

Zur prothetischen Versorgung Resthöriger und Gehörloser: Vergleichende Untersuchungen zwischen Hörgerät und Cochlea-Implantat

T. Spillmann, N. Dillier

Protheses for Patients with Minimal Residues of Hearing and for the Completely Deaf: Comparative Studies between Hearing Aids and Cochlear Implants

Experience has shown that with patients having minimal residues of hearing it is often impossible to classify speech discrimination via the Freiburg Word Discrimination Test. To compare different methods of assisting patients with impaired hearing, an array of 12 multiple-choice tests (graded according to difficulty or severity) was developed comprising identification of sentences, words and syllables with automatised signalling, recording of response, and evaluation.

24 patients with very severely impaired hearing equipped with hearing aids and 5 completely deaf persons with single-channel extracochlear implants with pulsatile stimulus coding were tested by means of this Minimal Auditory Capabilities test. Confusion of phonemes was evaluated according to phonological characteristics. Whereas with hearing aid users the discrimination of monosyllables was less than or equal to 10 % (N = 16), on the average consonants were discriminated only slightly better than by those with cochlear implants but vowels were definitely better discriminated by hearing aid than by cochlear implant users.

Thus, our test battery serves to compare different hearing aid fittings and may be used in the candidate evaluation for cochlear implantations and in the course of an auditory training or rehabilitation program.

Zusammenfassung

Bei Schwerhörigen mit minimalem Restgehör kann die Sprachdiskrimination erfahrungsgemäß mit dem Freiburger Wortverständlichkeitstest oft nicht mehr erfaßt werden. Um verschiedene Versorgungsarten vergleichen zu können, wurde eine im Schwierigkeitsgrad abgestufte Batterie von 12 multiple-choice-Tests von Satz-, Wort-, Silbenidentifikation mit automatisierter Signaldarbietung, Antwortregistrierung und Auswertung entwickelt.

24 hochgradig schwerhörige Patienten mit Hörgeräten (HG-Gruppe) sowie 5 Gehörlose mit einkanalen extracochleären Implantaten (CI) mit pulsativer Reizcodierung wurden mit dieser MAC-Batterie (MAC = Minimal Auditory Capabilities) getestet. Die Phonemverwechslungen wurden nach phonologischen Merkmalen ausgewertet. War bei HG-Benutzern die Einsilber-Diskrimination weniger oder gleich 10 % (N = 16), so konnten Konsonanten im Mittel nur wenig besser, Vokale jedoch noch deutlich besser erkannt werden als von der Gruppe der 5 CI-Benutzer.

Unsere Testbatterie vergleicht somit zwischen verschiedenen Hörgeräteanpassungen und kann auch in der Vorabklärung einer Cochlea-Implantation sowie im Verlauf eines gezielten Hörtrainings oder Rehabilitationsprogrammes eingesetzt werden.

Einleitung

Ausgangspunkt für unsere Bemühungen um einen neuen Sprachtest für Schwerhörige war die Beobachtung, daß Patienten mit Cochlea-Implantaten beim Einsilber-Diskriminations-Test (Freiburger Test) meist kein einziges Testwort erkennen konnten, in Gesprächen jedoch trotzdem einen Nutzen der prothetischen Versorgung demonstrierten. Umgebungsgeräusche und Stimmen konnten meist leicht unterschieden werden. Ähnliches ist auch bei hochgradig Schwerhörigen mit konventionellen Hörgeräten festzustellen. Zur Erfassung minimaler auditorischer Fähigkeiten bei solchen Patienten sollte deshalb eine Batterie von Tests verwendet werden, die auf spezifische Fehldiskriminierungen in der Alltagssituation hinweisen. So kann zwischen verschiedenen Versorgungsarten verglichen, die Geräte-Anpassung verbessert und die Signalverarbeitung modifiziert werden. Auch ein eventuell erforderliches Hörtraining soll gezielt verordnet und eingesetzt werden können.

