

Audiologische Ergebnisse mit Cochleaimplantat bei einseitiger Taubheit

Hören und die akustisch vermittelte Kommunikation ist eine besonders relevante Fähigkeit und für eine gute Lebensqualität maßgeblich. Hierzu hat die Entwicklung des binauralen Hörens wesentlich beigetragen. Einseitige Taubheit hat einen erheblichen Einfluss auf das Hörverstehen. Der Verlust der akustischen Ortung macht es schwer, wichtige Geräusche von unwichtigen zu trennen. So kann man im Straßenverkehr nicht mehr hören, welches der Motorengeräusche zu beachten ist und welches keine Aufmerksamkeit benötigt. Menschen mit einseitigem Hörvermögen leiden zudem unter einer schnellen Hörschöpfung. Damit ist gemeint, dass das Hörverstehen, insbesondere in lauter Umgebung, nicht über einen längeren Zeitraum möglich ist. Man kennt dieses Phänomen, wenn man versucht in einem Lokal einem Gespräch in einer Fremdsprache zu folgen.

Daher ist nachvollziehbar, dass einseitig Hörende hier medizinische Hilfe suchen. Neben den sozialen Problemen von Schwerhörigkeit kommen oft auch berufliche Erfordernisse hinzu. So tut sich ein Kompaniefeldweibel schwer, den Appell vor seiner Kompanie durchzuführen, wenn er die akustischen Antworten den Personen räumlich nicht zuordnen kann.

Bisher erfolgte die Versorgung einseitig tauber Personen mittels CROS-Hörgeräten („contralateral routing of signal“) oder der BAHA-CROS-Technik („bone anchored hearing aid“; [9, 10]). Ungleich erfolgreicher kann ein ertaubtes Ohr mittels Cochleaimplantat (CI) behandelt werden, da dies die verlorene Funktion wie-

derherstellen kann. Patienten mit einer beidseitigen Ertaubung werden mittlerweile bilateral mit einem CI versorgt. Selbst unterschiedliche CI-Systeme auf beiden Ohren oder die Kombination CI mit Hörgerät auf der Gegenseite stellen erfolgreiche Therapiekonzepte dar. Basierend auf diese Erfahrungen ist die Versorgung eines einseitig ertaubten Patienten mit einem CI das nächste, logische Behandlungskonzept [2, 22].

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den Nutzen der CI-Versorgung für Patienten mit einseitiger Taubheit zu evaluieren.

Studiendesign und Untersuchungsmethoden

Seit 2005 haben wir in unserer Klinik 13 einseitig ertaubte/hörrestige Patienten (9 Männer und 4 Frauen) mit einem CI versorgt (■ **Tab. 1**). Auf der ertaubten Seite war die Hörfähigkeit schlechter als 80 dB für alle getesteten Frequenzen. Die normal hörende Seite war für alle getesteten Frequenzen bei keinem Patienten schlechter als 30 dB.

Das Alter betrug im Durchschnitt 42,5 Jahre (Spanne: 25–63). Die mittlere Dauer der Ertaubung betrug 65 Monate (Spanne: 6 Monate bis 27 Jahre). Die Ursachen der Ertaubung waren vielfältig (Hörsturz, n=4; Explosionsverletzung, n=2; progrediente Hörstörung, n=2; M. Menière, n=1; Felsenbeinfraktur, n=1; Otosklerose, n=1; möglicherweise kongenital, n=1).

Verwendet wurden gängige Cochleaimplantate (Med-El, Pulsar CI 100, n=5, Med-El, Sonata TI 100 Flex, n=6, und

Cochlear, Contour Advanced, n=2), gemäß dem Wunsch der Patienten. Grundsätzlich wurde die Standardlänge verwendet.

Alle, bis auf eine junge Patientin, hatten früher ein normales Hörvermögen auf der erkrankten Seite. Der Versorgungswunsch kam von den Betroffenen selbst, alle berichteten von konkreten sozialen oder beruflichen Schwierigkeiten durch das einseitige Hörvermögen. Sieben Betroffene sind Soldaten und waren bis zur Versorgung nur eingeschränkt verwendungsfähig. Die meisten (11/13) Patienten empfanden einen Tinnitus, der für keinen eine starke Belastung darstellte. Eine Verbesserung des Tinnitus war für 8 Patienten ein zusätzliches Behandlungsziel, jedoch nicht das vordringliche.

Einstellung, Programmierung und Audiotherapie orientierten sich an den bisherigen Versorgungsrichtlinien. Bei der Programmierung wurde frequenzspezifisch auf einen guten Lautheitsausgleich zwischen dem normalhörenden Ohr und dem Ohr mit Implantat geachtet. Das Sprachverstehen wurde mittels MP3- oder CD-Player via Audioeingang trainiert [11, 13]. Die Ergebnisse der Hörleistungen wurden frühestens 6 Monate nach der Erstanpassung ausgewertet (Spanne: 6 Monate bis 4 Jahre).

Subjektive Einschätzung

Die Patienten gaben ihre subjektive Einschätzung des Hörvermögens nach der CI-Versorgung mittels visueller Analogskala (VAS) wieder. Hierbei gab der Wert 1

Tab. 1 Patientendaten

Patienten-Nr.	Ursache	Einsetzen der Taubheit	Op.	Dauer der Taubheit (Monate)	CI-System	Alter bei Implantation (Jahre)	Geschlecht	Tinnitus
1	Hörsturz	Dez. 2004	Okt. 2005	11	Med-El, Pulsar CI 100,	49	m.	Ja
2	Akustisches Trauma	Dez. 2002	Sep. 2006	45	Med-El, Pulsar CI 100,	51	m.	Ja
3	M. Menière	1997	Nov. 2006	108	Cochlear, CI 512 Contour Advance	63	w.	Ja
4	Borreliose	Feb. 2004	Nov. 2006	33	Med-El, Pulsar CI 100,	57	m.	Kaum
5	Otosklerose	1999	Jan. 2007	96	Med-El, Pulsar CI 100,	48	m.	Ja
6	Progredient	2003	Jul. 2007	48	Med-El, Pulsar CI 100,	26	m.	Kaum
7	Felsenbeinfraktur	Feb. 2007	Jan. 2008	11	Med-El, Sonata TI 100 FI	26	m.	Ja
8	Hörsturz	Jul. 2007	Jan. 2008	6	Med-El, Sonata TI 100 FI	54	m.	Kaum
9	Progredient	1996	Okt. 2008	144	Med-El, Sonata TI 100 FI	56	m.	Nein
10	Hörsturz	Jul. 2008	Mrz. 2009	8	Med-El, Sonata TI 100 FI	45	w.	Ja
11	Möglicherweise kongenital	Geburt?	Aug. 2008	324	Cochlear, CI 512 Contour Advance	27	w.	Nein
12	Hörsturz	Dez. 2008	Mrz. 2009	4	Med-El, Sonata TI 100 FI	25	m.	Ja
14	Trauma, Explosion 2005	Mrz. 2009	Sep. 2009	6	Med-El, Sonata TI 100 FI	36	m.	Ja

