

MİKROCHİP ÜZERİNDE FARE BEYİNİ:
Elektronik parçaları olan, yaşayan hücrelerin bağlantısı için bir prototip.

Sinirsel Chip'ler

Beyinden Chip'e

Bilim kurgu yazarları için iyi bir malzeme: Bilgisayarı yöneten beyin hücreleri veya vücuttaki fonksiyonları devralan implant chipler. Bilim adamları bunlar üzerinde çalışıyorlar.

Deneysel faresi, beyaz önlüğü içindeki bilim adamını görünce acaba ne düşünür? Bunu bilemiyoruz. Fare beyni bir bilgisayara entegre edildiğinde de bunu büyük ihtimalle bilemeyeceğiz. Ancak gerçek olan şu ki, küçük, akıllı kemirgenlerin gri hücreleriyle donatılmış bilgisayarlar, günün birinde, bugün bildiğimiz silisyum bilgisayarlarına göre çok daha fazlasını becerebilecekler. Zira bilgisayarın işlem gücü ne kadar yüksek olursa olsun, bir canlının düşünce sistemi karşısında ümitsiz bir şekilde çok ezik kalı-

yor. Bilgisayarlar mesela araba süremezler. Otomobil içindeki bir araç bilgisayarı, çok acemi bir sürücünün bile yapabileceklerin yapamazken, en azından günümüzde bile tüm teknolojik olanakların gerisinde kalıyor. İnsan, karşısına çıkan durumlara bağlı olarak davranabilir ve olayları çözümlenebilirken, bilgisayarın, kendisini geliştirenlerin çarpıcı ifadesiyle, bu tip yetenekleri eksik. Kısaca, "bilgisayar, bir insan gibi düşünemez ki!"

Bilim adamlarının vizyonları dikkat çekici bir biçimde daha da cesaretleniyor ve daha önce bilim kurgu yazarlarının hayallerindeki bazı şeyleri artık gerçekten de gerçekleştirmek istiyorlar. Fizikçiler, bilgisayarı bir hayvan beyninin parçalarıyla bağlamayı düşünüyorlar. Mesela bir fareye ait olabilecek, bağlantılandırılmış gri hücrelere, çözülmesi gereken bir görev veriliyor. Bu düşüncenin sonucunu daha sonra bilgisayar veriyor. Bu planın cazip tarafı şu: Beynin yetenekleri, bilim adamlarının beyin çalışma şeklini ve sır-

SERİ

ARAŞTIRMA LABORATUARLARINDAN YENİLİKLER

Geleceğin dünyasıyla şimdiden tanışın: Bilim ve endüstri, yaşamınızı köklü şekilde değiştirecek anahtar teknolojiler üzerinde çalışıyor. CHIP bu yazı dizisinde sizi geleceğin dünyasıyla tanıştıyor.

larını tam olarak anlamalarına gerek kalmaksızın, ele geçirebilir ve kullanılabilir. Beyin burada bir kara kutu gibi girişleri ve çıkışları olan, elektronik parçalar sayesinde işini gören bir parça olarak düşünülüyor. Bunun gerçekleştirilmesinin önkoşulu ise hücre ve chip'in elektrik sinyallerini birbirleriyle değiş tokuş edebilmesi. Elektronik ve biyolojik sistem arasındaki iletişim problemsiz bir şekilde işlemeli.

Bu aynı zamanda bilimin başka bir hayali projesi için de geçerli: Protez ve implantların doğrudan beyinden yönetilebilmesi. Bilim adamları bu sayede görme özürlülerin ağtabaka implantlarıyla yeniden görebilmelerinde yardımcı olmak istiyorlar. Burada aradaki bağlantı, optik sinyalleri alan ve sinir hatlarıyla beyne ileten bir chip üzerinden gerçekleştirilebilir. Buraya kadar sadece ışık çakmalarının algılanmasının değil, hastanın gerçekten de bir çevreyi yansıtan görüntüler görebilmesi için, çok fazla temel buluşun yapılması gerekiyor. Bundan çok daha zor olan girişim ise yapay el ve ayakların, sinirler üzerinden beyinden kontrol edilebilmek istenmesi. Bu kadar komplike, üç boyutlu sistemlerle çalışabilmek, ancak uzak bir gelecekte (o da mümkün olursa) mümkün görünüyor.