Methode

Im amerikanischen Sprachraum existiert seit einigen Jahren der MAC-Test (Minimal Auditory Capabilities-Test) mit Sätzen, Wörtern und Geräuschen als Batterie von insgesamt 14 Subtests, die meisten davon in geschlossener Darbietung (Owens et al., 1968; 1981). Nicht für Schwerhörige, sondern für die Messung der Übertragungsqualität von Telefonleitungen wurde andererseits von Sotschek (1982) für die deutsche Sprache ein Reimtest mit sinnvollen Wörtern in geschlossener Form entwickelt.

Verschiedene Gründe veranlaßten uns, einen neuen Test in Reimform zusammenzustellen. Da wir für alle Untersuchungen mit Cochlea-Implantaten ein computerisiertes System verwenden, wurde ein neuer Reimtest digital gespeichert und ein Programm für den automatisierten Ablauf eines geschlossenen deutschen Sprachtests in Auswahlarbeitung entwickelt. Testwörter in geschlossener Form (mit vorgegebenen Antwortmöglichkeiten) lassen phonematische und akustische Merkmals-Verwechslungen unter Ausschluß höherer linguistischer Verarbeitungsstufen untersuchen. Diskriminationsfehler werden in Form von Verwechslungsmatrizen dargestellt und gespeichert. Statistische Auswertungen sollen unmittelbar nach dem Test vorliegen, um die Kodierungsparameter des elektronischen Stimulators bei Bedarf ändern zu können und um den Patienten Wortlisten für ein eventuell erforderliches Hörtraining mit nach Hause geben zu können.

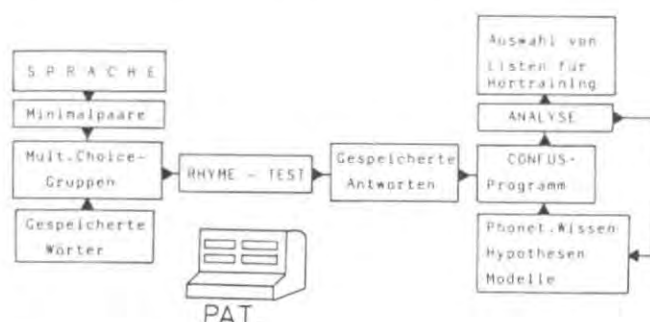


Abb. 1 Testanordnung (schematisch)

Ein Nachteil des *Sotschek*-Tests war, daß nur Einsilber vorkommen und daß keine Konsonanten in Mittelstellung (VCV) enthalten sind. Ferner ist die Anzahl von variierenden Phonemen nicht einheitlich (z. B. *drin* – *Zinn* – *Kinn* – *bin* ...). Diesen Mängeln versuchten wir beizukommen durch Einführung neuer Subtests mit distinktiven Merkmalen in verschiedenen Positionen (Anfang – Mitte – Ende) in mehrsilbigen und wo möglich auch in einsilbigen Wörtern. Einige Gruppen wurden auch als sinnlose Wörter (Logatome) registriert. Durch diese Erweiterungen wurde die Zahl der Subtests (12) fast gleich groß wie beim originalen MAC-Test (14), so daß wir unsere Batterie mit der amerikanischen im Umfang gut vergleichen können.

Testwörter und Antwortmöglichkeiten sind auf einer Magnetplatte digital gespeichert und werden auf einem Bildschirm mit berührungsempfindlicher Scheibe dargestellt (Abb. 1). Alle Tests werden im freien Schallfeld über Lautsprecher bei getragenen Hörgerät durchgeführt. Bei jedem neuen Aufruf werden die Reihenfolge der Testwörter und die Positionen der Antwortmöglichkeiten auf dem Bildschirm neu randomisiert. Die Person tippt mit dem Finger auf das verstandene (oder vermeintlich verstandene) Wort. Die Verwechslungen können am Ende einer Gruppe von 20–25 Darbietungen inspiziert und als Verwechslungsmatrix (Tab. 1) ausgedruckt werden.

