

# ISIS Neurostimulator: Erste Erfahrungen bei bi- und triphasischer elektrischer Stimulation mittels Gehörgangselektrode

## ISIS Neurostimulator: First experiences with bi- and triphasic electrical stimulation via ear canal electrode

### Abstract

The promontory test is applied to examine the functionality of the auditory nerve as part of the preoperative examination for cochlear implantation (CI). Besides standard tests, such as pure tone and speech audiometry, imaging, vestibular tests and brainstem audiometry (BERA), the promontory test usually is applied in case of special issues (very long duration of deafness or other reasons for potential damage of the auditory nerve). The aim of the study is to evaluate the applicability of the freely programmable ISIS Neurostimulator (inomed Medizintechnik, Emmendingen) to perform the promontory test for preoperative examination for CI. Furthermore the possible effect of biphasic and triphasic pulses on the subjective perception is investigated. 29 patients (15 ♂, 14 ♀) with an age between 18 and 86 years were included in the study (35 ear/cases). An ear canal electrode (Medtronic) was positioned in saline solution in front of the eardrum (frontal reference electrode). For stimulation, biphasic and triphasic pulses with a repetition rate of 50 Hz were used. Via variation of the amplitude, the perception threshold and the uncomfortable level were determined for each pulse. In 10 out of 35 cases (28.6%) no hearing sensation but sensations of beginning pain was documented. The comparison of thresholds with biphasic and triphasic stimulation showed no significant difference regarding the perception threshold (median bi-/triphasic: 160/150  $\mu$ A) and uncomfortable level (median bi-/triphasic: 320/315  $\mu$ A). In contrast to findings obtained with triphasic pulses with intracochlear stimulation, the pulse shape had no impact on thresholds. In general, the results of the study show that the ISIS Neurostimulator is applicable as device for administering electrical stimulation with ear canal electrodes. The aim of further studies evaluating the ISIS Neurostimulator is the clinical testing of additional measuring parameters, such as variation in stimulus frequencies, as well as E-BERA tests.

**Keywords:** promontory test, cochlear implant, preoperative examination

### Zusammenfassung

Im Rahmen der Voruntersuchungen für eine Cochlea-Implantation (CI) kann der Promontorialtest zur Überprüfung der Funktionalität des Hörnervs eingesetzt werden. Neben den standardmäßig durchgeführten Untersuchungen, wie beispielsweise Ton- und Sprachaudiometrie, Bildgebung, Vestibularisprüfung und Hirnstammaudiometrie (BERA), wird der Promontorialtest derzeit in der Regel bei speziellen Fragestellungen (sehr lange Taubheitsdauer oder andere Ursachen für eine mögliche Schädigung des Hörnervs) durchgeführt. Ziel der Studie ist die Evaluierung der Anwendbarkeit des frei programmierbaren ISIS Neurostimulators (inomed Medizintechnik, Emmendingen) zur Durchführung des Promontorialtests bei CI-Voruntersuchungen, sowie die

Stefanie Bruschke<sup>1</sup>

Pan-Pan Wu<sup>1</sup>

Uwe Baumann<sup>1</sup>

<sup>1</sup> HNO-Universitätsklinik  
Frankfurt, Audiologische  
Akustik, Frankfurt a. M.,  
Deutschland

Untersuchung möglicher Effekte von biphasischer und triphasischer Stimulation auf die subjektive Wahrnehmung. Es wurden 29 Probanden (15 ♂, 14 ♀) im Alter von 18 bis 86 Jahren untersucht (35 Ohren/Fälle). Es wurde eine Gehörgangselektrode (Medtronic) verwendet, die vor dem Trommelfell des Patienten in eine Kochsalzlösung gelegt wurde (Referenzelektrode Stirn). Zur Stimulation wurden sowohl biphasische als auch triphasische Pulse mit einer Folgerate von 50 Hz verwendet und über Variation der Amplitude jeweils die Wahrnehmungsschwelle und Unbehaglichkeitsschwelle durch Angaben des Patienten bestimmt. In 10 von 35 Fällen (28,6%) wurden keine Höreindrücke erzielt, sondern ausschließlich taktile Empfindungen. Die Ergebnisse der biphasischen und triphasischen Testbedingung zeigten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich Wahrnehmungsschwelle (Mediane bi-/triphasisch: 160/150  $\mu$ A) und Unbehaglichkeitsschwelle (Mediane bi-/triphasisch: 320/315  $\mu$ A). Anders als bei intracochleärer Stimulation mit triphasischen Pulsen bei CI-Trägern scheint die Pulsform keinen Einfluss auf die hier untersuchten Schwellen zu zeigen. Der ISIS Neurostimulator konnte bei allen Patienten bei CI-Voruntersuchungen angewendet werden und erweist sich nach der vorliegenden Untersuchung als geeignetes Tool zur Durchführung des Promontorialtests. Ziel weiterführender Studien zur Evaluation des ISIS Neurostimulator ist die Erprobung weiterer Messparameter, wie beispielsweise die Änderung der Stimulationsfrequenz, sowie die Durchführung von E-BERA Untersuchungen.

