

Das bionische Ohr

INNENOHRPROTHESEN ERMÖGLICHEN GEHÖRLOSEN EINE NEUE HÖRWAHRNEHMUNG

Bei Patienten mit Taubheit liegt ein Ausfall der Hörsinneszellen, der so genannten Haarzellen vor. Deren Funktion, nämlich die Umwandlung von Schall in elektrische Nervenimpulse, kann durch ein so genanntes Cochlea-Implantat übernommen werden.

Ein Wissenschaftler vom Institut für Informationsverarbeitung und ein Wissenschaftler der Medizinischen Hochschule Hannover erklären, wie solche eine elektronische Reizprothese den noch intakten Hörnerv elektrisch stimulieren und somit Höreindrücke auslösen kann.

In Deutschland leben ungefähr zwölf Millionen Menschen mit einer behandlungsbedürftigen Schwerhörigkeit. Zehn Millionen davon leiden unter einer so genannten Innenohrschwerhörigkeit durch Schädigung und Ausfall der Hörsinneszellen. Diese sind für die Umwandlung von Schall in elektrische Nervenimpulse zuständig. Einmal geschädigte Zellen können nicht durch neue ersetzt werden, da die Fähigkeit zur Regeneration bei diesen hochspezialisierten Sinneszellen abhanden gekommen ist. Somit bleibt nur der funktionelle Ersatz durch technische Hörsysteme wie Hörgeräte oder bei praktischer Taubheit mit so genannten Cochlea-Implantaten. Darunter versteht man elektrische Reizprothesen, die die noch funktionstüchtigen Hörnervfasern elektrisch reizen und somit den natürlichen Hörvorgang der Hörsinneszellen imitieren. Die dadurch ausgelösten Höreindrücke können heute von der Mehrzahl der Patienten für das Sprachverstehen ohne Hilfsmittel genutzt werden. So wird es durch den immer besseren Nachbau des physiologischen Hörvorgangs heute der Mehrzahl der Patienten mit angeborener oder erworbener Taubheit möglich, Sprache ohne sonstige Hilfsmittel zu verstehen. Bei Kindern ist die Entwicklung eines normalen Sprachvermögens möglich. Dies eröffnet neue Wege in der

Rehabilitation und sozialen Integration der vormals als taubstumm Bezeichneten.

Das Cochlea-Implantat System

Cochlea-Implantate bestehen aus zwei Komponenten. Der extern getragene Sprachprozessor nimmt über ein Mikrofon den Schall auf und setzt ihn durch einen elektrischen Mikroprozessor in eine Abfolge elektrischer Impulse um, die den natürlichen Hörvorgang so genau wie möglich widerspiegeln. Die so erzeugten Impulse werden dann auf eine Radiofrequenz aufmoduliert und durch die Haut auf den implantierten Teil des Systems übertragen. Dies geschieht mit Hilfe von Antennen, die durch Magnete in exakter Position übereinander gehalten werden. Das übertragene Signal wird anschließend demoduliert und die einzelnen Impulse im internen Mikroprozessor gemäß Reizvorschrift auf die angekoppelten Elektrodenkontakte übertragen. Die Elektrodenkontakte sind auf einem so genannten Elektrodenarray angeordnet, das in die Hörschnecke eingeführt wird. Die Energieversorgung geschieht über eine externe Batterie. Der interne Teil wird induktiv mit Energie versorgt.

Zusätzlich weist das System eine Telemetrie auf, mit deren Hilfe verschiedene Parameter des Implantates sowie die durch den elektrischen Reiz ausgelösten Hörnervantworten über benachbarte Elektroden abgeleitet werden können. Diese Reizantworten können für die Funktionskontrolle des Hörnervs auch im Zeitverlauf sowie als eine automatisierte Anpassung des Gesamtsystems auf die Reizparameter des individuellen Hörnervs verwendet werden.