Profesör Peter Fromherz, vizyonlardan bilimin günlük çalışmalarının yoluna dönerek "Bu halen bir bilim kurgu" diye dostça bir söylemde de bulunuyor. Münih –Martinsried'deki biyokimya için Max Planck enstitüsünün (MPI) membran ve nörofizik bölüm müdürü olan Fromherz, yaşayan hücrelerin elektronik parçalarla bağlantılandırılmasında bir öncü konumunda. 17 yıldan beri sülüklerden, sümkülböceklerden ve farelerden aldığı sinir hücrelerini elektronik bağlantılarla birleştiriyor. İşe önce Ulm Üniversitesi'nde başlamış.1994'den beri Martinsried'deki MPI'da işine devam ediyor.

Hücreler mikrochip'ler üzerinde gelişiyor

Bu alandaki araştırma çalışmalarının ne kadar uzun sürdüğünü ve ileriye doğru atılan küçük adımların bile ne kadar zor olduğunu Fromherz'den başka kimse bu kadar iyi bilemeyeceği için, iyimser beklentileri yatıştırmak da onun için artık bir alışkanlık haline gelmiş: "Her zaman sadece gerçekleştirilmesi mümkün olan adımları atmalı, bir seferde çok fazla şey istenmemeli."

Kısa bir zaman önce o ve 30 kişilik takımı, oldukça başarılı sonuçlar almışlar ve bu kilit başarılar, Fromherz'in pek de uzun sayılmayacak bir süre önce bunlar hakkında konuşmaya bile cesaret edemediği daha fazla şeyin başarılabilir düzeye gelmesini sağlamış. Sinir sinyallerini bir silisyum chipi üzerinden elektronik yoldan bir hücreden diğerine iletmeyi ve hücreleri bu tip bir chipten yapılmış sinir ucu üzerinde oluşturabilmeyi başardığından beri Fromherz artık o kadar da çekingen konuşmuyor.

"Vizyonu olmayan bir şüpheci değilim. Aksine, nörobilgisayar konusunda umulan gelişmeyi ve protez bilimi alanındaki yeni imkanları çok ilginç buluyorum." Fromherz 1991 yılında ilk defa bir sülükten aldığı bir nöronu (sinir hücresi) bir chipe yerleştirmeyi başarmıştı. Bir transistor hücreden gelen sinyalleri alıyordu. 1995 yılında bu temel deney tersi yönde de başarılı olmuştu: Bir hücre bir chip üzerinden elektronik darbelerle maruz bırakılıyordu ve hücre bunlara sinyaller olarak ölçülebilen bir aksiyon potansiyeli



ARAŞTIRMA PROJELERİ:
Biyofizikçiler, deneylerinde kullanılmak üzere sinir hücrelerini sağlayan salyangozlar yetiştiriyorlar.



Sinir işi: Dört salyangozun beyni bir kabuk altında. Bunlardan sinir hücreleri alınıyor.

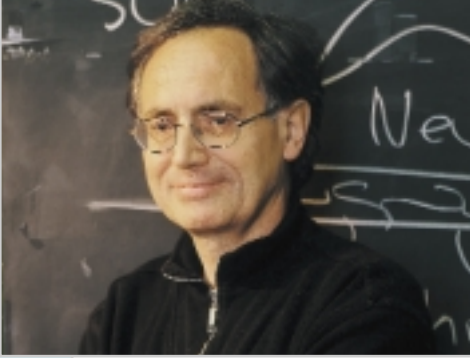
ile cevap veriyordu.

Sülüklerin deney hayvanları olarak tercih edilmesinin nedeni, diğer hayvanlarınkilerle karşılaştırıldığında büyük sayılabilen sinir hücrelerinin kolayca birbirinden ayrılabilmesi şanssızlığına sahip olmalarıydı. Elektrik tarafında da bu yüzden yapılar görece kaba olduğu için, fizikçiler silisyum altyapısını kolayca üretmeyi başardılar, komplike CMOS proseslerine ya da nanoteknolojiye burada gerek yoktu.

Salyangozlar gözde hayvanlar

Günümüzde salyangozlar Martinsried MPI'daki biyofizikçilerin gözde hayvanları. Bunların sinir hücreleri, sülüklere göre daha iyi bir sinyal davranışına sahipler. "Salyangozlardan nöronlarını ayıklamak biraz daha ince çalışma gerektiriyor," diye açıklıyor Fromherz. Sadece sülüklerden salyangozlara geçiş yapmak bile bilim adamlarının iki araştırma yılına mal olmuş. Deney hayvanları, laboratuvarların hemen yanındaki birçok akvaryumda yetiştiriliyor. Bu hayvanların sinir hücrelerini elde edebilmek için, bilim adamları onları yuvalarından çıkartıyor, sonra bayıltıyor ve beyinlerini göv- →

BİYOFİZİKÇİ PETER FROMHERZ İLE RÖPORTAJ



» Bilgisayarlar, günümüzde sadece bir beynin yapabildiği gibi, düşünecekler «

Profesör Dr. Peter Fromherz,
Biyokimya için Max-Planck
Enstitüsü, Martinsried/Münih

Bay Fromherz, bugün birinde beynimize bir chip takabilecek miyiz?

