

Frequenzintegration von interauralen Laufzeitdifferenzen bei bilateral implantierten Cochleaimplantat-Trägern

Katharina Egger, Piotr Majdak, Bernhard Laback

Institut für Schallforschung, ÖAW, 1040 Wien, Österreich, Email: katharina.egger@oeaw.ac.at

Einleitung

Binaurales Hören ist essentiell für die Lokalisation und Trennung von Schallquellen. Bei Cochleaimplantat (CI)-Trägern ist das Lokalisationsvermögen und die Sprachverständlichkeit, vor allem im Störgeräusch, trotz zunehmend bilateraler Versorgung mit CIs deutlich eingeschränkt. Das lässt sich teilweise auf die geringe Sensitivität von CI-Trägern gegenüber interauralen Laufzeitdifferenzen (engl. interaural time differences, ITDs) zurückführen. Dies steht wiederum in engem Zusammenhang mit der suboptimalen Verarbeitung der ITD-Information mit derzeitigen bilateralen CI-Systemen. In kontrollierten Forschungsstudien zeigen CI-Träger jedoch Sensitivität gegenüber an einem interauralen Elektrodenpaar präsentierter ITD. Zur ITD-Sensitivität bei Stimulation an mehreren interauralen Elektrodenpaaren gibt es bisher nur wenig Literatur [1, 2]. Die aktuelle Studie erweitert die bisherigen Ergebnisse und untersucht die ITD-Sensitivität bei Präsentation identischer ITD-Information an einem oder an zwei interauralen Elektrodenpaaren unter dem Aspekt der folgenden drei Hypothesen:

1. Im normalen Gehör konnte man Frequenzintegration von ITD-Information, also die Verbesserung von ITD-Sensitivität bei Darbietung von identischer ITD-Information über einen größeren Frequenzbereich, zeigen [3, 4]. Analog dazu wurde die Integration von ITD-Information vorausgesetzt, das heißt je mehr Elektrodenpaare stimuliert werden, desto höher ist die ITD-Sensitivität.
2. Es wurde die Annahme getroffen, dass die ITD-Sensitivität mit steigendem Stimuluspegel zunimmt, wie auch im normalen Gehör gezeigt wurde [5].
3. Eine Verschlechterung der ITD-Sensitivität durch die Interaktion benachbarter Elektroden aufgrund von Kanalübersprechen wurde berücksichtigt. Demzufolge je geringer der Abstand zwischen den stimulierten Elektroden, desto niedriger die ITD-Sensitivität.

Methoden

Probanden und Testsystem

Sieben bilaterale CI-Träger von MED-EL Geräten nahmen an der Studie teil. Die Implantate wurden über ein Forschungsinterface (RIB2, entwickelt am Institut für Ionenphysik und Angewandte Physik der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck) mittels direkter, interaural koordinierter, elektrischer Stimulation angesteuert.

Stimuli

Unmodulierte Pulsketten mit einer Rate von 100 Pulsen pro Sekunde (pps) und einer Dauer von 300 ms wurden verwendet.

Zunächst wurden bis zu vier interaural tonhöhenangepasste Elektrodenpaare, gekennzeichnet von A, dem apikalsten Paar, bis D, dem basalsten Paar, identifiziert. Nachfolgend wurden immer ein oder zwei interaurale Elektrodenpaare gleichzeitig stimuliert. Die Einzelpaare B, C und D wurden im Hauptexperiment, Paar A hingegen nur zu Trainingszwecken verwendet. Das basalste Paar D wurde zusätzlich auch mit der doppelten Pulsrate von 200 pps stimuliert (gekennzeichnet als Spezialbedingung DD). Wenn Doppelpaare, also zwei interaurale Elektrodenpaare gleichzeitig, stimuliert wurden, wurde die identische ITD-Information an beiden Paaren präsentiert. Der zeitliche Versatz der Pulse zwischen den Elektroden entsprach der halben Periodendauer. Zwei tonotopische Abstände wurden getestet: Doppelpaar BD mit einem großen tonotopischen Abstand von ca. 14 mm im Durchschnitt, Doppelpaar CD mit einem kleinen tonotopischen Abstand von ca. 6 mm im Durchschnitt.

