

Grażyna Tacikowska<sup>1</sup>, Krzysztof Kochanek<sup>1,2</sup>,  
Adam Piłka<sup>1,2</sup>, Agnieszka Jędrusik<sup>2</sup>

<sup>1)</sup> Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu

<sup>2)</sup> Klinika Otolaryngologii Akademii Medycznej  
Warszawie

## Wpływ polaryzacji trzasku na parametry słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu u osób o słuchu normalnym i z ubytkami słuchu typu ślimakowego

The effect of click polarity on the auditory brainstem evoked responses  
in normal and cochlear hearing-impaired subjects

**Słowa kluczowe:** słuchowe potencjały wywołane pnia mózgu, polaryzacja trzasku,  
niedosłuch typu ślimakowego

**Key words:** auditory brainstem response, click polarity, cochlear hearing loss

### Streszczenie

Celem pracy była ocena wpływu polaryzacji trzasku na parametry czasowe i częstość występowania fal I, III i V w zapisach słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu rejestrowanych dla trzasków o dużej intensywności. W badaniach uczestniczyło 56 osób o słuchu normalnym oraz 64 osoby z uszkodzeniem słuchu typu ślimakowego. W grupie osób o słuchu normalnym intensywność trzasku wynosiła 90 dB nHL, natomiast w grupie osób z ubytkami słuchu – 100 dB nHL. Bodziec prezentowano przez słuchawki TDH – 39. Potencjały pnia mózgu rejestrowano automatycznie, w trybie sekwencyjnym dla trzech polaryzacji trzasku – naprzemiennej, dodatniej i ujemnej.

Przeprowadzone badania nie wykazały istotnego wpływu polaryzacji bodźca na parametry czasowe ABR w grupie osób o słuchu normalnym, natomiast niewielki, ale istotny statystycznie wpływ stwierdzono w grupie uszu z ubytkami ślimakowymi. Analiza częstości występowania poszczególnych fal w odpowiedziach wywoływanych trzaskami o różnej polaryzacji wykazała, że najczęściej fale te występują dla bodźca o polaryzacji naprzemiennej. Polaryzacja trzasku miała największy wpływ na detekcję fali I w grupie osób z ubytkami słuchu.

Z klinicznego punktu widzenia stymulacja trzaskiem o polaryzacji naprzemiennej jest najbardziej efektywna, bowiem w największej liczbie przypadków pozwala oznaczyć szczyty poszczególnych fal i wyznaczyć wartości parametrów czasowych odpowiedzi.

#### Summary

The purpose of this study was to determine the effects of stimulus phase on the latencies, intervals and occurrence of the major peaks of the auditory brainstem response (ABR) evoked by high-intensity click. The material consisted of two groups: 56 normal hearing subjects and 64 patients with cochlear hearing loss. The click was presented at 90 dB nHL in normal hearing subjects and at 100 dB nHL in the group of patients with cochlear hearing loss. The stimulus was presented via a TDH-39 earphone. ABR were recorded automatically in the sequence mode: alternating polarity and condensation and rarefaction click.

The studies revealed no significant influence of the click polarity on the parameters of the responses in normal hearing subjects. Very small but statistically significant effect was observed in cochlear hearing loss group.

The analysis of the recordings in both groups showed that application of the click presented with alternating polarity is the most effective in eliciting the complete ABR wave sequence. The phase of click had the largest influence on the detection of wave I in the group of patients with cochlear hearing loss.

### WPROWADZENIE

Powszechnie stosowanym bodźcem w badaniach słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu ABR (ang. *auditory brainstem responses*) jest trzask, który powstaje w wyniku pobudzenia przetwornika elektromagnetycznego krótkim impulsem prostokątnym. W zależności od tego, czy słuchawka pobudzana jest impulsem dodatnim czy ujemnym, w odpowiedzi powstaje fala ciśnienia akustycznego, która w pierwszej fazie zagęszcza lub odpowiednio rozrzedza powietrze w przewodzie słuchowym zewnętrznym. Bodziec powodujący w fazie włączania wzrost ciśnienia powietrza nazywa się bodźcem o polaryzacji dodatniej (ang. *condensation*), natomiast zmniejszający ciśnienie, bodźcem o polaryzacji ujemnej (ang. *rarefaction*).