Durchschnittlich waren die Betroffenen 65 Monate ertaubt (6–324 Monate) und 43 Jahre (25–63 Jahre) alt. Die Ursache der Ertaubung war unterschiedlich, geführt vom Hörsturz oder einer progredienten Ertaubung unklarer Genese. In Fall 11 könnte eine kongenitale Taubheit vorliegen, da die Hörstörung bereits im 2. Lebensjahr festgestellt wurde.

Tab. 2 Subjektive Angaben der Patienten zur Hörqualität nach der CI-Versorgung

n=13	CI	CROS-BAHA	CROS	Richtungshören
Mittelwert	7,5	3,5	2,2	8,3
Minimum	5	1	1	6
Maximum	9	6	4	10

Mit einer visuellen Analogskala (VAS) wurde die Hörqualität der CI-Versorgung sowie der getesteten CROS- und CROS-BAHA-Hörgeräte (Kopfband) angegeben; die Qualität des Richtungshörens wurde extra abgefragt. 1 Einseitig taube Situation; 10 normal hörend wie früher, CROS, „contralateral routing of signal“; BAHA, „bone anchored hearing aid“.

die einseitig taube Situation wieder, der Wert 10 das normale Hören, wie die Patienten es von früher kannten. Der Tinnitus wurde nicht durch einen Vorher-nachher-Score erfasst.

Hörprüfungen

Tonaudiometrische Untersuchungen (Otometrics) wurden regelmäßig durchgeführt. Das normalhörende Ohr wurde durch Gehörschutz und Kopfhören mit 80 dB weißem Rauschen vertäubt. Umfangreiche Sprachtests und Tests des Richtungshörens wurden bei 4 Patienten durchgeführt.

Sprachtests

Der Freiburger Einsilbertest und der Hochmair-Schulz-Moser-(HSM-)Test (60 dB) wurde in ruhiger Umgebung oder mit Rauschen (15 dB SNR, 5 dB SNR und 0 dB SNR) durchgeführt. Je-

der Test wurde mit CI (binaurales Hören) oder ohne CI getestet (monaurales Hören; [12]).

Bei dem Oldenburger Satztest (OLSa) werden Sätze zufällig aus 5 Wörtern generiert. Diese werden mit einem Rauschen von 60 dB in abfallenden Lautstärken angeboten (gemäß dem Oldenburger Manual). Die Lautstärke, bei der 50% der Sätze korrekt im Hintergrundlärm erkannt werden (Sprachverständlichkeitsschwelle, SVS), wird als Abstand zur Lautstärke des Rauschens angegeben (in dB S/N, „signal/noise“).

Der OLSa wurde zur Bestimmung der Spracherkennungsschwelle (SRT, „speech recognition threshold“: 50% Spracherkennung in dB) etwas modifiziert angewendet. Die Sätze wurden über Lautsprecher (Sprache und testeigenes Rauschen) vorgespielt, die in unterschiedliche Positionen zum Patienten gebracht wurden. Hieraus entstanden verschiedene Untersuchungsbedingungen.

So konnte das weiße Rauschen von vorn mit der Sprache von vorn (beide Ohren gleich); Sprache auf der normal hörenden Seite oder der CI-Seite präsentiert werden.

Richtungshören

Das Richtungshören wurde in einem schallabsorbierenden Raum (40m²) durchgeführt. Die Untersuchungen wurden mit 11 Lautsprechern, die halbkreisförmig in Höhe des Probandenkopfes angebracht sind, durchgeführt (Westra-Audiometerlautsprecher). Der Winkel zwischen den Lautsprechern betrug 18°. Die Bedienung erfolgte von außerhalb des Raumes. Die Untersuchungen konnten mit Video überwacht werden.

Als Stimulus wurde ein sprachähnliches Geräusch (Standard-CCITT: 1 s Dauer mit 100-ms-Flanken) oder weißes Rauschen von 1 s Dauer verwendet. Die Stimuli wurden zufällig mit 60 dB, 70 dB, oder 80 dB SPL Lautstärke und zufälliger Richtung angeboten. Die AGC-Schwelle („automatic gain control“) des CI war sicher überschritten. Insgesamt wurden 165 Stimuli präsentiert. (5 Durchgänge, hierbei jeder Lautsprecher mit den 3 Lautstärken). Der Kopf wurde durch eine Kopfstütze fixiert. Die Probanden mussten die Richtung benennen, in der sie die Geräuschquelle vermuteten [4].

Dieser Test wurde monaural (ohne CI) und in der binauralen Situation (mit CI) durchgeführt.

Auswertung

Die Genauigkeit des Richtungshörens wurde durch Berechnung des Winkelfehlers „d“ angegeben (Grad der Abweichung von tatsächlicher und vermuteter Stimuluspräsentation). Je kleiner „d“, desto besser ist das Richtungshören. Normalhörende erreichen hier einen Fehlerwinkel von 2°, wenn die Geräusche von vorn kommen, und einen Fehlerwinkel bis 5°, wenn die Geräusche von der Seite oder hinten kommen [14].

Das binaurale Richtungshören wird durch die interaurale Lautheitsdifferenz (ILD), die interaurale Laufzeitdifferenz oder durch die Klangunterschiede vermittelt. Durch einen besonderen Kopfhörer, der in der Lage ist, das CI abzudecken, wurde die Lautheitsdifferenz (± 20 dB) und die Laufzeitdifferenz (± 20 ms) simuliert (n=4).

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Hörleistungen wurden frühestens 6 Monate nach der Erstanpassung des CI ausgewertet (6 Monate bis 4 Jahre), sodass eine ausreichende Trainingsphase mit dem CI bestand.