In der Hörschnecke sind die Hörnervfasern spiralförmig ausgebreitet, so dass über eine Strecke von mehr als zwanzig Millimeter die Hörnervfasern stimuliert werden können. Die Hörschnecke weist eine so genannte tonotope Organisation auf, wobei bei akustischem Hörvorgang hohe Frequenzen nahe der Schneckenbasis und tiefe Frequenzen nahe der Hörschnecken spitze abgebildet werden. Diese Aufspreizung in einzelne Frequenzbereiche imitiert das Cochlea-Implantat, indem die einzelnen Frequenzbänder bis zu 22 Reizelektroden zugeordnet werden. Der simple Vergleich mit der Anzahl von Hörnervenzellen in einem intakten Innenohr, das 6000 innere Haarzellen und ungefähr 20 000 äußere Haarzellen aufweist, macht deutlich, dass hier nur eine grobe Annäherung bei der Frequenztransformation erzielt werden kann.

Nachteilig macht sich dies vor allem bei tonalen Schallereignissen wie tonalen Fremdsprachen oder Musik bemerkbar. Eine weitere Steigerung der Elektrodenkontakte ist aufgrund der damit einhergehenden mechanischen Probleme bei der Einführung der Elektrode sowie des Überlapps der elektrischen Reizfelder zurzeit nicht sinnvoll. Im zeitlichen Bereich ist die Codierung hingegen sehr exakt. So können sehr gut auch kurzfristige Än-

Die Elektroden sind so konfiguriert, dass sie möglichst nahe an den Hörnerv herangeführt werden können.

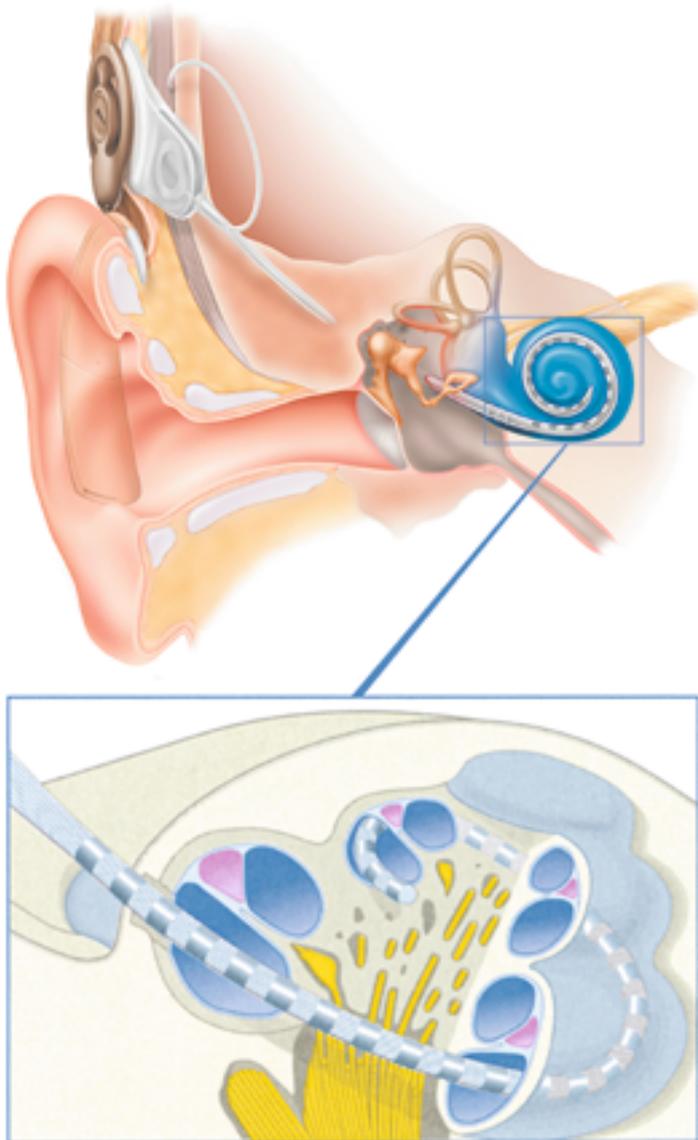
Sprachverarbeitungsstrategien beschreiben Algorithmen, nach denen das akustische Eingangssignal in eine Abfolge oder in eine zeitliche Sequenz elektrischer Impulse umgewandelt wird. Simultanstimulationen mehrerer Elektroden sind ebenfalls möglich. Aufgrund der begrenzten