Ze względu na fizjologię ślimaka polaryzacja bodźca ma duże znaczenie dla efektywności pobudzenia narządu Cortiego. Badania elektrofizjologiczne ślimaka i nerwu słuchowego wykazują, że pobudzenie włókien aferentnych nerwu słuchowego ma miejsce, gdy błona podstawna ślimaka przemieszcza się w kierunku schodów przedsionka, co wiąże się z ruchem błony bębenkowej na zewnątrz [Kiang 1965], natomiast nie występuje, gdy ruch błony podstawnej i błony bębenkowej odbywa się w kierunku przeciwnym. W przypadku pobudzania ucha trzaskiem o polaryzacji ujemnej odpowiedź nerwu słuchowego występuje wcześniej niż przy pobudzaniu bodźcem o polaryzacji dodatniej [Kiang 1965]. Różnice między latencjami odpowiedzi dla bodźców

o różnych polaryzacjach zależą od częstotliwości i są większe dla bodźców o niskich częstotliwościach [Salt i Thornton 1984; Fowler 1992; Orlando i Folsom 1995].

Wyniki prac dotyczących wpływu polaryzacji trzasku na odpowiedzi ABR nie są jednoznaczne. Niektórzy badacze, jak np. Rosenhamer [1978], Stockard i inni [1979], Fowler [1995], nie obserwowali istotnych różnic latencji spowodowanych zmianą polaryzacji bodźca w uszach normalnie słyszących. Niewielkie różnice latencji spowodowane zmianą polaryzacji trzasku u osób z zaburzeniami słuchu typu odbiorczego obserwowali Schoonhoven [1990], Coats i Martin [1977], Rosenhamer [1981]. Ornitz i Walter [1975] obserwowali większe niż inni badacze różnice latencji dla wszystkich fal zapisu w uszach normalnie słyszących. Różnice latencji dla fali V wynosiły nawet 0,8 ms. Borg i Lovqvist [1982], Kavanishvili i Aphonchenko [1981], Pijl [1987] obserwowali natomiast duże różnice latencji w ubytkach wysokoczęstotliwościowych, które zwiększały się wraz ze wzrostem głębokości ubytku słuchu.

Nie ma również zgodności co do tego, dla której z fal zapisu ABR występują największe zmiany latencji spowodowane zmianą polaryzacji trzasku oraz która polaryzacja daje krótsze latencje. Na przykład Kavanishvili i Aphonchenko [1981] zaobserwowali znacząco krótsze latencje fal I i IV przy stymulacji trzaskiem o polaryzacji ujemnej, podczas gdy pozostałe fale zapisu występowały wcześniej przy fazie dodatniej. Krótsze latencje fali V przy stymulacji trzaskiem o polaryzacji ujemnej obserwowali Orlando i Folsom [1995] oraz Stockard i inni [1979], natomiast Pijl [1987], Coats i Martin [1977], a także Borg i Lovqvist [1987] stwierdzili występowanie krótszej latencji fali V w odpowiedziach dla bodźca o polaryzacji dodatniej.

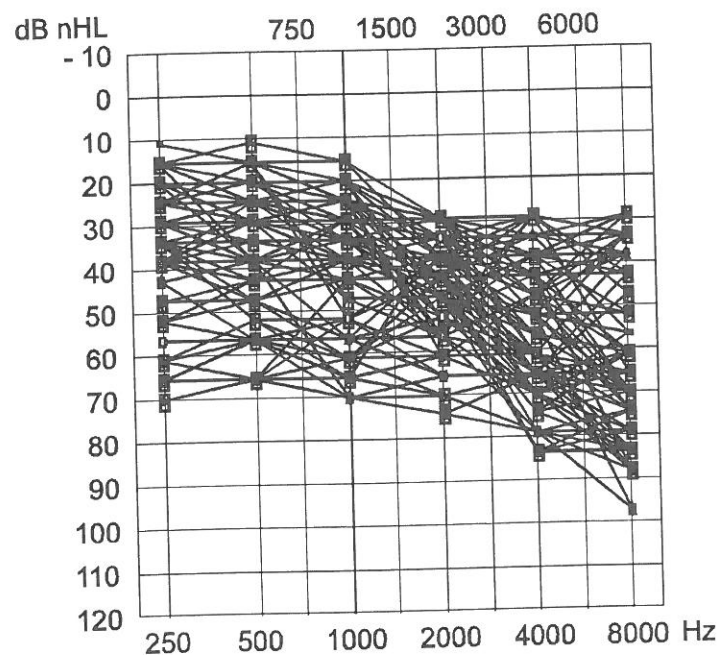
Brak jednoznacznych opinii dotyczących wpływu polaryzacji trzasku na parametry ABR oraz zaleceń dotyczących stosowania w badaniach klinicznych trzasku o określonej polaryzacji powodują, że często dokonuje się wyboru polaryzacji w sposób arbitralny. Skutkiem tego w różnych laboratoriach stosowane są trzaski o różnych polaryzacjach. Powstaje jednak pytanie, czy zmiana polaryzacji trzasku wpływa na ocenę parametrów czasowych ABR w sposób istotny z klinicznego punktu widzenia?

