

Yapay Göz

A. Baki Mudun (*)

ÖZET

Bu derlemede yapay göz konusunda şimdiye kadar yapılan çalışmalar kısaca özetlenmiştir. Bilimsel verilerin ışığında bu konudaki olası gelişmelere dikkat çekilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay göz, retina implantları, görme korteksi implantları, nanoteknoloji

SUMMARY

Artificial Eye

In this review, the recent literature about the artificial eye is summarized. Possible future developments about this field have been discussed in the light of scientific data.

Key Words: Artificial eye, retinal implants, cortical implants, nanotechnology

GİRİŞ

Bilim kurgu çok uzun yıllardır organik yapılarla teknoloji ürünlerinin integrasyonunu açıkça öngörmüştür. 1920'lerde çevrilen 'Metropolis' filminde ilk kez karşımıza çıkan androidler tamamen elektronik devrelerden oluşan insan formunda araçlardı. Ama 1960'lardan itibaren bilim kurgu yazarlarının çok daha enteresan ve hayal gücünü zorlayan bir yapıyı ortaya koydular. Bu, et ve çeliğin, sinir lifleri ile nöronların iç içe geçtiği bir çeşit hibrid yapı idi. 'Altı Milyon Dolarlık Adam' dan 'Robocop'a kadar çeşitli bilim kurgu eserlerde bir insanın ne kadarının teknolojik yapılarla değiştirilmesi özde var olan insani özelliklerin hala korunabilmesine imkan verecektir sorusu sorgulanmıştır. Bu eserlerde söz edilen teknolojilerin bir kısmı hala sadece bilimkurgu olarak kalsa da birçoğu da günlük uygulamalarda çoktan yerini almıştır. Bunların arasında ekzoiskeletler, takma kol, bacak ve protezler, sayıları ve çeşitleri her geçen gün artan biyolojik implantlar, kohlea implantı ve sonunda görmeyenlerde görmeyi restore edecek elektronik aletler sayılabilir.

Binlerce yıldır görmeyen bir insanın gözünün açılması mucize olarak kabul edilmiştir. Özellikle dinler tarihine bakıldığında peygamberlik göstergesi olarak sözü edilen mucizelerin başında körlerin gözünü açmak gelir. Modern tıbbın gelişimi ile birçok körlük nedeni ortadan kaldırılmaya ve görmeyenlerin gözleri açılmaya başlanmıştır. Ama günümüzde hala retina distrofileri, dejenerasyonları ve çeşitli göz travmaları sonucu gelişen görme kayıplarında ve özellikle de doğuştan görmesi hiç olmayanların görmesinin sağlanması konusunda elimizdeki bilgi ve donanımlar yetersiz kalmaktadır. Dejeneratif göz hastalıklarında özel optik aletler bir miktar yararlı olabilir ancak bunların kullanılması çoğu kez sıkıntılıdır. Nutrisyonel ve tıbbi tedavilerin yararı bilindiği gibi çok kısıtlıdır. Özellikle sonradan görmenin kaybedildiği bazı durumlarda, gelişen vitreoretinal cerrahi teknikleri, gen tedavileri yeni açılımlar sağlamaktadır. Son yıllarda özellikle bakteri ve virusların kullanıldığı gen tedavi yöntemleri ile ilgili araştırmalar bu konudaki bilinmezlerin fazla olması yüzünden etik olarak doğru bulunmamış ve yasaklanmıştır. Ancak doğadaki birçok canlı ve insan gen haritasının deşifre edilmesi yakındır ve gen te-

(*) SSK Okmeydanı Eğitim Hastanesi Göz Hastalıkları Kliniği, Dr. Bu derleme TOD İstanbul Şubesi XXIII. Bahar Sempozyumunda panel konuşması olarak sunulmuştur.

Mecmuaya Geliş Tarihi: 12.07.2000
Kabul Tarihi: 27.07.2000

davilerinin uzun dönemde retina hasarlarını sınırlanması ve görmenin restorasyonunda çok etkili olması büyük bir olasılıkla mümkün olacaktır. Bu sırada özellikle son yıllarda sıkça duymaya başladığımız 'yapay göz' girişimleri de gündeme gelmiştir. Bu konudaki çalışmaları başlıca üç başlık altında toplamak mümkündür. 1. Görmenin iyileştirilmesi: Düşük görmelilerin rehabilitasyonu için daha rahat görülebilir görüntülerin oluşturulmasına yönelik çalışmalar. 2. Protez görme cihazları: Görmesini sonradan kaybetmiş bireylerde eksik görme bölgelerinin yerini tutacak aletlerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar. 3. Yapay göz: görüntünün alınması, ön işlemlerden geçirilmesi ve bir duyu olarak kişiye verilmesi için yapılan çalışmalar. Sonucunda oluşturulacak duyunun bizim algıladığımız anlamda bir görme duyası olması zorunluluğu olmayıp, bu duyu diğer duyularımızdan herhangi biri ya da bunların karışımı da olabilecek ve bu sistemler doğuştan görmezlerce de kullanılabileceklerdir (1-5).

