

Refraktärverhalten der ECAP bei kurzen Pulsabständen

M. Hey^{1,2}, W. Vorwerk¹, J. Langer¹, H. Hessel³, K. Begall¹

¹HNO, AMEOS Klinikum St. Salvator GmbH, Halberstadt ²Cochlear Implant Rehabilitationszentrum Halberstadt, Cecilienstift ³Cochlear GmbH Hannover

Einleitung:

Der Auslösung eines Aktionspotentials folgt eine Zeit mit geringerer Reizbarkeit der neuronalen Strukturen, die Refraktärzeit. Während der Refraktärzeit ist die Schwelle für die Auslösung eines Aktionspotentials erhöht. Die Refraktärzeit eines einzelnen Neurons beträgt rund 1 ms, die des Hörnerven 2...6 ms. Moderne Cochlea Implantat (CI) Systeme realisieren immer höhere Stimulationsraten, was zu immer geringeren Pulsabständen führt. Diese liegen heute im Bereich von wenigen μ s. Damit weisen CI-Systeme Pulsabstände auf, die wesentlich kleiner sind, als die Refraktärzeit des Hörnerven.

Im vorliegenden Beitrag werden die Einflüsse sehr kurzer Pulsabstände auf das Refraktärverhalten des auditorischen Systems bei elektrischer Stimulation mittels elektrisch evozierter Summenaktionspotentiale (ECAP) untersucht.

Methodik:

Zur Bestimmung der Refraktäreigenschaften wird ein Doppelpuls-Stimulationsparadigma genutzt. Es werden Paare von Stimulationspulsen mit gleicher Amplitude, die von einem variablen Interpulsintervall (IPI = 0,1 ... 10 ms) getrennt sind, an einer Elektrode angeboten. Die

Stimulusintensität wurde zwischen maximal tolerierter Intensität und Nachweisschwelle der ECAP variiert. Zur Quantifizierung der Refraktäreigenschaften wird die Amplitude des ECAP genutzt. Die Antworten auf den Stimulationspuls mit variablem IPI werden mit der Antwort bei einem IPI von 10 ms bei ansonsten gleicher Parameterwahl verglichen.

Die Untersuchungen wurden an Patienten durchgeführt, die mit einem CI Nucleus CI24RE(CA) versorgt sind. Es nahmen 18 Patienten teil. Dabei waren dem Geschlecht nach 8 Patienten weiblich und 10 männlich. Die Messungen erfolgten mit der Software „Custom Sound EP“.

Ergebnisse:

Die Untersuchungen mit einem Interpulsabstand von 0,5 – 10 ms zeigten Übereinstimmung mit den bekannten Ergebnissen der Refraktäreigenschaften des Hörnerven (Abb. 1). Die Ergebnisse für absolute und relative Refraktärzeit stimmen mit den Angaben aus der Literatur überein [Abbas 1991; Abbas 1997; Miller 2000].

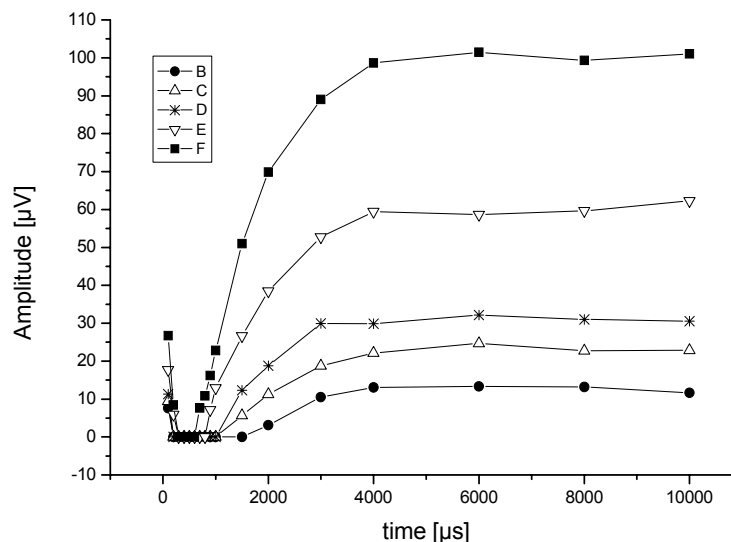


Abb. 1: Recovery-Funktion eines CI-Trägers im zeitlichen Bereich von 100 bis 10.000 μ s bei verschiedenen Reizintensitäten (absolute Amplitude, Masked Response Extraction, Referenz-MPI 300 μ s)