W diagnostyce różnicowej uszkodzeń słuchu z zastosowaniem słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu stosuje się z reguły wysokie poziomy stymulacji, w zakresie od 80 do 100 dB nHL, ponieważ jedynie wtedy można oczekiwać w zapisach odpowiedzi obecności czytelnych fal I, III i V, których parametry są niezbędne do analizy funkcji nerwu słuchowego i przewodnictwa neuronalnego w pniu mózgu. Niestety wysokim poziomom stymulacji towarzyszy obecność artefaktu elektromagnetycznego słuchawki, trwającego około 1 ms, który dla bodźców o stałej polaryzacji może znacznie utrudniać detekcję fali I.

Celem niniejszej pracy jest próba oceny wpływu polaryzacji trzasku na morfologię i parametry czasowe odpowiedzi z pnia mózgu rejestrowanych dla wysokich poziomów trzasku 90 i 100 dB nHL – w grupach osób o słuchu normalnym oraz z ubytkami słuchu typu ślimakowego.

### MATERIAŁ I METODA

W badaniach uczestniczyło 56 osób o słuchu normalnym w wieku od 16 do 68 lat oraz 64 osoby z uszkodzeniem słuchu typu ślimakowego w wieku od 18 do 78 lat. Próg słyszenia osób normalnie słyszących dla częstotliwości audiometrycznych z zakresu od 250 do 8000 Hz nie przekraczał 20 dB nHL.



Ryc. 1. Audiogramy osób z ubytkami słuchu typu ślimakowego (n=64)

Na ryc. 1 przedstawiono audiogramy osób z ubytkami słuchu typu ślimakowego. W analizowanym materiale przeważały audiogramy płaskie oraz wysokoczęstotliwościowe. Średnia wielkość ubytku słuchu w pasmie częstotliwości 2-8 kHz wynosiła  $50 \pm 15$  dB HL.

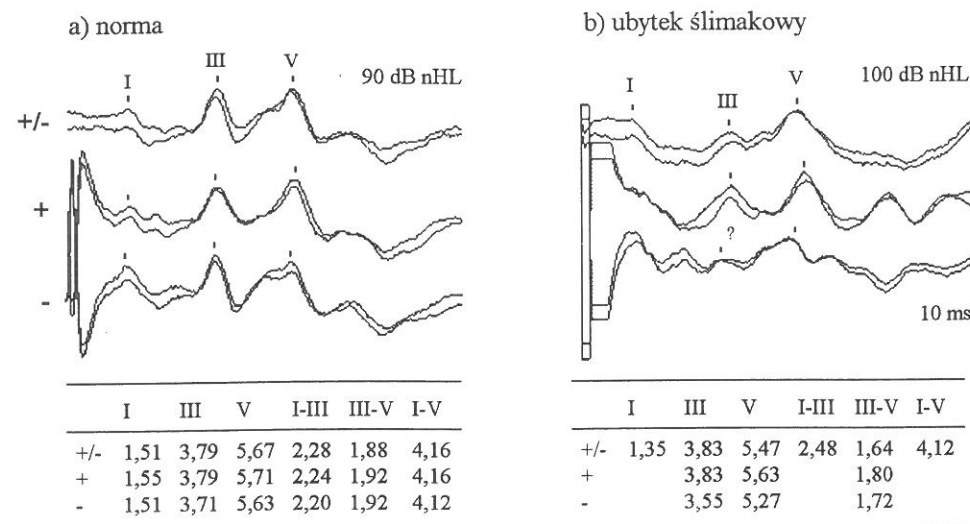
Osoby z ubytkami słuchu zostały zakwalifikowane do grupy z ubytkami ślimakowymi na podstawie wyników badań audiometrycznych (progowych i nadprogowych), audiometrii słownej i impedancyjnej, badania otoemisji akustycznej oraz badania słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu.