In Anlehnung an *Miller* und *Nicely* (1955) wurde ein empirisch hergeleitetes Merkmalssystem der wichtigsten phonetischen Merkmale benutzt. Die Merkmale voicing, nasality, affrication und place von *Miller* und *Nicely* entsprechen den Merkmalen Stimmhaftigkeit, Nasalität, Frikation und Artikulationsstelle. Neu wurden von uns die Merkmale Sibilanz, Sonoranz und phonologische Gruppierung eingeführt. Die übertragene Information wird für jedes Merkmal separat berechnet. Dabei werden die vorgegebenen Vorkommens-Wahrscheinlichkeiten eines Merkmals in einer Testgruppe als Informationsgehalt (Entropie) berechnet und zur Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens von Stimulus-Merkmal und Antwort-Merkmal (Transinformation) in Beziehung gesetzt. Die „relative transmittierte Information“ (Merkmalerkennung) ist ein Gütemaß der Verständlichkeit des entsprechenden Merkmals unter Berücksichtigung der Rate-Wahrscheinlichkeit und einer allfälligen unsymmetrischen Verteilung der Stimulus-Merkmale.

Tab. 1a Verwechslungsmatrix (Beispiel): EPU.34j f, einkanaliges Cochlea-Implantat, 23.8.1984

		Antwort							Phonetische Gruppierung		
		1	2	3	4	5	6	7			
S	1:	6		1		2	1		1:	P	T K
T	2:	1	5	1		2	2		2:	B	D G
I	3:			5	1		1		3:	M	N NG
M	4:				1	6			4:	L	R
U	5:				1		3		5:	F	S SCH
L	6:		2		1			3 1	6:	V	Z W
U	7:				1			2	7:	J	CH H
S											

Richtig erkannt: 61 %; relative Transmission nach *Miller* und *Nicely* (2.7 bit pro Stimulation): 50 %.

Tab. 1b EPU.34j f (23.8.1984)
Relative Merkmalerkennung

Sonoranz	(z. B. N – S)	49 %
Stimmhaftigkeit	(z. B. B – P)	32 %
Nasalität	(z. B. N – L)	30 %
Artikulationsort	(z. B. B – D – G)	20 %
Frikation	(z. B. SCH – L)	8 %

Dieses Merkmalssystem ist nur als eine erste Möglichkeit zum Studium der Zusammenhänge zwischen Versorgungstyp und der Menge der übertragenen Information zu verstehen. Mit weiteren statistischen Analysen der Phonemverwechslungen hoffen wir, zwischen den Einflüssen von unterschiedlichen elektronischen Signalverarbeitungen und den Einflüssen der unterschiedlich gestörten Hörphysiologie bei verschiedenen Patienten differenzieren zu können.

Versuchspersonen

24 erwachsene Hörgeräteträger mit zumeist an Taubheit grenzenden Hörstörungen sowie fünf Patienten mit einkanaligen Cochlea-Implantaten (extracochleäre Elektrode am runden Fenster) dienten als Versuchspersonen. Verglichen wurden einerseits CI-Patienten und Hörgeräteträger mit dem Ziel, Kriterien für eine Indikation zu einer Implantation bei letzteren zu bestimmen. Andererseits wurden auch die einzelnen Subtests bei verschiedenen Patienten verglichen, um Hinweise auf deren Aussagekraft im Hinblick auf die vorgegebene Fragestellung zu gewinnen. Alle Hörgeräteträger waren in der Benutzung ihres Gerätes seit Jahren geübt (es handelte sich überwiegend um Hochleistungs-Hinterohrgeräte). Sie wurden willkürlich nach dem Freiburger Einsilbertest in zwei Gruppen eingeteilt (Gruppe HG1 mit mehr als 10 Prozent Einsilberverständnis und Gruppe HG2 mit weniger als oder gleich 10 %). Dabei ergab sich, daß der Medianwert der Hörschwellen ohne Gerät bei 1000 Hz bei HG1 besser als 100 dB, bei HG2 schlechter als 100 dB lag.

