

Notched-Noise-BERA: Methoden, Ergebnisse und klinischer Stellenwert

Schönweiler, R.

Abteilung für Phoniatrie und Pädaudiologie (Leiter: Prof. Dr. Rainer Schönweiler), HNO-Klinik am Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Lübeck, Ratzeburger Allee 160, D-23562 Lübeck. Telefon: +49-(0)451-500-3485, Fax: +49-(0)451-500-3496, E-Mail: rainer.schoenweiler@phoniatrie.uni-luebeck.de

Hintergrund

Frühe klick-evozierte Potentiale werden seit Anfang der 1980er Jahre zur Schätzung von Hörschwellen eingesetzt, wobei allgemein eine gute Übereinstimmung von Potentialschwellen und Hörschwellen zumindest für Prüffrequenzen zwischen 1 und 5 kHz angenommen wird. Picton (1978) wies aber in einer „Schlüsselarbeit“ nach, dass diese Annahme nicht zutrifft, wenn sich der Hörverlust in verschiedenen Prüffrequenzen stark unterscheidet. Deshalb entwickelte er eine Stimulation mit Tonfrequenzen (Picton et al. 1979), die einerseits durch kurze Tonpips eine noch hinreichende neuronale Synchronisation und damit visuelle Erkennbarkeit der Potentiale ermöglichte, andererseits aber die bei kurzen Tonpips unvermeidlichen Seitenbänder durch ein kerbgefiltertes Rauschen (Notched-Noise) maskierte ("NN-BERA", Abb.1).

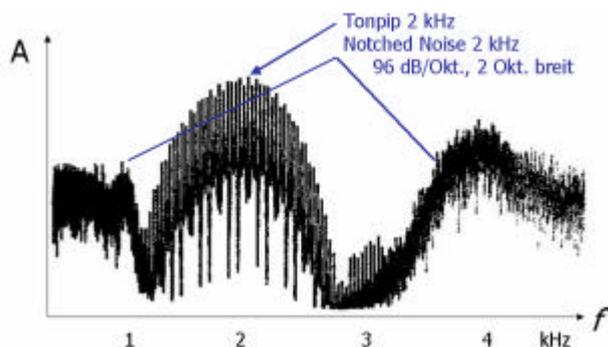


Abb.1: FFT-Spektrum eines Tonpips (2 kHz, 2 ms), gemischt mit einem kerbgefilterten Rauschen (Flankensteilheit 96 dB/Oktave, Breite 2 Oktaven). Die Seitenbänder des Tonpips werden zumindest teilweise maskiert. Ein solcher Stimulus ist nur als "Chance" auf ausreichende Frequenzspezifität aufzufassen, weil FFT-Spektren die cochleäre Frequenzdispersion nicht so widerspiegeln, dass Rückschlüsse von der FFT-Seitenband-Maskierung auf die Maskierung in der Cochlea zulässig wäre, insbesondere, weil biologische Vor- und Rückwärtsmaskierungseffekte außer Acht gelassen werden. Deshalb sind für die Abschätzung der tatsächlichen Frequenzspezifität Messungen an normalhörigen Probanden und schwerhörigen Patienten notwendig.

In Deutschland wird die NN-BERA derzeit von etwa 150 Einrichtungen genutzt, zumeist von Kliniken und Abteilungen für HNO-Heilkunde, Audiologie, Phoniatrie und Pädaudiologie sowie von niedergelassenen Fachärzten für Phoniatrie und Pädaudiologie. Es kann davon ausgegangen werden, dass die meisten permanent schwerhörigen Kinder zumindest einmal mit der NN-BERA untersucht wurden und die Anpassung der Hörgeräte wesentlich auf den Messwerten dieser Methode beruht. Daher war es an der Zeit, eine strukturierte Über-

sichtsarbeit zu methodischen Details, zu Ergebnissen und zum klinischen Stellenwert zu verfassen, besonders auch im Hinblick auf einen anstehenden Vergleich mit konkurrierenden Verfahren wie Auditory Steady State Responses (ASSR).

Ziel

Suchstrategien, Auswahlkriterien und Bewertungen der Literatur wurden nach Empfehlungen zur Evidence Based Medicine für die Beurteilung diagnostischer Verfahren beachtet (Glenck et al 2001, Knottnerus et al. 2002, Jaeschke et al. 1994). Für die Literatursuche wurden außerdem die Handsearching-Anleitung Version 1.3 des Deutschen Cochrane-Zentrums Freiburg vom 2. Februar 2000 herangezogen (<http://www.cochrane.de/cclitfr1.htm>). Da es für diagnostische im Gegensatz zu therapeutischen Übersichtsarbeiten noch keine Empfehlungen zur Manuskriptgestaltung gibt, wurden die Empfehlungen der HNO-Sektion der internationalen Cochrane-Gesellschaft (www.cochrane-int.org/page3.html) sowie von Moher et al. (2000) verwendet.