Rejestracje ABR wykonywano jednokanałowo za pomocą polskiego systemu do badań elektrofizjologicznych słuchu o nazwie „Eptest”. Pasma wzmacniacza biologicznego wynosiło od 200 do 2000 Hz. Srebrne elektrody miseczkowe były umieszczane na czole, na wyrostku sutkowym ucha badanego oraz na wyrostku sutkowym drugiego ucha (elektroda uziemiająca). W badaniach stosowano bodziec typu trzask o czasie trwania 100 ms prezentowany z intensywnością 90 lub 100 dB nHL przez słuchawki TDH-39 z częstotliwością powtarzania 31/s. Kontrola polaryzacji trzasku została wykonana zgodnie z procedurą opisaną przez Gorga'ę [1985]. W pomiarach akustycznych stosowano wzmacniacz pomiarowy 2607 firmy Brüel & Kjaer, sztuczne ucho typ 4153 oraz oscyloskop i generator funkcyjny. Trzask o intensywności 90 dB nHL stosowano w badaniach osób o słuchu normalnym, natomiast o intensywności 100 dB nHL u osób z ubytkami słuchu. Czas analizy odpowiedzi wynosił 10 ms, a liczba uśrednień około 1500. Procesy akwizycji i stymulacji były realizowane automatycznie w trybie sekwencyjnym. W pierwszej kolejności generowany był bodziec o polaryzacji naprzemiennej, następnie o polaryzacji dodatniej, a jako trzeci, trzask o polaryzacji ujemnej. Po wygenerowaniu 3 bodźców sekwencja była powtarzana ok. 1500 razy. Odpowiedzi dla trzasków o różnych polaryzacjach były uśredniane w trzech niezależnych buforach pamięci. W ten sposób podczas procesu uśredniania na ekranie urządzenia były widoczne jednocześnie 3 odpowiedzi dla poszczególnych polaryzacji trzasku. Rejestracje wykonywano dwukrotnie. Badania przeprowadzono w kabine z izolacją akustyczną i elektromagnetyczną. U każdej osoby badano oba uszy, przy czym do analizy statystycznej włączano odpowiedzi tylko jednego ucha.

Z zarejestrowanych odpowiedzi wyznaczano latencje fal I, III i V oraz interwały I-III, III-V i I-V. Skok kursora przy oznaczaniu parametrów czasowych wynosił 0,04 ms. Szczyty fal były oznaczane wspólnie przez trzy doświadczone osoby. Oprócz pomiarów parametrów czasowych, oceniono obecność fal I, III i V dla każdej polaryzacji bodźca. W analizie statystycznej stosowano test t (t-Studenta) dla prób powiązanych i niezależnych oraz test (Chi-kwadrat). Różnice uważano za znaczące przy poziomach istotności  $p < 0,05$ .

## WYNIKI

Na ryc. 2a przedstawiono przykład rejestracji odpowiedzi dla trzasków o trzech polaryzacjach u osoby o słuchu normalnym. W prezentowanym przykładzie odpowiedzi dla trzasku o różnej polaryzacji nie różnią się między sobą, zarówno pod względem morfologii, jak i parametrów czasowych. We wszystkich odpowiedziach widoczne są fale I, III i V, pomimo że w odpowiedziach dla trzasków o stałej polaryzacji widoczny jest w pierwszej milisekundzie artefakt bodźca. W odpowiedzi dla bodźca o polaryzacji naprzemiennej artefakt bodźca jest nieobecny. Również u pozostałych osób z tej grupy nie obserwowano znaczących różnic w odpowiedziach dla trzasku o różnych polaryzacjach.



Rys. 2. Przykłady zapisów odpowiedzi ABR dla trzasków o polaryzacji naprzemiennej (+/-), dodatniej (+) i ujemnej (-), a) u osoby o słuchu normalnym, b) osoby z ubytkiem słuchu typu ślimakowego

Na ryc. 2b przedstawiono przykład rejestracji odpowiedzi u osoby z ubytkiem słuchu. Jedynie w odpowiedziach dla trzasku o polaryzacji naprzemiennej widoczne są wszystkie fale I, III i V. W odpowiedziach dla trzasku o polaryzacji dodatniej i ujemnej artefakt bodźca maskuje falę I i nie można dokładnie oznaczyć jej szczytu. Zbliżone wartości latencji fal III i V uzyskano w odpowiedziach dla trzasków o polaryzacji naprzemiennej i dodatniej, natomiast krótsze latencje występowały w odpowiedziach dla trzasku o polaryzacji ujemnej. Wartość interwału III-V jest praktycznie taka sama w odpo-

wiedziach dla różnych polaryzacji trzasku. Przedstawiony przykład był charakterystyczny tylko dla części osób z grupy ubytków słuchu. U pozostałych osób nie obserwowano zmian latencji i interwałów przy zmianie polaryzacji bodźca lub obserwowano krótsze latencje fal III i V w odpowiedziach dla trzasku o polaryzacji dodatniej.

