

Messung der Rückwärts-Transfer-Funktion zur Bestimmung der Übertragungseigenschaften implantierbarer Hörsysteme

M. Winter, B. P. Weber, T. Lenarz

Hals-Nasen-Ohrenklinik, Medizinische Hochschule Hannover

Einleitung

Für Patienten, die mit konventionellen Hörgeräten nicht zufriedenstellend versorgt werden können, stellt seit über fünf Jahren das teilimplantierbare Hörsystem Symphonix Vibrant[®] Soundbridge eine Alternative dar. Der prinzipielle Vorteil besteht in einer qualitativ besseren Übertragung elektrisch aufbereiteter, akustischer Informationen durch direktmechanische Anregung der Ossikelkette. Seit 1997 wurden an der Medizinischen Hochschule in Hannover 39 Patienten erfolgreich implantiert (Lenarz et al. 1998). Die Übertragungseigenschaften weisen eine Langzeitstabilität auf, sind aber sowohl interindividuell als auch bei einigen Patienten intraspektral sehr unterschiedlich (Lenarz et al. 2001). Dies ist im Wesentlichen auf die Ankopplung des Floating Mass Transducers (FMT) im Mittelohr zurückzuführen.

Der Chirurg erhält intraoperativ keine Rückmeldung über die Qualität der Ankopplung an die Ossikelkette. Weiterhin ist es derzeit auch postoperativ nicht möglich, die Übertragungsleistung im gesamten audiologischen Frequenzbereich hochaufgelöst messtechnisch zu erfassen, um Abweichungen durch Anpassung der Signalverarbeitung auszugleichen.

In der vorliegenden Studie wird eine Möglichkeit zur Bestimmung der Übertragungseigenschaften implantierbarer Systeme vorgestellt und evaluiert. Dazu wird die Rückwärts-Transfer-Funktion (RTF) durch Messung des Schalldruckpegels im Gehörgang gewonnen und

mit der Auslenkung der Steigbügel-Fußplatte am humanen Felsenbeinpräparat

mit dem subjektiv ermittelten Hörgewinn der implantierten Patienten verglichen.

Material und Methode

Der FMT wird am langen Ambossschenkel befestigt und arbeitet mit einer intakten Ossikelkette. Die Energie wird daher nicht nur über das ovale Fenster zum Innenohr, sondern auch über den Hammer und das Trommelfell in den äußeren Gehörgang abgegeben und ist dort als Schalldruck mit einem Mikrofon messbar. Um die Aussagekraft und Zuverlässigkeit einer solchen Messung zu evaluieren wurde im ersten Teil dieser Studie an sechs humanen Felsenbeinpräparaten (bei +4°C für maximal 3 Tage gelagert) simultan die Bewegung der Fußplatte mit einem Laser-Doppler-System (Polytec HLV-1000) (Goode et al. 1996, Ball et al. 1997) und die RTF mit einem empfindlichen Mikrofon (Etymotic Research, ER-10B+) aufgenommen und die Korrelation (Pearson's Korrelationskoeffizient) berechnet. Die Ankopplung des FMT wurde unter Berücksichtigung der Implantationsanleitung bestmöglich durchgeführt und für jedes Präparat mehrfach wiederholt.

Die unter Umgehung des externen Audioprozessors direkte Ansteuerung des FMT (1 mA konstant) und die Aufnahme der Mikrofon-signale erfolgte mit einem Signalanalysator (Stanford Research System SR780) in einem Frequenzbereich von 100 Hz bis 10 kHz (Sinus-Sweep, 1000 Punkte).

Bei 31 (w: 14; m: 17) der in Hannover implantierten Patienten mit mittel- bis hochgradiger, symmetrischer Innenohrschwerhörigkeit wurde die Messung der RTF postoperativ unter Verwendung des gleichen Aufbaus durchgeführt (Abb. 1).