Suchstrategien

Da das Thema eine Suche nach Ergebnissen über Messungen an Probanden und Patienten erforderte, wurde die Literatur-Datenbank "SilverPlatter Medline" verwendet, in der sowohl klinisch-audiologische als auch physikalisch-akustische Zeitschriften gelistet sind. Es wurden die Jahre 1966-2005 (nur bis einschließlich 5. Kalenderwoche) durchsucht. Außerdem wurde die dort nicht gelistete Zeitschrift für Audiologie/Audiological Acoustics der verfügbaren Jahrgänge 1993-2004 durchsucht. Zusätzlich wurden online-verfügbare Kongressberichte wichtiger internationaler sowie deutscher Fachgesellschaften herangezogen, aber nur dann qualitativ ausgewertet, wenn die Ergebnisse nicht durch gleiche Autoren und mit ähnlichem Titel in der Medline-Datenbank gefunden wurden; andernfalls wurden sie nur quantitativ zur Kenntnis genommen. Einbezogen wurden die Abstracts von Tagungen der International ERA Study Group (IESG, Jahre 1997-2003), der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Audiologen und Neurootologen der Deutschen Gesellschaft für HNO-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie (ADANO, 1997-2004), der Deutschen Gesellschaft für Audiologie (DGA, Jahre 2001-2004) und der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie (DGPP, Jahre 1994-2004) ausgewertet. Als Quellen dienten die Internetrepräsentationen und Tagungspublikationen der Gesellschaften.

Auswahlkriterien

Es wurden experimentelle Studien zur NN-BERA und ASSR mit statistisch ausgewerteten audiologischen, an Menschen (Probanden und Patienten) aller Altersgruppen (Säuglinge, Kleinkinder, Schulkinder, Erwachsene) ermittelten Ergebnissen eingeschlossen. Daten aus Tierversuchen wurden wegen fehlender klinischer Relevanz nicht berücksichtigt.

Methodische Qualität der eingeschlossenen Studien

Die Einstufung des Evidenzniveaus der Arbeiten zur NN-BERA wurde nach den Empfehlungen des Oxford Centre for Evidence-based Medicine vorgenommen (http://www.cebm.net/levels_of_evidence.asp#notes). Die ausgewerteten Studien wiesen das Evidenzniveau 3b ("Non-consecutive study; or without consistently applied reference standards") oder 4 auf ("Case-control study, poor or non-independent reference standard"). Erfahrungsberichte und Expertenmeinungen (Evidenzniveau 5), Arbeiten zur Sedierung von Kindern sowie unsystematische Reviews ohne eigene Ergebnisse wurden ausgeschlossen. Systematische Reviews ("SR") mit Evidenzniveaus 3a oder besser wurden nicht gefunden.

Methode

NN-BERA

Die Publikationen wurden quantitativ und inhaltlich ausgewertet. Dazu wurden sie thematisch geordnet und hinsichtlich gemeinsamer oder verschiedener unabhängiger Variablen (Prüffrequenzen, Reizdauer, Reizpolarität, Notched-Noise-Pegel, Reizrate) und gemeinsamer abhängiger Variablen analysiert (Potentialamplituden, Potentialqualität, Abweichungen der Potentialschwellen von anderen Schwellen, meist Hörschwellen).

Anhand der Auswertung gefundener Arbeiten wurde gesucht, welche Qualitätsstufe der Übersichtsarbeit gewählt werden konnte. Dabei schieden die Qualitätsstufen III (Meta-Analyse mit Re-Analyse der Originaldaten der Publikationen) und IV (prospektive gepoolte Analyse) aus organisatorischen Gründen aus (Blexner et al. 1999). Für Typ II (einfache Meta-Analyse als quantitative Zusammenfassung publizierter Daten, d.h. retrospektives data pooling) ist die Homogenität in Bezug auf Methodik und Fallzahl entscheidend. Leider stellte sich heraus, dass die erforderliche Homogenität nicht erreicht wurde. Deshalb war lediglich eine qualitative Zusammenfassung der Ergebnisse verschiedener Publikationen, d.h. Typ I, möglich (sog. traditioneller Review).

