

# Aktivierung des auditiven Cortex durch Gehörgangs-Elektrostimulation bei gehörlosen Erwachsenen – eine fMRI-Studie

K. Neumann<sup>1</sup>, P. Raab<sup>2</sup>, C. Preibisch<sup>2</sup>, H. Lanfermann<sup>2</sup>, I. Reimold<sup>3</sup>, J. Kiefer<sup>3</sup>

Klinik für Phoniatrie und Pädaudiologie<sup>1</sup>, Institut für Neuroradiologie<sup>2</sup>, HNO-Klinik<sup>3</sup>, J.W. Goethe-Universität Frankfurt/M

## Einleitung

Vor der Cochlear-Implantation schwerst hörgeschädigter Personen wird in der Regel eine Elektrostimulation am Promontorium (Promontorialtest, PT) oder im Gehörgang (electrical ear canal stimulation, ECS) durchgeführt, um die Integrität der Hörbahn zu prüfen. Bei Kindern wird häufig die nicht invasive ECS angewendet, da hier ein PT nicht möglich ist (Wagner et al., 1995). Beide Tests führen in den meisten Fällen zu auditiven Reaktionen, können aber auch nicht sicher auditive Effekte wie Vibrieren, Brummen, Schwirren bzw. somatosensorische Reaktionen wie Elektrisieren, Stechen oder Schmerz hervorrufen. Bislang war es nicht klar, ob derartige Reaktionen ebenfalls als Zeichen für eine funktionstüchtige Hörbahn gewertet werden dürfen. Insbesondere lassen die Reaktionen von Kindern auf ECS zwar aus Erfahrungen mit der konventionellen Kinderaudiometrie vermuten, dass diese meist auditiver Natur sind, aber sicher ist das nicht. Die funktionelle Magnetresonanztomographie (functional magnetic resonance imaging, fMRI) als nicht invasives funktionelles Bildgebungsverfahren des Hirns erlaubt die Detektion der Änderungen des regionalen cerebralen Blutflusses als Antwort auf die Stimulation durch eine sensorische, motorische oder kognitive Aufgabe in einer exzellenten räumlichen und zeitlichen Auflösung (Henning et al., 1995, Huckins et al., 1998). Unsere Studie demonstriert die Aktivierung des auditiven Cortex durch Gehörgangs-Elektrostimulation mittels fMRI bei erwachsenen CI-Kandidaten. Sie sollte die Frage beantworten, in welchen Fällen eine solche Aktivierung überhaupt nachweisbar war, und ob auch dann, wenn ECS nicht zu sicher auditiven Sensationen führte. Weiterhin sollten die exakten regionalen Aktivierungsmuster in Abhängigkeit von den Reizfrequenzen dargestellt werden und untersucht werden, ob es Hinweise für Tonotopie gab.

## Material und Methodik

Die Elektrostimulation wurde an 16 Ohren von 10 schwerst hörgeschädigten Erwachsenen (sechs weiblich, vier männlich) im Alter von bis 38 - 75 Jahren durchgeführt. Die Tonschwellenaudiometrie ergab ein Restgehör in 12 Ohren und eine Taubheit in drei Ohren. Ohrmikroskopie und Tympanometrie

waren normal. Die otoakustischen Emissionen waren negativ, passend zum cochleären Hörverlust. Die Stimulation erfolgte monaural über eine im Gehörgang positionierte Silberelektrode, deren trommelfellnah platzierte, kugelförmige Spitze mit Watte umwickelt war. Der Gehörgang war mit 0,9 % Sole gefüllt und mit einem Gummipfropfen verschlossen. Die Stimulation wurde mit dem EAM V02 FMRI, einer fMRI-adaptierten Version des kommerziellen EAM<sup>®</sup> (Med-EI) mit biphasischen Rechteck-Pulsen durchgeführt (Neumann et al, 2000, Hofmann et al., 1999) Die Reizfrequenzen lagen zwischen 63 Hz und 1000 Hz, die Stromstärke reichten bis zu 1,6 mA.