**Schlüsselwörter:** Promontorialtest, Cochlea-Implantat, Voruntersuchungen

## Einleitung

Das Cochlea-Implantat (CI) ist eine Standardversorgung zur Behandlung von Taubheit und hochgradigen sowie an Taubheit grenzenden Hörstörungen [1]. Um eine CI-Versorgung einzuleiten zu können, müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein, wie beispielsweise ein entsprechender Hörverlust, funktionstüchtiger Hörnerv, etc. Dazu wird bei Kandidaten für eine CI-Versorgung eine Reihe von Voruntersuchungen durchgeführt (z.B. Ton- und Sprachaudiogramm, Bildgebung, Gleichgewichtstest, Hirnstammaudiometrie/BERA). Eine dieser Voruntersuchungen ist der Promontorialtest (Promontoriumstest). Dieser wird beispielsweise im Weißbuch zur CI-Versorgung der Deutschen Gesellschaft für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde als vorzuhaltende Untersuchung aufgeführt, die im Einzelfall angewendet werden soll [2]. Auch in den Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Audiologie (DGA) zu „Audiologische[n] Leistungen zur Cochlea-Implantat-Indikation“ wird die Durchführung des Promontorialtests empfohlen, „wenn medizinische Gründe vorliegen, die eine Schädigung des Hörnervs vermuten lassen“ [3]. Eine genaue Indikation für die Durchführung des Promontorialtests im Rahmen der CI-Voruntersuchungen, sowie eine eindeutige Interpretation der Ergebnisse wird derzeit jedoch nicht in den Leitlinien beschrieben. So kann der Promontorialtest zwar im Einzelfall durchgeführt werden, ein negatives Testergebnis wird aber nicht zwangsläufig als Kontraindikation für eine CI-Versorgung interpretiert. Die klinische Relevanz des Tests ist daher durchaus umstritten und bedarf einer genaueren und

empirisch gesicherten Definition innerhalb der Leitlinien. In der klinischen Routine wird der subjektive Promontorialtest zur Überprüfung der Funktionalität des Hörnervs und der auditorischen Neurone im Rahmen von CI-Voruntersuchungen eingesetzt [4], [5]. Da mit Hilfe des Tests die Reizbarkeit des Hörnervs mit extracochleären elektrischen Impulsen geprüft werden kann, ist er ein nützliches Verfahren in der CI-Voruntersuchung und kann zur Einschätzung der Prognose hinsichtlich des Hörerfolgs mit CI hinzugezogen werden [6], [7]. Auch wenn der Promontorialtest keine zuverlässige Prognose über den postoperativen Rehabilitationserfolg zulässt [8], beschrieben Hoth und Lenarz, dass niedrige Wahrnehmungsschwellen, große Dynamikbereiche und gute Diskriminationsfähigkeiten im Promontorialtests auf einen günstigen Rehabilitationserfolg schließen lassen [9].

An der HNO-Universitätsklinik Frankfurt wird der subjektive Promontorialtest nur bei Patienten mit spezieller Fragestellung eingesetzt, dazu zählen das Vorliegen einer sehr langen Taubheitsdauer, kein verwertbares Restgehör, Fehlbildungen, Felsenbeinfrakturen, auditorische Neuropathie oder eine mögliche Schädigung des Hörnervs (z.B. nach Meningitis, Entfernung Akustikusneurinom, Z.n. neurochirurgischen Eingriffen, v.a. Hörnervinfektionen). In der hier vorgestellten Studie wird der Promontorialtest nicht transtympanal, sondern mit einer extratympanalen Gehörgangselektrode durchgeführt. Auch wenn dabei nicht vollständig sichergestellt wird, dass mit der extratympanalen Elektrode das Promontorium adäquat gereizt werden kann, wird dieser Test im Folgenden als Promontorialtest bezeichnet. Studien haben gezeigt, dass mit noninvasiven extratympanalen Elektroden der auditive