ASSR

Publikationen zu ASSR wurden nur quantitativ zur Kenntnis genommen.

Ergebnisse und Diskussion

NN-BERA vs. ASSR

NN-BERA: Der Suchbegriff "Notched Noise and Potentials" ergab die meisten relevanten Ergebnisse in der Medline-Datenbank. Es fanden sich 31 Publikationen aus den Jahren 1979 bis Januar 2005. 26 Publikationen erfüllten die Einschlusskriterien. Außerdem fanden sich 9 Vorträge bei IESG-Tagungen und 12 Vorträge bei ADANO-, DGA- oder DGPP-Tagungen. Die meisten und grundlegenden Arbeiten zur NN-BERA wurden in den Jahren 1979 bis 1995 publiziert (Abb.2). Die Publikationsaktivität in Medline-gelisteten Zeitschriften beschränkt sich auf 6 Arbeitsgruppen (Tab.).

Autoren	Jahre	Anzahl der Publikationen
Picton TW, Ouellette J, Hamel G, Smith AD, Durieux-Smith A, Moran LM, Stapells DR, Linden RD, Suffield JB, Edwards CG, Gravel JS, Martin BA	1978-1995	7
Suzuki T, Horiuchi K, Kobayashi K, Takagi N	1981-1986	3
Gorga MP, Thornton AR, Kaminski J, Beauchine KA, Jestaed W	1981-1988	3
Hyde ML, Riko K, Corbin H, Moroso M, Alberti PW, Matsumoto N, Alberti PW	1984-1987	2
Beattie RC, Boyd RL, Franzone DL, Thielen KM, Torre P, Moretti M, Warren V, Aleks LA, Abbott CL	1984-1994	5
Schönweiler R, Ptok M, Tolloczko R, Neumann A	1995-2004	3

Tab.: Aktivität verschiedener Arbeitsgruppen mit mehr als einer Publikation in Medline-gelisteten Zeitschriften, sofern die Einschlusskriterien der Arbeit erfüllt sind und chronologisch geordnet nach dem Beginn der Publikationsaktivität.

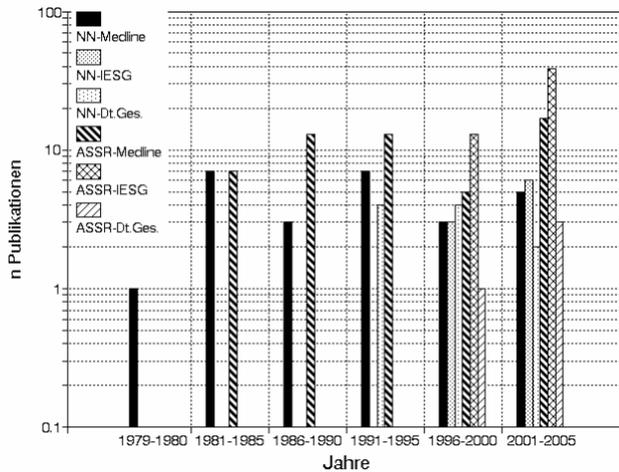


Abb.2: Forschungsinteresse hinsichtlich zweier konkurrierender frequenzspezifischer Potentialmessungen (NN-BERA und ASSR/AMFR einschließlich der 40-Hz-Potentiale), sortiert nach Literaturdatenbank, internationaler Tagung (IESG) und deutschsprachigen Tagungen (ADANO, DGA, DGPP). Seit 2000 stagnieren die Publikationen zur NN-BERA, während die Zahl der Publikationen zu ASSR/AMFR weiter zunehmen.

ASSR: Der Suchbegriff "threshold and (auditory evoked potentials) and (assr or amfr or 40 Hz)" ergab die meisten relevanten Ergebnisse. Es fanden sich 67 Publikationen aus den Jahren 1981 bis Januar 2005. 55 Publikationen erfüllten die Einschlusskriterien. Bei IESG-Tagungen wurden 52 Vorträge und bei ADANO-, DGA- oder DGPP-Tagungen 4 Vorträge publiziert. Seit 2002 haben sich meisten Arbeitsgruppen den ASSR zugewandt (Abb.2), deren methodischer Grundstein ebenfalls Anfang der 1980er Jahre gelegt wurde (Galambos et al. 1981).