Tabela 1. Średnie wartości latencji i interwałów oraz odchylenie standardowe w obu grupach osób dla poszczególnych polaryzacji trzasku

|          |       | Norma<br>trzask, 90 dB nHL |             |             | Ubytki ślimakowe<br>trzask, 100 dB nHL |             |             |
|----------|-------|----------------------------|-------------|-------------|----------------------------------------|-------------|-------------|
|          |       | +/-                        | +           | -           | +/-                                    | +           | -           |
| latencja | I     | 1,55 ± 0,14                | 1,56 ± 0,15 | 1,57 ± 0,13 | 1,70 ± 0,22                            | 1,73 ± 0,22 | 1,76 ± 0,20 |
|          | III   | 3,74 ± 0,15                | 3,74 ± 0,16 | 3,74 ± 0,14 | 3,90 ± 0,21                            | 3,95 ± 0,20 | 3,90 ± 0,24 |
|          | V     | 5,59 ± 0,19                | 5,59 ± 0,21 | 5,58 ± 0,19 | 5,74 ± 0,25                            | 5,79 ± 0,24 | 5,74 ± 0,25 |
| interwał | I-III | 2,19 ± 0,11                | 2,17 ± 0,12 | 2,19 ± 0,12 | 2,19 ± 0,18                            | 2,20 ± 0,16 | 2,11 ± 0,18 |
|          | III-V | 1,85 ± 0,12                | 1,86 ± 0,15 | 1,83 ± 0,14 | 1,82 ± 0,12                            | 1,83 ± 0,16 | 1,82 ± 0,16 |
|          | I-V   | 4,04 ± 0,16                | 4,02 ± 0,18 | 4,00 ± 0,17 | 4,00 ± 0,21                            | 4,02 ± 0,23 | 3,94 ± 0,19 |

W tabeli 1 przedstawiono wartości średnie oraz odchylenie standardowe latencji i interwałów czasowych fal I, III i V dla poszczególnych polaryzacji trzasku w obu grupach osób. Porównanie średnich wartości latencji i interwałów dla tej samej polaryzacji trzasku w obu grupach osób wykazało, że niezależnie od polaryzacji trzasku istotnie dłuższe są latencje fal I, III i V w grupie osób z ubytkami słuchu. Wartości interwałów czasowych nie różniły się w sposób istotny statystycznie między badanymi grupami osób, niezależnie od polaryzacji trzasku.

Analiza statystyczna różnic między wartościami parametrów czasowych odpowiedzi dla poszczególnych polaryzacji trzasku w grupie osób o słuchu normalnym nie wykazała istotnego wpływu polaryzacji na parametry odpowiedzi. Natomiast istotnie różniły się parametry odpowiedzi dla różnych polaryzacji trzasku w grupie osób z ubytkami słuchu.

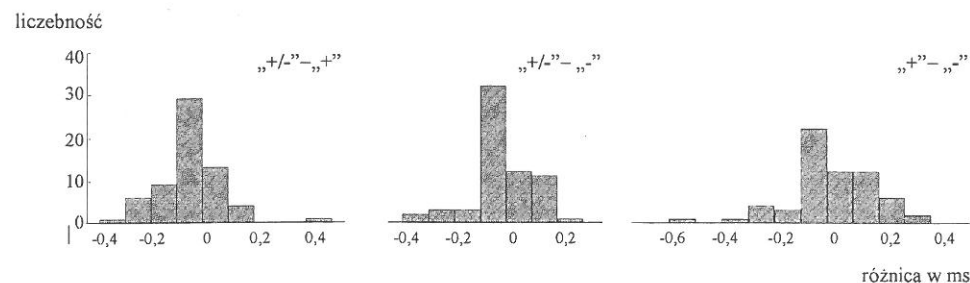
W tabeli 2 przedstawiono zakresy i średnie wartości bezwzględnych różnic latencji oraz odchylenie standardowe dla poszczególnych par porównywanych odpowiedzi w grupie osób z ubytkami ślimakowymi. Ponieważ różnice latencji przyjmowały zarówno dodatnie jak i ujemne wartości, dlatego średnie wartości różnic wyznaczano w oparciu o ich wartości bezwzględne. Największe zakresy różnic występowały przy porównywaniu latencji odpowiedzi wywoływanych trzaskiem o polaryzacji dodatniej i ujemnej. W sposób istotny statystycznie różniły się między sobą latencje fali I dla trzasku o polaryzacji naprzemiennej i ujemnej oraz dodatniej i ujemnej. Dla fali III istotnie różniły