Santral Sinir Sisteminin Tanınması

SSS'nin yüzyıllar boyunca süren çalışmalarla hem morfolojik hem de nörofizyolojik olarak tanımlanması, bu sisteme yerleştirilecek implantlar için önemli bilgiler sağlamıştır. 1791 yılında ilk kez Luigi Galvani hayvansal elektrikten söz etmiştir. Daha sonra büyük sinirlere yerleştirilen elektrodlar ile sinirler arası iletimin nöronlarda membran potansiyel değişiklikleri yoluyla olduğu gösterilmiştir. Ancak bu, muhtemelen algılama, zeka ve emosyonel durumun bir aracı da değildir. İnsan beyninde 10¹² nöron ve bunlar arasında da 10¹⁵ snaps mevcuttur. Bu haliyle beyin yoğun paralellik ve incelikle bağlantıları kurulmuş, olağanüstü minyatürize, yüksek oranda uyum gücü olan ortamdaki değişikliklere karşı hızla yeni donanımlar geliştirebilen eşi olmayan bir yapıdır. Beynin gücünün yalnızca nöronlar ve bağlantılarında geldiğini söylemekte zordur. Çünkü gerçekte nöronların iletimi oldukça yavaş ve bağlantıları oldukça gürültülüdür. 1 metre uzunluğunda ve 1 mm kalınlığındaki bir sinir lifinin direnci 100 ohm/cm olup bu 15 km uzunluğundaki 22 gauge'lik bakır telin direncine eşittir (Alan Hodgkin). Ancak beyinde, bilgisayarlardaki tel veya silikon bağlantılardan farklı olarak sinyallerin aktif dağıtımı söz konusudur. Bu bağlantılarla ilgili bilgilerin oluşmasında belli başlı dönüm noktaları aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır.

1891 yılında Santiago Ramon y Cajal beyin nöronlarında oluştuğunu gösterdi. 1873 yılında kendi adıyla anılan boyayı bulan Camillo Golgi ile sinir liflerini boyamayı başardılar. Cajal tek fonksiyonlu nöronların sinir sistemini oluşturmak üzere bağlantılar kurduğunu açıkladı. Bu iki bilim adamı 1906 Nobel ödülünü aldılar.

1921 yılında Otto Loevi isimle genç bir Avusturyalı farmakolog sinir hücreleri arasındaki bilgi aktarımı sırasında bir sinirden diğerine kimyasal bazı maddelerin aktarıldığını (nörotransmitter) gösterdi ve 1936'da Nobel aldı.

1950'li yıllarda Alan Hodgkin ve Andrew Huxley sinir hücreleri arasındaki iletimin temel özelliklerini ortaya koydular. Esas olarak keşfettikleri sinir hücre membranlarında iyon kanallarını açıp kapayan proteinlerdi. Normalde hücrele -70 ile -30 mv civarında bir dinlenme potansiyeline sahiptiler ve -30 civarında eşik membran potansiyeli olan bir hücreye yaklaşık 1 ms'lik bir uyarın gelmesi halinde 100 mv'un üzerinde bir pik potansiyel oluşuyor ve ileti sağlanıyordu. Bu araştırmacılar da 1963 Nobel'inin sahibi oldular. Ancak daha sonraki çalışmalar bu araştırmacıların belirlediği şekilde tek bir ileti formunun olmadığını beyindeki ve özellikle de retinadaki ganglion hücrelerinde pik oluşturacak membran potansiyelleri görülmediğini, 0 mv civarındaki depolarizasyonların nörotransmitter salınımı için yeterli olduğunu göstermiştir. Dahası, değişik nöronlar değişik yapılarla sahiptiler ve kendilerine özel elektriksel davranışları vardır. Özel transmitterler salgırlar. Eğer beyni oluşturan hücre tiplerinin karakteristikleri ayrıntılı olarak tanımlanacak olursa bunların olası traseleri ve üstlendikleri görevleri belirlemekte mümkün olabilecektir.

