

Laser Doppler Vibrometrie am runden Fenster von Thiel-Präparaten mit normaler und veränderter Ossikelkette bei Knochenleitungsstimulation

Andreas Arnold^{1,2}, Christof Stieger^{2,3}, Marco Caversaccio^{1,2}, Martin Kompis^{1,2}, Jérémie Guignard²

¹ Universitätsklinik für HNO, Inselspital Bern, Schweiz; ² ARTORG Center, Universität Bern, Schweiz; ³ Universitätsklinik für HNO, Universitätsspital Basel, Schweiz

1. Einleitung

Die Fixierung des Stapes beispielsweise durch einen Otoskleroseherd führt neben der Schalleitungsstörung zu einer cochleären Funktionseinbusse mit Abfall der Knochenleitungs (KL)-Hörschwelle bei ca. 2 kHz (Carhartsenke) [2]. Die Literatur liefert Hinweise auf eine rein mechanische Komponente dieser KL-Verschlechterung. So ist bekannt, dass Mittelohrchirurgie, insbesondere die Fenestrierung der Cochlea (z.B. Stapedotomie) die KL-Schwelle von Patienten mit symptomatischer Otosklerose verbessert [1]. Jedoch kommt es hierbei in den Frequenzen über 3kHz auch zu einer Verschlechterung der KL-Schwelle, was durch einen Haarzellschaden nach chirurgischer Manipulation oder durch einen mechanischen Effekt bei tieferer Impedanz am ovalen Fenster erklärt werden könnte.

Der Mechanismus der Beeinflussung der intracochleären Mikromechanik und damit des KL-Hörens durch Stapesfixierung/Stapedotomie ist noch nicht geklärt. Ziel unserer Studie ist es, durch laserdopplervibrometrische Messungen am runden Fenster bei verschiedenen Zuständen der Ossikelkette während KL-Stimulation auf intracochleäre mikromechanische Vorgänge rückzuschliessen.

2. Material und Methoden

Die Studie wurde an 5 Ohren von 4 anatomischen Thiel-fixierten Ganzkopfpräparaten durchgeführt [3, 6]. Die KL-Stimulation erfolgte durch ein hinter dem Ohr implantiertes Baha Intenso® (Cochlear, Sidney, Australien; Abb. 1A). Der analoge Signalgenerator eines Audioanalyzers (R&S UPV, Rohde & Schwarz, Germany) stimulierte das Baha mit einer Sequenz von 37 Sinustönen zwischen 100Hz und 10kHz bei -20, -30 und -40 dBV_{rms} Intensität. Mit einem an das Operationsmikroskop gekoppelten single-point Laser Doppler Vibrometer (LDV; HLV1000, Polytec, Waldbronn, Deutschland) wurden die Bewegungen von cochleärem Promontorium (CP) und der Membran des runden Fensters (RF) erfasst. Zur Signaloptimierung wurden kleine Reflektoren auf den Messpunkten befestigt (Abb. 1B; 1C). Das LDV-Signal wurde mit dem Audioanalyzer aufgezeichnet und verarbeitet.

Die Bewegungen von CP und RF wurden bei normaler (Abb. 1B), mit Ketac (3M ESPE, Seefeld, Deutschland) zementfixierter (Abb. 1C; 2A), sowie fenestrierter (Abb. 2B) Stapesfussplatte gemessen. Mit Prism 5 (GraphPad Software, La Jolla, CA, USA) wurde Mittelwert und Standardabweichung (SD) der Geschwindigkeitsverhältnisse in dB berechnet und dargestellt. Eine signifikante Abweichung von 0 wurde bei $p < 0.05$ im Student t-Test angenommen.