Fromherz: Bu saf bir bilim kurgudan başka bir şey değil. Bence o kadar ileriye hiçbir zaman gidemeyeceğiz. Ancak bu tip spekülasyonlara katılmak pek de hoşuma gitmiyor. Küçük adımlar atabilmek için bile çok uzun ve zahmetli temel araştırmalara ve buluşlara ihtiyaç var. Çoğu bilim adamı günümüzde projelerine para bulabilmek için, güncel sloganlara hizmet etmek ve abartılı sonuçlar vaat etmek zorundalar. Bazı bilim adamlarının öngördükleri şeyler sadece bir saçmalık.

Çalışmalarınızla hangi hedeflere ulaşmak istiyorsunuz?

Fromherz: Öncelikle nörobiyoloji için

yeni ölçüm yöntemleri geliştiriyoruz. Sadece bir, iki veya on elektrotla, 10.000.000.000 sinir hücresinden oluşan bir beynin nasıl çalıştığını anlamak imkansızdır. Bir mikrochip milyonlarca kontakt sağlayabilir ve bizi bu sonuca yaklaştırabilir. Biyosensörlerde başarılı sonuçlar elde tutulacak kadar yakın. Hücre genetiği kombinasyonuyla farmakolojik deneyler yapılabilir, yani yeni ilaçların etkisi deney tüpünde önceden kolayca denenebilir.

Uzak gelecekte bizi neler bekliyor?

Fromherz: Gerçi bir beynin nasıl çalıştığını bulmaya çalışmayacağız, ancak belki sinir hücrelerinin ağ özelliklerini bilişim için kullanabiliriz. Bu da sinirsel bilgisayara giden yolu açıyor. İlk başa-

rılı sonuçları beş ile on yıl içinde görebiliriz. Ancak burada beyni olan bir bilgisayar değil, deney tüpündeki deneyler sözkonusu olacaktır. Protezleri sinirlerle bağlayabilme imkanına çok iyimser bakılıyor, bu aslında uzmanların tahmin ettiklerinden çok daha zor bir iş. Bu konuda çok fazla temel bilgi eksikliği var. Uzun vadede bunun gerçekleştirileceği konusunda iyimserim, ama bu herhalde en erken 20 yıl içinde olur.

Çalışmalarınızla kişisel olarak elde etmek istediğiniz başka neler var?

Fromherz: Araştırmalarımıza on yıl erken başladık. Bugün işimize gösterilen ilgi, başlangıçta yoktu. Şimdi zamanın biraz gerisinden koşuyorum. Ancak ağ-tabaka implantı araştırmalarına katılmayı düşünüyorum. Bir retinayı bir chip üzerine yerleştirdiğimde ne olacağını görmek istiyorum.

Hangi alanda en büyük gelecek şansını görüyorsunuz?

Fromherz: Uzun vadeli düşündüğümüzde biyobilgisayar çok ilginç görünüyor. Sinir hücreleriyle mikroişlemcilerin bağlantısı tam olarak başarılı olduğunda, daha önce sadece bir beynin yapabildiği şekilde, bilgisayarlar da günün birinde düşünebilirler,

delerinden ayırıyorlar. Hücreler bir besleyici çözeltide gelişmeye devam ediyorlar ve deneyler için hazır hale geliyorlar.

“Diğer araştırma alanlarının aksine, burada tamamen yalnızız,” diyor Fromherz, ekibinin özel durumuna da bir açıklama getiriyor. Bu yüzden aşama kaydetmeleri ve başarıya ulaşmaları daha zor ve yavaş oluyor, ne de olsa o ve çalışma arkadaşları herşeyi kendileri başarmalıdır. Membran ve nörofizik bölümünde, altbölümler arasında sıkı bir işbirliği var ve çok sayıdaki fizikçinin yanında biyologlar ve kimyagerler de burada çalışmalarını sürdürüyorlar. Max Planck enstitüsü, bilim adamlarının, sonuçları halen çok belirsiz olan, alışılmadık bilimlerde de uzun sürebilecek araştırmalar yürütmelerine imkan sağlıyor. “ABD’de kimse bu tip araştırmaları yapma şansına sahip değildir,” diyor Fromherz.