Tabelle 1: Demografische Daten der untersuchten Studienpatienten

<b>Anzahl der Patienten</b>	m=29 (15 ♂, 14 ♀)	
<b>Anzahl der Ohren/Fälle</b>	n=35 (23 unilateral/6 bilateral)	
<b>mittleres Alter</b>	35 Jahre (Min. 18 Jahre/Max. 86 Jahre)	
<b>mittlere Dauer der Taubheit</b>	21,5 Jahre (Min. 1 Jahr/Max. 55 Jahre)	
<b>Ätiologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• progredient (20)</li> <li>• kongenital (3)</li> <li>• Hörsturz (3)</li> <li>• Morbus Menière (2)</li> <li>• Lärmtrauma (1)</li> <li>• Meningitis (1)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cholesteatom (1)</li> <li>• Cogan Syndrom (1)</li> <li>• Akustikusneurinom (1)</li> <li>• toxisches Innenohr (1)</li> <li>• unbekannt (1)</li> </ul>

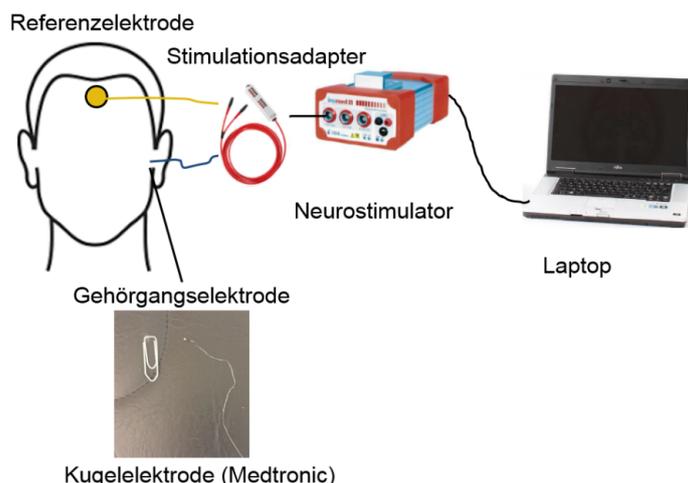


Abbildung 1: Messaufbau zur Durchführung des subjektiven Promontorialtests mit dem ISIS Neurostimulator.

Stimulationselektrode als Kugelelektrode im Gehörgang vor dem Trommelfell; Referenzelektrode auf der Stirn; Verbindung der Stimulations- und Referenzelektrode über Stimulationsadapter mit dem Neurostimulator; Ansteuerung des Mess-Systems mit entsprechender Software über Laptop

Cortex aktiviert werden kann [10] und bei extratympanaler Durchführung des Promontorialtests auditorische Empfindungen ausgelöst werden können [11].

Ziel dieser Studie ist die Evaluierung der Anwendbarkeit des ISIS-Neurostimulators (inomed) zur Durchführung des Promontorialtests bei CI-Voruntersuchungen. Das in der Klinik bislang genutzte Gerät (Medel Electro Audiometer EAM T02) konnte nicht mehr verwendet werden, sodass ein alternativer Stimulator für den klinischen Einsatz benötigt wurde. Weiterhin werden in dieser Studie die Wahrnehmungs- und Unbehaglichkeitsschwelle bei Durchführung des Promontorialtests mit biphasischer und triphasischer Stimulation verglichen. In einer vorangegangenen Studie [12] konnte gezeigt werden, dass eine Stimulation mit triphasischen Pulsen zu einer Reduktion von Fazialis-Kostimulation bei CI-Trägern führt. In dieser Studie soll untersucht werden, ob ähnliche Effekte bei der Durchführung des Promontorialtests mit triphasischen Pulsen zu beobachten sind.