Die nachfolgenden Anpassungen und das Hörtraining verliefen bei allen Patienten regelrecht. Alle Patienten zeigten eine sofortige Akzeptanz des CI. Nach etwa 3 Monaten war subjektiv ein gutes Richtungshören (8,3/10) vorhanden und das Hören weniger anstrengend (7,3/10; **Tab. 2**). Die zentrale Integration zwischen den unterschiedlichen Höreindrücken war in allen Fällen gegeben. Die Patienten berichteten anfangs über einen nicht störenden Nachhall, der im weiteren Verlauf der Anpassung reduziert werden konnte. Der Tinnitus besserte sich bei 9 Patienten (subjektive Angabe, keine Quantifizierung). Eine Verschlimmerung des Tinnitus kann nicht vor.

Die CI-Träger erreichten im Tonaudiogramm auf der mit einem Implantat versorgten Seite Werte zwischen 25 und 44 dB für alle getesteten Frequenzen (**Abb. 1**). Dies entspricht den technischen Rahmenbedingungen des CI bei

Zusammenfassung · Abstract

HNO 2011 · 59:453–460 DOI 10.1007/s00106-011-2321-0
© Springer-Verlag 2011

R. Jacob · Y. Stelzig · P. Nopp · P. Schleich

Audiologische Ergebnisse mit Cochleaimplantat bei einseitiger Taubheit

Zusammenfassung

Einleitung. Einseitige Taubheit bedeutet einen deutlichen Verlust an Lebensqualität. Neben der Unfähigkeit, Geräuschquellen oder Sprecher zu orten, haben die Betroffenen eine enorme Höranstrengung, insbesondere in lauter Umgebung. Letzteres führt dazu, dass in Gesellschaft oder Beruf Hörverstehen sich innerhalb kurzer Zeit erschöpft und sich die Betroffenen zurückziehen. Eine mögliche Therapie für ein ertaubtes Ohr ist die Versorgung mit einem Cochleaimplantat (CI). **Material und Methode.** In der vorliegenden Studie wurden 13 einseitig ertaubte Menschen mit normalem Hörvermögen der Gegenseite mit einem CI versorgt. Bei den Patienten erfolgten Tonaudiometrie und Sprachtests (Freiburger Einsilbertest, Hochmair-Schulz-Moser und Oldenburger Satztest) sowie eine Analyse des Richtungshörens. Die Untersuchungen verglichen die

einseitig taube Situation mit dem beidohrigen Hören durch das CI.

Ergebnis. Die Akzeptanz der Behandlung ist mit 100% sehr hoch. Die unterschiedlichen Hörwahrnehmungen wurden gut integriert. Neben der Wiederherstellung des Richtungshörens reduzierte sich die Hörschöpfung in lauter Umgebung erheblich. Ein negativer Effekt auf das Hören mit dem gesunden Ohr konnte nicht festgestellt werden.

Schlussfolgerung. Die Wiederherstellung des Hörvermögens mittels CI ist auch bei einseitiger Taubheit eine sinnvolle Therapieoption.

Schlüsselwörter

Einseitige Taubheit · Cochleaimplantat · Richtungshören · Hörschöpfung · Lebensqualität

Audiological results with cochlear implants for single-sided deafness

Abstract

Introduction. Single-sided deafness has a strong impact on quality of life. Besides the difficulties in sound localization, patients also require increased effort to hear. The latter makes it difficult to follow conversations for an extended period, leading to social isolation. Cochlear implantation (CI) represents a possible treatment option for deafness in one ear.

Methods. In the present study, 13 patients with unilateral deafness were treated with CI. All patients were examined by pure tone audiometry and speech tests (Freiburger; HSM; OLSa), as well as sound localisations tests. The single-sided deaf situation is compared to CI-aided binaural hearing.

Results. At 100%, the acceptance rate was very high. The two different auditory inputs were well integrated. Patients reported satisfactory restoration of acoustic orientation and sound localization as well as great ease of listening in noisy surroundings. There was no negative impact on the normal hearing side.

Conclusion. These preliminary results confirm the effectiveness of CI treatment in unilateral deafness.

Keywords

Unilateral hearing loss · Cochlear implant · Acoustic spatial orientation · Hearing fatigue · Quality of life

vollständiger Nutzung des Dynamikbereichs.

Im Freiburger Einsilbertest erreichten alle 13 Patienten auf der CI-Seite ein Sprachverstehen von durchschnittlich 71% bei 60 dB.

Bei 4 Patienten konnte bei einem S/N von 0 dB ein Vorteil mit dem CI nachgewiesen werden. Bei alleiniger Betrachtung der ertaubten Seite ist somit im Vergleich zum unversorgten Zustand ein hoher Gewinn im Sprachverstehen mit CI vorhanden (Abb. 2a), in der bimodalen Situation ist der Vorteil im Test kaum erkennbar.

Im OISa war mit und ohne CI bei der Präsentation des Sprachsignals von der CI-Seite eine SVS von $-4,5$ dB S/N, von vorn eine SVS von -9 dB S/N und auf der hörenden Seite von -9 dB S/N nachweisbar (Abb. 2b). Die Präsentationsrichtung des Sprachsignals wurde variiert (CI-Seite; von vorn bzw. von der hörenden Seite), das testeigene Rauschen kam von vorn. Der Durchschnitt und die Standardabweichung des Sprachverständlichkeitsschwelle im OISa wurden angegeben (Abb. 2b).

Subjektiv wurde das Richtungshören in einer ähnlichen Qualität empfunden, wie dies vor der Ertaubung erinnert wurde (8,3 von 10). Kein Patient konnte auf der ertaubten Seite die Geräuschrichtung erkennen, auf der normalhörenden Seite funktionierte dies in manchen Fällen. In der binauralen Situation konnte eine deutliche Verbesserung auf beiden Hörseiten erreicht werden. Die Genauigkeit, mit der die Richtung eines Signals erkannt wurde, besserte sich durch die CI-Versorgung. Der Fehlerwinkel reduzierte sich von durchschnittlich 48° auf 4° (Abb. 3), und damit erreichte die Genauigkeit der Richtungserkennung fast physiologische Werte ($2-5^\circ$, je nach Frequenz und Richtung). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass theoretisch 90° der maximale Fehlerwinkel ist, wenn nur zufällig geraten und links und rechts nicht unterschieden wird. Wird links und rechts richtig erkannt, beträgt der theoretisch maximale Fehlerwinkel 45° . Dadurch, dass einige Probanden auf der normalhörenden Seite eine passables Richtungshören behielten (Beispiel 1), wurde die Geräuschrichtung in einigen Versuchen tat-

sächlich erkannt. Die Ergebnisse des Richtungshörens sind in Abb. 3 zusammengefasst. Mit den Einzelbeispielen 1–4 (Abb. 4) werden sie veranschaulicht.