NN-BERA. Reizpolarität

Die Bedeutung des Einflusses der Reizpolarität auf die Potentialqualität wird in der Literatur unterschiedlich eingeschätzt und meist als unkritisch angesehen (Gorga & Thornton 1989, Jacobson et al. 1983, Maurer et al. 1980; Pijl 1987). Mehrheitlich werden alternierende Stimuli empfohlen (Stapells 1989, Stapells & Picton 1981).

NN-BERA. Reizdauer

Von der Reizdauer ist bekannt, dass sie sowohl die neuronale Synchronisation als auch die Frequenzspezifität des Reizes wesentlich mitbestimmt (Suzuki & Horiuchi 1981). Eine kurze Anstiegszeit der Hüllkurve führt zu einer großen Potentialamplitude, jedoch zu weniger frequenzspezifischen Potentialen (Sininger et al. 1997). Eine Verlängerung der Anstiegszeit der Hüllkurve führt umgekehrt zu geringeren Potentialamplituden und –korrelationen; bei einer Verlängerung der Anstiegszeit von 2 auf 8 ms (führt zu 4 bis 16 ms langen Reizen) ist etwa mit einer Halbierung der Potentialamplitude zu rechnen (Stapells & Picton 1981).

NN-BERA. Reizpegel

Mit abnehmendem Reizpegel verlängern sich die Latenzen genau wie bei der Klick-BERA (Picton et al. 1979, Stürzebecher et al. 1993, Brunner C et al. 1998). Bei tiefen Prüffrequenzen mit flacher Anstiegsflanke sind die

Latenzen generell länger als bei hohen Prüffrequenzen. Dies und der nahezu parallele Verlauf der Latenzkennlinien verschiedener Prüffrequenzen entsprechend der bekannten cochleären Laufzeiten wird als Indiz für eine tatsächlich vorhandene Frequenzspezifität der NN-BERA angesehen. Die Reizantwortamplituden können bei tiefen Prüffrequenzen (500 Hz) durchaus größer sein als bei hohen (4 kHz); in der Praxis helfen sie aber aufgrund der schlechten Synchronisation der Potentiale nicht wesentlich beim visuellen Erkennen der Potentiale weiter, besonders nahe der Schwelle.

NN-BERA. Notched-Noise-Pegel

Generell reduziert das Notched Noise die Reizantwortamplitude drastisch, insbesondere bei hohen Reizpegeln. Mit zunehmendem Pegel des Notched-Noise in Bezug auf den Pegel der Tonpips nimmt die Erkennbarkeit der Potentiale stetig ab. Beispielsweise wiesen dies Beattie et al. (1994) für überschwellig evozierte Potentiale bei 0,5 und 2 kHz nach. Picton empfahl in der Erstbeschreibung des Verfahrens einen Notched-Noise-Pegel, gemessen dB SPL, für Normalhörende von 25 dB bzw. bei Hörstörungen und hohen Pegeln 15 dB unterhalb der Stimulusintensität in peSPL, zumal ein um 15 dB höherer Notched-Noise-Pegel die Potentialamplitude etwa halbiert (Picton et al. 1979).

Notched-Noise-maskierte Prüftöne von 250 Hz erlauben aufgrund kleiner Potentialamplituden keine zuverlässige visuelle Potentialerkennung mehr. Die meisten Autoren empfehlen deshalb 500 Hz als tiefste Prüffrequenz.

NN-BERA. Flankensteilheit und Bandbreite des Notched-Noise

Nur eine einzige Arbeit beschäftigt sich mit dem Einfluss der Flankensteilheit und der Notch-Bandbreite (Beattie et al. 1992). Eine Verringerung der Bandbreite von 2,5 Oktaven auf 1 Oktave führt etwa zu einer Halbierung der Potentialamplitude und um 0,7 ms längere Latenzen. Bei extremer Optimierung der Frequenzspezifität werden sich die Potentiale also schweltnah nicht mehr erkennen lassen. Daher werden meistens 2 Oktaven verwendet.

NN-BERA. Reizrate

Der Zeitbedarf für die Messung akustisch evozierter Potentiale hängt wesentlich von der Reizrate ab bzw. davon, wie Interstimulusintervalle und Epochen aufeinander abgestimmt sind. Der Wunsch, möglichst viele Prüffrequenzen zu messen, führt zu der Idee, die Reizrate so hoch wie möglich zu wählen, zumal sich viele Versuchspersonen (und Patienten) nicht länger als etwa 60 Minuten ausreichend motorisch ruhig verhalten können. Da die Latenzen zumindest bei den Prüffrequenzen 500 Hz und 1 kHz in Schwellennähe jenseits von 15 ms zu erwarten sind, sollten die Epochen nicht weniger als 20 ms betragen. Damit ist der maximalen Reizrate eine theoretische Grenze von 50/s gesetzt.