Das fMRI wurde in einem 1,5 T - Gerät mit Standard-Kopfspule mit Epi-Sequenzen (TE 66 msec, TR 4s, Matrix 64 x 64 oder 128 x 128, 230 mm FoV, 4 Schichten á 4 mm mit 0,5 mm Abstand, 88 bzw. 128 Messungen im Abstand von 5 sec) durchgeführt. Die funktionellen Aufnahmen wurden in einer schräg-axialen Ebene parallel zur Sylvischen Fissur aufgenommen. Anschließend wurden "anatomische", T1-gewichtete Gradientenecho-Scans in identischer Schichtführung aufgenommen. Die Datenanalyse erfolgte mit der Software Brain Voyager<sup>®</sup> (entwickelt von R. Göbel, Max-Planck-Institut für Hirnforschung, Frankfurt/M). Sie umfasste eine Daten-Vorverarbeitung, bestehend aus einer Bewegungskorrektur, einer zeitlichen und einer räumlichen Glättung, sowie eine statistische Analyse (Korrelationsanalyse). Für statistisch signifikant aktivierte Pixel wurde der Korrelationskoeffizient farbkodiert auf die anatomischen Aufnahmen der gleichen Schichten überlagert.

Sicherheitsaspekte: Generell wird in jedem elektrischen Leiter, der sich in einer MR-Spule befindet, während der Aufnahmen ein Strom induziert werden, der vom oszillierenden Radiofrequenz-elektromagnetischen Feld herrührt. Dadurch kann es zu einer Erhitzung der Elektroden und damit zu einer thermischen Schädigungen der Patienten kommen (Kanal, 1992, Lemieux et al., 1997). In unserer Studie sicherte während der MR-Aufnahmen eine spezielle fMRI-adaptierte Stimulationseinheit die Diskonnektierung der Elektrodenkabel vom Stimulations-Gerät (Teissl et al., 1998).

## Ergebnisse

Bei allen Personen (16 Ohren) konnten durch Gehörgangs-Elektrostimulation Hörreaktionen oder hörähnliche Sensationen ausgelöst werden, und zwar in 11 Ohren Hören und in 5 Ohren, Empfindungen, die nicht sicher auditiver Art waren. In den 7 Ohren, in denen zusätzlich ein PT ausgeführt worden war, konnte mittels dieses Tests nur in 3 Ohren Hören erreicht werden. Hingegen führte ECS in diesen 7 Personen in 5 Fällen zu sicheren Hörempfindungen und in den übrigen zwei Fällen zu hörähnlichen Sensationen.

Eine Aktivierung des auditiven Cortex konnte bei sieben der 10 untersuchten Personen beobachtet werden (9 Ohren). Die Aufnahmen von drei Personen konnten in der Auswertung nicht berücksichtigt werden. Bei zwei Personen wurde das Ergebnis durch starke Bewegungsartefakten gestört, bei einer dritten Person traten technische Probleme auf.

Die beobachteten Aktivierungen waren entweder bilateral oder kontralateral verteilt (Abb. 1)

Obwohl die einzelnen Aktivierungslokalisationen leicht variierten, lag die Aktivierung generell im Lobus temporalis superior mit einem Maximum im primären auditorischen Cortex.

In 5 der 9 in die Auswertung einbezogenen Ohren induzierte ECS lediglich Brummen, Summen oder andere hörähnliche Reaktionen. Dennoch wurden in allen Fällen Aktivierungen des auditorischen Cortex festgestellt. ECS der restlichen 4 Ohren führte zu Hören. Bei zwei Personen wurde eine ECS mit zwei bzw. drei Frequenzen durchgeführt. Jedoch wurde nur bei der tiefsten Frequenz (63 Hz) eine corticale Aktivierung gesehen. Daher konnte in unserer Studie keine Tonotopie beobachtet werden. Bei zwei Personen, (3 Ohren getestet), wurde eine bilaterale Aktivierung beobachtet, bei den übrigen 5 Personen (6 Ohren) war die Aktivierung hauptsächlich im kontralateralen Cortex zu beobachten. Die ECS während der fMRI führte zu keinerlei unangenehmen Nebeneffekten wie thermischen Sensationen oder Hautreaktionen. Artefakte durch die Stimulationselektrode traten nicht auf.