In Abb. 4 wäre eine schräge Gerade von links unten nach rechts oben ideal. Monaural zeigt sich auf der hörenden Seite teilweise ein gutes Richtungshören, auf der ertaubten Seite ist dies nicht mehr möglich. Nach der CI-Versorgung konnte ein fast symmetrisches Richtungshören wiederhergestellt werden.

Die interaurale Zeitdifferenz (ITD) wird von normal Hörenden zur Richtungserkennung genutzt, einseitig Ertaubte mit CI können diese nicht nutzen. Wahrscheinlich ist die Verarbeitungszeit im Prozessor zu lang. Auch die interaurale Lautheitsdifferenz (ILD) wird von normal Hörenden zur Richtungserkennung genutzt. Diese können auch einseitig Ertaubte mit CI nutzen. Sie ist wahrscheinlich die Basis für das wiedergewonnene Richtungshören (Abb. 5).

Diskussion

Monaurales Hören ist der Hörqualität des binauralen Hörens deutlich unterlegen [2, 3, 4, 5]. Den persönlichen Erfahrungen von Betroffenen zufolge leidet neben dem Richtungshören auch die Hörausdauer in lauter Umgebung. Dass dies nicht unerheblich ist und erhebliche Auswirkungen auf die Lebensqualität, berufliche Eignung und soziale Kompetenz hat, wird häufig unterschätzt [7, 15, 20]. Dieser Leidensdruck führte zu dem Behandlungswunsch der Patienten.

Bisher wurden diesen Menschen CROS-Hörgeräte oder die CROS-BAHA-Versorgung angeboten, die jedoch kein echtes binaurales Hören ermöglichen [8, 20]. Die niedrige Akzeptanzrate (40–80%) zeigt, dass hier nur eine geringe Verbesserung erreicht wurde und die Notwendigkeit neuer Methoden besteht [2, 5, 22].

Das CI kann die verlorene Hörfunktion wieder herstellen und unterscheidet sich daher grundsätzlich von allen anderen Hörhilfen [1, 4, 5, 6]. Daher liegt es nahe, die Indikation zur CI-Versorgung für einseitig Taube auszuweiten [2, 5, 22]. Die binaurale CI-Versorgung ist bereits medizinischer Standard [15, 16]. Eine Kombina-

tion von Hörhilfen mit einem CI sind häufig und die elektroakustische Stimulation selbst auf einem Ohr möglich. Daher war zu erwarten, dass die elektroakustische Stimulation auch verteilt auf 2 Hörorgane gewinnbringend sein würde [2, 5, 15, 16].

Die ersten einseitig ertaubten Patienten, die mit einem CI versorgt wurden, waren hochmotiviert, ein besseres Hören zu erlangen. Sie hatten früher ein normales Hörvermögen auf der betroffenen Seite gehabt und die Ertaubungsdauer war relativ kurz. Dies sind alles günstige Faktoren für ein gutes Ergebnis. Später zeigte sich, dass höheres Alter und auch eine längere Ertaubungsdauer kein Hindernis darstellen.

Nach erfolgter Implantation ergaben sich für die Hörqualität allgemein und das Richtungshören günstige subjektive Scores (>5 von 10), die sich von den alternativen Möglichkeiten BAHA (maximal 6 von 10) oder CROS (maximal 4 von 10) deutlich unterscheiden. Auch wenn die BAHA-Versorgung nur kurzzeitig (etwa 2 Monate) und mit Stirnband getestet wurde, ist es nicht zu erwarten, dass eine definitive BAHA-Versorgung mit den Ergebnissen der CI-Versorgung mithalten wird [9, 10]. Martin et al. berichteten, dass keine wesentliche Vorteile gegenüber einer nicht versorgten Gruppe bestanden, die meisten Autoren sehen einen Nutzen in bestimmten Hörsituationen [6, 7, 8, 9, 10, 20, 23]. Die subjektive spürbare Verbesserung des Richtungshörens und die geringere Hörschöpfung werden als der wesentliche Gewinn bezeichnet, der den Aufwand aus Sicht der 13 Patienten rechtfertigt. Die erfolgreiche Versorgung wird eindrücklich durch die 100%ige Nutzung des CI bei allen 13 Patienten bestätigt. Dies ist deutlich besser als das, was sich mit den CROS-Möglichkeiten erreichen lässt [10].

Der Effekt auf den Tinnitus war ähnlich positiv, wie es auch aus anderen Studien bekannt ist [19, 21]. Eine Objektivierung gelang hier nicht, da keine ausreichenden Tinnituseinschätzungen vor der CI-Versorgung vorlagen.

Zur Evaluation dieser subjektiven Ergebnisse wurden verschiedene Sprachtests durchgeführt. Günstig ist, dass das monaurale Hören direkt mit dem bimodalen Hören verglichen werden kann. Nach

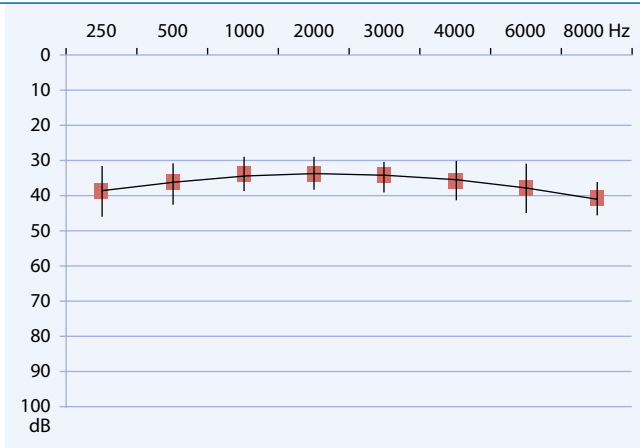


Abb. 1 ▲ Tonaudiometrische Untersuchung der CI-Seite. Beispiele (>6 Monate nach der Erstanpassung) im Freifeld für die 13 Patienten. Für den Test wurde das gesunde Ohr mit Kopfhörer und 80 dB weißem Rauschen ver-täubt, um die mit einem CI versorgte Seite zu messen. Die Reaktionsschwellen zeigen die erfolgreiche Anpassung des CI

