Weltweit sind fast hundert Millionen Menschen auf einen Rollstuhl angewiesen – und wegen der zunehmenden Überalterung der Bevölkerung werden es immer mehr. Doch Tüftler in aller Welt haben die Herausforderung angenommen und verkünden seit kurzem erste Erfolge: Gelähmte können wieder gehen.

Möglich wird diese „Heilung" durch das Zusammenspiel computergesteuerter Sensoren mit Motoren eines Exoskeletts. Dieser Roboter-Anzug greift Nervenimpulse, die das Gehirn an die Muskulatur sendet, ab und setzt sie so elegant in Bewegungen der Hightech-Rüstung um, als seien es die eigenen. Eine spezielle Steuerungseinheit – das Gyroskop – überwacht Balance und Ganggleichgewicht.

Jahrzehntelang kannte man so etwas nur aus Comics, in denen „schwache" Charaktere übermenschliche Gegner besiegten. Nun aber ist die Fiktion zur Realität herangereift. Mehrere Unternehmen bieten seit etwa 2010 medizinisch nutzbare Exoskelette an, darunter das im Bild gezeigte, besonders formschöne Modell von Prof. Sankai von der University of Tsukuba, Japan. Demovideos im Internet[1] zeigen zum Beispiel eine zierliche junge Dame, die dank künstlicher Kraft lächelnd eine zentnerschwere Kiste hochstemmt. In den USA finden sogar bereits Wettbewerbe zwischen Gewichthebern und Exoskelett-Trägern statt.

Es verwundert nicht, dass diese Technologie ihren Ursprung im Militärwesen hat: Das Pentagon gab vor über 50 Jahren bei der Firma General Electric den *Hardiman* in Auftrag, der Soldaten dazu befähigen sollte, Lasten von rund 100 kg nicht nur über einen längeren Zeitraum, sondern auch durch unwegsames Gelände zu tragen. Da der über eine halbe Tonne schwere Roboter allerdings zu unkontrollierbaren Gewaltausbrüchen neigte, wurde er nie mit einem Menschen in seinem Inneren getestet.

Dr. Oliver Erens

Mitglied der Redaktion

[1] www.newdisability.com/exoskeletonsuit.htm

Bild: Prof. Sankai University of Tsukuba/CYBERDYNE Inc

Künstliche Kraft

Neuroprothesen

Biblische Versprechungen

Taube hören, Blinde sehen, Lahme gehen – was in der Bibel noch als Wunder galt, rückt heute dank High-Tech-Medizin in den Bereich des Möglichen. Cochlea-Implantate für Gehörlose sind bereits im Routineeinsatz, künstliche Gehirne dagegen reine Fiktion.

Bild: © Anja Bach/Trillium & marksykes. Fotolia

Bereits 1791 stellte der italienische Arzt Luigi Galvani in seinem berühmten Froschschenkelversuch fest, dass sich Nerven elektrisch reizen lassen. Deshalb dient Strom seit über 100 Jahren nicht nur der Erleuchtung durch die Glühbirne, sondern auch zur Erhellung der bis dahin unbekannten „weißen Landkarte" vieler Hirnteile. Am bekanntesten wurde der englische Neurochirurg Wilder Penfield, der ab Mitte der 1930er-Jahre bei Operationen am offenen Schädel eine elektrische Stimulation der Großhirnrinde durchführte. Dabei hörten die Patienten nicht vorhandene Melodien oder sahen ein Reh im Operationssaal stehen.

Rasch kam die kühne Idee auf, verloren gegangene Funktionen des Gehirns durch elektrische Stimulation zu reaktivieren, und inzwischen sind wir mit Neuroprothesen auf dem besten Weg dorthin. Je nachdem ob eher fehlende Sinneswahrnehmungen oder Muskelfunktionen ersetzt werden sollen, unterscheidet man sensorische und motorische Prothesen.

Sensorische Neuroprothesen

Wenn dem Patienten „Hören und Sehen vergangen" ist, müssen äußere physikalische Reize exakt an die richtigen Hirnareale übertragen werden, damit die verarbeitenden Nervenzellen den Input verstehen. Durchgesetzt hat sich bereits das Cochlea-Implantat: Bei Taubheit infolge Zerstörung des Innenohrsystems wird der Schall mit einem Mikrofon aufgenommen und über Elektroden direkt auf den Hörnerv übertragen. Stark schwerhörige bis taube Patienten verstehen damit Sprache zum Teil sogar ohne Lippenlesekontrolle.