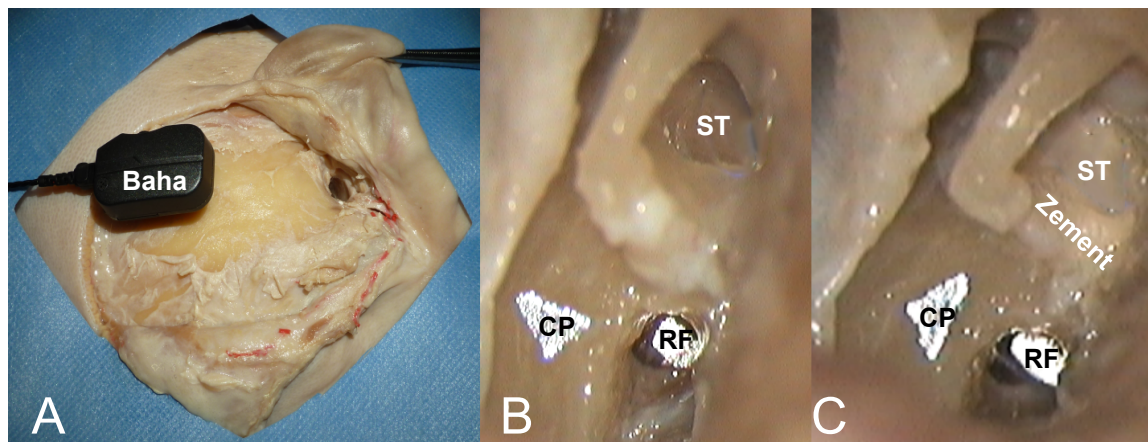


Abbildung 1

Für die Laser Doppler Vibrometrie vorbereitetes Thiel Ganzkopfpräparat:

A. Implantiertes Baha auf 4mm Braenemarkschraube

B. Transkanaläre Ansicht des Mittelohrs mit normaler Ossikelkette

C. Transkanaläre Ansicht des Mittelohrs mit zementfixiertem Stapes (ST)

Messpunkte (Reflektoren): CP=cochleäres Promontorium, RF=rundes Fenster

Abbildung 2

Experimentelle

Modifikation der

Ossikelkette:

A. Zementfixierung

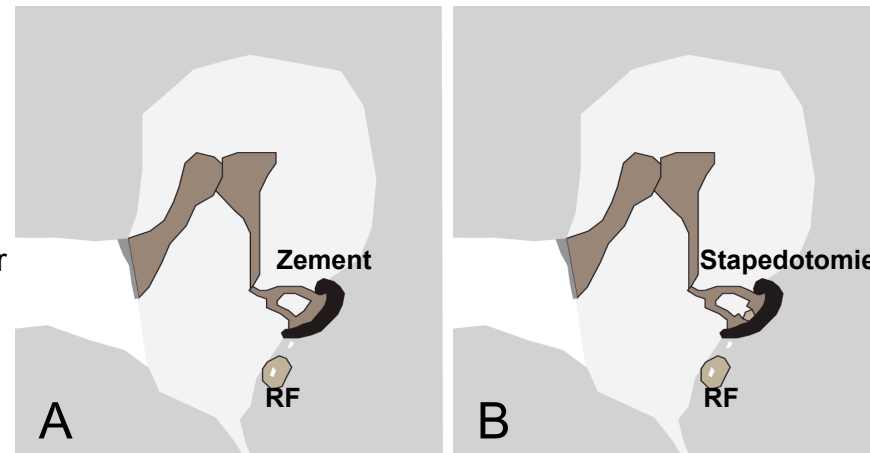
des Stapes

B. Fenestrierung der

zementierten

Stapesfussplatte

(Stapedotomie)



3. Ergebnisse

3.1 Stapesfixierung

Die Stapesfixierung mit Zement bewirkte im Vergleich zur mobilen Schalleitungskette eine signifikant tiefere mittlere RF Auslenkung in den Frequenzen um 750Hz (-4 dB) und eine erhöhte mittlere RF Auslenkung in den meisten Frequenzen über 1 kHz mit einem signifikanten Maximum bei 4 kHz (+3.7 dB). (Abb. 3)

Abbildung 3

Effekt eines

zementfixierten

Stapes auf die RF

Bewegung.