1960'larda Frank Werblin ve John Dowling ilk kez retinanın derin tabakalarındaki hücrelerin elektriksel kaydetmeyi başardılar. 1980'lerde Werblin elektrofizyolojik deneyler için canlı retina hücre preparatlarını dilimleme tekniğini geliştirdi. Bu teknik doğrudan istenen hücreden hızlı elektriksel aktivite kayıtları mümkün oldu. Daha sonra bu yöntemle Bert Sakman ve Erwin Neher diğer beyin dokuları üzerinde araştırmalar yapmaya başladılar. Olağanüstü şaşmaz bir doğrulukla elektrofizyolojik ölçüm olanağı sağlayan 'Patch-Clamp' tekniğini geliştirdiler. Bu yöntemle yalnız tek bir iyon kanalının açılması ve tek bir membran proteininin yer değiştirmesi ile oluşan 1 pikoamperlik bir akım bile kaydedilmeye başlandı. Sakman ve Neher de 1991 Nobel'inin sahibi oldular (6).

Kohlea İmplantlarının Öğrettikleri

Yapay göz konusunda araştırmacıları en fazla cesaretlendiren gelişme sağırlarda uygulanan kohlea implantları ile alınan sonuçlardır. İlk tecrübelerde hastalar uyarınlarla bir takım sesler duymuş ancak bunları anlamlandıramamışlardı. Sıklıkla hastaların tatmin olmadığı bu uygulamaları takiben geliştirilen yeni uyarı ön işlem ve sunumları sonucu; yaklaşık 15 yıldır uygulanmakta olan kohlea implantlarında hastaların en az %10'u telefonda konuşabilecek kadar duymaya başla-

mıştır ve dahası bunların bazıları, bunu aynı implantla 10 yılı aşkın bir süre devam ettirmişlerdir. Buradan da anlaşılacağı üzere yetişkin sinir sisteminin uyum sağlayabilme özelliği azalsa da bir şekilde yapay elektrik uyarıları ile çalışmayı öğrenebilmektedir (7).

Retina İmplantları

Yapay göz alanında, özellikle bir zamanlar görmüş olanlar için, bir araştırma stratejisi olarak retina implantlarının geliştirilmesi daha mantıklı görünmektedir. İmplantın daha gerilere örneğin kortekse yerleştirilmesi-ne göre bilinen standart cerrahi tekniklerin kullanılabilmesi, ayrıca prensip olarak da daha karmaşık çok sayıda bağlantı sonrası ulaşılan bir seviye yerine, uyarının mümkün olduğunca distalden verilmesi daha iyi olacaktır.

İlk retina implantlarını geliştirme çalışmaları 1990'da MIT'de, MIT Elektronik Araştırmaları Laboratuvarı, Cambridge Drape Laboratuvarı, MIT Lincoln Laboratuvarı ve Massachusetts Eye and Ear Informary Oftalmoloji Departmanı'nı tarafından ortak olarak başlatılmış ve ilk MIT-Harvard Cihazı 1994'de üretilmiştir. Burada elde edilen başarılar sonucu Amerikada iki ayrı gurup ve Alman Hükümetinin desteği ile Almanyada iki ayrı merkez daha 1995 Mayıs'ında benzer araştırmalara başlamıştır.

Üretilen ilk prototip şekilde canlandırıldığı gibi gövdesinde herhangi bir güç kaynağı ve göze penetrasyonu sağlayacak tel ya da konnektörleri olmayan bir cihaz şeklindedir. Klinik kullanımda güç kaynağı bir gözlük çerçevesine monte edilmiş küçük, 820 nm dalga boyu olan sabit yönlü bir laserdir. Laser ışını görme veri kaynağı olan ve gene gözlük çerçevesine yerleştirilmiş bulunan küçük bir CCD kamera çıkışı ile modüle edilmektedir. Laser ve kameranın telleri hastanın cebine yerleştirilmiş olan değiştirilebilir pillerle bağlantılıdır.

İmplant bir fotodiod donanım ve uyarıcı çip arasındaki ince poli-imide şerit'ten oluşmaktadır. Şerit'in bir ucu elektrodları desteklemektedir. Bu hassas sistem 12 fotodioda çarpan module edilmiş laser ışınları ile beslenmektedir.