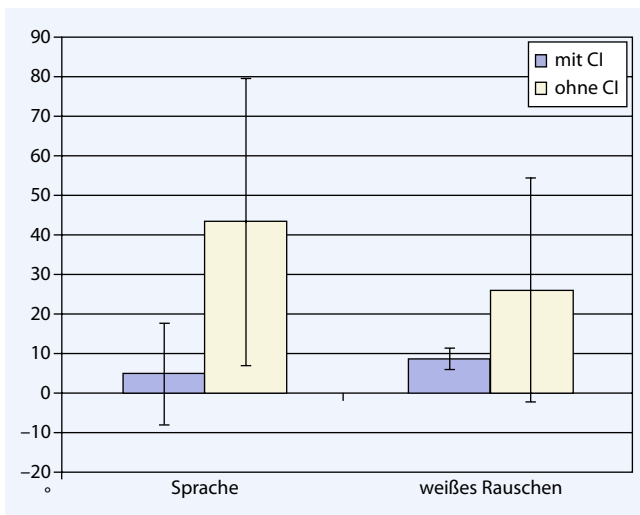


Abb. 3 ▲ Fehlerabweichung des Richtungshörens. Gemessen für Sprachsignale oder für weißes Rauschen in monauraler und binauraler Hörsituation. Durch CI-Versorgung Reduktion des Fehlerwinkels von 48° auf 4°

6 Monaten ist ein stabiles Ergebnis der CI-Versorgung zu erwarten [4, 14, 15, 16, 17], daher wurden die Tests erst nach diesem Zeitraum durchgeführt. In den Sprachtests zeigte sich, dass das Sprachverstehen monaural etwa dem bimodalen Hören entspricht. Dies bedeutet auf der einen Seite, dass das CI das Hören mit dem guten Ohr nicht stört.

Andererseits konnte in der Testsituation kein deutlicher positiver Effekt nachgewiesen werden. Lediglich in den Grenzsituationen, in der etwa 50% Sprachverstehen erreicht werden, scheint das CI etwas zu helfen. Ein Vorteil konnte bisher nur gezeigt werden, wenn der Nutzschall auf

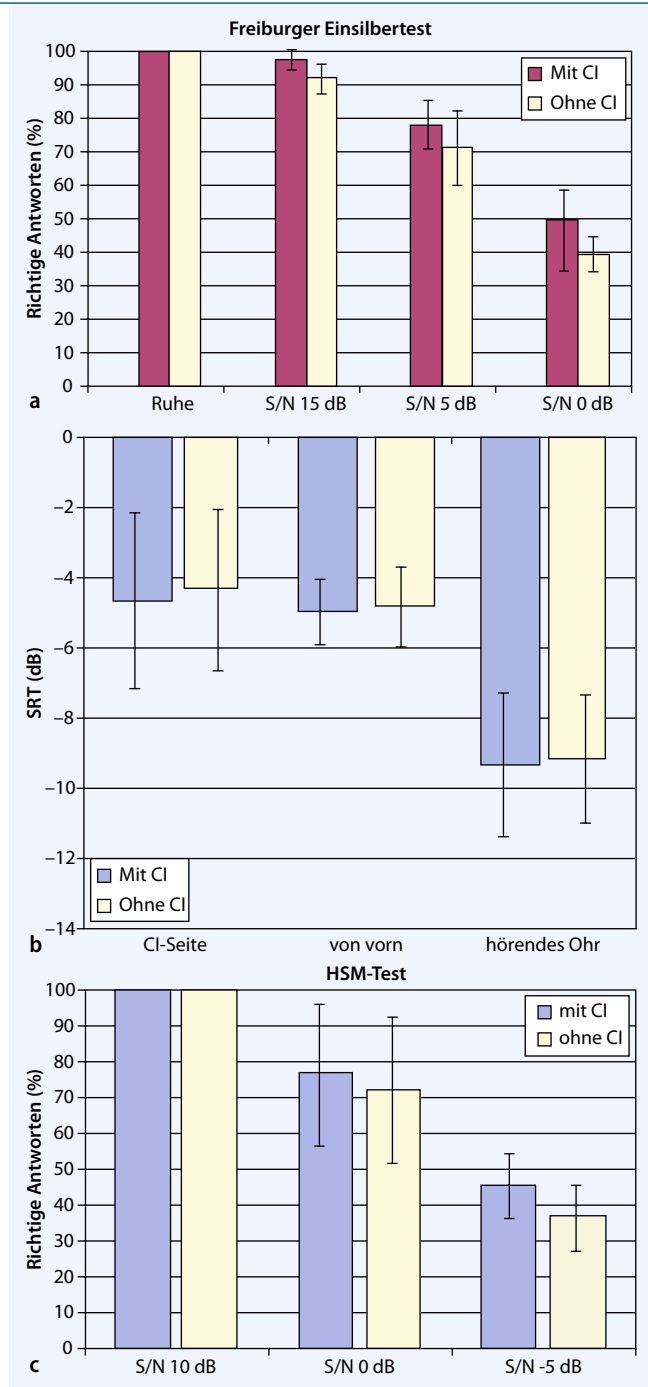


Abb. 2 ▲ **a** Freiburger Einsilbertest. Ergebnis der 13 Patienten mit 60 dB in Ruhe und mit weißem Rauschen (S/N 0 dB; 5 dB und 15 dB) monaural und binaural (mit CI). Bei S/N von 0 dB ist ein Vorteil der CI-Versorgung erkennbar. **b** Ergebnis des modifizierten OISA (n=13). Keine wesentliche Verbesserung der Spracherkennungsschwelle (SRT), aber auch keine Verschlechterung (kein Störeffekt durch das CI). **c** Ergebnis der 13 Patienten im HSM-Satztest mit 60 dB in Ruhe und mit weißem Rauschen (S/N 0 dB; 5 dB und 10 dB) monaural und binaural (mit CI). Bei S/N von 0 und -5 dB ist ein Vorteil der CI-Versorgung erkennbar