Tabela 2. Zakresy i średnie wartości bezwzględnych różnic między latencjami fal I, III i V odpowiedzi wywoływanych trzaskami o różnych polaryzacjach w grupie ubytków ślimakowych

| Różnica |                     | fala I        | fala III      | fala V        |
|---------|---------------------|---------------|---------------|---------------|
| +/- - + | zakres [ms]         | - 0,32 ÷ 0,20 | - 0,28 ÷ 0,40 | - 0,32 ÷ 0,44 |
|         | średnia ± s.d. [ms] | 0,07 ± 0,07   | 0,08 ± 0,07*  | 0,09 ± 0,08*  |
| +/- - - | zakres [ms]         | - 0,44 ÷ 0,24 | - 0,28 ÷ 0,28 | - 0,32 ÷ 0,24 |
|         | średnia ± s.d. [ms] | 0,10 ± 0,08*  | 0,08 ± 0,06   | 0,08 ± 0,07   |
| + - -   | zakres [ms]         | - 0,40 ÷ 0,20 | - 0,48 ÷ 0,40 | - 0,52 ÷ 0,32 |
|         | średnia ± s.d. [ms] | 0,09 ± 0,07*  | 0,13 ± 0,10*  | 0,11 ± 0,10*  |

\*  $p < 0,05$ 

się latencje odpowiedzi o polaryzacji naprzemiennej i dodatniej oraz dodatniej i ujemnej, natomiast w przypadku fali V istotnie różniły się latencje odpowiedzi dla trzasku o polaryzacjach naprzemiennej i dodatniej oraz dodatniej i ujemnej. Na ryc. 3 przedstawiono histogramy różnic latencji fali V. Wartości różnic latencji mieściły się najczęściej w granicach od -0,1 do 0,1 ms, co z klinicznego punktu widzenia nie ma istotnego znaczenia. Dodatnie oraz ujemne różnice latencji występowały w podobnej liczbie przypadków.



Ryc. 3. Histogramy różnic latencji fali V wyznaczone z odpowiedzi dla trzasków o różnych polaryzacjach

W tabeli 3 przedstawiono średnie wartości bezwzględnych różnic interwałów wyznaczone dla poszczególnych par porównywanych odpowiedzi w grupie ubytków ślimakowych. Zakresy poszczególnych różnic interwałów były zbliżone. Istotnie statystycznie różnice stwierdzono dla interwałów I-III i I-V przy porównaniu wartości interwałów dla trzasków o polaryzacji naprzemiennej i ujemnej oraz dodatniej i ujemnej. Nie stwierdzono natomiast istotnych różnic przy porównywaniu wartości interwału III-V dla poszczególnych polaryzacji trzasku.

Tabela 3. Zakresy i średnie wartości bezwzględnych różnic między interwałami fal I, III i V odpowiedzi wywoływanych trzaskami o różnych polaryzacjach w grupie ubytków ślimakowych

| Różnica |                     | I-III         | III-V         | IV            |
|---------|---------------------|---------------|---------------|---------------|
| +/- - + | zakres [ms]         | - 0,36 ÷ 0,28 | - 0,40 ÷ 0,24 | - 0,40 ÷ 0,24 |
|         | średnia ± s.d. [ms] | 0,10 ± 0,09   | 0,09 ± 0,08*  | 0,10 ± 0,09*  |
| +/- - - | zakres [ms]         | - 0,20 ÷ 0,40 | - 0,36 ÷ 0,32 | - 0,32 ÷ 0,44 |
|         | średnia ± s.d. [ms] | 0,11 ± 0,10*  | 0,09 ± 0,09   | 0,13 ± 0,10   |
| + - -   | zakres [ms]         | - 0,36 ÷ 0,40 | - 0,24 ÷ 0,41 | - 0,28 ÷ 0,44 |
|         | średnia ± s.d. [ms] | 0,15 ± 0,11*  | 0,12 ± 0,09*  | 0,14 ± 0,11*  |

\*  $p < 0,05$ 

Tabela 4. Częstość występowania fal I, III i V w odpowiedziach dla trzasku o różnej polaryzacji w grupach uszu normalnych i z ubytkami słuchu typu ślimakowego

|                  | Polaryzacja | fala I | fala III | fala V  |
|------------------|-------------|--------|----------|---------|
| Norma            | +/-         | 96,4 % | 100,0 %  | 100,0 % |
|                  | +           | 89,3 % | 100,0 %  | 100,0 % |
|                  | -           | 64,3 % | 100,0 %  | 100,0 % |
| Ubytki ślimakowe | +/-         | 89,1 % | 100,0 %  | 100,0 % |
|                  | +           | 65,6 % | 92,2 %   | 100,0 % |
|                  | -           | 57,8 % | 87,5 %   | 98,4 %  |