Bu implant preretinal yerleştirilmek üzere tasarlanmıştır. Bu, uyarının normalde olanın aksi yönünden ganglion hücrelerine iletilmesine neden olmaktadır. Bu implantların oluşturduğu uyarıların esas olarak, retina az çok hayatiyetini sürdürmekte olan retina hücreleri tarafından üst yollara taşınması beklenmektedir. Ancak yerleşim yerinin muhtemel olarak yaratacağı problemlerden biri, ganglion hücrelerine verilen uyarının fotoreseptörlere doğru yaratacağı ters akımdır. Bunu kompanse etmek için, nöromorfik tipte devreler ve retina nöro-

fizyolojisi ile uyumlu algoritmeler kullanılmış. Burada Werblin ve arkadaşlarının çalışmalarından yeniden söz etmeden geçemeyeceğim. 1960'larda retina derin tabakalarındaki hücrelerin elektriksel potansiyellerini Dowling ile birlikte ilk kez kayıt etmeyi başaran Werblin, 1980'lerde canlı olarak retinayı dilimleyip, preparatlarını yapmayı başarmıştır. Böylece retinayı oluşturan çok sayıda nöronun oluşturduğu fizyolojik paternleri ölçmek mümkün olmuştur. Bu çalışmalarla retinadaki gerçek zaman ve mekan içindeki görüntü iletiminin tabaka tabaka nasıl ilerlediği ortaya konulmuştur. Bu çalışmalar ışığında Berkeley California Üniversitesi Nonlinear Elektronik Laboratuvarı'nda cellular nonlinear network (CNN) ismi verilen ve retinada oluşan gerçek zamanlı canlı görüntü-işlemi taklit eden bir chip geliştirilmiştir. CNN çiplerin en önemli özelliği her bir retina tabakasındaki aktivitenin hipotetik ve test edilebilir uzay-zaman paterninin analizi için yeni ve güçlü bir metod'a imkan vermesidir. Bu özellik sayesinde retinanın işleyişinin deşifre edilmesinde önemli aşamalar kaydedilmiştir. Bu arada California Institute of Technology'den Christof Koch ve Rockwell International Science Center'dan Bimal Matur kompleks devreleri ile yoğun işlem gücü olan silikon çipleri kullanarak görme prosesleri ile ilgili nörobijolojik devreleri taklit eden bir elektronik çip üretmişler ve buna 'nöromorfik entegre devreler' ya da 'nöromorfik görme çipi' adını vermişlerdir. Bu çipler spesifik olarak parlaklıktaki lokal ve yoğun değişikliklere uyum sağlayabilmekte, kenar algılayabilmekte, geçici değişikliklere cevap vermekte ve hareketi algılayabilmektedir. Bu çipler, yüzleri tanıyarak açılan kapılar, kendi yolunu kendi bulan arabalar, kendiliğinden köşe bucağı ve kirli temizleyen robotların yapımında kullanılmaktadırlar. Biyolojik sinir sistemini taklit eden bu çiplerin günün birinde retina ya da görme korteksinin bir parçası gibi hasara uğramış bölümlerin doğal yedeği olma olasılığı da vardır. Ancak silikon çipler, CNN çipler gibi duruma göre yeniden ayarlanabilir değildirler. Kişiyeye göre ayarlanabilirlik birbirinden çok farklı durmlar için kullanılacak olan görme protezleri için hemen hemen vazgeçilmez bir özellik olmak zorundadır.

Epiretinal implantların diğer bir dezavantajı ise elektrod donanım ile ganglion hücreleri arasında yer alan sinir lifleri tabakasının stimülasyonudur. Bu bölgedeki sinir liflerinin önemli bir kısmı periferik retina uyarılarını taşıyan lifler olup, bunların uyarılması istenmeyen persepsiyonlara ve geniş bulanıklıklara yol açabilecektir. 1995 yılında MIT'den Andrew Grumet tarafından geliştirilen asimetrik microelektrodlar ile akson uyarım riski de önemli oranda azaltılmıştır. Almanya Tübingen'den Zrenner ve arkadaşları ise subretinal mikrofotodiodlar üzerinde çalışmaya başlamışlardır.