Drei verschiedene Stimuluspegel wurden bestimmt. Im ersten Schritt wurden die Pegel der Einzelpaare (B, C und D) eingestellt, sodass jedes Paar als angenehm laut und zentralisiert empfunden wurde. Die gleichen Pegel wurden auch für die Doppelpaare (BD, CD) verwendet. Anschließend wurden die Doppelpaare in der Lautheit an die entsprechenden Einzelpaare angepasst. Diese Pegel weisen nachfolgend in der Nomenklatur ein einfaches Hochkomma auf (BD', CD'). Die Stimuluspegel entsprechend der weiteren Pegelreduktion der Doppelpaare auf 85 % der lautheitsangepassten Pegel sind mit einem doppelten Hochkomma gekennzeichnet (BD'', CD'').

Prozedur

Die differentiellen Wahrnehmbarkeitsschwellen von ITDs wurden an den Einzel- und Doppelpaaren bei den verschiedenen Stimuluspegeln bestimmt. Bei einer Two-Alternative Forced Choice (2AFC)-Methode mit zwei Intervallen und Feedback war die Aufgabe der Probanden die Links/Rechts-Unterscheidung von Tönen. Die daraus resultierenden Prozent-Korrekt-Daten wurden mittels psychometrischer Funktion interpoliert um die 75 % Wahrnehmbarkeitsschwelle (engl. just noticeable difference, JND) zu ermitteln.

Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt die individuellen ITD JNDs und die Medianwerte der JNDs über alle Probanden für alle Anordnungen der stimulierten Elektrodenpaare. Für große tonotopische Abstände (Diagramm oben) sind bei konstantem Stimulationspegel die JNDs des Doppelpaars (BD) niedriger als jene der entsprechenden Einzelpaare (B und D). Die JNDs der lautheitsangepassten Paare (B, D und BD') liegen in derselben Größenordnung. Für kleine tonotopische Abstände (Diagramm unten) tritt keine Verbesserung der ITD-Sensitivität bei Stimulation von Doppelpaaren auf. Das lautheitsangepasste Doppelpaar (CD') zeigt überdies höhere JNDs als die entsprechenden Einzelpaare (C und D).

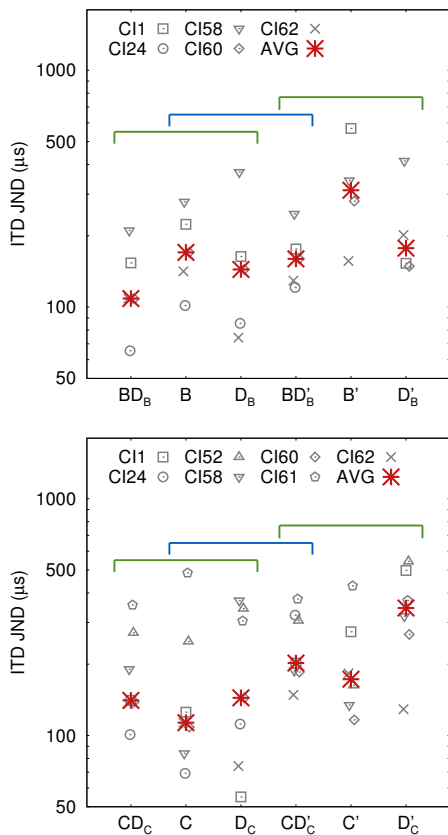


Abbildung 1: Individuelle ITD JNDs (grau) und Medianwerte der JNDs über alle Probanden (rot) für alle Anordnungen der stimulierten Elektrodenpaare. Grüne Klammern kennzeichnen Paare bei konstantem Stimuluspegel, blaue Klammern lautheitsangepasste Paare. Indizes geben das jeweilige Paar an, welches als Basis zur Bestimmung der Pegel verwendet wurde. Oben: Einzel- und Doppelpaare mit großem tonotopem Abstand (B und D_B). Unten: Einzel- und Doppelpaare mit kleinem tonotopem Abstand (C und D_C).