Tabela 4 przedstawia częstość występowania fal I, III i V w odpowiedziach dla trzasków o różnych polaryzacjach w obu grupach. W grupie uszu normalnych fale III i V występowały w 100% odpowiedzi niezależnie od polaryzacji trzasku. Fala I występowała w istotnie statystycznie mniejszej liczbie przypadków dla trzasku o polaryzacji ujemnej. W grupie osób z ubytkami słuchu, fale III i V występowały w 100% przypadków w odpowiedziach dla trzasku o polaryzacji naprzemiennej oraz fala V dla trzasku o polaryzacji dodatniej. Dla fali III w sposób istotny statystycznie różniły się liczebności wykrytych fal w odpowiedziach dla polaryzacji naprzemiennej i ujemnej. Fala I istotnie częściej występowała w odpowiedziach dla polaryzacji naprzemiennej, natomiast częstości występowania fali I w odpowiedziach dla polaryzacji i dodatniej i ujemnej nie różniły się w sposób istotny statystycznie.

## DYSKUSJA

Celem niniejszej pracy była ocena wpływu polaryzacji trzasku na parametry czasowe i częstość występowania fal I, III i V w zapisach odpowiedzi słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu.

Badania przeprowadzone w grupie osób o słuchu normalnym nie wykazały istotnego wpływu polaryzacji bodźca na parametry czasowe ABR, natomiast niewielkie, ale istotne statystycznie różnice stwierdzono między parametrami czasowymi odpowiedzi wywoływanych trzaskami o różnej polaryzacji w grupie uszu z ubytkami ślimakowymi.

Brak różnic między parametrami czasowymi odpowiedzi wywoływanych trzaskami o różnych polaryzacjach w grupie osób o słuchu normalnym, który obserwowali również inni autorzy, m.in. Fowler [1992], Tietze i Pantev [1986] oraz Kevanishvili i Aphonchenko [1981], wynika prawdopodobnie z charakteru bodźca. Pomimo że trzask jest bodźcem szerokopasmowym, to, jak dowodzą wyniki badań klinicznych, głównym miejscem generacji słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu jest zakręt podstawny ślimaka, przy czym udział poszczególnych częstotliwości zależy od intensywności bodźca. W odpowiedziach okołoprogowych największy udział w kreowaniu odpowiedzi ma zakres częstotliwości od 2 do 4 kHz [Bauch 1988; van der Drift 1987], natomiast dla intensywności 90, 100 dB nHL wzrasta udział wyższych częstotliwości [Elberling 1979; Malinoff 1990; Spivak 1990].

Z uwagi na zakres pobudzanych częstotliwości można przyjąć, że trzask o dużej intensywności posiada właściwości impulsu tonalnego o wysokiej częstotliwości. Ponieważ Kiang [1965] wykazał, że pobudzenie narządu Cortiego występuje tylko przy ujemnej fazie bodźca, dlatego spodziewane różnice latencji potencjału czynnościowego nerwu słuchowego przy pobudzeniach bodźcami tonalnymi o różnych polaryzacjach nie powinny przekraczać 1/2 okresu sinusoidy wpisanej w obwiednię bodźca. Fowler [1992], Orlando i Folsom [1995] wykazali w swoich badaniach, że różnice latencji są tym mniejsze, im wyższa jest częstotliwość impulsu tonalnego. Ponieważ u osób o słuchu normalnym odpowiedź dla trzasku powstaje głównie w zakręcie podstawnym ślimaka, w rejonie wysokich częstotliwości, dlatego spodziewane różnice latencji między odpowiedziami wywoływanymi trzaskami o polaryzacji ujemnej i dodatniej nie powinny być duże. Wyniki niniejszej pracy potwierdzają tę hipotezę, ponieważ różnice latencji były niewielkie i statystycznie nieistotne.

Obserwowane w pracy różnice latencji w odpowiedziach dla trzasków o polaryzacji dodatniej i ujemnej w grupie osób z ubytkami słuchu były większe niż w grupie osób o słuchu normalnym i znaczące statystycznie. Jak wspomniano wyżej, słuchowe potencjały pnia mózgu wywoływane trzaskiem szerokopasmowym są, w przypadku uszu normalnie słyszących, zdominowane