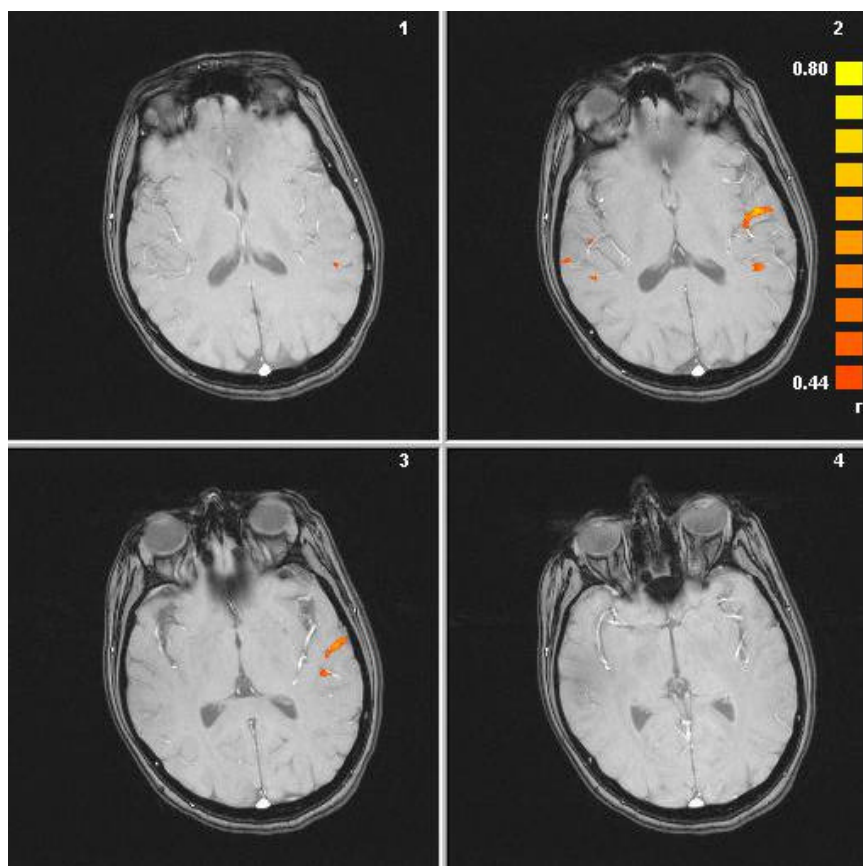


Abb. 1: ECS des rechten Ohrs: bilaterale Aktivierung im auditorischen Cortex, links überiegend. Die Farben kodieren den Korrelationskoeffizienten.

## Diskussion

Die beschriebenen Empfindungen, die nicht sicher als Hören bezeichnet wurden wie Vibrieren, Schwirren oder Brummen, waren vor allem dann zu beobachten, wenn der Hörverlust über einen längeren Zeitraum bestand oder nur ein geringfügiges oder gar kein Restgehör vorhanden war (Dillier und Spillmann, 1977). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit belegen, dass solche Sensationen ebenfalls mit einer funktionierenden Hörbahn einhergehen können und keine Kontraindikation für ein Cochlear Implant darstellen. Eine Pilotstudie an normalhörenden Probanden, die sich einer ECS unterzogen, zeigte Aktivierungen des auditorischen Cortex sogar, wenn die Stimulation nur Vibrieren, Schwirren oder Brummen hervorrief, insbesondere bei tiefen Frequenzen. Keine Aktivierung hingegen wurde detektiert, wenn nur elektrisierende oder stechende Sensationen auftraten (Neumann et al., 1999). Das passt zum Ergebnis unserer Studie. Die besseren Resultate bei tiefen Frequenzen zeigen das bessere Hörvermögen von hörrestigen oder gehörlosen Menschen bei diesen Frequenzen an. Wie in der Vorstudie an hörgesunden Probanden gezeigt, schien der Umstand, dass alle Personen Hören oder hörähnliche Empfindungen nach ECS berichteten, auf der Sicherung bester Messbedingungen zu basieren (Neumann et al., 1999). Dafür muss die Elektrode präzise trommelfellnah platziert werden und mittels der etwa 1 mm Watteumwicklung den direkten Kontakt zur Gehörgangshaut und zum Trommelfell vermeiden. Ist diese Schicht zu dick, tritt ein Isolationseffekt auf, ist sie zu dünn, werden mehr elektrisierende oder stechende Sensationen berichtet.

