

Die Steigung der Amplitudenwachstumsfunktion von Summenaktionspotentialen als Elektrodenselektionskriterium

Morsnowski A.¹, Conway M.², Craddock L.², Cullington H.³, Dillier N.⁴, Lai W.K.⁴, Stecker M.⁵, Steffens T.⁶, Müller-Deile J.¹

¹HNO-Klinik, Christian-Albrechts-Universität Kiel, ²RNTNE Hospital, Nuffield, London, ³University of California, Irvine, ⁴ORL-Klinik Universitätsspital Zürich, ⁵HNO-Klinik, Albert-Ludwig-Universität Freiburg, ⁶Universitäts-HNO-Klinik Regensburg

Schlüsselwörter

Cochlear implant, TECAP, elektrisch evoziertes Summenaktionspotential, Sprachverständlichkeit, Elektrodenselektion

Einleitung

Cochlea-Implantate (CI) können auch bei moderaten Stimulationsraten oft nicht alle intracochleären Elektroden sequentiell pro Auswertzeitfenster ansprechen und selektieren die zu stimulierenden Elektroden z.B. nach dem Signalleistungsspektrum.

Tierexperimentelle Untersuchungen weisen darauf hin, daß die Steigung der Amplitudenwachstumsfunktion (AGF) von elektrisch evozierten Summenaktionspotentialen mit der Dichte der funktionsfähigen Hörnervenfaser am Stimulationsort positiv korreliert sind (Hall 1990, Brown et al. 1990). Bereits Brown et al. (1996) diskutierten, daß die Steigung der AGF mit der Sprachverständlichkeit korreliert sein müßte.

In der vorliegenden multizentrischen Studie wurde dies mit CIS-Programmen untersucht, bei denen die Elektroden nach der Steilheit der AGF von TECAP-Messungen ausgewählt wurden. Dabei wurden Sprachprozessorprogramme zum einen mit einem aktiven Elektrodensatz mit steilen AGF und zum anderen mit flachen AGF erzeugt und mittels Sprachtests verglichen. Da die Verteilung der aktiven Kontakte auf dem intracochleären Elektrodenstrang einen starken Einfluß auf das Sprachverstehen hat, wurde ein Maß zur Beschreibung solcher Verteilungen entwickelt, die Distributionszahl D.

Patienten und Methode

Es wurden bei 27 postlingual ertaubten Nucleus CI24-Patienten (Alter 25-79 Jahre) die Amplitudenwachstumsfunktionen (AGF) von allen 22 intracochleären Elektroden unter Variation der Stimulationsintensität mit Neural Response Telemetry 3.1 (NRT) gemessen und visuell die telemetrisch gemessenen elektrisch evozierten Summenaktionspotentiale des Ganglion spirale (TECAP) ermittelt. Die AGF-Steigung wurde als die Steigung des linearen Anteils der oftmals sigmoidalen AGF bestimmt. Anschließend wurde eine Anzahl aktiver Elektroden segmentweise nach der AGF-Steilheit ausgewählt und in CIS-Programmen implementiert (Abb. 1).

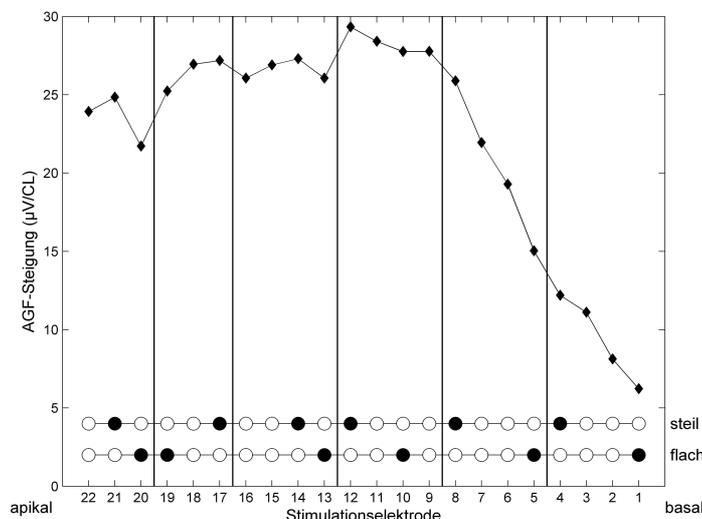


Abb.1: Segmentweise Auswahl von aktiven Elektroden nach den ermittelten AGF-Steigungen: Der Elektrodenstrang ist hierzu in mehrere Segmente unterteilt. Aus jedem Segment wird je eine Elektrode mit der größten und der niedrigsten AGF-Steigung ausgewählt. Die aktiven Elektroden der beiden Programme sind unten skizziert und rechts bezeichnet.