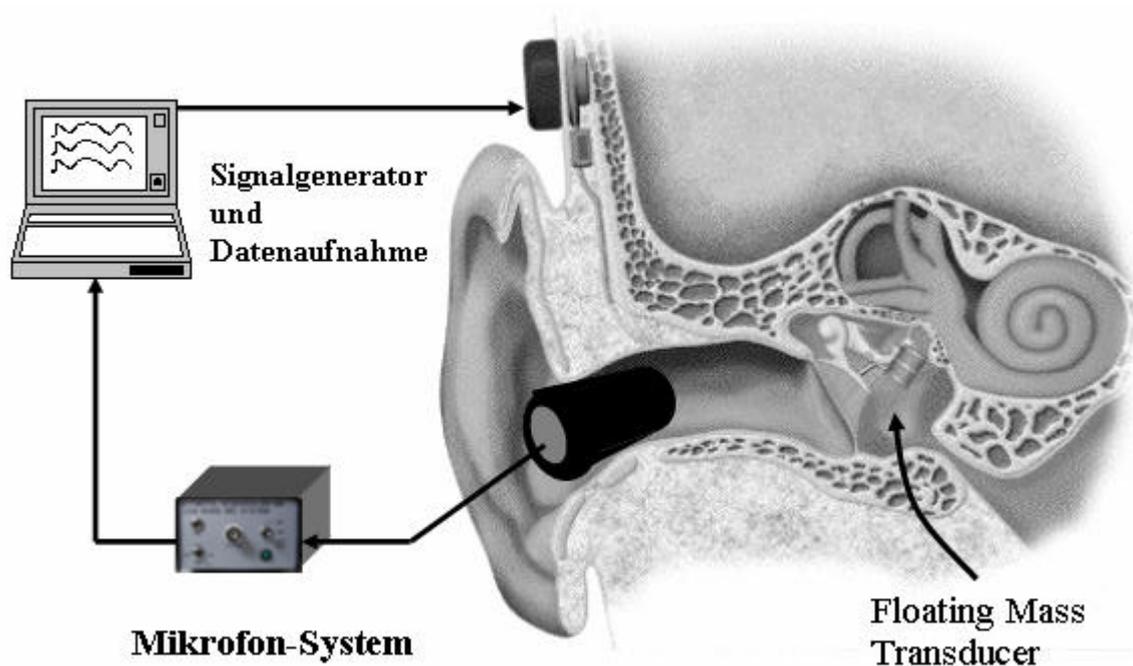


Abb. 1: Messaufbau zur Bestimmung der Rückwärts-Transfer-Funktion (RTF). Bei den Untersuchungen am Felsenbeinpräparat wurde simultan die Auslenkung der Steigbügel-Fußplatte mit einem LDV-System gemessen.

Die untersuchten Patienten (siehe Anhang) waren zum Zeitpunkt der Messungen im Mittel 51,2 Jahre alt (Min: 22 Jahre; Max: 77 Jahre, Median: 52 Jahre) und wurden nach einer ausreichenden Einheilphase von mindestens 12 Wochen postoperativ einbestellt.

Zur Bestimmung des Hörgewinns wurde die subjektive Hörschwelle ohne und mit Audioprozessor im Freifeld unter Verwendung der üblichen Prüffrequenzen von 125 Hz bis 8 kHz ermittelt. Dabei wurde ein für alle Patienten gleich programmierter Audioprozessor mit frequenzunabhängiger Verstärkung verwendet. Die Korrelation zwischen dem Hörgewinn und der RTF-Messung wurde anschließend berechnet.

Ergebnisse

Die Ankopplung des FMT war bei allen Felsenbeinpräparaten ohne Komplikationen möglich.

Individuelle Besonderheiten (Senken oder Überhöhungen) im Übertragungsverhalten des FMT konnten nicht nur durch die laseroptische Methode, sondern auch durch die Messung der RTF sehr genau detektiert werden. Die Korrelation zwischen der Auslenkung der Steigbügel-Fußplatte und der RTF ist für alle Messun-

gen (n=24) hoch signifikant ($r=0,7..0,94$, $p<0,01$). Im Mittel beträgt die Auslenkung in den Frequenzen des Hauptsprachbereiches (500 Hz bis 6 kHz) 11,26 nm und der Schalldruckpegel im Gehörgang 65,11 dB SPL (Maximalwerte bis ca. 90 dB SPL).

Wurde absichtlich die Ankopplung verschlechtert (z. B. Kontakt des FMT mit dem Trommelfell), ergab sich eine Übertragungskennlinie mit vielen, stark ausgeprägten Abweichungen und einer deutlich niedrigeren Auslenkung der Steigbügel-Fußplatte (0,2-0,5 nm). Die im Gehörgang gemessenen Schalldruckpegel waren durch den Kontakt mit dem Trommelfell erhöht (Mittel: 84-87 dB SPL; Max. bis 100 dB SPL). Die Korrelation ist in diesen Fällen nicht signifikant.

Die postoperativ bei den versorgten Patienten gewonnenen Daten zeigen eine hoch signifikante Korrelation ($r=0,86$, $p<0,01$) zwischen der RTF und den Ergebnissen der Freifeldaudiometrie (Abb. 2).

Abweichungen, die von den audiometrischen Prüffrequenzen nicht erfasst wurden, konnten von den Patienten nach direkter Anregung mit Sinussignalen subjektiv bestätigt werden.