Anders verhält es sich bei Interpulsabständen unter 200 μ s. Es wird eine Zunahme der Amplitude des durch

den zweiten Puls evozierten Potentials bei Abnahme des Interpulsabstandes beobachtet (Abb. 2).

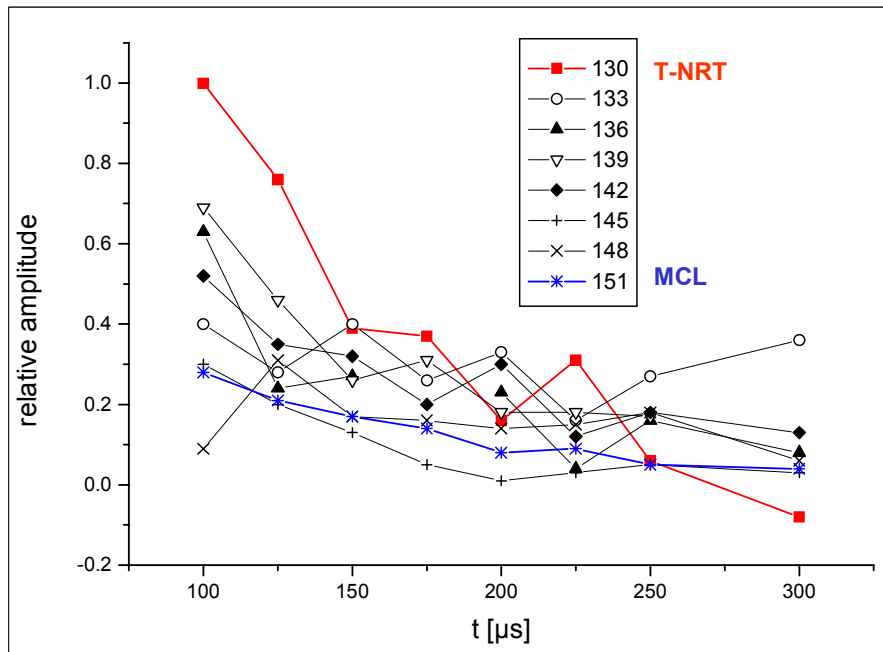


Abb. 2: Detaillierter Auflösung der Recovery-Funktion eines CI-Trägers im zeitlichen Bereich von 100 bis 300 μs (relative Amplitude normiert für jeden Stimulationspegel auf die Amplitude des ECAP bei $t = 10 \text{ ms}$)

Ausgehend von diesen Beobachtungen kann die Refraktärzeit in zwei Phasen eingeteilt werden:

- zum einen findet man eine Summationsphase für IPI kleiner als 200 μs (Abb. 3) und
- den bekannten Effekt einer refraktären Phase erkennt man bei IPI größer 200 μs .

Dieser Effekt nimmt bei IPI kleiner 200 μs mit abnehmender Reizstromstärke zu. Dies kann als ein intensitätsabhängiger Summationseffekt für kurze Interpulsintervalle beschrieben werden.