Diese Sprachprozessorprogramme „flacher“ und „steiler“ Elektroden wurden in einem akuten Doppelblindexperiment in ihrer Sprachverständlichkeit nach ca. 2 Stunden Gewöhnungszeit verglichen. Eine längere Testphase wurde wegen der teils geringen Akzeptanz durch schlechten Klang bzw. schlechte Sprachverständlichkeit nicht durchgeführt. Je nach Landessprache wurden verschiedene Satz- und Worttests teils im Störschall genutzt. Es kamen der Göttinger, Innsbrucker, Oldenburger Satztest und der englische „IHR test“ zum Einsatz. Der Freiburger Sprachverständlichkeitstest sowie der englische „VCV test“ wurden auf Wortebene benutzt. Allen Tests gemeinsam ist das Ergebnisintervall von 0 bis 100 %. Zur gemeinsamen Vergleichbarkeit wurden daher nur die Sprachverständlichkeitsdifferenzen von den Programmen mit aktiven Elektroden „steiler“ zu denen mit „flacher“ AGF-Steigung benutzt.

Zur Berücksichtigung der Gleichmäßigkeit der Verteilung aktiver Elektroden wurde die normierte Distributionszahl D eingeführt, welche einer lokal konzentrierten Verteilung den Wert $D = 0$ und einer Gleichverteilung den Wert $D = 1$ zuweist (Abb. 2).

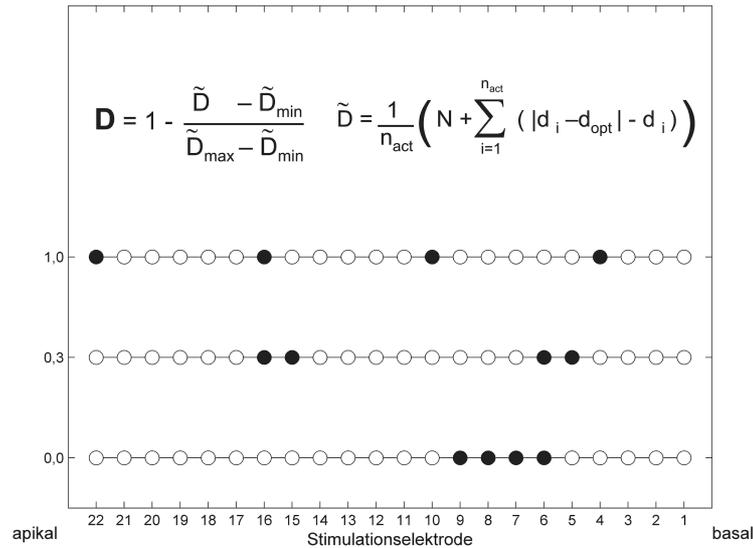


Abb.2: Die normierte Distributionszahl D für n_{act} aktive Elektrodenkontakte wird nebenstehend mit $d_{opt} = N / n_{act}$ auf einem Elektrodenstrang mit N Elektroden definiert, dabei bezeichnen in der oberen Formel die jeweiligen Extrema der nicht normierten Distributionszahl der unteren Formel. Verschiedene Verteilungen sind mit der Distributionszahl linker Hand angegeben.

Dabei gehen gleichmäßig verteilte aktive Elektroden oft mit einer besseren Sprachverständlichkeit einher als auf dem Elektrodenstrang konzentrierte aktive Kontakte.

Statistisch werden die vorliegenden Daten mittels der linearen Pearsonschen sowie Spearmanschen Rangreihenkorrelation analysiert. Mittels einer Bootstrap-Simulation wurde das empirische Signifikanzniveau des Einflusses der AGF-Steigung abgeschätzt.