“Araştırmalarımıza 10 yıl erken başladık”

Gerçekte uzun süre hemen hiç kimse küçük hayvanlarla, sinir hücreleri ve yarı iletken teknolojisiyle zahmetli bir şekilde uğraşmak istememiş, zira zaten az olan araştırma sonuçlarından pek de elle tutulur bir fayda çıkartılamamış. “Halkın ya da bu işin içinde etkin olarak bulunmayanların açık



SİNİRSEL AĞ: Bir silisyum chip’i üzerindeki dairesel bağlantılarda sinir hücreleri bulunuyor, bunlar sinir uçlarını oluşturuyorlar.

ilgisi belki biraz da zamanın ruhuna yani trende bağlı,” diye bir eklemeye bulunuyor Fromherz: “Sanırım araştırmalarımıza on yıl kadar erken başladık.”

Bu durum, MPI'daki ekibin chip'ler ve hücrelerle neyin başarılabileceğini göstermesiyle birlikte değişti. Nöron-silisyum bağlantısıyla yapılan başarılı denemelerden sonra günümüzde artık silisyum chip'leri üzerinde yetişen hücrelerin birlikte yetişmeleri ve sinir uçları oluşturmaları da başarıldı.

Bu tip hybrid (heterojen) sistemlerle sinyal transferindeki temel deneylerden biri, iki sinir hücresinin bir chip haline dönüşüp büyüdüğü bir arabirim. Hücrelerden biri, biyolojik yoldan ikinci hücreye aktarılan ve daha sonra yine chip tarafından yakalanan bir aksiyon potansiyeli göndermek için elektronik üzerinden uyarılıyor. Nöronal (sinirsel) ağlar bunun sonucunda, hücreler ve chip'lerle bağlantılandırılabilir. Şimdi birdenbire elektronik mühendisleri de biyoteknikerlerin kapısını aşındırmaya başlamışlar. Fromherz, bunu neden yaptıklarını iyi biliyor: “Dünya on yıl içinde, yapıtaşları yaklaşık olarak 10 nanometre boyutuna indirgindiklerinde, bilgisayarların gelişiminde tıkanıp kalacak ve yolun sonuna gelecek.” Ancak “biyolojik bilgisayarlarla,” spekülasyonu yapıldığı üzere, gelişim devam edebilir.

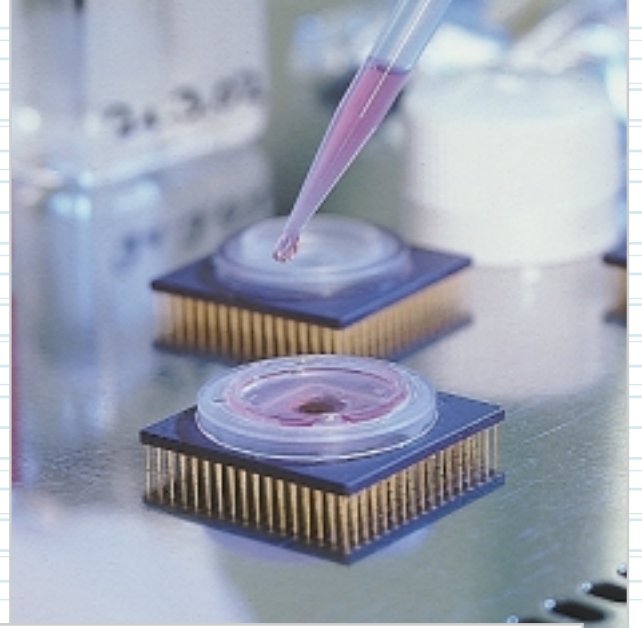
Öğrenebilen sinir uçları

Sinirsel sistemler doğrultusunda atılacak bir sonraki adım- sa öğrenen sinir uçları. Birbirine bağlı iki hücreye, her iki iletişim kanalı üzerinden hitap edildiğinde, aktivite daha da güçleniyor, bu da biyolojik ağda bir öğrenme süreciyle aynı anlama geliyor. Martinsried'deki biyofizikçiler iki doğrultuda çalışmalarına devam ediyorlar. Bir yandan hücre ve chip arasındaki arabirim optimize edilmek isteniyor. Diğer yandan da aynı zamanda daha komplike sistemler ele alınıyor.