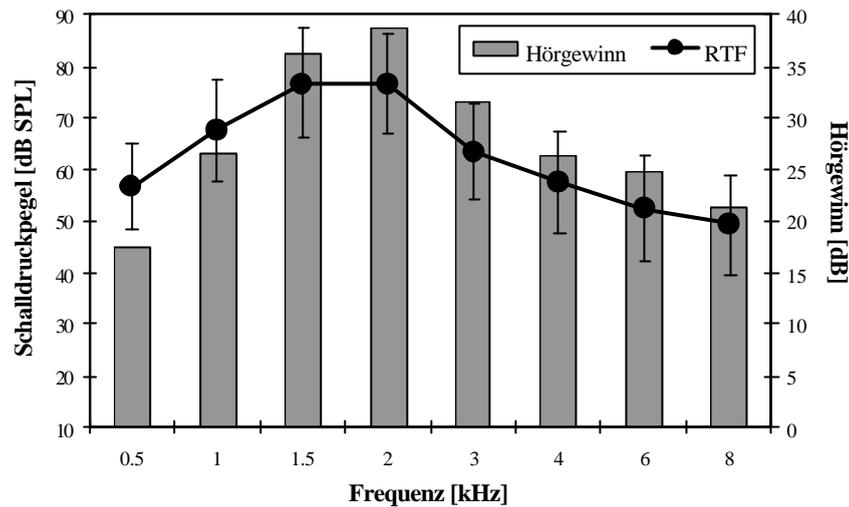


Abb. 2: Vergleich zwischen RTF (Schalldruckpegel im Gehörgang; Mittelwert und Standardabweichung) und Hörgewinn (Mittelwert) für $n=31$ Patienten. (Pearson's Korrelationskoeffizient: $r=0,86$, $p<0,01$)

Diskussion

Die Studie an den Felsenbeinpräparaten hat gezeigt, dass eine Bestimmung der Übertragungseigenschaften und damit der Ankopplungsgüte des Wandlers implantierbarer Hörsysteme durch Messung des Schalldruckpegels im Gehörgang als sogenannte Rückwärts-Transfer-Funktion bei regelhafter Anatomie zulässig ist. Bei bestmöglicher Ankopplung zeigt sich eine hoch signifikante Korrelation zwischen der mechanischen Energie zum Innenohr (Auslenkung der Steigbügel-Fußplatte) und der RTF. Wird absichtlich eine schlechte Ankopplung hergestellt so ergibt sich eine sehr inhomogene Übertragung, und die Auslenkung der Steigbügel-Fußplatte fällt deutlich geringer aus. Bei einem Kontakt des FMT mit dem Trommelfell ist in diesem Fall der Schalldruckpegel im Gehörgang allerdings deutlich höher. Daher sollte zunächst die Ankopplung des FMT visuell optimiert und anschließend mittels RTF die Übertragungsleistung bestimmt werden. Es ist weniger ein maximaler Schalldruckpegel bei einzelnen Frequenzen, als mehr ein gleichmäßiger Verlauf über den gesamten Frequenzbereich anzustreben. Durch Umpositionierung des FMT am Steigbügel und durch eine festere Verbindung mit dem Ambosschenkel können die Übertragungseigenschaften beeinflusst werden.

Postoperativ konnte eine hoch signifikante Korrelation zwischen der RTF und dem subjektiven Klangeindruck des Patienten nachgewiesen werden. Im Mittel entsprechen die Unterschiede im Hörgewinn einer äquivalenten Änderung des Schalldruckpegels im Gehörgang. Lagen bei individuellen Messungen Senken oder Überhöhungen der Übertragungsfunktion zwischen den audiometrischen Prüffrequenzen, so konnten diese mittels der RTF-Messung detektiert und von den Patienten subjektiv bestätigt werden. Nur die Kenntnis dieser Abweichungen erlaubt es dem Hörgeräte-

Akustiker, einen Ausgleich durch Anpassung der externen Signalverarbeitung herzustellen und für ein harmonisches Klangbild zu sorgen.

Zusammenfassung

Die Messung der RTF ist ein einfaches, schnelles und genaues Verfahren zur Bestimmung der Übertragungseigenschaften implantierbarer Hörsysteme. Damit ist dem Chirurgen intraoperativ die Möglichkeit zur Optimierung der Ankopplung des Wandlers an die Ossikelkette gegeben. Postoperativ stellt diese Methode für den Hörgeräte-Akustiker eine unverzichtbare Hilfe zur individuellen Anpassung des Audioprozessors dar.

Literatur

- Lenarz T, Weber BP, Mack KF, Battmer RD, Gnadeberg D (1998) Vibrant Soundbridge System: Ein neuartiges Hörimplantat für Innenohrschwerhörige; Teil 1: Funktionsweise und erste klinische Erfahrungen. *Laryngo-Rhino-Otologie* 5, 247-255
- Lenarz T, Weber BP, Issing PR, Gnadeberg D, Ambjørnsen K, Mack KF, Winter M (2001) Vibrant Soundbridge System: Ein neuartiges Hörimplantat für Innenohrschwerhörige; Teil 2: Audiologische Ergebnisse. *Laryngo-Rhino-Otologie* 7, 370-380
- Goode RL, Ball G, Nishihara S, Nakamura K (1996) Laser Doppler vibrometer (LDV)--a new clinical tool for the otologist. *Am J Otol* 6, 813-822
- Ball G, Huber A, Goode R (1997) Scanning laser Doppler vibrometry of the middle ear ossicles. *Ear Nose Throat J* 4, 213-218