Retina'ya uyarıcı göndermek için kullanılacak ilk implantlarla ilgili çalışmalar uyarıcı dışardan elektrotlar ile anestezi altındaki hayvanlara verilmesi şeklinde yapılmıştır. Wilmer'da Humayun ve arkadaşları da retinanın yaklaşık 0.5 mm önüne kadar yaklaştırdıkları elektrotlarla, YBMD, RP gibi nedenlerle görmesi ışık hissi seviyesine düşmüş hastalarda hasarlı alanlardaki ganglion hücreleri tarafından uyarıcıların algılandığını hatta bazı hastaların aynı anda verilen iki ayrı uyarıcıyı tespit edebildiklerini göstermişlerdir. Bu gözlemler retina protezleri ile de, kohele implantları ile yaşanan evrelerden geçilerek, günün birinde hastalara fonksiyonel görme sağlama umutlarını artırmıştır. MIT'den Nadig epiretinal implant yerleştirilen 5 fareden 3'ünde uyarılmış korteks potansiyelleri (EEP) sağlandığını ve EEP cevabının epiretinal implant'ın monitorizasyonunda kullanılabilceğini bildirmiştir. 1997'de Almanya Bonn'dan Eckmiller benzer bir epiretinal implantla ilgili kendi deneyimlerini, ve planlanmış olan yeni model retina implantlarını yayınlamışlardır. Aynı yıl Tübingen Almanya'dan Zrenner ve arkadaşları bu sefer tavşan ve sıçanlarda dejeneratif fotoreseptör tabakaya subretinal olarak yerleştirilen mikrofotodiodların biyoyumunu ve elektrofizyolojik kayıtlarını rapor etmişlerdir. 1998'de New Orleans'dan Peyman ve arkadaşları PPV ve arka retinotomi ile tavşanlarda subretinal olarak yerleştirilen yarı-iletken fotodiod donanımların (SMA) uzun süre stabil kaldıklarını ve uyarıcı vermeye devam ettiklerini bildirmişlerdir. Bu arada retina implantının üzerinde retina hücrelerinin belirgin bir şekilde kaybolduklarını ancak cerrahi alan ve implant bölgesi dışında retinanın doğal olduğunu bildirmişlerdir. Zrenner ve arkadaşları 1999 yılında yayınladıkları bir makalede subretinal mikrofotodiodların retina fonksiyonlarına ve iç retinanın yapısına zarar vermediklerini Ganzfeld electroretinogramları ve histolojik olarak göstermişlerdir. İllinoi'den Peachey ve arkadaşları yarı-iletken temelli fotodiodların subretinal olarak yerleştirildiklerinde uzun süre fonksiyonel olarak stabil kaldıklarına dair çok sayıda yayın olmakla birlikte, implantların iç retina katları ile fonksiyonel bir bağlantı kurup kuramadıklarının ve bu bağlantıların kalitesinin bu çalışmalar da çokta açık olmadığını ve bu konuda daha fazla çalışma yapılmasının gerektiğini savunmuşlardır (8-21).

Optik Sinir ve Optik Traktüs İmplant Yeri Olabilir mi?

Retina dışında optik sinir, lateral genikülat cisim ve görme korteksi de muhtemel implant yerleştirme yerleri olarak düşünülmüştür. Bunlardan ilk ikisi hem cerrahi olarak ulaşım zorlukları hem de bu bölgelerdeki bağlantıların henüz tam çözümlenememiş olması nedeni ile

şimdiye kadar pek rağbet görmemiştir. Aslında Avustralya'dan Spalding ve arkadaşları 1998'de superior colliculuslarını ablade ettikleri neonatal sıçanlarda, bu bölgeye embriyonik tektal doku implante etmişler. Tektal nükleuslardan projekte olan retina ganglion hücrelerini 24 saat ve 20 gün sonra diamin sarısı vererek retrograd tespit etmişler. Föetal hücrelerin büyük kısmının yaşama-ya devam ettiklerini ve bazılarının da retina ganglion hücreleri ile fonksiyonel bağlantılar kurduklarını göstermişlerdir (8,22).

Görme Korteksi İmplantları

Görme korteksine doğrudan implant yerleştirme çalışmalarının kökleri 1960'lara kadar gitmektedir. İlk olarak İngiltere'de Cambridge Üniversitesinden Giles Brindley görmeyen bir bireyin görme korteksinin yüzeyine 180 elektrod donanımlı bir platin disk yerleştirilmiş ve her bir elektroda giden ve sinir hücrelerinde uyarıcı yapan elektrik akımları uzaktan ölçülmüştür. Bu uyarıcılarla hastanın ışık görebildiğini birden fazla elektrodla uyarıcı gönderildiğinde de birden fazla fosphen algılandığını rapor etmişlerdir. Buna benzer bir dizi çalışma 1974'de Utah Üniversitesinden William Harvey Dobelle ve ekibince sürdürülmüş ve aynı yerde Richard Norman ve arkadaşları tarafından kortekse yerleştirilebilecek bir silikon çip geliştirilmiştir. Bu ekip görme korteksine geniş bir alana elektrodların yerleştirilecekleri özel lokalizasyonların bir haritasını da çıkarmışlar. Son olarak ta, MIT-Harvard cihazında olduğu gibi bir gözlük çerçevesine yerleştirilen bir kamera tarafından alınan görüntüler hastanın cebinde taşıdığı bir ön işlemciden geçirildikten sonra görme korteksine yerleştirilen bir silikon elektroda iletilmiş ve hastanın ışıklı snellen eşelinde 20/400 görme keskinliğinde okuyabildiği rapor edilmiştir. Bu alandaki çalışmalar son derecede umut verici görünmektedir (23-28).

Yapay Göz Başka Duyularımızı Kullanamaz mı?