Mittelwert: durch-

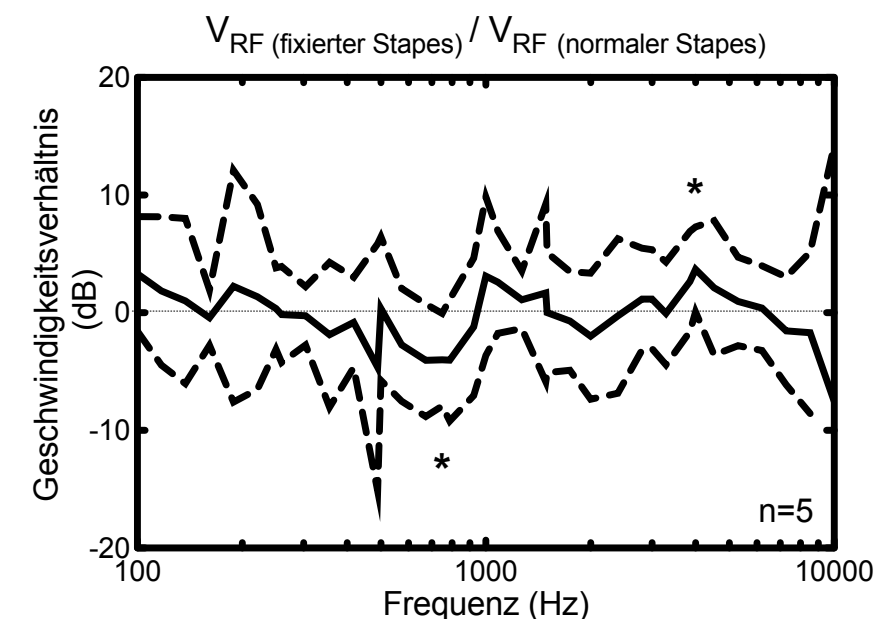
gezogene Linie; SD:

gestrichelte Linie;

*: signifikant von 0

abweichende

Frequenzen.



3.2 Fenestrierung

Eine Fenestrierung der zementfixierten Stapesfussplatte durch eine Stapedotomie ergab eine signifikante Erhöhung der mittleren RF Auslenkung bei circa 900 Hz (+5 dB) und eine signifikante Verminderung der mittleren RF Auslenkung zwischen 3 und 4 kHz (-5 dB). (Abb. 4)

Abbildung 4

Effekt einer

Fenestrierung des

zementfixierten

Stapes auf die RF

Bewegung.

Mittelwert: durch-

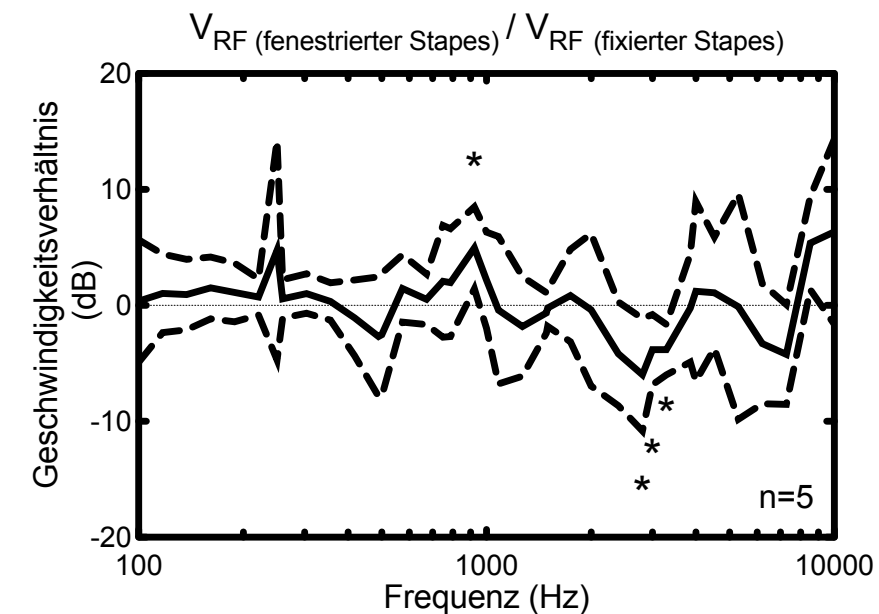
gezogene Linie; SD:

gestrichelte Linie;

*: signifikant von 0

abweichende

Frequenzen.