Bei Klick-evozierten Potentialen werden die Amplituden bei Erhöhung der Reizrate reduziert und die Latenzen verlängert (Gorga et al. 1981, Stapells & Picton 1981, Suzuki et al. 1986). Für tonfrequenzevozierte Potentiale wird dieser Effekt aber mehrheitlich als unkritisch angesehen, zumal typischerweise keine Latenzauswertung notwendig ist und sich die Amplitudenreduktion in Grenzen hält. Eine Reizrate um 33/s (Stapells & Picton 1981) bis etwa 40/s (Stürzebecher et al. 1993) ermöglicht die Überlagerung früher Potentiale mit mittellatenten ASSR-Potentiale bzw. "40 Hz-Potentiale", zumindest bei wachen Erwachsenen und Jugendlichen ("Composite Early AEP", CEAEP). Bei Säuglingen und Kleinkindern ist dies aber meist nicht möglich (Stapells et al. 1984, 1988, Suzuki & Kobayashi 1984). Letztlich spricht nichts dagegen, die theoretisch maximal mögliche Reizrate zu wählen und ggf. mittellatente Komponenten durch entsprechende Filtereinstellungen auszublenden.

NN-BERA. Schwellenkorrelation. Schwellenabweichungen bei Normalhörigkeit und verschiedenen Hörverlusten

Sieben der oben zitierten Publikationen geben auch Abweichungen von Potentialschwellen zu Sinustonhörschwellen an. Die Daten umfassen Messungen an normal hörenden Probanden und Patienten mit verschiedenem Hörverlust sowie unterschiedlichen Alters, auch Neugeborene und Säuglinge. Da von den Klick-evozierten Potentialen bekannt ist, dass die Synchronisation der neuronalen Reizantwort und damit die Erkennbarkeit der Potentiale an der Schwelle noch nicht ausgereift ist bzw. die Werte von Erwachsenen erreicht, verglichen Sininger et al. (1997) die Potentialschwellen an Neugeborenen und Erwachsenen. Sie stellten keine Unterschiede fest, konnten jedoch durch in-situ-Messungen erheblich (bei 4 kHz um 20 dB) höhere Schallpegel feststellen.

Die Ergebnisse von Stapells et al. (1990, 1995), Munnerley et al. (1991), und Schönweiler et al. (2004) wurden an experimentellen Geräten mit verschiedenen Reiz- und Ableiteinstellungen gewonnen, die Daten von Stürzebecher et al. (1993), Schönweiler et al. (1995) und Brunner et al. (1995) an einem kommerziellen Gerät mit identischen Einstellungen, aber an unterschiedlichen Altersgruppen, Methodik der Ruhigstellung und Fallzahlen, was sich stark auf die Ergebnisse auswirken kann. Die Forest Plots zeigen in allen Prüffrequenzen stark unterschiedliche Schwellenabweichungen (Abb.3). Die Mittelwerte streuen zwischen 0 minimal bis maximal 12 dB, die Standardabweichungen zwischen minimal 2 bis maximal 16 dB. Sofern berechnet, beträgt die Korrelation zwischen Potentialschwellen und Tonhörschwellen $r=0,84$ bis $r=0,97$. Die Frequenzspezifität der Potentialschwellen wurde durch Übereinstimmung mit psychoakustischen Hörverlustkurven sowie durch das Latenzverhalten (siehe Abschnitt NN-BERA, Reizpegel) plausibel gemacht Picton et al. 1979, Stürzebecher et al. 1993).