Gerçi hem sinir hücrelerinde, hem de yarı iletkenlerde sinyaller elektriksel olarak aktarılıyor, ancak daha fazla ortak nokta da yok. Silisyumda elektronlar yardımıyla bilgiler taşınırken, hücrelerde bunun yerine iyon hatları bulunuyor.



ÇOK YAKIN: Biyolojik ve elektronik sistemin içsel olarak bağlanması diğer araştırmalar ve buluşlar için bir önkoşul. Fizikçi Raimund Gleixner aradaki mesafeyi ölçüyor.



BIYOLOJİ VE ELEKTRONİK: Pipetle bir besleyici çözeltide yetiştirilen hücreler chip'ler üzerine yerleştiriliyor, burada büyümeye devam ediyorlar ve elektronik ile sinyal alışverişinde bulunuyorlar.

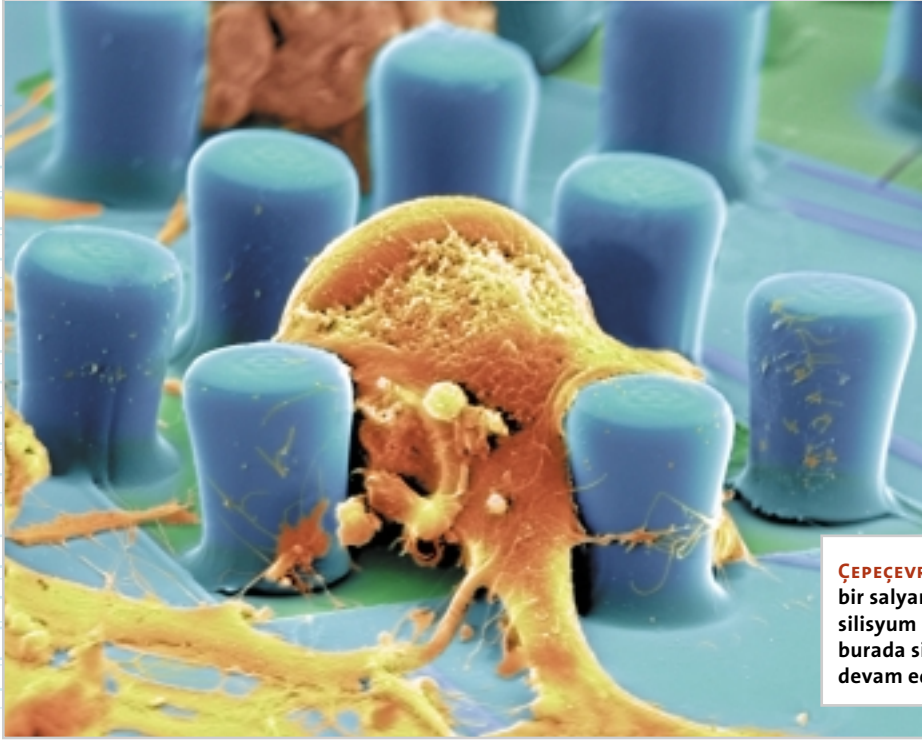
Her iki sistem de temelde birbiriyle uyumlu değil. Doğrudan bağlantıda elektronlar hücreye hasar verirken, iyonlar chip'in paslanmasına neden oluyorlar. Bu yüzden chip üzerindeki ince bir silisyumoksit tabakası doğrudan bağlantıyı engelliyor. Bilgiler doğrudan yük taşıyıcılarının değişimiyle iletilmiyor, bunun yerine her iki ortam arasındaki elektriksel bir alanda transfer gerçekleşiyor.

Nörochip'lerin yaşam süresinde de ayrıca çoğunlukla elektronik parça daha önce bozuluyor. Sinir hücreleri neredeyse istenildiği kadar uzun bir süre aktif olarak tutulabiliyor, ancak bunlar büyüdükçe çoğunlukla chip'lere hasar veriyorlar, tıpkı bir ağacın köklerinin günün birinde asfaltı

»» Sanırım araştırmalarımıza on yıl kadar erken başladık. ««

Profesör Dr. Peter Fromherz

delip çıkması gibi. Ancak sınır değerlerin ne olduğunu iyi bilen biri, bu arabirimi geliştirebilir. Bu yüzden chip ve hücre arasındaki mesafe ölçümünü geliştirmek ve elektriksel direnci mümkün olduğunca kesin olarak belirleyebilmek için yöntemler üzerinde yoğun bir şekilde çalışılıyor. “Yan etkileri ne kadar iyi belirleyebilir ve kontrol altında tutabilirsek, hücreler ve transistörler arasındaki sinyalleri de o kadar iyi iletebiliriz” diye açıklıyor MPI'daki fizikçi Raimund Gleixner. Kuşkusuz daha heyecan verici olan diğer araştırma doğrultusu: komplike mikrochip'lerin büyük hücre ağlarıyla bağlantılandırılması. Bir farenin beyninden alınan kesitler ilgili deneme çalışmalarının çekirdeğini