Der Gehörgang ist komplett mit Solelösung zu füllen. Eine Wartezeit von ca. 10-15 min verbessert die elektrische Leitfähigkeit. Obwohl verschiedene Autoren etwas bessere Resultate für den PT als für die ECS berichten, führten sie die ECS nicht unter den beschriebenen optimierten Bedingungen durch (Spies et al., 1993, Lesinski et al., 1997). Die Ergebnisse dieser Studie und der erwähnten Vorstudie weisen darauf hin, dass sich durch optimierte Messbedingungen möglicherweise der PT durch die ECS ersetzen lässt.

## Zusammenfassung

Die fMRI weist die Aktivierung des auditorischen Cortex während Gehörgangs-Elektrostimulation bei schwerst hörgestörten Menschen nach. Damit ist sie ein nicht invasives Mittel für die präoperative Auswahl von Cochlear Implant-Kandidaten. Eine Aktivierung des auditiven Cortex konnte auch beobachtet werden, wenn lediglich hörähnliche Sensationen berichtet wurden wie Vibrationen, Brummen oder Sirren, nicht aber

bei elektrisierenden oder stechenden Empfindungen. Unter optimierten Messbedingungen scheint es möglich zu sein, den Promontorialtest durch die Gehörgangs-Elektrostimulation zu ersetzen.

## Literatur

- Dillier N, Spillmann T (1977) Ergebnisse der elektrischen Stimulation bei Normalhörenden, Schwerhörigen und Gehörlosen. In: Kellerhals B, Fisch U, Mann J, Montandon P, de Reynier JP, Secrétan JP (Hrsg) Aktuelle Probleme der Otorhinolaryngologie 1. Hans Huber, Berlin/Stuttgart/Wien, S 166-176
- Henning J, Speck O, Lönneker Th, Janz C (1995): Grundlagen der funktionellen Magnetresonanztomographie. Radiologe 35, 221-227
- Hofmann E, Preibisch C, Knaus C, Müller J, Kremser C, Teissl C (1999) Noninvasive Direct Stimulation of the Cochlear Nerve for Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) of the Auditory Cortex. Am J Neuroradiol 20, 1970-1972
- Huckins SC, Tumer ChW, Doherty KA, Fonte MM, Szeverenyi NM (1998) Functional Magnetic Resonance Imaging Measures of Blood Flow Patterns in the Human Auditory Cortex in Response to Sound. J Speech Lang Hear Res 41, 538-548
- Kanal E: An overview of Electromagnetic Safety Considerations Associated with Magnetic Resonance Imaging (1992) Ann N Y Acad Sci 649, 204-224
- Lemieux L, Allen PhJ, Franconi F, Symms MR, Fish DR (1997) Recording EEG during fMRI Experiments: Patient Safety. MRM 38, 943-952
- Lesinski A, Littmann X, Battmer RD, Lenarz T (1997) Comparison of preoperative electrostimulation data using an ear-canal electrode and a promontory needle electrode. Am J Otol Suppl 6(18), 88-89
- Neumann K, Spreer J, Teissl C, Völlinger M, Kiefer J, Lanfermann H, Hamm J, Raab P, Gall V, Zanella F (2000) Aktivierung des auditiven Cortex durch Elektrostimulation im äußeren Gehörgang - dargestellt mittels funktioneller Magnetresonanztomographie. In: Gross M (Hrsg) Aktuelle phoniatriisch-pädaudiologische Aspekte 1999/2000 7. Median-Verlag von Kilisch-Horn GmbH, Heidelberg, S 353-359.
- Neumann K, Spreer J, Völlinger M, Hamm J, Gall V, Kiefer J, Zanella F (1999) Elektrostimulation der Hörbahn mittels Gehörgangselektroden in der funktionellen Magnetresonanztomographie. Z Audiol Suppl II, 65-66
- Spies TH, Snik AF, Mens LH, van den Broek P (1993) Ear canal electrodes versus promontory electrodes in preoperative electrical stimulation for cochlear implant selection. Advances Oto Rhino Lar 48, 108-113
- Teissl C, Kremser C, Hochmair E, Hochmair-Desoyer I (1998) Cochlear Implants: In Vitro Investigations of Electromagnetic Interference at MR Imaging – Compatibility and Safety Aspects. Radiology 208,700–708
- Wagner H, Gerhardt HJ, Stürzebecher E, Werbs M (1995) Preoperative assessment of function of the auditory nerve using electroaudiometry and a notched-noise auditory brainstem response technique. Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl 166, 198-201