Krankheiten wie Neurofibromatose oder Meningitis können allerdings zum völligen Verlust der Hörnerven führen. Dann bringt ein herkömmliches Cochlea-Implantat keinen Erfolg; stattdessen müssen die elektrischen Impulse direkt an den ersten Hörkern (*nucleus cochlearis*) im Gehirn gesendet werden. Ein sogenanntes Hirnstam-Implantat (ABI, *Auditory Brainstem Implant*) enthält meist 22 Elektroden, die ankommende Geräusche an einen am Schädel angebrachten Minicomputer weiterleiten. Dieser sendet dann die Signale der 22 Frequenzbereiche per Antenne ins Gehirn.

Wegen des hohen operativen Risikos bekamen zunächst nur Hirntumor-Patienten, deren Schädel ohnehin eröffnet werden musste, solche „künstlichen Ohren". Inzwischen operieren erfahrene Neurochirurgen auch Meningitis-Patienten, bei denen die Hörnerven abgestorben sind. Der Sinneseindruck ist bislang allerdings weit von dem eines Gesunden entfernt.

Ähnlich hohen Aufwand verlangt auch die Wiederherstellung des Sehvermögens. Doch Patienten, die das Augenlicht beispielsweise durch eine erbliche Makuladegeneration verloren haben, können heute mithilfe von Netzhautimplantaten zumindest schemenhafte Umrisse erkennen. Man ersetzt die lädierten Rezeptoren der Netzhaut entweder durch Photodioden oder benutzt Videokameras, deren Signale in einem Computer verarbeitet und danach per Funk an einen Chip auf der defekten Netzhaut oder direkt in das Sehzentrum des Gehirns weitergeleitet werden. Dieses Verfahren steckt zwar noch in den Kinder-

Hirn fährt aus der Haut

Neuroprothesen sind technische Wunderwerke, aber eben doch nur „Menschenwerk". Könnte die Natur solche neuronalen Ersatzteile nicht viel vollkommener herstellen? In der Tat ist es bereits seit einigen Jahren möglich, Nervenzellen aus embryonalen oder gentechnisch induzierten Stammzellen zu erzeugen. Doch die einen sind ethisch umstritten, die anderen können Krebs auslösen.

Marius Wernig, der in Wien und München Medizin studierte, sucht an der Stanford University nach einem anderen Weg. 2010 schleuste er drei Steuergene (*Transkriptionsfaktoren*) für Nervenfunktionen in unreife Hautzellen von Mäusen ein und schaffte es damit – ohne den

schuhen, erlaubt aber immerhin eine Erkennung von Hell-Dunkel-Kontrasten zur visuellen Orientierung. Mit Methoden der Nanotechnologie, bei der Messfühler von der Größe einzelner Moleküle zum Einsatz kommen sollen, könnte diese Technik eines Tages auch höherauflösende Bilder liefern.

Motorische Neuroprothesen

Ein von der Problemstellung her völlig anders gelagertes Arbeitsfeld der Neuroprothetik ist die Wiederherstellung der Bewegungsfähigkeit körperlich behinderter Menschen. Forscher an der orthopädischen Universitätsklinik Heidelberg entwickelten eine Technik für Querschnittgelähmte, bei der ein Computer mithilfe von Elektroden in der motorischen Hirnrinde das beabsichtigte Bewegungsmuster der Patienten erkennt,

Umweg über Stammzellen – tatsächlich, den genetischen Schalter von „Haut" auf „Hirn" umzulegen. Die Forscher vermuten, dass beide Zelltypen so verwandt sind, dass man gar nicht den weiten Weg zurück bis zur Stammzelle gehen muss. Das Verfahren wurde inzwischen mit menschlichen Zellen optimiert (Nature 2011), aber ob sie auf diese Weise eines Tages kranke Hirnareale reparieren können, ist noch offen.

gh

verrechnet und an Elektroden in den entsprechenden Muskeln und ihren Gegenspielern weiterleitet. So entsteht in der Tat ein ausbalancierter, annähernd natürlicher Bewegungsablauf.