Ergebnisse

In der Regel wurden CIS-Strategien der Rate 1200 Hz benutzt. Die Anzahl der benutzten aktiven intracochleären Elektroden variierte. Von den 27 teilnehmenden Patienten hatten 5 Patienten wenigstens zwei verschiedene Sprachtests, deren Aussage sich hinsichtlich des besseren Ergebnisses der Programme widersprachen, oder die Sprachtestergebnisse waren sämtlich im Sättigungsbereich des Tests, so daß keine sinnvolle Aussage zur Unterscheidung der Programme möglich war. Diese wurden von der weiteren Analyse ausgeschlossen.

Zwei Patienten hatten auffällig viele gemeinsame aktive Elektroden in den konkurrierenden Programmen. Zudem unterschied sich der Mittelwert der aktiven Elektrodennummern um mehr als zwei Elektrodenplätze bei diesen. Diese Patienten wurden ausgeschlossen, da die aktiven Elektroden sich somit im Mittel stark in ihrer Placierung auf dem Elektrodenstrang unterschieden. Hochmair et al. (2003) fanden, daß sich eine Verschiebung aktiver Elektroden von apikal nach basal sehr stark auf die Sprachverständlichkeit auswirkt.

Bei sieben Patienten waren die Steigungen der Amplitudenwachstumsfunktion nicht für alle Elektroden valide ermittelbar. Für die gemeinsame Analyse von Sprachtest, Distributionszahl und AGF-Steigung konnten die Daten von 13 Patienten verwendet werden.

Bei diesem Kollektiv berechneten sich die lineare Pearsonsche Korrelation zwischen den Differenzen der Sprachverständlichkeitsindices und den Differenzen der Distributionszahl zu $r = 0,66$ und die Spearmanische Rangreihenkorrelation zu $r_s = 0,74$. Beide Differenzen sind auf einem Niveau von 5 % linear miteinander korreliert, ein monotoner Zusammenhang ist sogar auf dem 1 %-Niveau gesichert (Abb. 3).

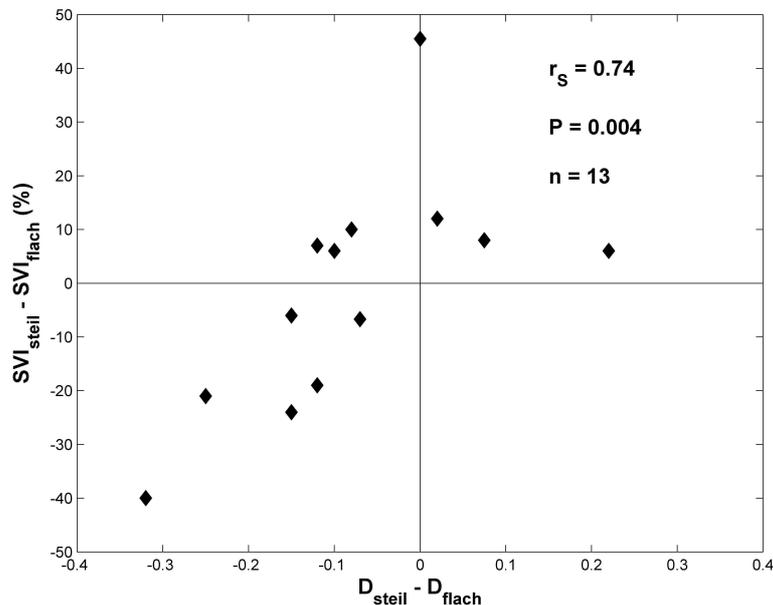


Abb.3: Die Differenz $SVI_{\text{steil}} - SVI_{\text{flach}}$ der Sprachverständlichkeit der Programme mit Elektroden steiler und flacher AGF ist signifikant mit der zugehörigen Differenz $D_{\text{steil}} - D_{\text{flach}}$ der Distributionszahl korreliert (Spearmanische Korrelation $r_s = 0,74$ bei einer nominellen Irrtumswahrscheinlichkeit von $P = 0,4 \%$).