ÇEPEÇEVRE: Minicik plastik kazıklar bir salyangozun sinir hüresini silisyum chipine sabitliyorlar, burada sinir boğumları büyümeye devam ediyorlar.

oluşturuyorlar. Fromherz: “Memeli hayvanların beyinde tek bir hücre, salyangozlarda olduğu kadar büyük bir öneme sahip değil.” Bu yüzden tipik olarak tek tek hücrelerden gelen aksiyon potansiyelleri ölçülmüyor, bunun yerine birçok hücreden gönderilen sinyaller dikkate alınıyor.

Bilim adamları tek tek hücreleri tek tek transistörlere yerleştirmek yerine şimdi, bunlardan daha büyük olan provaları, yoğun transistör ızgaralardan oluşan mikrochip’lerle bağlıyorlar. Temasların olduğu yerde sinyaller hemen ölçülebiliyor. Fromherz ilk başarılı sonuçların haberini veriyor: “İlk aşamada bu şaşılacak derecede iyi gerçekleşiyor. Bunu daha önce yapmalıydık.” Membran ve nörofizik bölümü, bugüne kadar kullandığı chip’lerin büyük bir bölümünü kendisinin ürettiği tam hijyenik kendi özel üretim odasına sahip. Nörofizikçiler birkaç yıldan beridir Siemens’le

işbirliği yaptıkları için, Infineon şimdi CMOS teknolojisinde 15.000 kontaklı bir chip üretecek, bu chip sayesinde beyin hücreleri uyarılacak ve bunlardan alınan cevap sinyalleri yakalanabilecek. Böylece büyük ağlarda bir sinyal alışverişi bir mikrometrelik bir çözünürlükte bile gerçekleşebilecek. Cevabı belli olmayan soru ise bu sırada ortaya çıkacak devasa veri yığınlarının nasıl işlenebileceği. Günümüzün bilgisayarları, tıpkı araba sürebilmek gibi bu yükün altından kalkamazlar.

MF / Ufuk Yamankılıçoğlu, uyaman@chip.com.tr

Konuyla ilgili ayrıntılı bilgi için

www.biochem.mpg.de/mnphys/

www.nero.uni-bonn.de/projekte/ri/ri-index-en.htm

www.kevinwarwick.com/

BİR DÜŞÜNCENİN SAPLANTISINDA: PROFESÖR İLK “CYBORG” OLMAK İSTİYOR



Bir yandan birileri sabırla temeller konusunda kaplumbağa hızında araştırmalarına devam ederken, diğer yandan başka birileri de insan ve bilgisayarın nihayet içiçe bağlanmalarına kadar bekleyemiyorlar. İngiltere’deki Reading Üniversitesi’nden Profesör Kevin Warwick herhalde kaçık İngilizlerin en renkli simalarından biri. Dünyanın ilk Cyborg’u olmak saplantısındaki bu

profesör, bu yıl ikinci defa kendisine bir mikrochip implante ettirmiş. Cyborg ifadesi (cybernetic organism, sibernetik organizmadan türetilmiş) yarı insan, yarı makine, yapay bir varlığı tanımlıyor.

Oxford’daki bir klinikte, iki saat uzun süren bir operasyon sonucunda Warwick, el bileğine bir chip yerleştirtmiş. Bu chipin tam 100 tane bağlantı noktasının her birine alt koldan ince bir tel uzanıyor.

Dirseğin altından teller War-

wick’in derisinden çıkıyor ve bunlar bir vericiye bağlılar, bu sayede bilgisayarla iletişim sağlıyorlar. İlk denemede sadece alt koldan sinir sinyalleri bilgisayara gönderildiyse de, artık sinir sistemiyle bilgisayar arasındaki iletişim çift yönlü olarak gerçekleşebilmeli.

Bu da şu demek: Warwick’in eline beyininin değil, PC’nin gönderdiği sinyaller de geliyor. Bir bilim adamı olarak İngiliz Warwick tek başına: Meslektaşlarının gözünde ise o katıksız bir kaçık.