Schoffelen, J. M., Szebényi, S., Hanslmayr, S., & Doeller, C. F. (2016). Hippocampal-Prefrontal Theta Oscillations Support Memory Integration. *Current Biology*.
 26. Avila, J., Pallas, N., Bolós, M., Sayas, C. L., & Hernandez, F. (2016). Intracellular and extracellular microtubule associated protein tau as a therapeutic target in Alzheimer disease and other tauopathies. *Expert opinion on therapeutic targets*, (just-accepted).
 27. Hameroff, S., & Penrose, R. (2014). Consciousness in the universe: A review of the 'Orch OR' theory. *Physics of life reviews*, 11(1), 39-78.
 28. Barlow, P. W. (2015). The natural history of consciousness, and the question of whether plants are conscious, in relation to the Hameroff-Penrose quantum-physical 'Orch OR' theory of universal consciousness. *Communicative & integrative biology*, 8(4), e1041696.
 29. Steidl, J. (2014). Discovery of quantum vibrations in 'microtubules' inside brain neurons supports controversial theory of consciousness. *Science Daily*. (Elsevier) Jan,16.