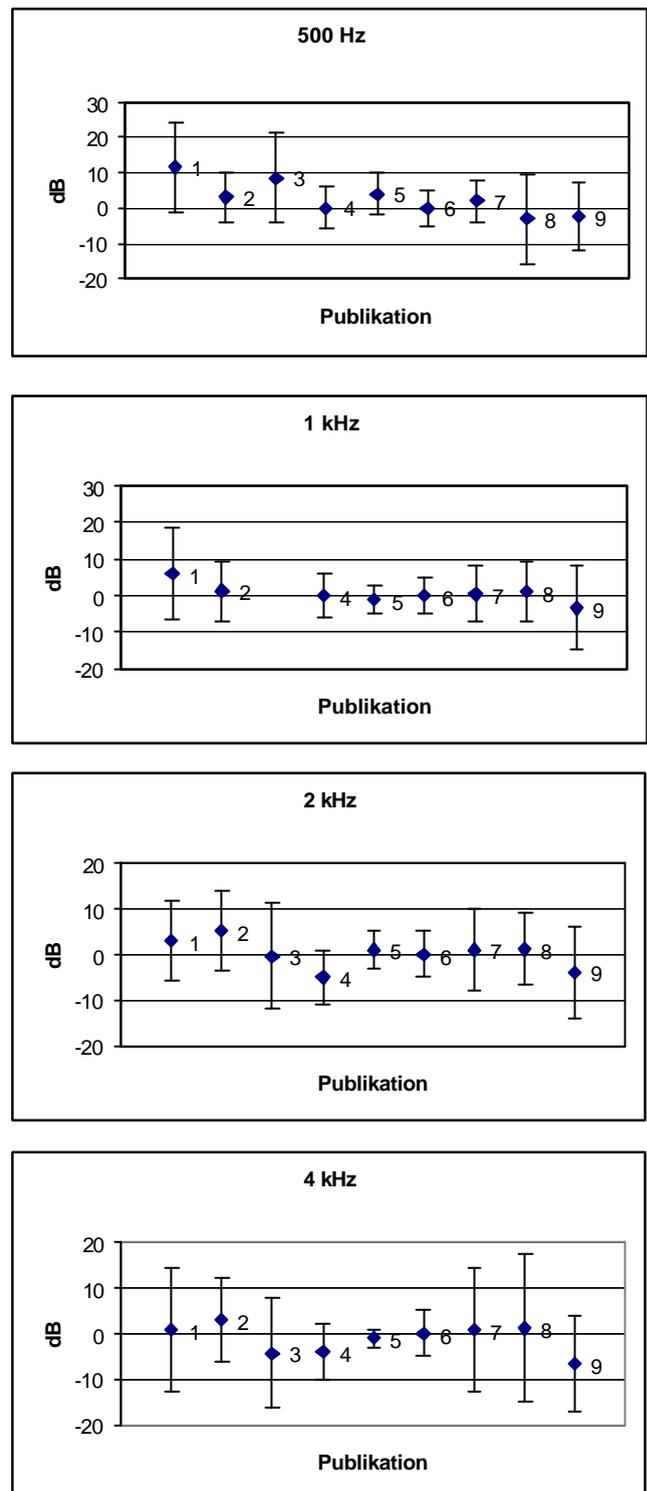


Abb.3: Forest Plots der Schwellenabweichungen (Potential-schwellen minus Sinustonhörschwelle, Mittelwerte und Standardabweichungen) bei 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz und 4 kHz (sofern in der Arbeit enthalten). 1) Stapells et al. 1990, 2) Munnerley et al. 1991, 3) Stapells et al. 1995, keine Daten für 1 kHz, 4) Schönweiler et al. 2004, rechte Ohren, 5) linke Ohren, 6) Stürzebecher et al. 1993 (Daten durch Interpolation aus einer Abbildung entnommen), 7) Schönweiler et al. 1995, rechte Ohren, 8) linke Ohren, 9) Brunner et al. 1995. Die Daten 6-9 wurden zwar mit identischen Parametern abgeleitet, weichen aber aufgrund anderer methodischer Unterschiede stark voneinander ab (Heterogenität als Argument gegen data pooling).

Schlussfolgerungen

Die meisten Arbeiten halten eine Stimulation im Hauptsprachbereich (0,5-4 kHz) für ausreichend; mit 250 Hz evozierte Potentiale gelten als schlecht synchronisiert, Messungen mit 8 kHz als überflüssig. Es werden alternierende 2-4 ms dauernde Tonpips empfohlen, die mit einem NN-Pegel in SPL etwa 25 dB unterhalb des Tonpegels in peSPL maskiert werden. Um die ohnehin langen Untersuchungszeiten zu minimieren, werden möglichst hohe Reizraten um 40/s empfohlen. Dies ermöglicht Epochenlängen von 25 ms, wobei 20 ms als ausreichend erscheinen, um die Potentiale auch bei tiefen Prüffrequenzen in Schwellennähe zu identifizieren. Meist werden die Potentiale im Frequenzband 30-3000 Hz aufgesucht (z.B. Stappells & Picton 1981).

