

Einfluss der Frequenz-Elektroden-Zuordnung auf die Tonhöhendiskrimination bei Cochlea-Implantat-Trägern

Reyhan Altindal¹, Luise Wagner¹, Stefan Plontke¹, Torsten Rahne¹

¹Universitätsklinikum Halle (Saale), Universitätsklinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie

Schlüsselwörter: Cochlea-Implantat, Tonhöhendiskrimination, Frequenzbandgrenzen, Sinustöne

Einleitung

Tonhöhendiskrimination ist wichtig für die Wahrnehmung von Musik, Prosodie, Sprecherunterscheidung und semantischen Information bei tonalen Sprachen. Für viele Cochlea-Implantat (CI)-Träger stellt dies noch eine große Herausforderung dar. Im CI werden akustische Signale auf Elektroden in definierten Frequenzbandbreiten übertragen. Das Implantat des Herstellers Cochlear (Sydney, Australien) besteht aus einem Elektrodenträger mit 22 Elektroden mit engen Frequenzbändern. Auf dem Elektrodenträger des Herstellers MED-EL (Innsbruck, Österreich) befinden sich 12 Elektroden mit breiteren Frequenzbändern. Es ist noch nicht vollständig geklärt, wie die Position von Frequenzen in Bezug auf die Elektrodengrenzen die Tonhöhendiskrimination beeinflusst.

Pretorius und Hanekom (2008) führten psychoakustische Messungen mit Sinustönen bei 5 Nucleus 24-Trägern (Cochlear) im Freifeld durch und fanden heraus, dass eine Diskrimination von Frequenzen innerhalb eines Frequenzbandes möglich ist.

Pogorzelski (2012, unpubliziert) untersuchte bei 27 Cochlear-Trägern die Diskrimination für Sinustöne in den Frequenzen 494 Hz (= Mittenfrequenz der Elektrode 20) bis 762 Hz (Elektrode 18) in Vierteltonschritten. Die Diskriminationsschwelle betrug $2,6 \pm 1,1$ Vierteltöne.

Eine systematische Untersuchung der Diskrimination in basalen und apikalen Elektroden und ein Vergleich zwischen den Implantaten beider o.g. Hersteller wurden bis jetzt nicht durchgeführt.

In dieser Studie wurde die Diskriminationsfähigkeit von CI-Trägern für Halbtöne innerhalb einzelner Elektroden psychoakustisch untersucht und insbesondere analysiert, wie sich die Diskriminationsfähigkeit bei Überschreiten der Elektrodengrenzen ändert. Die Ergebnisse sollen zeigen, ob eine größere Anzahl von Elektroden zu einer besseren Tonhöhendiskrimination führen würde. Als Kontrollgruppe dienten altersgematchte Normalhörende.

Material und Methoden

Probanden

An einer prospektiven Studie nahmen 20 CI-Träger des Herstellers Cochlear mit 11 altersgematchten Normalhörenden (NH) und 15 CI-Träger des Herstellers MED-EL mit 8 NH teil. Einschlusskriterium für CI-Träger war ein Sprachverstehen von mind. 45 % im Freiburger Einsilbertest. Einschlusskriterium für NH waren altersentsprechende Luftleitungshörschwellen im Reintonaudiogramm (125 bis 8000 Hz). Der experimentelle Aufbau und die Durchführung stehen im Einklang mit den Richtlinien der Deklaration von Helsinki und wurden von der Ethikkommission der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg begutachtet. Alle Probanden wurden ausführlich über den Ablauf der Messung informiert und gaben daraufhin ihr schriftliches Einverständnis zur Teilnahme.

Stimuli

Es wurden monaural Sinustonbursts mit einer Dauer von 500 ms und 30 ms Rampen präsentiert. Bei den CI-Trägern erfolgte die Präsentation über den Audioeingang des Sprachprozessors mit einer mit Hilfe der klinischen Lautheitsskalierung als angenehm empfunden eingestellten Lautstärke. Bei beidseitig implantierten CI-Trägern erfolgte die Präsentation auf der Seite mit dem besseren Sprachverstehen im Freiburger Einsilbertest. Bei den Normalhörenden erfolgte die Präsentation über E-A-R TONE 3A Einsteckhörer (E-A-R Auditory Systems, Indianapolis, USA).

Psychoakustische Messung

In einem Matlab - basierten 3I-2AFC-Same-Different Paradigma (MathWorks Inc., Natick, Massachusetts, USA) wurden nacheinander 3 Töne präsentiert. Der erste und zweite Ton waren identisch und es sollte angegeben werden, ob der dritte Ton gleich oder verschieden bezüglich der Tonhöhe klingt. Ein einmal präsentiertes Tonpaar konnte nicht wiederholt werden. Das jeweils nächste Tonpaar wurde erst dann präsentiert, wenn die Antwort für das aktuelle Paar erfasst wurde, sodass den Teilnehmern genügend Zeit für ihre Entscheidungen blieb. Es wurde kein Feedback über die Richtigkeit der Entscheidung gegeben.