Bunların dışında görmenin rehabilitasyonunda geliştirilen ön işlemcilerin oluşturduğu görüntüyü görme dışında, işitme, dokunma, koku ya da tad gibi farklı duyarlar olarak kişiye sunulabilmesi de mümkündür. Belçika'dan Capelle ve arkadaşları bir gözlük çerçevesine yerleştirdikleri kameralarla aldıkları görüntüleri ön işlemden geçirip ses halinde kulaklıklarla hastaya iletmüşler ve böylece hastaların değişik patternleri algılayabildiklerini rapor etmişlerdir (29).

Gelecekte Ne Olabilir ?

Günümüze kadar yapay göz alanındaki gelişmelerin çok kaba bir özeti bundan ibarettir. Ancak özellikle nanoteknoloji ve genetik mühendislik alanlarındaki baş-

döndürücü ilerlemeler bu konuda belki de yapay gözünde ötesinde yeni açılımların habercisidir. 1959 yılında Kaliforniya Teknoloji Üniversitesindeki bir toplantıda Nobel ödüllü fizikçi Richard Feynman 'There is Plenty of Room at the Bottom' isimli konuşmasında yakın gelecekte hayal edilemeyecek kadar küçüklükte birimler üretmenin mümkün olabileceğini, atom atoma inşası yapılacak bu yapılara çok fazla bilginin yerleştirilebileceğini öngörmüştür. Britannica Ansiklopedisinin bir toplu iğne başı büyüklüğündeki yere sığdırılabileceğini ve çok fazla da boş yer kalacağını söylemiştir. Konuşmasına şöyle devam etmiştir. 'Görebildiğim kadarıyla fizik prensipleri atomları istediğimiz gibi yerleştirerek 'şeyler' yapmamız olasılığına karşı durmuyorlar. Bu, her hangi bir fizik kanunu ihlal etmeye kalkışmak değildir; bu, prensip olarak yapılabilir olan; ancak pratikte, biz çok büyük olduğumuz için şimdiye kadar yapılamamış bir şeydir'. O zamanlar bu konuşma tipik bir Feynman esprişi olarak algılanmakla birlikte yaklaşık yirmi yıl sonra MIT mezunu K. Eric Drexler 1981 yılında yazdığı bir bilimsel makalesinde 'nanoteknoloji'yi 'tek tek atom ve moleküllerin atomik skala üzerinde manüplasyonu ve yerleştirilmesi ile yapılacak molekül büyüklüğünde birim işlemcilerin dizaynı ve üretimi bilgisi' olarak tanımlamıştır. Bu atomların yerleşiminin kesin olarak kontrolü maddenin yapısının tam anlamı ile etkili bir kontrolünü bize verecektir. Uygulamada mekanik nanoteknoloji ürünleri henüz tam olarak karşımıza çıkmamış olsa da Feynman döneminde bir kaç yüz mikron olan en küçük birim işlemcilerin büyüklüğü bugün Pentium III işlemcilerde 130 nm'ye kada inmiş durumda ve bunun çok yakında 80 nm'ye kadar çekilebileceği Intel mühendisleri tarafından ifade edilmektedir. Bu büyüklük yaklaşık 800 atom çapına eşittir. Yakın bir gelecekte dünyada tüm bilgisayar gücünün tek bir küp şeker hacmine sığdırılabileceği bildirilmektedir. Mekanik nanokomputörler 'mekanosentez' adı verilen ve 'mikro scanning tunnelling mikroskop'lar yoluyla gerçekleştirilen bir işlemle yapılmaktadır. Günümüzde özel kimyasal reaksiyonların kullanılabilirlikleri ve 'kimyasal kendiliğinden bir araya gelme'ler araştırılmaktadır. Bu araştırmalar bilgi işlemlerini kimyasal bağlar yaparak ya da kırarak gerçekleştiren ve sonuçları da kimyasal yapılar olarak depolayan kimyasal nanokomputörlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. 1994 yılında Leonard Adleman karmaşık bir grafik teori probleminin çözümünde DNA fragmanlarını kullanarak oluşturduğu bir işlemciye çözdürmeyi başarmış ve çok farklı bir tipte kimyasal ya da yapay biyokimyasal kompütör gelişimi için dev bir adım atmıştır. Başka bir takım farklı yaklaşımlar da Adleman'ın DNA tabanlı kompütörü ile yarışmaktadır. Syracuse Üniversitesinden Robert Birge protein boya olan bakteriyorodopsini kullanarak ürettiği yüksek dansiteli optik hafızanın (optically encoded ran-