Die gute Übereinstimmung von Potentialschwellen mit psychoakustischen Schwellen rechtfertigen den derzeitigen Einsatz der NN-BERA als "Standardmethode" zur Ermittlung von frequenzspezifischen Informationen über einen vermuteten Hörverlust, sofern sie nicht als alleiniges Entscheidungskriterium angesehen und nur gemeinsam mit anderen audiologischen Daten zu therapeutischen Entscheidungen führen.

Die NN-BERA hat sich seit ihrer Erstbeschreibung durch Picton et al. (1979) erfolgreich gegen andere frequenzspezifische BERA-Verfahren wie z.B. Maskierung mit hochpassgefiltertem Rauschen, Derived-Responses, TOPSTIM/GHINOMA und 40-Hz-ASSR behauptet. Jetzt erhält sie Konkurrenz durch neuere frequenzspezifische Methoden wie z.B. 80-Hz-ASSR, Chirp-evozierte Potentiale und Distorsionsprodukt-otoakustische Emissionen. Dabei sollten die Vorteile der NN-BERA als derzeitige Standardmethode zur "objektiven" Schwellenschätzung nicht vergessen werden: sie ist wissenschaftlich ausführlich untersucht, eine gegenseitige Beeinflussung der Potentiale verschiedener Prüffrequenzen ist ausgeschlossen, die Reizkorreliertheit der Potentiale kann durch die zu erwartenden Latenzen verifiziert werden und die Auswertung der Potentiale ist unabhängig von statistischen Verfahren, die zwar den Untersucher entlasten, deren Zuverlässigkeit in der klinischen Praxis aber noch nicht bekannt ist.

Literatur

- Beattie RC, Aleks LA, Abbott CL (1994) Effects of signal-to-noise ratio on the auditory brainstem response to 0.5 and 2 kHz tone bursts in broadband noise and highpass noise or notched noise. *Scand Audiol* 23: 211-223
- Beattie RC, Boyd RL (1985) Early/middle evoked potentials to tone bursts in quiet, white noise and notched noise. *Audiology* 24: 406-419
- Beattie RC, Franzone DL, Thielen KM (1992) Effects of notch noise bandwidth on the auditory brainstem response to clicks. *J Am Acad Audio* 3: 269-274
- Beattie RC, Moretti M, Warren V (1984) Effects of rise-fall time, frequency, and intensity on the early/middle evoked response. *J Speech Hear Disord* 49: 114-127
- Beattie RC, Torre P (1997) Effects of rise-fall time and repetition rate on the auditory brainstem response to 0.5 and 1 kHz tone bursts using normal-hearing and hearing-impaired subjects. *Scand Audiol* 26: 23-32
- Blexner M, Sauerbrei W, Schlehofer B, Scheuchenpflug T, Friedenreich C (1999) Traditional reviews, meta-analysis and pooled analyses in epidemiology (leading article). *Int J Epidemiol* 28: 1-9
- Brunner C, Pascher-Mankiewicz B, Gall V (1995) Notched-Noise-BERA: Erfahrungen nach 8 Monaten klinischem Einsatz. In: Gross M (Hrsg.) Aktuelle phoniatrich-pädaudiologische Aspekte 1995, Bd. 3. Median, Heidelberg: 166-168.
- Brunner C, Hey C, Gall V (1998) NN-BERA: Frequenzspezifisches Latenzverhalten und Kurvenmorphologien bei hörgeschädigten Kindern. In: Gross M (Hrsg.) Aktuelle phoniatrich-pädaudiologische Aspekte 1997/1998, Bd. 5. Median, Heidelberg: 247-249
- Galambos R, Makeig S, Talmachoff PJ (1981) A 40-Hz auditory potential recorded from the human scalp. *Proc Natl Acad Sci U S A* 78: 2643-2647
- Glenck U, Pewsner D, Bucher HC (2001) Evidence based medicine: Wie beurteile ich eine Studie zu einem diagnostischen Test? *Schweiz Med Forum* 9: 213-220
- Gorga MP, Thornton AR (1989) The choice of stimuli for ABR measurements. *Ear Hear* 10: 217-220