Einige Hinweise auf das Zürcher einkanalige extracochleäre Elektrodensystem (*Dillier* und *Spillmann*, 1985; *Spillmann* und *Dillier*, 1985):

Wir verwenden im Unterschied zu den meisten bekannten Cochlea-Implantaten eine pulsformige, digitale Reizform von Rechtecksignalen einer Dauer von 0,1 ms. Die Reizelektrode wird am runden Fenster befestigt, der Empfänger

Tab. 2 Gruppenvergleich von MAC-Test-Resultaten

Gruppe		HG1	HG2	CI
Anzahl Pat. pro Gruppe	n =	8	16	5
Anzahl untersuchte MAC-Subtests (Pat. x Tests)	n =	96	190	50
Anzahl Resultate mit Signifikanz P = 0.05 in einzelnen Subtests	n =	95	113	20
Relativer Anteil signifikanter Resultate	%	99	59	40

im Mastoid untergebracht. Die transkutane Übertragung zwischen Sender- und Empfängerspule erfolgt über eine 12 MHz-Trägerfrequenz. Der Sender wird hinter dem Ohr befestigt; alle elektronischen Bauteile sind in einem Taschen-gerät untergebracht. Dieses Gerät steht seit über fünf Jahren im Einsatz und hat sich als relativ wenig störungsanfällig und risikolos erwiesen.

Resultate

Als Maß für die statistische Signifikanz eines Ergebnisses in einem geschlossenen Test wird die kumulierte Binomialwahrscheinlichkeit berechnet. Als Kriterium wurde in Tab. 2 das Signifikanzniveau von 5 % gewählt. In der Regel wurden bei jeder Person alle 12 Subtests der MAC-Batterie angewendet. Die Anzahl der Subtests, bei denen die Irrtumswahrscheinlichkeit zufälliger Antworten bei oder unter der Signifikanzgrenze von 5 % liegt, gilt als Indikator für die Schwierigkeit der gesamten Testreihe bei einer Gruppe von Patienten. Der relative Anteil signifikanter Subtests, gemessen an der Gesamt-Testzahl, ist für die Hörgeräteträger der Gruppe 1 (HG1) 98 %, der Gruppe 2 (HG2) 59 % und für die Implantatträger 40%. Damit könnte man annehmen, daß konventionelle Hörgeräte auch bei nur ganz geringen Hörresten dem Cochlea-Implantat klar überlegen sind und daß Implantate nur dann indiziert sind, wenn praktisch kein Restgehör mehr audiometrisch nachweisbar ist. Eine eingehendere phonetische Analyse der Resultate relativiert allerdings diese zu verallgemeinernde Feststellung etwas:

Vergleicht man die Ergebnisse der einzelnen Untertests, so zeigt sich eine recht große Streuung sowohl zwischen den Subtests als auch zwischen den drei Patientengruppen. Der Zusammenhang mit dem Reinton-Audiogramm ist nur schwach. Theoretisch wäre zu erwarten, daß mit zunehmendem Hörverlust die Information über den Artikulationsort von Konsonanten zuerst, diejenige über das Silbenmuster zuletzt abfällt. Dies scheint auch zuzutreffen für den Subtest von Konsonanten in Mittelstellung zweisilbiger Wörter (C12) (Abb. 2). Die Streuung ist jedoch nur zum Teil durch die Unterschiede zwischen prä- und postlingual ertaubten Patienten bedingt.

Die Unterschiede von CI-Patienten und Hörgeräteträgern werden geringer, wenn die zwei Untergruppen HG1 und HG2 separat mit der Gruppe CI verglichen werden und wenn nicht globale Erkennungsleistungen (falsch – richtig), sondern einzelne phonetische Merkmalsverwechslungen nach dem beschriebenen Modell der Informations-Trans-

KONSONANTERKENNUNG

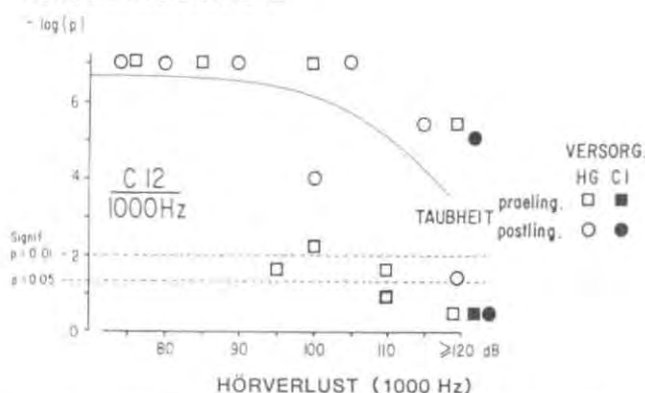


Abb. 2 Zusammenhang zwischen Hörverlust und Konsonanterkennung bei einem MAC-Subtest mit Konsonanten in Mittelstellung von sinnlosen Wörtern in einer Auswahlarbeit von 12 Möglichkeiten (C12). Als Parameter des Hörverlustes dient die Hörschwelle bei 1000 Hz. Die Konsonanterkennung wird als Logarithmus der Irrtumswahrscheinlichkeit im Binomialtest dargestellt.