Experimentelles Setup

Insgesamt wurden jeweils 5 Elektrodenkontakte der beiden o.g. Hersteller untersucht, um enge und breite Frequenzbänder zu vergleichen. Bei den 5 Elektroden handelte es sich sowohl um basale als auch um apikale Elektroden, um die Diskriminationsfähigkeit zwischen hohen und tiefen Frequenzen zu vergleichen. Zunächst wurden alle Frequenzen innerhalb eines Frequenzbandes in Halbtonabständen, anlehnend an die Klaviatur, angeordnet und die Mittenfrequenz bestimmt. Die ersten beiden Töne im AFC-Paradigma entsprachen jeweils der Mittenfrequenz der untersuchten Elektrode. Der dritte Ton entsprach in zufälliger Reihenfolge den restlichen Frequenzen derselben Elektrode inklusive der Mittenfrequenz und den ersten beiden Halbtonen der beiden direkt benachbarten Elektroden. In Tabelle 1 ist das Setup exemplarisch für die Elektrode 3 von MED-EL dargestellt. Somit untersuchten wir sowohl die Diskrimination von Tonpaaren, bei denen die Frequenzen beider Töne innerhalb eines Frequenzbandes liegen, als auch die Diskrimination von Tonpaaren, bei denen die Frequenzen der Töne auf zwei benachbarten Elektroden lokalisiert sind.

Ergebnisse und Diskussion

CI-Träger des Herstellers Cochlear konnten im Mittel über alle Elektroden und Intervalle 58,5 %, die Normalhörenden 92,1 % der Intervalle unterscheiden. Bei den CI-Trägern des Herstellers MED-EL betrug die richtige Antwortrate im Mittel 56,1 % und bei den gematchten NH 92,1 %. Die Unterschiede zwischen den CI-Trägern und den gematchten NH waren signifikant ($p < 0,05$). Zwischen den Cochlear- und MED-EL-Trägern bestand kein signifikanter Unterschied. Die Mittelwerte der richtigen Antwortraten sind in Abbildung 1 für die Cochlear-Träger und in Abbildung 2 für die MED-EL-Träger dargestellt.

Es zeigt sich, dass gleiche Töne sicher als gleich erkannt wurden. Die Diskriminationskurve fiel in den meisten Elektroden für Tonpaare mit einem Abstand von 1 Halbton auf < 50 % ab und stieg noch für Tonpaare innerhalb einer Elektrode auf Werte > 50 % an. Somit war eine Unterscheidung von Tonpaaren innerhalb einer Elektrode möglich. Bei Überschreiten der Elektrodengrenzen zeigte sich kein deutlicher Sprung in der Diskriminationsfunktion, weder bei engen noch bei breiten Frequenzbändern. Somit scheint Tonhöhendiskrimination unabhängig von Frequenzbandgrenzen zu sein.

Zur sicheren Unterscheidung verschiedener Töne war mindestens ein Abstand von 2 Halbtonen notwendig (richtige Antwortrate > 50 %), unabhängig von den Elektrodengrenzen. Bei den basalen Elektroden war die Tonhöhenunterscheidung besser als bei den apikalen Elektroden.

Zusammenfassung

Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass Tonhöhendiskrimination unabhängig von Frequenzbandgrenzen ist und eine höhere Elektrodenanzahl die Diskriminationsfähigkeit nicht verbessern würde. Unabhängig von den Elektrodengrenzen war mindestens ein Abstand von 2 Halbtonen zur sicheren Unterscheidung verschiedener Töne notwendig.

Ausblick

Im Weiteren ist eine Bestimmung der Position des Elektrodenträgers und sein Insertionswinkel in der Cochlea auf postoperativen Röntgenbildern geplant, um einen möglichen Einfluss der Elektrodenposition auf die Diskriminationsfähigkeit zu untersuchen.

Literatur

Pretorius, L. L., und Hanekom, J. J. (2008). Free field frequency discrimination abilities of cochlear implant users, *Hearing research* 244(1-2), 77–84.