dom access memory) elektronik kompütrlere entegre edilmesi ile elde edilecek hibrid aletlerin saf elektronik aletlerden çok daha fazla güçlü olacağını öne sürmektedir. Son olarak Dr. David Stenger ve Dr. James Hickman canlı sinir hücreleri kültüründeki hücreleri bağlantılarda kullanarak biyoelektronik kompütörler oluşturmuşlar ve bunların şekil tanıma yeteneklerinin çok iyi olduğunu öne sürmüşlerdir. Öyle görünmektedir ki yaygın olarak kullanılacak nanoteknoloji ürünleri genetik mühendisliğin ve kimyasal reaksiyonların kullanıldığı bir teknoloji ile mümkün olacaktır. Gerçekten de Haziran 1997'de Co-operative Research Centre for Molecular Engineering and Technology' den araştırmacı bilim adamları dünyanın ilk fonksiyonel nanomakesini yarattıklarını ilan ettiler. Bu makine hassas ve özgün biyosensor duyarlılığı gösteren molekül zincirlerinden oluşuyordu. Biyosensor bir biyoloji ve fizik kombinasyonu olarak tasarlanmıştı ve merkezinde metrenin 1,5 milyarda 1'i büyüklüğünde ince bir elektrik düğmesi (bir iyonkanalı) vardı. Araştırmacılardan Dr. Cornell'e göre biyosensor öylesine duyarlı bir şekilde çeşitli maddeleri ayırabiliyordu ki bu sensor ile Sydney Limanına atılan tek bir şeker küpünün liman suyunda tespiti mümkün olabilmektedir (30).

Üstün İnsanı Laboratuvarlarda mı Oluşturacağız?

'Eugenics' yani 'insan gelişimi bilimi' tarihi de yüzyıllar öncesine gitmektedir. 20. Yüzyıl öncesinde bir çok eugenics tekniği sakat veya hastalıklı olanların doğurganlıklarının önlenmesi (negatif eugenics) ve sağlıklı bireylerin kendi aralarında eşleşmelerinin teşvikini (pozitif eugenics) içermektedir. 19. Yüzyıl sonlarında Francis Galton gibi eugenistler, şiddetin, zeka geriliğinin ve sosyopatlığın genetik temellerini artan bir ilgiyle araştırmaya girişmişler ve heredite 'bilimi'ni tanımlamışlardır. Fakat 20. Yüzyıl eugenics'in Alman Nazi Partisi tarafından amacından çok farklı yorumlanması ile 'üstün ırk' teorilerinin geliştirilmesine kadar gitmiştir. Bununla birlikte DNA'nın bulunması ile biyolojik oluşumların izolasyonu ve manüplasyonu cinsel üremenin kontrolü dışında da mümkün hale gelmiştir. İnsan davranışlarının evrimsel gelişimini açıklamaya çalışan sosyo-biyolojik teori arayışları ile 1970'lerde yeniden heredite terimleri kullanılmaya başlanmışsa da aynı yıllarda rekombinan DNA tekniklerinin keşfedilmesine kadar eugenics bir tabu olarak kalmıştır.

Günümüzde eugenics, nanoteknoloji, cyborg ve augmentasyon makinelerinin gelişmesi ile açıkça post-biyolojik insan'dan söz edilmeye başlanmıştır. Aslında özetlenmeye çalışıldığı gibi olay basit bir yapay göz yaratma çabasını ister istemez aşmış görünmektedir. Teknolojik

yapılarla organik oluşumlar esrarengiz bir şekilde çarpışmaktadır. Tasarımcılar, teknoloji denetiminde biyolojik aktiviteleri yerine koyan (sinir sistemi cevap zamanı, hormon üretimi, sirkadyan ritimler) ve aynı zamanda artmış muhakeme ve yanıtlama yeteneği olan DNA ile entegre yeni jenerasyon bilgisayarlar üzerinde çalışırken; insan beyni model alınan silikon nöral network ve yapay hayat algoritmeleri asırlardır devam eden bir evrim ve doğal seleksiyonu taklit etmektedir. Genetik araştırmalar konusunda tartışmalar sürüp giderken, çok az sayıda insan çok daha sessiz ve görünmez şekilde ilerleyen 'insanın cyborgizasyonu' yönündeki bu çalışmalara ilgi göstermekte ve tartışmaktadır. Ama yakın gelecekte, belkide kendi türümüzün sonunu hazırlayacak olan, insanın insan eliyle gerçekleştirilecek evrimini sorgulamamız gerekecektir (31-34).