## Material und Methodik

Die Evaluierung des subjektiven Promontorialtests erfolgte als prospektive Studie und wurde von der Ethikkom-

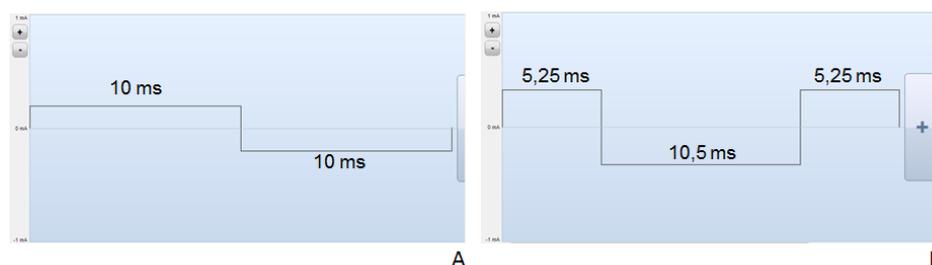
mission der Universitätsklinik Frankfurt befürwortet (GZ 354/15).

## Patienten

Es wurden 29 Patienten (15 ♂, 14 ♀) in die Studie eingeschlossen. Als Einschlusskriterium wurde ein Mindestalter von 18 Jahren vorausgesetzt. Die Patienten wiesen eine langjährige Taubheitsdauer und/oder eine spezielle Ätiologie für eine mögliche Schädigung des Hörnervs auf (z.B. Meningitis, Akustikusneurinom). Da 6 der 29 Patienten später bilateral mit einem CI versorgt wurden, konnten in der Studie insgesamt 35 Ohren/Fälle untersucht werden. In Tabelle 1 sind die demografischen Daten der Patienten aufgelistet.

## Methode

Der subjektive Promontorialtest wurde mit dem frei programmierbaren Neurostimulator ISIS (inomed Medizintechnik, Emmendingen) durchgeführt. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 1 dargestellt. Als Stimulationselektrode wurde eine Kugelelektrode (inomed, Ref.-Nr. 530455) verwendet, die vor dem Trommelfell im Gehörgang positioniert wurde. Über den Stimulationsadapter wurden Stimulationselektrode und die auf der Stirn plat-



**Abbildung 2: Verwendete Stimuli zur Durchführung des Promontorialtests: Dauer kontinuierlich, Frequenz 50 Hz.**  
 A: biphasischer Puls mit 20 ms Länge, B: triphasischer Puls mit 21 ms Länge

zierte Referenzelektrode mit dem Neurostimulator verbunden und über einen Laptop angesteuert. Während der Messungen lag der Patient auf der nicht geprüften Seite. Nach Platzierung der Gehörgangselektrode vor dem Trommelfell und anschließendem Einträufeln von Kochsalzlösung wurde die Elektrodenimpedanz überprüft; diese sollte im Bereich von 5–15 kΩ liegen. Die Messungen wurden jeweils mit biphasischen und triphasischen Stimuli durchgeführt (siehe Abbildung 2). Begonnen wurde mit einer Reizstromstärke von 100 µA, diese wurde (falls eine Wahrnehmung resultierte) solange reduziert, bis die subjektive Wahrnehmungsschwelle erreicht wurde. Anschließend wurde die Reizstromstärke bis zur Unbehaglichkeitsschwelle erhöht. Bei jeder Reizdarbietung wurde der Patient nach der Art der Wahrnehmung (Hören, Fühlen) befragt. Sowohl biphasische als auch die triphasische Pulse wurden mit einer Folgerate von 50 Hz/49 Hz und einer Pulslänge von 20 ms/21 ms kontinuierlich dargeboten.

## Ergebnisse

Der Promontorialtest konnte bei allen Patienten im Rahmen der CI-Voruntersuchung durchgeführt werden. In 25 von 35 Fällen (71,4%) wurde ein Höreindruck bei elektrischer Stimulation beschrieben, in 10 Fällen (28,6%) konnten lediglich taktile Empfindungen ausgelöst werden. In einigen Fällen (6 von 35, 17,1%) wurden sowohl auditive als auch taktile Empfindungen bei Durchführung des Tests von den Patienten beschrieben. Die Qualitäten der Hör- und Fühleindrücke sind in Tabelle 2 aufgelistet. Es zeigte sich kein Unterschied in der subjektiven Wahrnehmung der Höreindrücke und taktilen Empfindungen im Vergleich zwischen biphasischer und triphasischer Stimulation.