Tabelle 1: Setup zur Untersuchung der Diskrimination der Frequenzen der Elektrode 3 von MED-EL. Die Mittenfrequenz dieser Elektrode beträgt 391 Hz und entspricht der Frequenz des ersten und zweiten Tons. Die Frequenzen des dritten Tons liegen in sequentiellen Halbtonabständen in auf- und absteigender Richtung zur Mittenfrequenz. E=Elektrode, MF=Mittenfrequenz

Ton 1&2 [Hz]	Ton 3 [Hz]	Lage Ton 3	Abstand von Ton 3 zur MF [Halbton]
391	523	E4	5
391	493	E4	4
391	466	E3	3
391	440	E3	2
391	415	E3	1
391	391	E3	MF
391	369	E3	1
391	349	E3	2
391	329	E3	3
391	311	E2	4
391	293	E2	5

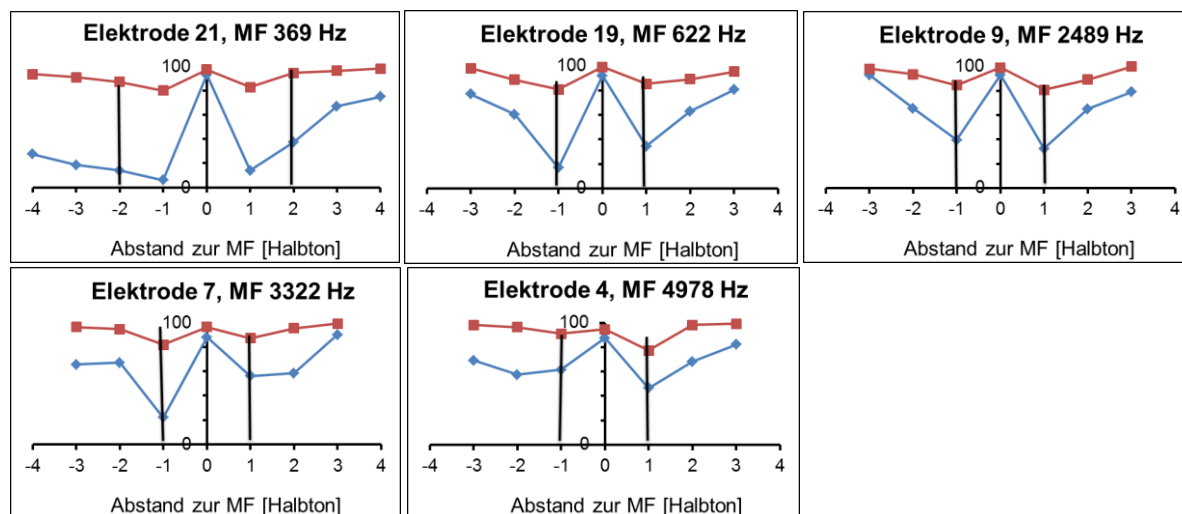
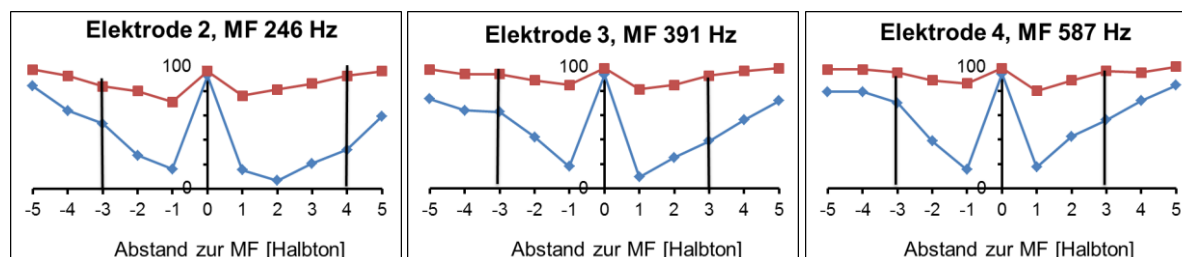


Abbildung 1: Mittelwerte der richtigen Antwortraten in % der CI-Träger [Cochlear] (blau) und Normalhörenden (rot) für verschiedene Halbtonabstände. Die schwarzen senkrechten Linien stellen die Elektrodengrenzen dar. MF = Mittenfrequenz



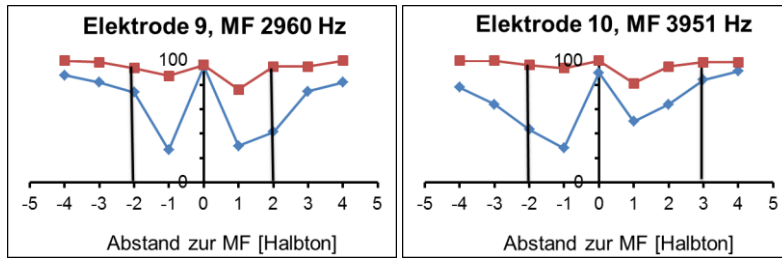


Abbildung 2: Mittelwerte der richtigen Antwortraten in % der CI-Träger [MED-EL] (blau) und Normalhörenden (rot) für verschiedene Halbtonabstände. Die schwarzen senkrechten Linien stellen die Elektrodengrenzen dar. MF = Mittenfrequenz