etwa durch simultane Stimulation benachbarter Elektroden, mit variierenden Amplituden zu erhöhen (so genannte virtuelle Kanäle) oder aus dem Gesamtsignal die bedeutungstragenden Elemente der Gesamtinformation auszuwählen. Bei dieser Auswahl ist zum einen die spezielle Charakteristik von Sprachsignalen zu berücksichtigen, zum anderen können Wahrnehmungseigenschaften des Gehörs genutzt werden. Dabei kann man auf Wahrnehmungsmodelle zurückgreifen, die auch in Datenreduktionsverfahren wie mp3 eingesetzt werden. Besonders vorteilhaft für das Sprachverstehen ist dieser Einsatz, wenn dadurch anstelle der *lautesten* Signalanteile die für die Wahrnehmung *wichtigsten* Anteile ausgewählt werden.

Auswahl der Patienten

Grundsätzlich geeignet sind Patienten mit einer so genannten Innenohrtaubheit. Dies bedeutet, dass bei ausgefallenen Hörsinneszellen der Hörnerv und die zentrale Hörbahn intakt sind. Dies ist bei mehr als 35 Prozent der Betroffenen der Fall. Ist der Hörnerv nicht mehr funktionsfähig, kann ein Cochlea-Implantat nicht angewendet werden. In diesem Fall ist die Stimulation am nächsten Neuron der Hörbahn im Hirnstamm möglich. Das so genannte Hirnstammimplantat arbeitet nach ähnlichem Prinzip wie das Cochlea-Implantat. Dabei wird die Elektrode direkt auf den Hörnervenkern aufgesetzt.

Infrage kommen sowohl Patienten mit einer so genannten postlingualen Taubheit, die ihr Hörvermögen nach vollständigem Spracherwerb verlieren, als auch Kinder mit angeborener Taubheit. In diesem Fall ist eine möglichst frühe Versorgung mit einem Cochlea-Implantat entscheidend, um die Phase der Sprachentwicklung



derungen des akustischen Signals im Millisekundenbereich durch eine hohe Reizfolgerate auf der einzelnen Elektrode abgebildet werden.

Kanalübertragungskapazität an der Elektroden-Nervenschnittstelle zielen diese Strategien darauf ab, zum einen die Zahl verfügbarer Kanäle,

Abbildung
Cochlea-Implantat: Systemübersicht (oben); Cochlea-Implantat: Intracochleäre Elektrodenlage (unten)

Quelle: Hans-Georg Boenninghaus/Thomas Lenarz, »Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde«, 13. Auflage, Springer Heidelberg.



**Prof. Prof. h. c. Dr. med.
Thomas Lenarz**

Jahrgang 1956, leitet seit 1993 als Direktor die Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde der Medizinischen Hochschule Hannover. Er ist unter anderem Vorstand des Zentrums Hörforschung und seit 2010 Mitglied im Vorstand der Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische Technik. Kontakt: lenarz.thomas@mh-hannover.de



Dr.-Ing. Bernd Edler

Jahrgang 1959, arbeitet seit 1986 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Leibniz Universität Hannover, zuerst am Institut für Informationsverarbeitung und seit 1993 am Laboratorium für Informationstechnologie mit den Schwerpunkten Entwicklung neuartiger Audiocodierv Verfahren und Signalverarbeitung für Cochlea-Implantate. Kontakt: edler@tnt.uni-hannover.de

in den ersten Lebensjahren durch ein hinreichend wiederhergestelltes Hörvermögen zu bedienen.