mission untersucht werden. Zu diesem Zweck wurden summierte Verwechslungsmatrizen über alle Patienten pro Gruppe und Subtest errechnet und die relative übertragene Information für jedes Merkmal bestimmt (Abb. 3). Signifikante Unterschiede ($p = 0.001$) ergeben sich zwischen den Gruppen HG1 und HG2 sowie zwischen HG1 und CI, nicht aber zwischen den Gruppen HG2 und CI. Eine Ausnahme bilden die Merkmale Frikation und Artikulationsstelle, wo der Unterschied von HG1 und HG2 nur mit $p = 0.01$ signifikant ist. Die Frikation wird zudem bei den Hörgeräteträgern (HG2) etwas besser übermittelt als bei den CI-Patienten ($p = 0.05$).

Nun steht bekanntlich ein phonetisches Merkmal nicht für sich allein, sondern die Information verschiedener Merkmale überlagert sich gegenseitig, so daß die Summe der Einzelinformationen größer wird als die tatsächlich übertragene Information. Zur Eliminierung dieser Redundanz wurde von Wang und Bilger (1973) ein Verfahren in Analogie zur schrittweisen multiplen Regression vorgeschlagen, das sequentiell jeweils das Merkmal mit dem größten Informationsanteil konstant hält und die von den übrigen Merkmalen übertragene Information berechnet.

Diese „sequentielle Informations-Transmissions-Analyse“ wurde für alle Subtests und Gruppen durchgeführt (Abb. 4). Es ergeben sich Unterschiede bezüglich der Anzahl verbleibender Merkmale für die einzelnen Tests und Gruppen sowie bezüglich des relativen Informationsanteils, der durch das Merkmalssystem überhaupt erklärt werden kann. Den größten relativen wie absoluten Anteil an erklärbarer Information erreicht durchweg die Hörgeräte-Gruppe 1, den kleinsten relativen (aber nicht immer absoluten) Anteil die Cochlear-Implant-Gruppe. Die Konsonanten-Merkmale Sonoranz, Grouping und Artikulationsstelle kommen am häufigsten vor. Die Merkmale Frikation und Nasalität werden ausschließlich in der Gruppe HG1 übertragen. Die Gruppen HG2 und CI benötigen nur drei Merkmale (Sonoranz, Artikulationsort, phonetische Gruppierung) zur Erklärung der Verwechslungsmuster, die Gruppe HG1 dagegen

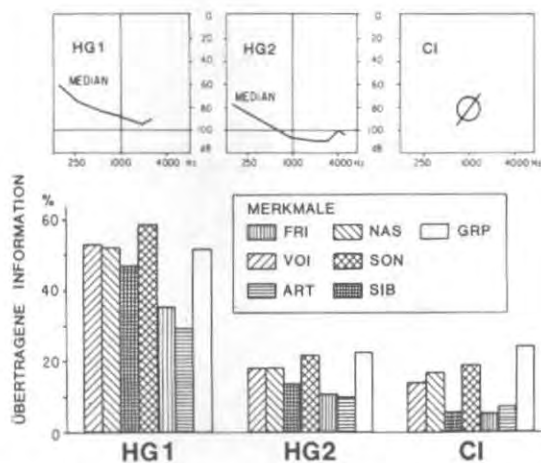


Abb. 3 Informations-Transmission für Konsonanten nach Miller und Nicely (1955, modif.). Vergleich zwischen Hörgeräten (Mittelwerte der Gruppen HG1, HG2) und Cochlea-Implantaten (Mittelwert der Gruppe CI). FRI = Frikation; VOI = Stimmhaftigkeit; ART = Artikulationsstelle; NAS = Nasalität; SON = Sonoranz; SIB = Sibilanz; GRP = phonetische Gruppierung. HG1 = Hörgerätegruppe 1; HG2 = Hörgerätegruppe 2; CI = Patienten mit Cochlea-Implantat.