In den anderen Frequenzen war der Mittelwert für beide Vergleiche nahe oder nicht signifikant unterschiedlich von 0 dB.

4. Diskussion

Stapesfixierung und nachfolgende Fenestrierung in 5 Ohren bewirkten in weiten Frequenzbereichen keine signifikante Veränderung der mittleren RF Auslenkung.

Trotzdem zeigte sich nach Stapesfixierung eine signifikante Minderung der RF Auslenkung bei 750Hz (-4 dB; Fig. 3), was als simulierte Carhartsenke interpretiert werden könnte. Gemäss Literatur bewegen sich Ossikelkette und knöcherne Cochlea bei tiefen Frequenzen in Phase und mit ähnlicher Amplitude ("whole body movement") [3, 4]. Deshalb wird das Knochenleitungshören bis ca. 3 kHz durch die Trägheit der Innenohrflüssigkeit dominiert. Ein fixierter Stapes mit erhöhter Impedanz am ovalen Fenster reduziert somit die Bewegung der Innenohrflüssigkeit und des RF, und somit das Knochenleitungshören. Zudem konnten wir eine erhöhte mittlere RF Auslenkung bei Frequenzen > 1 kHz zeigen. Dies weist auf einen messbaren Effekt der in den höheren Frequenzen dominanten Cochleawandkompression für die KL hin [5]: die drastisch erhöhte Impedanz am ovalen Fenster durch die Stapesfixierung zwingt die Innenohrflüssigkeit somit in Richtung RF und erhöht dessen Auslenkung.

Diese Effekte können durch Fenestrierung der fixierten Stapesfussplatte zum Teil umgekehrt werden, was der in der klinischen Literatur beschriebenen Anhebung der Carhartsenke entspricht [1, 2] und durch unsere Laborresultate Bestätigung erfährt (Fig. 4). So könnte auch der weniger ausgeprägte Erfolg der Stapesplastik in den höheren Frequenzen erklärt werden: die verminderte Impedanz am ovalen Fenster drängt die Innenohrflüssigkeit zu beiden cochleären Fenstern, anstatt einen Druckgradienten an der Basilarmembran zu erzeugen.

5. Schlussfolgerung

Als Konsequenz ergibt sich, ganz unabhängig von sensorineuralen Faktoren, dass aufgrund der intracochleären Mikromechanik eine Fenestrierung bei Stapesfixierung einen positiven Effekt auf die KL in den tieferen Frequenzen hat, jedoch einen negativen Effekt in den höheren Frequenzen.

Referenzen:

1. Arnold A, Fawzy T, Steinhoff HJ, Kiefer J, Arnold W. Influence of a totally open oval window on bone conduction in otosclerosis. *Audiol Neurotol*. 2011;16(1): 23-8.
2. Carhart R, Hayes C (1949) Clinical reliability of bone conduction audiometry. *Laryngoscope* 59:1084-1101.
3. Guignard J, Stieger C, Kompis M, Caversaccio M, Arnold A (2013) Bone conduction in Thiel-embalmed cadaver heads. *Hear Res* 306:115-122.
4. Stenfelt S, Goode RL (2005) Transmission properties of bone conducted sound: Measurements in cadaver heads. *J Acoust Soc Am* 118:2373-2391
5. Stenfelt S, Goode RL (2005) Bone-conducted sound: physiological and clinical aspects. *Otol Neurotol* 26: 1245-1261.
6. Thiel W (1992) [The preservation of the whole corpse with natural color]. *Ann Anat* 174:185-195.