Inzwischen arbeitet man meist mit größeren Anordnungen (engl. *arrays*) implantierter Elektroden, um eine Feinsteuerung ganzer Neuronenpopulationen zu erreichen. Wie schon beim ABI erwähnt, ist eine Implantation direkt ins Gehirn riskant; deshalb werden die Arrays bevorzugt unter der Haut platziert, von wo sie die Gliedmaßen per Funksignal quasi fernsteuern.

Eine seit langem bekannte Technik, um gedankliche Impulse aus dem Gehirn auszulesen, ist das Elektroenzephalogramm (EEG). Man kann mithilfe von Elektroden auf der Kopfhaut ganz gezielt Hirnwellen aus denjenigen Bereichen erfassen, die die motorische Aktivität steuern. Dazu führte der inzwischen emeritierte Prof. Niels Birbaumer in Tübingen Studien an komplett gelähmten *Locked-in*-Patienten durch, die keinerlei Kontakt zur Außenwelt aufnehmen konnten. Das EEG-Verfahren verhalf den Unglücklichen, Buchstaben auf einem PC-Monitor anzusteuern, anzuklicken und rein über die Gedanken Sätze zu schreiben.

Gedankenlesen

Weil aber ein durch die Schädeldecke hindurch aufgenommenes EEG-Signal immer unscharf ist, implantierten Bioingenieure der Universität St. Louis zur Erfassung des Elektroenzephalogramms ein Netz von Elektroden direkt unter die Schädeldecke. So gelang die Ableitung der elektrischen Aktivität des Gehirns mit sehr viel exakterer räumlicher Auflösung. Inzwischen arbeitet man bereits daran, durch derart „telepathisches" Gedankenlesen elektrische Rollstühle zu steuern.

Was in den Forschungsberichten oft wie ein Wunder klingt, ist in Wirklichkeit meist Schwerarbeit für Arzt und Patient. Der Umgang mit Neuroprothesen musste bislang mühsam erlernt werden. Wissenschaftler vom Institut für Robotik des Deutschen Luftfahrtzentrums gingen daher den umgekehrten Weg – sie ließen die Elektronik lernen: Zwei Patienten bekamen eine 4x4 mm große Platine mit einem 96-Kanäle-Mikroelektrodenarray ins Gehirn implantiert und sollten daraufhin bestimmte Bewegungen intensiv denken. Nach Analyse der erfassten Ströme wurden diese dann tatsächlich derart umgesetzt, dass die Prothese genau die gedachten Bewegungen ausführte. Eine vom Hals abwärts gelähmte Frau lernte so relativ rasch, mit einem Roboterarm Schaumbälle aufzunehmen oder sogar eine Flasche zu ergreifen und mit einem Strohhalm daraus zu trinken.

Maschinenmenschen

Die Antwort auf die in den Medien immer wieder aufgeworfene, naive Frage, ob wir irgendwann das Gehirn durch einen Computer ersetzen können, lautet natürlich: Nein! Aber Tierversuche lassen erwarten, dass man mit Computerchips irgendwann Funktionsverluste umschriebener Hirnareale kompensieren kann. Forscher der Universität von Los Angeles entwickelten ein Modell für die Funktionsweise eines kleinen Bereichs im Hippocampus von Ratten. Nachdem sie operativ einen Teil der Nerven durch einen zwei Quadratmillimeter großen Mikroprozessor ersetzt hatten, übernahm die Elektronik deren Aufgabe relativ gut.

Mich erinnert dieser Versuch an die Vision vom „Cyborg" aus den 1960er-Jahren. Damals erdachten die Raumforscher M. Clynes und N. Kline ein Mischwesen aus Mensch und Maschinenteilen, um ein Überleben im Weltall zu ermöglichen. Wir wissen heute, dass dieses Problem anders gelöst werden muss. Aber dass Mensch und Maschine im Rahmen der Neuroprothetik immer mehr zusammenwachsen werden, daran besteht wohl kein Zweifel. Vorerst gilt aber weiterhin der biblische Spruch: „Der Blinde sei das Ohr für den Tauben, und der Taube das Auge für den Blinden. Gemeinsam tragen sie den Lahmen, und so gehen sie alle drei, wohin einer allein nicht kommen kann."

Prof. Dr. Erich Kasten, Mitglied der Redaktion