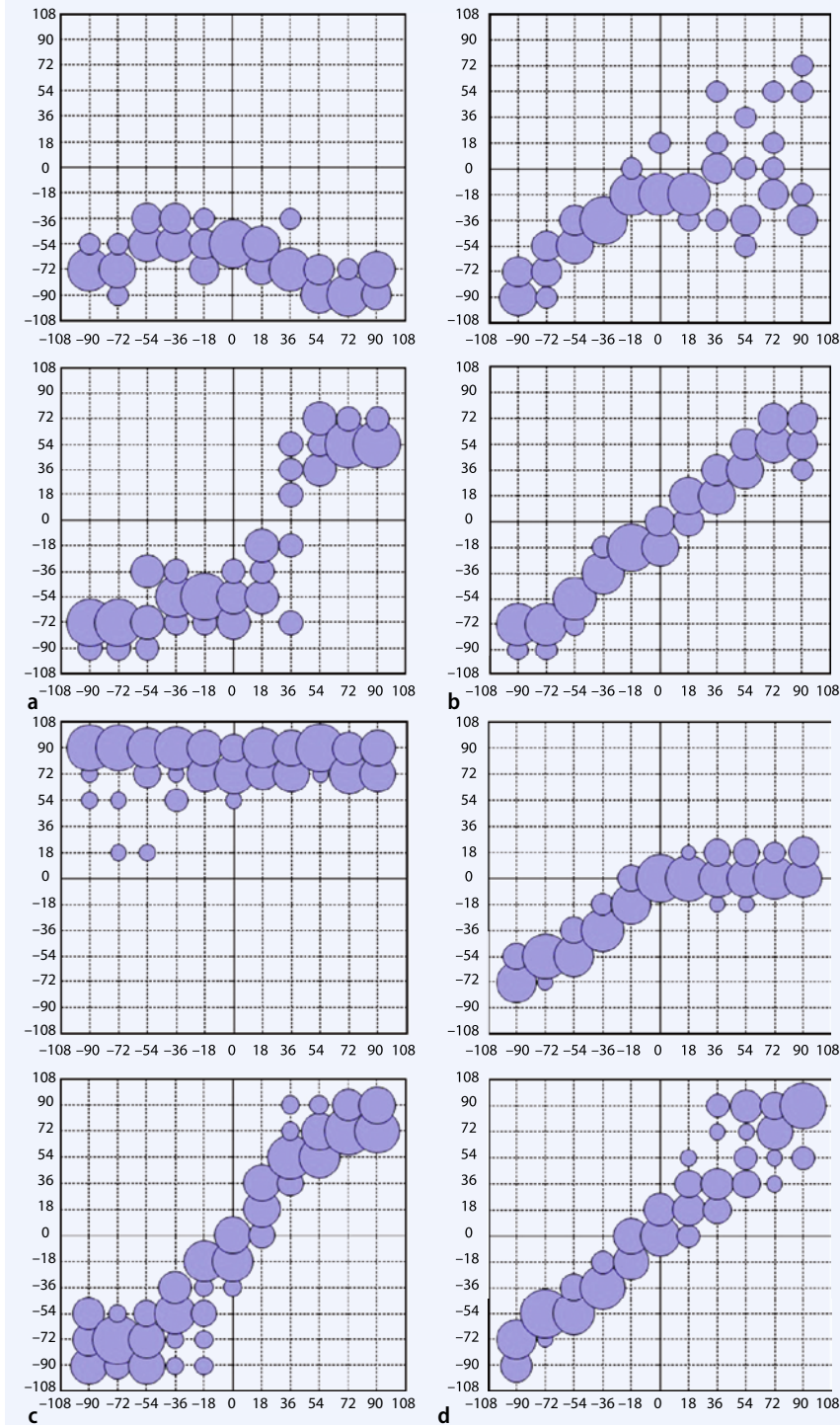


Abb. 4 ▲ Richtungshörvermögen bei 4 Patienten. Richtung des Signals (*X*-Achse) gegen die wahrgenommene Richtung (*Y*-Achse). **a** Beispiel 1, **b** Beispiel 2, **c** Beispiel 3, **d** Beispiel 4. Richtungshören in einem Testraum mit 11 Lautsprechern, halbkreisförmig angeordnet (18° Abstand); **a–d** jeweils *oben* monaurale Testung, jeweils *unten* binaural (mit CI). Die *Größe der Kreise* entspricht der Anzahl der Antworten mit gleichem *x/y*-Wert

der CI-Seite präsentiert wird, aber das Störgeräusch aus einer anderen Richtung kommt [2, 22]. Aus den Untersuchungen mit bilateraler CI-Versorgung [4, 5, 15, 16] zeigt sich, dass negative Werte des S/N für die SVS im OLSa nicht erreicht werden. Daher scheint das gute Ohr in der Testsituation so zu dominieren, dass der Beitrag des CI darin verschwindet. Daher muss kritisch geprüft werden, ob die Testsituation geeignet ist, das binaurale Hören zu prüfen. Da die Testdauer begrenzt ist (meist <20 min), kann vermutet werden, dass die kurzzeitige Kompensation durch die maximale Höranstrengung der Patienten ausreicht, um monaural das gleiche Ergebnis zu erzielen wie binaural. Hierfür sprechen auch die erreichten SVS-Werte im OLSa, die sich von normal Hörenden (Durchschnitt $-7,1$ dB S/N) kaum unterscheiden (s. Oldenburger Testhandbuch).

Hier zeigt sich, dass die verwendeten Sprachtests lediglich das besser hörende Ohr testen und nicht die eigentliche binaurale Hörleistung. Ähnliches zeigen auch Untersuchungen, in denen ein Hörgerät auf der einen Seite mit einer CI-Versorgung auf der anderen Seite verglichen werden [4, 5, 7, 12, 13, 24].

Diese kurzzeitige Kompensation, in der das monaurale Hören in etwa der binauralen Hörleistung entspricht, erklärt die Hörserschöpfung in längeren Gesprächen. Der Begriff „Hörserschöpfung“ wurde gewählt, da es sich nicht um die Hörermüdung unter hoher Schallbelastung und die dadurch bedingte Schwellenveränderung handelt. Mit Hörserschöpfung ist gemeint, dass es bei längerem Zuhören in akustisch schwieriger Umgebung zu Konzentrationsstörungen und zunehmenden sprachlichen Missverständnissen kommt. Dies kann jeder nachempfinden, der in lauter Umgebung an Gesprächen in einer Fremdsprache teilnehmen will. Ungewohnte Phoneme und das Nichtverstehen einzelner Worte erfordern eine immense Konzentration, um den Satzinhalt zu erfassen. Ist diese Konzentrationsleistung erschöpft, fällt es schwer, dem Gespräch weiter zu folgen. Diese längere Hörausdauer wird zwar von den Patienten nach der CI-Versorgung mitgeteilt, die verwendeten Sprachtests waren jedoch nicht in der Lage, diesen positiven Effekt zu objektivieren.