**Tabelle 2: Subjektive Wahrnehmung der Stimuli, die von den Patienten (n=35) bei Durchführung des Promontorialtests beschrieben wurden**

Höreindrücke	taktile Empfindungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pfeifen</li> <li>• Rauschen</li> <li>• Brummen</li> <li>• greller Ton</li> <li>• Klingeln</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kribbeln</li> <li>• Schmerz</li> <li>• Vibration</li> <li>• Stechen</li> <li>• Lidzuckung</li> <li>• Druckgefühl</li> </ul>

Von den 35 Fällen wurden 16 Ohren (45,7%) mit einem CI versorgt, davon beschrieben in 13 Fällen (13/16, 81,3%) die Patienten eine auditive Empfindung im Promontorialtest, in 3 Fällen (3/16, 18,7%) konnte nur eine taktile Empfindung erzielt werden. Bei allen CI-versorgten Patienten konnten nach erfolgter Implantation Höreindrücke mit dem CI erzielt werden (siehe Abbildung 3). Bei 19 Patienten (54,3%) ist bis zum Abschluss der Studie keine CI-Versorgung erfolgt, wobei bei 4 Patienten zukünftig eine CI-Operation geplant ist. Die restlichen Patienten haben sich nach Abschluss der Voruntersuchungen auf eigenen Wunsch gegen eine CI-Versorgung entschieden. Ein negatives Ergebnis im Promontorialtest hatte dabei aus klinischer Sicht keinen Einfluss auf die Indikationsstellung für ein CI.

Die Ergebnisse der Schwellenbestimmung bei biphasischer und triphasischer Stimulation sind in Abbildung 4 dargestellt. Beim Vergleich der Wahrnehmungsschwelle (THR) zeigt sich kein signifikanter Unterschied (Wilcoxon-Rangsummentest,  $p=0,9309$ ) zwischen biphasischer (160 µA, Median) und triphasischer (150 µA, Median) Stimulation (siehe Abbildung 4 und Abbildung 2A). Ebenfalls kein signifikanter Unterschied (Wilcoxon-Rangsummentest,  $p=0,5833$ ) ist beim Vergleich der Unbehaglichkeitsschwelle zwischen biphasischer (320 µA, Median) und triphasischer (315 µA, Median) Stimulation zu beobachten (siehe Abbildung 4B). Auch hier liegen vergleichbare Schwellen bei Verwendung biphasischer und triphasischer Pulse vor.

## Diskussion

Bei der Durchführung des Promontorialtests mit dem ISIS Stimulator konnte nicht in allen Fällen ein Höreindruck erzielt werden. Dennoch konnte später – nach erfolgter CI-Versorgung – bei allen Patienten eine auditive Empfindung bei intracochleärer elektrischer Stimulation mit dem CI erzeugt werden. Eine mögliche Ursache für die fehlenden Höreindrücke beim Promontorialtest könnte die Platzierung der Gehörgangselektrode vor dem Trommelfell sein. Studien haben gezeigt, dass Messungen unter Verwendung einer transtympanalen Elektrode zuverlässigere Ergebnisse liefern [13], [14]. Weitere mögliche Erklärungen für fehlende Höreindrücke könnten das Vorliegen einer langen Dauer der Taubheit oder das Vorhandensein neurologischer Vorerkrankungen einiger Patienten sein,

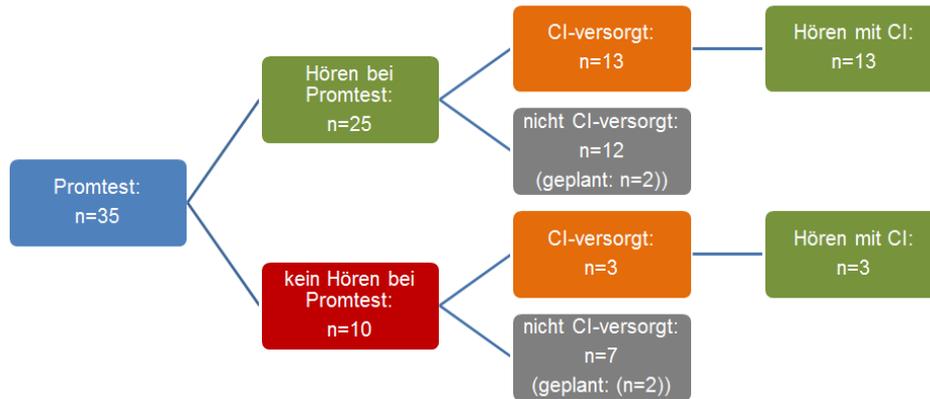


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Höreindrücke beim Promontorialtest im Rahmen der CI-Voruntersuchung, sowie nach erfolgter CI-Versorgung