Mittels eines Bootstrap-Ansatzes kann getestet werden, ob das Vorwissen der Zuordnung von Programmen mit aktiven Elektroden „steiler“ und „flacher“ AGF obige Korrelation zum Teil bedingt. Hierzu wurden in einer Simulation 10000 Realisierungen erstellt, in denen den einzelnen gemessenen Distributionszahldifferenzen das Vorzeichen willkürlich zugeordnet wurde und die Sprachverständlichkeitsdifferenz entsprechend geändert wurde. Bei den Simulationen entfällt auf diese Weise die Zuordnung zu „steiler“ und „flacher“ AGF. Die Nullhypothese unterstellt die Unabhängigkeit von der AGF-Steigung. Es ergibt sich ein Simulationsmedian von $r = 0,60$ bzw. $r_s = 0,55$ mit nominalen Signifikanzniveaus von 11 % bzw. 1,6 %. Die Berücksichtigung des Vorzeichens, d.h. das Vorwissen zur AGF-Steigung, verbessert signifikant die Spearmanische Korrelation zwischen Distributionszahldifferenz und Sprachverständlichkeitsdifferenz, während sich ein verbesserter linearer Zusammenhang nicht sichern ließ.

Solange die Distributionszahl der konkurrierenden Programme stark differiert, sollte eine mögliche Korrelation von Sprachverständlichkeit und AGF-Steigungen nicht erkennbar sein. Deshalb wird das gesamte Kollektiv mit einem Teilkollektiv verglichen, in dem nur die Patienten enthalten sind, deren Programme in ihren Distributionszahlen stark übereinstimmen; es wurde willkürlich eine Maximaldifferenz von $\Delta D \leq 0,1$ festgelegt. Bei dem Übergang vom Gesamtkollektiv zum Teilkollektiv stieg der Mittelwert der Sprachverständlichkeitsdifferenzen von $\Delta SVI = -1,7 \%$ auf $12,5 \%$ eindeutig an.

Zur Verdeutlichung wird der Sprachverständlichkeitsindex SVI_{steil} für Programme mit aktiven Elektroden mit steiler AGF über dem SVI_{flach} für Programme mit Elektroden flacher AGF aufgetragen (Abb. 4). Die Winkelhalbierende stellt hierbei die Grenze dar, oberhalb derer der Patient eine bessere Sprachverständlichkeit mit einem Programm mit Elektroden steiler AGF als mit solchen flacher AGF hat. In der Abbildung sind 13 Datenpunkte enthalten, welche sich zu 7 oberhalb und 6 unterhalb verteilen. Beschränkt man die Betrachtung auf jene Patienten, deren Programme sich in der Distributionszahl um weniger als 0,1 unterschieden, so verteilen sich 6 Datenpunkte, davon 5 oberhalb und 1 unterhalb. Die Nullhypothese entspricht einem Ziehungsexperiment, bei dem aus 7 schwarzen und 6 weißen Kugeln eine Anzahl von 6 Kugeln ohne Zurücklegen gezogen werden sollen. Die Wahrscheinlichkeit zur Ziehung mindestens 5 schwarzer Kugeln, d.h. die nominale Irrtumswahrscheinlichkeit berechnet sich nach der hypergeometrischen Verteilung zu $P = 7,8 \%$.

Diskussion

Es sollte untersucht werden, ob die AGF-Steigung sich auf die Sprachverständlichkeit auswirkt. Hierzu wurden Sprachprozessorprogramme mit einer Anzahl aktiver intracochleärer Elektroden „steiler“ bzw. „flacher“ AGF erzeugt. Ein naiver direkter Vergleich der Sprachverständlichkeit zweier solcher Programme ergab keine Korrelation (Abb. 4). Die Sprachverständlichkeitsindices von Programmen mit Elektroden „steiler“ AGF über denen mit „flacher“ AGF verteilen sich oberhalb und unterhalb der Winkelhalbierenden gleichmäßig (7 zu 6). Eine mögliche Korrelation wird offensichtlich durch den in dieser Studie nachgewiesenen Einfluß der Elektrodenverteilung verdeckt. Hierzu wurde die Distributionszahl D eingeführt und die signifikante Rangreihenkorrelation der Differenzen von Distributionszahl und Sprachverständlichkeitsindices nachgewiesen ($r_s = 0,74$). Das Vorwissen um die Zuordnung zu Elektrodenverteilungen „steiler“ und „flacher“ AGF wirkt sich dabei signifikant aus ($P = 1,6\%$). Um den Einfluß der AGF-Steigung weiter herauszuarbeiten und den Einfluß der Verteilung zu unterdrücken, wurde nur das Teilkollektiv der Patienten mit Sprachprozessorprogrammen betrachtet, deren Distributionszahldifferenz die Bedingung $\Delta D \leq 0,1$ erfüllten. In diesem Teilkollektiv ist die Sprachverständlichkeit von Programmen mit Elektroden „steiler“ AGF besser als von jenen mit „flacher“ AGF ($P = 7,8\%$, Abb. 4). Auch eine hier nicht dargelegte systematische Variation der maximalen Distributionszahldifferenz bestätigt dieses Ergebnis.