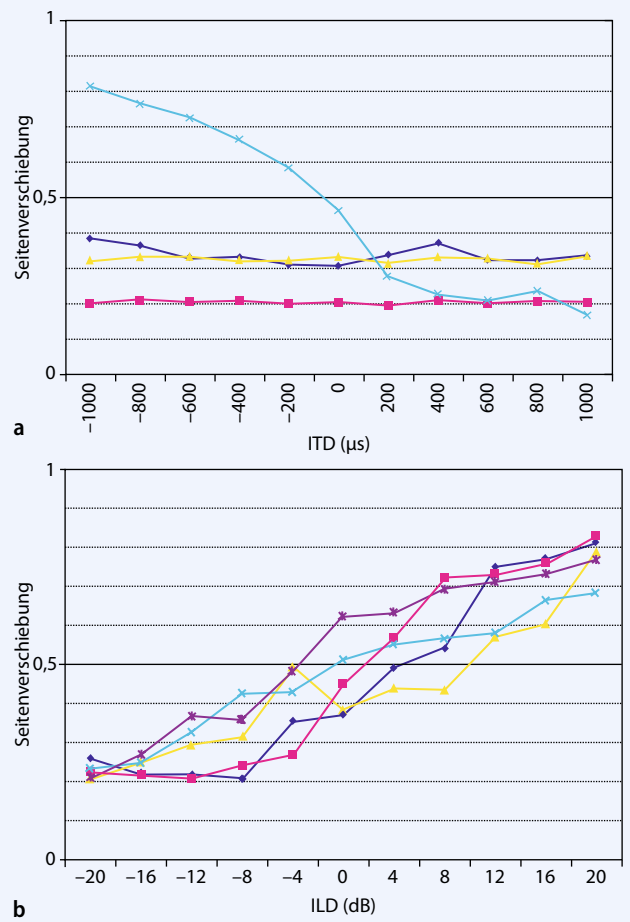
Eindrucksvoll zeigt sich die Wiederherstellung des Richtungshörens. Dabei fiel auf, dass einige Patienten mit der nicht betroffenen Seite auch monaural die Richtung erkennen können (der Fehlerwinkel variiert zwischen den Probanden von 8–80°), auf der ertaubten Seite wurde stets nur geraten. Dies deckt sich mit den Erfahrungen anderer [2, 22].

Da die Anforderungen an das Richtungshören individuell stark schwanken und nur selten höchste Genauigkeit erfordern, ist die hohe Zufriedenheit durch die CI-Versorgung erklärbar. In der Untersuchung zeigen sich in Bezug auf das Richtungshören unterschiedliche Hörerfahrungen. Es gibt Personen, die eine hohe Präzision in der akustischen Ortung zeigen, und andere, die zufrieden mit einem Rechts-links-Unterscheiden sind. Dies gibt einen Hinweis auf die Therapiemöglichkeit durch gezielte Audiotherapie. Subjektiv berichten die Patienten, dass das Richtungshören ähnlich dem erinnerten Zustand vor der Ertaubung ist. In der Untersuchung lässt sich dies an der Symmetrie der Ortungsgenauigkeit erkennen. Einen Unterschied in der Ortungsgenauigkeit zwischen CI-Seite und normal hörender Seite zeigt sich nicht. Der immense Gewinn (Fehler von 48° auf 4° im Durchschnitt) zeigt, dass die physiologische Genauigkeit von gesunden Probanden (2–5°) fast erreicht ist [18].

Die Ursache für die Wiederherstellung des Richtungshörens lässt sich auf die Lautheitsdifferenz zurückführen. Die simulierte Laufzeitdifferenz konnte von den Patienten nicht erkannt werden. Andere Effekte (Squelch) sind eher unwahrscheinlich, da in diesen Fällen der modifizierte OLSa-Test besser ausfallen müsste. Durch die Verarbeitungsart (Filter, Codierweise) und Dauer (etwa 100 ms) des Signals im Prozessor ist nicht zu erwarten, dass die feinen Unterschiede des Squelcheffekts für das Gehirn auswertbar sind.

Im Hinblick auf den Summationseffekt kann eine positive Auswirkung möglich sein. Bei der bilateralen Versorgung konnte eine Summation durch die beidseitige Versorgung festgestellt werden [4, 5, 15]. Man würde dann einen deutlicheren Effekt in den Sprachtests erwarten, der hier nicht festgestellt werden konnte. Andererseits gibt es Hörsituationen, in

Abb. 5 ▶ **a** Interaurale Zeitdifferenz (ITD). **b** Interaurale Lautheitsdifferenz (ILD). Beide von normal Hörenden zur Richtungserkennung genutzt, bei einseitig Ertaubten nur ILD-Nutzung möglich



der die Sprachtests nach der CI-Versorgung bei einseitiger Taubheit besser werden [2, 22]. Ob hier ähnlich wie bei der Hörschöpfung die Konzentration für kurze Zeit die Ergebnisse kompensiert und daher verschleiert, kann nur vermutet werden.

Basierend auf diesen Ergebnissen ist aus unserer Sicht, wie von Probst 2008 [25] vorgetragen, die CI-Versorgung von Kindern mit einer einseitig angeborenen Ertaubung zu diskutieren, um eine adäquate Hörbahnreifung zu ermöglichen [2, 18, 21]. Hierfür ist der Fall mit einer möglicherweise kongenital bestehenden Ertaubung interessant. Eine Hörstörung wurde mit 18 Monaten festgestellt, über die Zeit davor lässt sich nur spekulieren. Auch bei dieser Patientin gelang das Wiederherstellen eines Richtungsgehörs, obgleich sich das Sprachverstehen langsamer entwickelte als bei den anderen Patienten. Trotzdem zeigt sich, dass sich ein positiver Nutzen in diesem Fall einstellt, der den anderen Methoden (BAHA; CROS) überlegen ist.

Mit den bisherigen positiven Erfahrungen [2, 21, 22] muss man die Frage stellen, ob einem Kind diese Möglichkeit vor-enthalten werden darf.

Ausblick

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass sich bei einseitiger Ertaubung ein binaurales Hören mittels CI wieder herstellen lässt. Die deutliche Verbesserung des Richtungshörens lässt sich subjektiv und in der durchgeführten Testanordnung nachweisen.

Das Hörverstehen in lauter Umgebung erschöpft sich durch die CI-Versorgung wesentlich langsamer, sodass berufliche und soziale Anforderungen an das Hörverstehen wesentlich gebessert sind. Tatsächlich spiegelt sich dies in den gängigen Sprachtest nicht wider. Dies liegt daran, dass die Tests die Hörschöpfung bei längerem Hören nicht erfassen und die Testergebnisse von normal Hörenden sich kaum von denen einseitig Ertaubter unterscheiden.