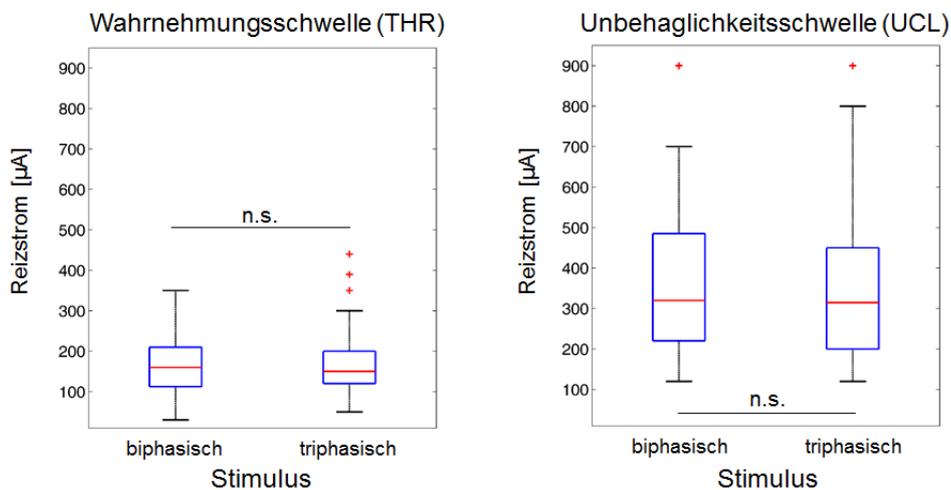


Abbildung 4: benötigte Reizstromstärke [µA] zur Ermittlung der Wahrnehmungsschwelle (A) und Unbehaglichkeitsschwelle (B) bei Durchführung des Promontorialtests, Verwendung biphasischer und triphasischer Pulse, n=35, n.s.=nicht signifikant

welche die Reizweiterleitung beeinflussen. Ramekers et al. [15] konnten in Versuchen am Meerschweinchen zeigen, dass mit zunehmender Ertaubungsdauer die Zahl der Spiralganglienzellen abnimmt, sodass der Hörnerv weniger gut reizbar ist. Es ist anzunehmen, dass diese Beobachtung auch auf den Menschen zu übertragen ist. Nadol [16] beschrieb auch bei langzeitertaubten Menschen eine verringerte Zahl an Spiralganglienzellen. Durch die Degeneration dieser Zellen kann der Hörnerv im Promontorialtest womöglich nicht adäquat gereizt werden und eine auditive Empfindung erzeugen. Mit dem CI hingegen wird der elektrische Reiz deutlich näher am Hörnerv appliziert, sodass noch eine Hörempfindung ausgelöst werden kann. Die nähere Position der CI-Stimulationselektrode könnte das negative Promontorialtest-Ergebnis erklären, da sich das elektrische Feld bei extracochleärer Stimulation breiter verteilt und schneller unerwünschte Nebeneffekte erzeugen kann.

In Tabelle 3 sind die Dauer der Taubheit sowie ätiologische Daten zur Hörstörung derjenigen Patienten aufgelistet, bei welchen im Promontorialtest keine Höreindrücke erzielt werden konnten. Vier der 10 Patienten weisen eine Taubheitsdauer von mehr als 20 Jahren auf. Zusammen mit 4 weiteren Patienten weisen 3 der langzeitertaubten

Patienten weitere spezielle Ätiologien oder Auffälligkeiten auf. Dazu zählen kongenitale Taubheit, Meningitis und Akustikusneurinom als Ertaubungsursache sowie auffällige Innenohrstrukturen (Sklerosierung des Innenohrs, intra-vestibulär-cochleärer Tumor) und neuronale Auffälligkeiten, wie Defekte im Bereich der Basalganglienzellen und das Vorhandensein eines Lobus frontalis Kavernoms. Die Ergebnisse zeigen, dass der Promontorialtest keine zuverlässige Vorhersage der elektrischen Erregbarkeit des Hörnervs nach CI-Versorgung ermöglicht. In 18,7% der Fälle wurde ein falsch negativer Befund festgestellt, d.h. der Befund ist mit fehlender auditiver Empfindung falsch auffällig, da der Hörnerv mit dem CI elektrisch stimulierbar ist. Dennoch scheint bei einem erfolgreichen Ergebnis des Promontorialtests eine Prognose über die elektrische Erregbarkeit und damit verknüpft über den späteren potentiellen Hörerfolg mit dem CI möglich zu sein [7].