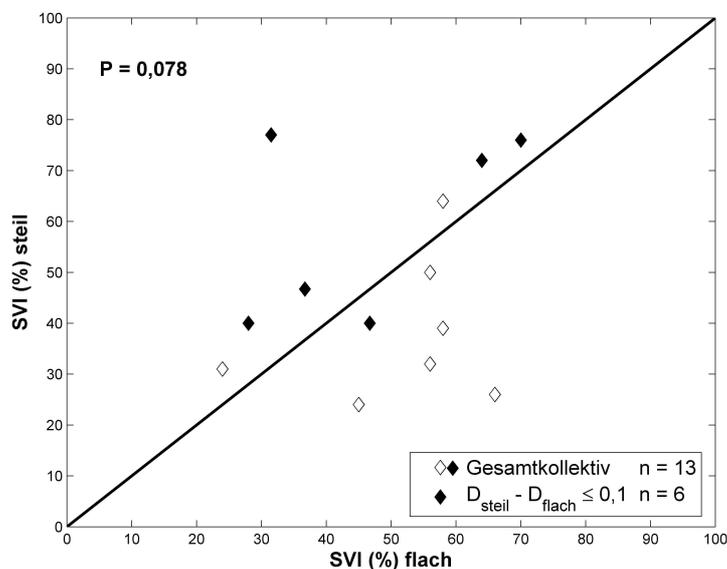


Abb. 4: Sprachverständlichkeit SVI_{steil} der Programme mit Elektroden steiler AGF vs. Sprachverständlichkeit SVI_{flach} solcher flacher AGF: Das Gesamtkollektiv ist annähernd gleichverteilt. Das Teilkollektiv von Patienten ($n = 6$, schwarze Karos), deren Distributionszahldifferenz $\Delta D \leq 0,1$ erfüllt, hat eine signifikant bessere Sprachverständlichkeit für Programme mit steiler AGF.

Zusammenfassung

Das Sprachverständnis ist mit der AGF-Steigung korreliert. Allerdings wird dieser Effekt durch den stärkeren signifikanten Einfluß der Verteilung der aktiven Elektroden in Form der hier eingeführten Distributionszahl D auf die Sprachverständlichkeit verdeckt. Ersteres sollte als Selektionskriterium bei der Stimulationselektrodenauswahl von Sprachprozessorstrategien nutzbar sein. Die Inhomogenität des betrachteten Datenmaterials machte eine quantitative Aussage zur Größe des Effekts oder einen funktionalen Zusammenhang unmöglich. Deshalb sei hier vorgeschlagen, eine solche Studie im deutschen Sprachraum mit homogeneren Daten zu wiederholen.

Literatur

- Brown CJ, Abbas PJ, Gantz B (1990) Electrically evoked whole-nerve action potentials: data from human cochlear implant users. *J Acoust Soc Am* 88, 3: 1385-1391
- Brown CJ, Abbas PJ, Borland J, Bertschy MR (1996) Electrically evoked whole nerve action potentials in Ineraid cochlear implant users: responses to different stimulating electrode configurations and comparison to psychophysical responses. *J Am Speech Hear Res* 39: 453-466
- Hall RD (1990) Estimation of surviving spiral ganglion cells in the deaf rat using the electrically evoked auditory brainstem response. *Hear Res* 45:123-136
- Hochmair I, Arnold W, Nopp P, Jolly C, M"uller J, Roland P (2003) Deep electrode insertion in cochlear implants: apical morphology, electrodes and speech perception results. *Acta Otolaryngol* 123: 612-617