Abbildung 2 zeigt die ITD JNDs in Abhängigkeit des Stimuluspegels. Die JNDs zeigen eine starke Pegelabhängigkeit für alle Einzel- und Doppelpaare: Je höher der Pegel, desto niedriger die JND. Betrachtet man die Spezialbedingung DD als Doppelpaar mit tonotopem Abstand von 0 mm, findet man höhere JNDs mit niedrigerem tonotopem Abstand (BD < CD < DD).

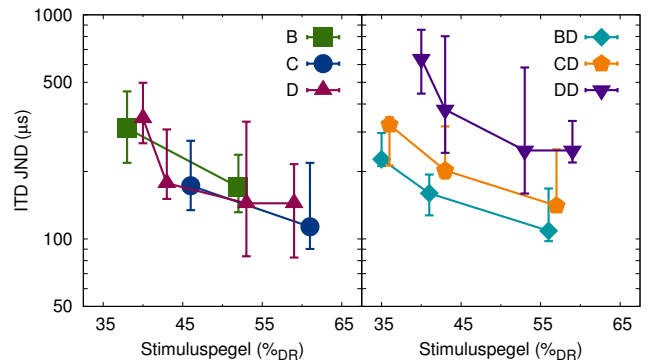


Abbildung 2: ITD JNDs als Funktion des Stimuluspegels (in % Dynamikbereich, DR) (Medianwerte über alle Probanden). Die Fehlerbalken zeigen den Interquartilbereich. Links: Einzelpaare. Rechts: Doppelpaare und Spezialbedingung DD (Einzelpaar D stimuliert mit doppelter Pulsrate).

Zusammenfassung

Die Ergebnisse zeigen nur für große tonotopische Abstände und bei konstantem Pegel eine geringe Verbesserung der ITD JNDs bei Stimulation von zwei Paaren im Vergleich zu den entsprechenden Einzelpaaren. Für kleine Abstände und lautheitsangepasste Pegel tritt hingegen eine Verschlechterung der JNDs auf. Die JNDs zeigen, unabhängig von der Anordnung der stimulierten Elektroden, starke Pegelabhängigkeit: Mit ansteigendem Pegel verbessert sich die ITD-Sensitivität. Bei Doppelpaaren zeigt sich, je geringer der Abstand zwischen den stimulierten Elektroden, desto niedriger die ITD-Sensitivität. Die Ergebnisse weisen auf eine komplexe Wechselwirkung zwischen dem Stimuluspegel, der Pulsrate und dem tonotopischen Abstand der stimulierten Elektroden hin, welche nur im Idealfall zu Frequenzintegration von ITD-Information bei CI-Trägern führt.

Literatur

- [1] Jones GL, Litovsky RY, van Hoesel R: Relationship of monaural and binaural channel interaction effects in bilateral cochlear implant users. Poster at Conference on Implantable Auditory Prostheses (CIAP) 2009
- [2] Jones HG, Kan A, Litovsky RY: Binaural sensitivity of bilateral cochlear implanted patients to amplitude modulated stimulation presented on multiple electrodes. Poster at Conference on Implantable Auditory Prostheses (CIAP) 2013
- [3] Buell TN, Hafter ER: Combination of binaural information across frequency bands. J Acoust Soc Am **90** (1991), 1894-1900
- [4] Le Goff N, Buchholz JM, Dau T: Spectral integration of interaural time differences in auditory localization. Proceedings of Meetings on Acoustics **19**, 050160 (2013)
- [5] Dietz M, Bernstein LR, Trahiotis C, Ewert SD, Hohmann V: The effect of overall level on sensitivity to interaural differences of time and level at high frequencies. J Acoust Soc Am **134** (2013), 494-502