Die Ergebnisse zeigen, dass ein negativer Promontorialtest keine sichere absolute Kontraindikation für eine CI-Versorgung ist. Bei den Patienten der hier vorgestellten Studie mit negativem Promontorialtest-Ergebnis und nachfolgender CI-Versorgung (n=3), konnten Höreindrücke mit dem CI erzielt werden.

**Tabelle 3: Dauer der Taubheit, Ätiologie und Auffälligkeiten der untersuchten Patienten, bei denen bei Durchführung des Promontorialtests kein Höreindruck erzielt werden konnte**

Patient	Dauer der Taubheit	Ätiologie	Auffälligkeiten
P1	30 Jahre	progredient	Kavernom Lobus frontalis
P2	35 Jahre	kongenital	Morbus Menière
P3	15 Jahre	Akustikusneurinom	
P4	2 Jahre	toxisches Innenohr	Sklerosierung der Innenohrstrukturen
P5	23 Jahre	unbekannt	
P6	33 Jahre	Meningitis	
P7	8 Jahre	multiple Hörstürze	Cholesteatom
P8	10 Jahre	progredient	Defekte im Bereich der Basalganglien
P9	unbekannt	progredient	
P10	10 Jahre	progredient	intra-vestibulär-cochleärer Tumor (basale Windungen)

Unterteilung der Patienten in „CI versorgt“ (■ grün), „CI geplant“ (■ blau) und „nicht CI versorgt“ (□ grau)

Die Durchführung des Promontorialtests mit biphasischen und triphasischen Pulsen zeigte keinen Unterschied in der Wahrnehmungs- und Unbehaglichkeitsschwelle. Auch wurden unerwünschte Nebeneffekte (Schmerzempfindungen) nicht reduziert. Im Gegensatz zu intracochleärer Stimulation [12] hat die Pulsform offenbar keinen Einfluss auf die untersuchten Schwellen.

## Ausblick

Der ISIS Neurostimulator erweist sich nach der vorliegenden Untersuchung als geeignet um den Promontorialtest im Rahmen der CI-Voruntersuchungen durchzuführen. Bei speziellen Fragestellungen mit schwer einzuordnender Prognose, wie bei Vorliegen einer sehr langen Taubheitsdauer oder möglicher Schädigung des Hörnervs kann der Promontorialtest zur Überprüfung der Funktionalität des Hörnervs eingesetzt werden. Allerdings muss mit einer falsch negativen und somit fehlerhaften Einschätzung bei etwa jedem fünften Patienten (18,7%) gerechnet werden. Obwohl präoperativ im Promontorialtest mit elektrischer Stimulation kein Höreindruck erzielt werden konnte, beschrieben die Patienten auditive Empfindungen mit dem CI. Ein negativer Promontorialtest stellt somit keine absolute Kontraindikation für eine erfolgreiche CI-Versorgung dar.

Derzeit sind weiterführende Studien zur Evaluation des Promontorialtests geplant, wie beispielsweise die Erprobung weiterer Gehörgangselektroden-Bauformen und transtympanaler Elektroden sowie E-BERA Untersuchungen.

## Anmerkung

### Interessenkonflikte

Die Autoren erklären, dass sie keine Interessenkonflikte in Zusammenhang mit diesem Artikel haben.