Trotzdem stellt die CI-Versorgung bei einseitig ertaubten/hörrestigen Patienten eine sehr erfolgreiche Therapie dar. Die zentrale Integration der unterschiedlichen Höreindrücke scheint mit den modernen CI gut zu gelingen. Die heutige CI-Technik ist ausreichend, um mit dem normal hörenden Ohr mithalten zu können.

Fazit für die Praxis

- Das CI stellt in einer hohen Qualität das Hörvermögen wieder her. Die Integration mit einem normal hörenden Gegenohr ist i. d. R. gegeben.
- Die Wiederherstellung des erkrankten Hörgans kann damit unabhängig von der Funktion der Gegenseite betrachtet werden.
- Über die Möglichkeit einer Therapie der einseitigen Taubheit mittels CI sollte der Patient informiert werden.

Die Patienten wurden im Rahmen der allgemeinen Gesundheitsversorgung behandelt. Die Deklaration von Helsinki wurde gemäß ihrer aktuellen Fassung berücksichtigt.

Korrespondenzadresse

PD Dr. R. Jacob



Abt V HNO,
Bundeswehrzentral Krankenhaus
Koblenz
Rübenacher Str. 170,
56072 Koblenz
rolandjacob@bundeswehr.org

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor weist auf folgende Beziehung(en) hin: P. Nopp und P. Schleich sind Mitarbeiter des Med-El Research Institute, Innsbruck.

Literatur

1. Andersen HT, Schröder SA, Bonding P (2006) Unilateral deafness after acoustic neuroma surgery: subjective hearing handicap and the effect of the bone-anchored hearing aid. *Otol Neurotol* 27:809–881
2. Arndt S, Aschendorff A, Laszig R et al (2011) Comparison of pseudobinaural hearing to real binaural hearing rehabilitation after cochlear implantation in patients with unilateral deafness and tinnitus. *Otol Neurotol* 32 (1):39–47
3. Cho Lieu J (2004) Speech-language and educational consequences of unilateral hearing loss in children. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 130:524–530
4. Grantham DW, Ashmead DH, Ricketts TA et al (2007) Horizontal-plane localization of noise and speech signals by postlingually deafened adults fitted with bilateral cochlear implants. *Ear Hear* 28(4):524–541
5. Grantham DW, Ashmead DH, Ricketts TA et al (2008) Localization by postlingually deafened adults fitted with a single cochlear implant. *Laryngoscope* 118(1):145–151
6. Hol MK, Bosman AJ, Snik AF et al (2005) Bone-anchored hearing aids in unilateral inner ear deafness: an evaluation of audiometric and patient outcome measurements. *Otol Neurotol* 26(5):999–1006
7. Kompis M, Pfiffner F, Krebs M, Caversaccio MD (2011) Factors influencing the decision for baha in unilateral deafness: the Bern Benefit in Single-Sided Deafness Questionnaire. *Adv Otorhinolaryngol* 71:103–111
8. Lin LM, Bowditch S, Anderson MJ et al (2006) Amplification in the rehabilitation of unilateral deafness: Speech in noise and directional hearing effects with bone-anchored hearing an contralateral routing of signal amplification. *Otol Neurotol* 27:172–182
9. Linstrom CJ, Silverman CA, Yu GP (2009) Efficacy of the bone-anchored hearing aid for single-sided deafness. *Laryngoscope* 119 (4):713–720
10. Martin TP, Lowther R, Cooper H et al (2010) The bone-anchored hearing aid in the rehabilitation of single-sided deafness: experience with 58 patients. *Clin Otolaryngol* 35 (4):284–290
11. Morrongiello B (1989) Infants monaural localization of sounds: effects of unilateral ear infection. *J Acoust Soc Am* 86(2):597–602
12. Mueller J, Schoen F, Helms J (2002) Speech understanding in quiet and noise in bilateral users of the Med-El COMBI 40/40+ cochlear implant system. *Ear Hear* 23:198–206
13. Ricketts TA, Grantham DW, Ashmead DH et al (2006) Speech recognition for unilateral and bilateral cochlear implant modes in the presence of uncorrelated noise sources. *Ear Hear* 27(6):763–773
14. Sargent E, Herrmann B, Hollenbeck C, Bankaitis A (2001) The minimum speech test battery in profound unilateral hearing loss. *Otol Neurotol* 22:480–486
15. Schoen F, Mueller J, Helms J, Nopp P (2005) Sound localization and sensitivity to inter-aural cues in bilateral users of the MED-EL COMBI 40/40+ cochlear implant system. *Otol Neurotol* 26:429–437
16. Senn P, Kompis M, Vischer M, Häusler R (2005) Minimum audible angle, just noticeable interaural differences and speech intelligibility with bilateral cochlear implants using clinical speech processors. *Audiol Neurotol* 10:342–352
17. Tharpe A (2008) Unilateral and mild bilateral hearing loss in children: past and current perspectives. *Trends Amplif* 12(1):7–15
18. Tschopp K, Schillinger C, Schmid N et al (2000) Nachweis zentral-auditiver Kompensationsvorgänge bei einseitiger Ertaubung mit funktioneller Magnetresonanztomographie. *Laryngorhinootol* 79:753–757
19. Van de Heyning PH, Vermeire K, Diebl M et al (2008) Incapacitating unilateral tinnitus in single-sided deafness treated by cochlear implantation. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 117 (9):645–652
20. Vaneecloo FM, Ruzza I, Hanson JN (2001) Monaural pseudostereophonic hearing aid with BAHA in unilateral total deafness: a study of 29 subjects. *Rev Laryngol Otol Rhinol (Bord)* 122:343–350
21. Vermeire K, Nobbe A, Schleich P et al (2008) Neural tonotopy in cochlear implants: An evaluation in unilateral cochlear implant patients with unilateral deafness and tinnitus. *Hear Res* 245:98–106
22. Vermeire K, Van de Heyning PH (2009) Binaural hearing after cochlear implantation in subjects with unilateral sensorineural deafness and tinnitus. *Audiol Neurotol* 14:163–171
23. Wazen J, Ghossaini S, Spitzer J, Kuller M (2005) Localization by unilateral BAHA users. *Otolaryngol Head Neck Surg* 132(6):928–932
24. Wilmington D, Gray L, Jahrsdoerfer R. (1994) Binaural processing after corrected congenital unilateral conductive hearing loss. *Hear Res* 74:99–114
25. Probst R (2008) Kocheaimplantation bei einseitiger Taubheit? *HNO* 56:886–888