KAYNAKLAR

- Churchland PS, Sejnowski TJ: The computational brain. MIT Press, Cambridge, Mass., 1992.
- Gupta M, Knopf GK: Neuro-Vision Systems: Principles and Applications. IEEE Press, Piscataway, N.J., 1994
- Massoff RW et al: Low-Vision Enhancement System. John Hopkins APL Technical Digest 1994; 15: 1-6.
- Dagnelie G, Massof RW: Toward an artificial eye. IEEE Spectrum May 1996; 21-29.
- Lappe M: Genetics, neuroscience, and biotechnology: recent articles. Hasting Center Report, 1990; 20: 21-25.
- Werblin F, Jacobs A, Teeters J: The computational eye. IEEE Spectrum May 1996; 30-37.
- Young NM, Johnson JC, Mets MB, Hain TC: Cochlear implants in young children with Usher's syndrome. Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl 1995; 166: 342-5.
- Wyatt J, Rizzo J: Ocular implants for the blind. IEEE spectrum May 1996; 47-53
- Chua LO, Yang L: Cellular neural networks. CAS 1988, 35: 1257-90.
- Chua LO, Roska T: The CNN paradigm. CAS 1993; 40: 147-56.
- Werblin F, Roska T, Chua LO: International Journal of Circuit Theory and Applications. 1995; 23: 541-69
- Koch C, Li H: Vision Chips: Implementing Vision Algorithms with Analog VLSI Circuits. IEEE Computer Society Press, 1994
- Koch C, Mathur B: Neuromorphic vision chip. IEEE spectrum May 1996; 38-46
- Poggio T, Beymer D: Learning to see. IEEE spectrum May 1996; 60-69
- Mahowald M, Mead C: The Silicon retina. Scientific American May 1991; 76-82.
- Nadig MN: Development of a silicon retinal implant: cortical evoked potentials following focal stimulation of rabbit retina with light and electricity. Clin Neurophysiol 1999; 110: 1545-53.
- Eckmiller R: Learning retina implants with epiretinal contacts. Ophthalmic Res 1997; 29: 281-9.
- Zrenner E et al: Can subretinal microphotodiodes successfully replace degenerated photoreceptors? Vision Res 1999; 39: 2555-67.
- Peyman G, Chow AY, Liang C, Chow VY, Perlman JI, Peachey NS: Subretinal semiconductor microphotodiode array. Ophthalmic Surg Lasers 1998; 29: 234-41.
- Humayun MS, de Juan E Jr: Dagnelie G, Greenberg RJ, Propst RH, Phillips DH. Visual perception elicited by electrical stimulation of retina in blind humans. Arch Ophthalmol 1996; 114: 40-46.
- Peachey NS, Chow AY: Subretinal implantation of semiconductor-based photodiodes: progress and challenges. J Rehabil Res Dev 1999; 36: 371-6.
- Reese BE, Geller SF: Precocious invasion of the optic stalk by transient retinopetal axons. J Comp Neurol 1995; 20: 572-84.
- Brindley G, Lewin WS: The sensations produced by electrical stimulation of visual cortex. The Journal of Physiology 1968; 196: 479-93.
- Dobelle WH, Mladejowsky MG: Phosphenes produced by electrical stimulation of human occipital cortex, and their applications to the development of a prosthesis for the blind. The Journal of Physiology 1974; 243: 553-76.
- Normann RA, Maynard EM, Guillory KS, Warren DJ: Cortical implants for the blind. IEEE spectrum May 1996; 54-59.
- Cha K, Horch KW, Normann RA: Simulation of a phosphene-based visual field: visual acuity in a pixelized vision system. Annals of Biomedical Engineering 1992; 20: 439-49.
- Jones KE, Campbell PK, Normann RA: A glass/silicon composite penetrating intracortical electrode array. Annals of Biomedical Engineering 1992; 20: 413-22
- Rousche PK, Normann RA: A method for pneumatically inserting an array of penetrating electrodes into cortical tissue. Annals of Biomedical Engineering 1992; 20: 413-22.
- Capelle C, Trullemans C, Arno P, Veraart C: A real-time experimental prototype for enhancement of vision rehabilitation using auditory substitution. IEEE Trans Biomed Eng 1998; 45: 1279-93.
- Paharia RK: Nanotechnology and information technology. Forecasting the Future of Information Technology. March 20, 1998; <http://www.stanford.edu/class/cs293/nano/>
- Banathy BH: Is the improvement of human condition our field? Making evolutionary science work for human betterment. Journal of World Futures, 1993; 38: 17-32.
- Connors MM: Crew Systems: integrating human and technical subsystems for the exploration of space. Journal of Behavioral Science, 1994; 39: 183-213
- Harris J: Wonderwoman and Superman: the ethics of human biotechnology. Oxford University Press, Oxford. 1992.
- Kevles DJ, Hood L: The Code of Codes: Scientific and Social Issues in the Human Genom Project. Harvard University Press, Cambridge. 1992.