Zur Voruntersuchung gehören neben der Feststellung des Hörvermögens einschließlich Restgehör die bildgebende Diagnostik mit Computertomographie und Kernspintomographie zur Darstellung der anatomischen Strukturen und eine Probereizung des Hörnerven über eine Nadel-elektrode, die auf dem Ohrknochen platziert wird. Fällt der Nadeltest positiv aus, ist von einer Funktionstüchtigkeit des Hörnerven auszugehen.

Operation

Das Implantat wird im Rahmen einer Operation in Vollnarkose eingepflanzt. Die Operation dauert ungefähr zwei Stunden. Über eine Öffnung der Hörschnecke wird die Elektrode in die so genannte *Scala tympani*, ein Gangsystem innerhalb der Hörschnecke,

in ganzer Länge eingeführt. Ziel ist es dabei heute, noch vorhandene Hörreste möglichst zu erhalten, um so gegebenenfalls eine kombinierte Stimulation (elektroakustische Stimulation) unter Verwendung eines zusätzlichen Hörgeräteanteils zu nutzen. Dies setzt spezielle Operationstechniken voraus. Intraoperativ können die Funktionstüchtigkeit des Implantates und die Hörnervenantworten mit Hilfe des eingebauten Telemetrie-systems registriert werden. Diese Daten liefern wichtige Informationen für die postoperative Anpassung.

Postoperative Anpassung und Hörtraining

Circa fünf Wochen nach Implantation wird das Cochlea-Implantat individuell eingestellt. Entscheidend sind dabei Hörschwelle und die Stromstärke, bei denen dieser Höreindruck entsteht. Bei Kindern werden die objektiven Antworten des Hörnervs mitverwendet. Ziel ist, eine möglichst vollständige Abbildung des akustischen Signals auf die verschiedenen Elektrodenkontakte zu erreichen. Mit zunehmender Hörerfahrung kann dann eine Verfeinerung der Anpassung unter Rückmeldung des Patienten vorgenommen werden.

Ergebnisse

Ungefähr 75 Prozent der postlingual ertaubten Patienten können mit Hilfe des Cochlea-Implantates ein offenes Sprachverstehen, das heißt ein Sprachverstehen ohne zusätzliche Hilfsmittel, erreichen. Kinder mit angeborener Taubheit können eine normale Sprachentwicklung erzielen, vorausgesetzt die Implantation erfolgt rechtzeitig und die sich anschließende Hörrehabilitation wird konsequent durchgeführt.

Circa 70 Prozent der versorgten Kinder können eine Regelschule besuchen. Ihnen stehen somit zahlreiche Berufe in der Kommunikationsgesellschaft offen.

Langzeitergebnisse und Komplikationen

Die Ausfallrate der Implantate beträgt ungefähr zwei Prozent über einen Zeitraum von mehr als zwanzig Jahren. Bei Kindern liegt diese Rate, bedingt durch Gewalteinwirkung auf den Schädel, etwas höher. Nach Einheilung des Implantates ist in der Regel keine Infektionsgefahr mehr gegeben.

Zukünftige Entwicklungen

Durch Neuentwicklung von atraumatischen Elektroden lässt sich bei einem Großteil der Patienten eine Erhaltung des Resthörvermögens erzielen. Bei den Patienten mit Resthörvermögen, die zur Implantation kommen, gewinnt dieses Vorgehen zunehmend an Bedeutung. Zum einen lässt sich damit eine elektroakustische Stimulation realisieren, bei der auf demselben Ohr elektrische und akustische Reize kombiniert werden, zum anderen können durch Erhalt der feinen Strukturen des Innenohrs zukünftige Entwicklungen Anwendung finden wie zum Beispiel die Regeneration der Hörsinneszellen durch Verwendung von körpereigenen Stammzellen. Weiterhin in Anwendung sind multimodale Elektroden-systeme, die zusätzlich zur elektrischen Stimulation auch eine mechanische Stimulation ermöglichen, um so die Restfunktion des Innenohrs optimal ausnutzen zu können. Die zusätzliche Gabe von Medikamenten hilft dabei, das Resthörvermögen zu erhalten und eine optimale Ankopplung der Elektrode an den Hörnerv zu erzielen.