## Literatur

1. Lenarz T. Cochlear Implant – State of the Art [Cochlear Implant – State of the Art]. *Laryngorhinootologie*. 2017 Apr;96(S 01):S123-S151. DOI: 10.1055/s-0043-101812
2. Präsidium der DGHNO, Hrsg. Weißbuch Cochlea-Implantat(CI)-Versorgung und -Register: Empfehlungen zur Qualitätssicherung in der Versorgung von Patienten mit einem Cochlea-Implantat in Deutschland. Bonn: DGHNO; 2018.
3. Deutsche Gesellschaft für Audiologie (DGA). Audiologische Leistungen zur Cochlea-Implantat-Indikation: Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie (DGA). *Z Audiol*. 2018;2(57):77-8.
4. House WF, Brackmann DE. Electrical promontory testing in differential diagnosis of sensori-neural hearing impairment. *Laryngoscope*. 1974 Dec;84(12):2163-71. DOI: 10.1288/00005537-197412000-00007
5. Hoppe U, Langer J, Pethe W, Liebscher T, Digeser F. Pro und Kontra: Der Promontoriumstest. *Z Audiol*. 2019;58(1):22-3.
6. Lee JC, Yoo MH, Ahn JH, Lee KS. Value of the promontory stimulation test in predicting speech perception after cochlear implantation. *Laryngoscope*. 2007 Nov;117(11):1988-92. DOI: 10.1097/MLG.0b013e31813437e6
7. Thie R. Der objektive elektrische Promontorialtest - E-BERA. *Z Audiol*. 2018;57(3):111-2.
8. Rader T, Wechtenbruch J, Suckfüll M, Krause E, Hempel JM, Baumann U. Welchen prognostischen Wert hat der elektrische Hörnerven-Test vor einer Cochlea-Implantation für das später erreichte Sprachverstehen? *Z Audiol*. 2009;2(48):74-8.
9. Hoth S, Lenarz T. Erfahrungen mit der Elektrostimulation des Hörnervs vor Cochlea-Implantation [Experience with electrostimulation of the acoustic nerve before cochlea implantation]. *Laryngorhinootologie*. 1991 Apr;70(4):199-207. DOI: 10.1055/s-2007-998021
10. Neumann K, Raab P, Preibisch C, Lanfermann H, Reimold I, Kiefer J. Aktivierung des auditiven Cortex durch Gehörgangs-Elektrostimulation bei gehörlosen Erwachsenen – eine fMRI-Studie. In: Deutsche Gesellschaft für Audiologie (DGA) e.V., Hrsg. Tagungsband der 5. DGA Jahrestagung, 27. Februar bis 2. März 2002, Zürich.2002.
11. Liard P, Pelizzone M, Rohr A, Montandon P. Noninvasive extratympanic electrical stimulation of the auditory nerve. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*. 1988;50(3):156-61. DOI: 10.1159/000275984

12. Bahmer A, Adel Y, Baumann U. Preventing Facial Nerve Stimulation by Triphasic Pulse Stimulation in Cochlear Implant Users: Intraoperative Recordings. *Otol Neurotol*. 2017 12;38(10):e438-e444. DOI: 10.1097/MAO.0000000000001603
13. Lehnhardt E, Laszig R. *Praxis der Audiometrie*. Stuttgart: Thieme; 2009.
14. Tiefenbach M, Shehata-Dieler W, Cebulla M. Elektrokochleografie mit Trommelfell-, Gehörgangs- und transtympanaler Elektrode bei V.a. Morbus Menière [Electrocochleography using Transtympanic, Ear Drum and Ear Canal Electrode in Diagnosis of Morbus Menière]. *Laryngorhinootologie*. 2015 Oct;94(10):676-80. DOI: 10.1055/s-0035-1547286
15. Ramekers D, Versnel H, Strahl SB, Smeets EM, Klis SF, Grolman W. Auditory-nerve responses to varied inter-phase gap and phase duration of the electric pulse stimulus as predictors for neuronal degeneration. *J Assoc Res Otolaryngol*. 2014 Apr;15(2):187-202. DOI: 10.1007/s10162-013-0440-x
16. Nadol JB Jr. Patterns of neural degeneration in the human cochlea and auditory nerve: implications for cochlear implantation. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 1997 Sep;117(3 Pt 1):220-8.

**Korrespondenzadresse:**

Stefanie Bruschke  
HNO-Universitätsklinik Frankfurt, Audiologische Akustik,  
Theodor-Stern-Kai 7, Haus 8D, 60590 Frankfurt a. M.,  
Deutschland, Tel. 069/6301-5944, Fax 069/6301-7806  
stefanie.bruschke@kgu.de

**Bitte zitieren als**

Bruschke S, Wu PP, Baumann U. ISIS Neurostimulator: Erste Erfahrungen bei bi- und triphasischer elektrischer Stimulation mittels Gehörgangselektrode. *GMS Z Audiol (Audiol Acoust)*. 2019;1:Doc02. DOI: 10.3205/zaud000002, URN: urn:nbn:de:0183-zaud0000027

**Artikel online frei zugänglich unter**

<http://www.egms.de/en/journals/zaud/2019-1/zaud000002.shtml>

**Veröffentlicht:** 15.07.2019

**Copyright**

©2019 Bruschke et al. Dieser Artikel ist ein Open-Access-Artikel und steht unter den Lizenzbedingungen der Creative Commons Attribution 4.0 License (Namensnennung). Lizenz-Angaben siehe <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.