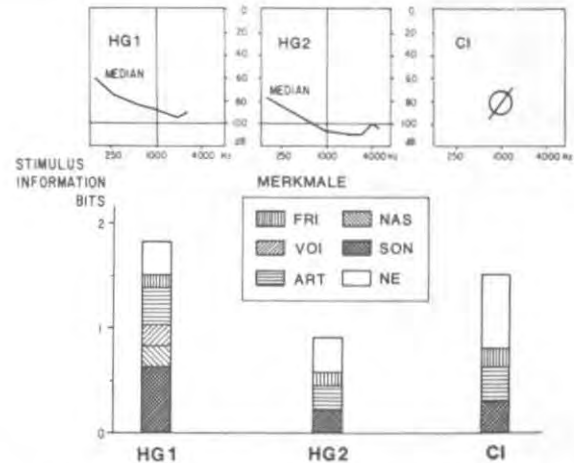


Abb. 4 Sequentielle Informations-Transmissions-Analyse nach Wang und Bilger (1973). Vergleich zwischen Hörgeräten (Mittelwerte der Gruppen HG1, HG2) und Cochlea-Implantaten (Mittelwert der Gruppe CI). (Subtest C12) Siehe auch Abb. 3. Zusätzlich: NE = nicht erklärbare Information

fünf. Die phonetische Gesamtinformation wird in der Einheit „bit“ ausgedrückt. Sie erreicht in der Gruppe HG1 einen Durchschnitt von 1.8 bit, in der Gruppe HG2 0.9 bit und bei den Implantaten 1.5 bit.

Schlußfolgerungen

Abschließend kann festgestellt werden, daß die neue, von uns entwickelte Batterie der minimalen Hörschwellen (MAC-Test) in kurzer Untersuchungszeit differenzierte Informationen über den Nutzen von Hörgeräten und Cochlear-Implants liefern und beide Versorgungstypen vergleichen kann. Wenn die Test-Items digital gespeichert werden und die Antwort via berührungsempfindlichem Bildschirm eingegeben werden kann, reduziert sich die Untersuchungszeit auf etwa eine Stunde. Die Computerverarbeitung von Resultaten liefert phonetische Fehlerprofile, welche in der individuellen Anpassung komplexerer Signalprozessoren und im Hörtraining durch Logopäden und Familienmitglieder hilfreich sein kann. Der Vergleich zwischen der schlechteren Hörgeräte-Gruppe und den Cochlea-Implantaten wird schließlich auch helfen, zukünftige Implantat-Kandidaten in der Wahl der Versorgungsart zu beraten.

Literatur

- Dillier, N., T. Spillmann: Signal coding for single channel stimulation. In: Cochlear Implants. R.A. Schindler, M.M. Merzenich, (Eds.), Raven Press, New York (1985) 233–242
- Miller, G. A., P. E. Nicely: An analysis of perceptual confusions among some English consonants. J. Acoust. Soc. Am. 27 (1955) 338–352
- Owens, E., E. D. Schubert: The development of constant items for speech discrimination testing. J. of Speech and Hearing Res. 11 (1968) 656–667
- Owens, E., C. Telleen: Speech perception with hearing aids and cochlear implants. Arch. Otolaryngol. 107 (1981) 160–163
- Sotschek, J.: Ein Reimtest für Verständlichkeitsmessungen mit deutscher Sprache als ein verbessertes Verfahren zur Bestimmung der Sprachübertragungsgüte. Der Fernmelde-Ingenieur 36 (1982) 1–84
- Spillmann, T., N. Dillier: Round window cochlear implant. In: Cochlear Implants. R. A. Schindler, M.M. Merzenich, (Eds.), Raven Press, New York (1985) 157–165
- Wang, M. D., R. C. Bilger: Consonant confusions in noise: A study of perceptual features. J. Acoust. Soc. Am. 54 (1973) 1248–1266