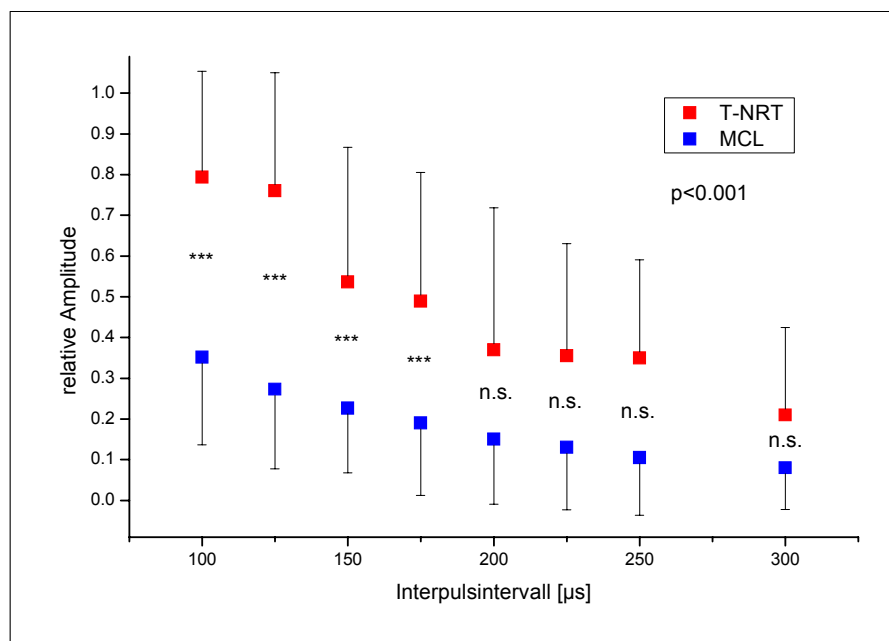


Abb. 3: Vergleich der Mittelwerte (paarweiser t-Test) der Recoveryfunktion bei unterschiedlichen Reizintensitäten im zeitlichen Bereich von 100 bis 300 μs (relative Amplitude normiert für jeden Stimulationspegel auf die Amplitude des ECAP bei $t = 10 \text{ ms}$; $N=15$)

Diskussion:

Die Messungen der Refraktäreigenschaften für kurze Pulsabstände zeigt gute Übereinstimmung mit EABR-Messungen [Hey 2002].

Ausgehend von diesen Ergebnissen kann die Reaktion auf zwei Stimulationspulse in Abhängigkeit vom Pulsabstand in zwei Phasen eingeteilt werden: eine summierende und eine refraktäre Phase. Der Effekt der Zunahme der relativen Amplitude bei geringen Pulsabständen unter 200 μ s steht im Gegensatz zur Annahme, daß der erste Puls alle Neurone in den refraktären Zustand versetzt. Hier tritt der entgegengesetzte Fall der Zunahme der relativen Amplitude auf. Dieser Summationseffekt wird auch bei psychophysischen Untersuchungen beobachtet [McKay 1995]. Für dieses Phänomen sind zwei Erklärungen denkbar: zeitliche Lautheitsintegration bei kleinen Pulsabständen oder ein neuronaler exzitatorischer Effekt. Der erste Puls führt die Neuronen bei geringen Intensitäten in ein höheres, aber nicht aktiviertes Niveau und der zweite generiert dann ein Aktionspotential [Jayakar 1993].

Literatur:

- Abbas P.J. Refractory properties of the ECAP. In NRT Workshop, Zürich 1997
- Abbas P.J., Brown C.J. Electrically evoked auditory brainstem responses: Refractory properties and strength-duration functions. *Hear. Res.*, 51, 139–48, 1991
- Hey. Kanaltrennung bei hochratiger sequentieller pulsativer Elektrostimulation der Cochlea. 2002, Dissertation Universität Oldenburg
- Jayakar P. Physiological Principles of Electrical Stimulation. In Devinsky O., Beric A., Dogali M., editor, *Electrical and Magnetic Stimulation of the Brain and Spinal Cord*, Kapitel 2, 17–27. 1993 Raven Press, New York.
- McKay C.M., McDermott H.J., Clark G.M. Loudness summation for two channels of stimulation in cochlear implants: effects of spatial and temporal separation. *Ann. ORL (Suppl.)*, 104(9/2), 230–33, 1995
- Miller CA, Abbas PJ, Brown CJ. An improved method of reducing stimulus artifact in the electrically evoked whole-nerve potential. *Ear Hear.* 2000 Aug;21(4):280-90.