- Gorga MP, Kaminski J, Beauchine KA (1981) Auditory brainstem responses to tone bursts in normally hearing subjects. *J Speech Hear Res* 31: 87-97
- Hyde ML (1985) Frequency-specific BERA in infants. *J Otolaryngol Suppl* 14: 19-27
- Hyde ML, Riko K, Corbin H, Moroso M, Alberti PW (1984) A neonatal hearing screening research program using brainstem electric response audiometry. *J Otolaryngol* 13: 49-54
- Jacobson JT, Morehouse CR, Johnson MJ (1983) Strategies for infant auditory brainstem response assessment. *Ear Hear* 3: 263-270
- Jaeschke R, Guyatt GH, Sackett DL (1994) How to use an article about a diagnostic test. *JAMA* 271: 389-391
- Knottnerus JA, van Weel C, Muris JWM (2002) Evaluation of diagnostic procedures. *Br Med J* 324: 477-480
- Maurer K, Schäfer E, Leitner H (1980) The effect of varying stimulus polarity (rarefaction vs. condensation) on early auditory evoked potentials (EAEPs). *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 50: 332-334
- Moher D, Cook DJ, Eastwood S, Olkin, I, Rennie D, Stroup DF (2000) Improving the quality of reports of meta-analyses of randomized controlled trials: the QUORAM statement. *Onkologie* 23: 597-602
- Munnerly GM, Greville KA, Purdy SC, Keith WJ (1991) Frequency-specific auditory brainstem responses relationship to behavioral thresholds in cochlear-impaired adults. *Audiology* 30: 25-32
- Picton TW (1978) The strategy of evoked potential audiometry. In: Gerber SE, Mencher GT (Hrsg.) *Early diagnosis of hearing loss*. Grune & Stratton, New York: 297-307
- Picton TW, Ouellette J, Hamel G, Smith AD (1979) Brainstem evoked potentials to tonepips in notched noise. *J Otolaryngol* 8: 289-314
- Picton TW, Durieux-Smith A, Moran LM (1994) Recording auditory brainstem responses from infants. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 28: 93-110
- Pijl S (1987) Effects of click polarity on ABR peak latency and morphology in a clinical population. *J Otolaryngol* 16: 89-96
- Purdy SC, Houghton JM, Keith WJ, Greville KA (1989) Frequency-specific auditory brainstem responses. Effective masking levels and relationship to behavioural thresholds in normal hearing adults. *Audiology* 28: 82-91
- Schönweiler R, Tolloczko R, Ptok M (1995) Ergebnisse der Ableitung frequenzspezifischer akustisch evozierter Potentiale mit maskierten Stimuli. *HNO* 106: 378-382
- Schönweiler R, Neumann A, Ptok M (2004) Tonfrequenz-evozierte Potentiale. Optimierung von Reizpolarität, Reizrate, Reizdauer, Notched-Noise-Pegel und Ermittlung von Potentialschwellen bei normalhörenden Probanden. *HNO*, DOI 10.1007/s00106-004-1187-9
- Sininger YS, Abdala C, Cone-Wesson B (1997) Auditory threshold sensitivity of the human neonate as measured by the auditory brainstem response. *Hear Res* 104: 27-38
- Stapells DR (1989) Auditory brainstem response assessment of infants and children. *Seminars in Hearing* 10: 229-250
- Stapells DR, Picton TW (1981) Technical aspects of brainstem evoked potential audiometry using tones. *Ear Hear* 2: 20-29
- Stapells DR, Linden RD, Suffield JB (1984) Human auditory steady state potentials. *Ear Hear* 5: 105-114
- Stapells DR, Galambos R, Costello JA, Makeig S (1988) Inconsistency of auditory middle latency and steady-state responses in infants. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 71: 289-295
- Stapells DR, Picton TW, Durieux-Smith A, Edwards CG, Moran LM (1990) Thresholds for short-latency auditory-evoked potentials to tones in notched noise in normal-hearing and hearing-impaired subjects. *Audiology* 29: 262-274

- Stapells DR, Gravel JS, Martin BA (1995) Thresholds for auditory brain stem responses to tones in notched noise from infants and young children with normal hearing or sensorineural hearing loss. *Ear Hear* 16: 361-371
- Stockard JE, Stockard JJ, Coen RW (1983) Auditory brainstem response variability in infants. *Ear Hear* 4: 11-23
- Stürzebecher E, Wagner H, Cebulla M, Heine S, Jerzynski P (1993) Rationale objektive Hörschwellenbestimmung mittels Tonpuls-BERA mit Notched-Noise-Maskierung. *Audiologische Akustik* 6: 164-176
- Suzuki T, Horiuchi K (1981) Rise time of pure-tone stimuli in brain-stem response audiometry. *Audiology* 20: 101-112
- Suzuki T, Kobayashi K (1984) An evaluation of 40-Hz event-related potentials in young children. *Audiology* 23: 599-604
- Suzuki T, Kobayashi K, Takagi N (1986) Effects of stimulus repetition rate on slow and fast components of auditory brain-stem responses. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 65: 150-156