aktywnością zakrętu podstawnego. U pacjentów z ubytkiem wysokoczęstotliwościowym, gdy komórki słuchowe zakrętu podstawnego są uszkodzone, większego znaczenia nabiera aktywność w przedziale szczytowym ślimaka. Biorąc pod uwagę obszar ślimaka, który jest pobudzany w tego rodzaju ubytku słuchu, można przyjąć, że trzask posiada właściwości bodźca tonalnego o niskiej częstotliwości. Ponieważ przy stymulacji bodźcami o niskiej częstotliwości pobudzenie włókien nerwowych jest zależne w dużym stopniu od fazy bodźca, dlatego spodziewane różnice latencji przy pobudzaniu ślimaka trzaskami o różnej polaryzacji powinny być większe niż w uszach normalnie słyszących. W pracy różnice latencji były istotne statystycznie, ale mniejsze w porównaniu z wynikami prac innych autorów. Wynika to prawdopodobnie z faktu, że w analizowanym materiale średnie wartości ubytku słuchu w pasmie 2-8 kHz nie przekraczały 60 dB nHL oraz że ubytki te były zarówno wysokoczęstotliwościowe jak i płaskie. Borg i Löfqvist [1982] oraz Pijl [1987], którzy obserwowali większe różnice latencji w odpowiedziach wywoływanych trzaskami o polaryzacji dodatniej i ujemnej wykonali badania u osób z ubytkami słuchu typu wysokoczęstotliwościowego.

Różnice między latencjami poszczególnych fal w odpowiedziach dla różnych polaryzacji trzasku przyjmowały zarówno dodatnie jak i ujemne wartości, co nie pozwala jednoznacznie stwierdzić, dla której polaryzacji trzasku latencje są dłuższe. Podobne obserwacje poczynili Coats i Martin [1977], Stockard i inni [1979], Borg i Löfqvist [1982], Schoonhoven [1992], którzy uważają, że przyczyny takiego stanu rzeczy mogą być związane z niekontrolowaną zmianą fazy trzasku na drodze od słuchawki do ucha wewnętrznego, głównie w uchu środkowym.

Analiza wartości interwałów czasowych wykazała, że polaryzacja bodźca miała niewielki, ale istotny statystycznie wpływ na wartość interwałów I-III i I-V w grupie ubytków ślimakowych. Różnice w wartościach interwału III-V dla różnych polaryzacji trzasku nie były istotne statystycznie, chociaż u niektórych osób obserwowane różnice były znaczące, powyżej 0,1 ms. Podobnie jak w pomiarach latencji, różnice interwałów najczęściej zawierały się w granicach od 0,1  $\pm$  0,1 ms.

W pracy badano również wpływ polaryzacji trzasku na częstość występowania poszczególnych fal w odpowiedziach wywoływanych trzaskami o różnej polaryzacji. Zagadnienie to jest ważne w badaniach klinicznych z uwagi na konieczność oznaczania wartości interwałów czasowych niezbędnych do oceny przewodnictwa w nerwie słuchowym i pniu mózgu.

W diagnostyce różnicowej zaburzeń słuchu za pomocą słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu jedynie wysokie poziomy trzasku, w granicach od 80 do 100 dB nHL, pozwalają w większości przypadków uzyskać odpowiedzi, na podstawie których można wyznaczyć wartości interwałów czasowych lub przynajmniej ocenić latencję fali V. Niestety, w zapisach

odpowiedzi dla trzasków o stałej polaryzacji pojawia się artefakt elektromagnetyczny słuchawki o dużej amplitudzie, który często uniemożliwia detekcję fali I. W celu jego wyeliminowania stosuje się naprzemienne podawanie bodźców o polaryzacji dodatniej i ujemnej.

W niniejszej pracy analiza częstości występowania poszczególnych fal – I, III i V – w zapisach odpowiedzi wywoływanych trzaskiem o różnej polaryzacji wykazała, że najczęściej fale te występują w obu grupach osób w odpowiedziach wywoływanych trzaskiem o polaryzacji naprzemiennej. Zgodnie z oczekiwaniami, szczególnie wyraźne różnice w częstościach wykrytych fal dla poszczególnych polaryzacji trzasku dotyczyły fali I. W odpowiedziach dla trzasku o polaryzacji ujemnej fala I była obecna jedynie u około 64% osób z grupy normalnie słyszających oraz w około 58% z grupy osób z ubytkami ślimakowymi. Częściej niż w odpowiedziach dla trzasku o polaryzacji ujemnej fala I była obecna w odpowiedziach dla trzasku o polaryzacji dodatniej. Uważamy, że mniejszą częstość występowania fali I w odpowiedziach wywoływanych trzaskami o polaryzacji dodatniej i ujemnej, w porównaniu z częstością występowania w odpowiedzi dla polaryzacji naprzemiennej, można wiązać przede wszystkim z niekorzystnym wpływem artefaktu elektromagnetycznego słuchawki. Dla trzasku o polaryzacji naprzemiennej artefakt bodźca jest wykasowywany w procesie uśredniania i dlatego obecność fali I w zapisach tej odpowiedzi była znacznie większa.

W grupie osób o słuchu normalnym fala I dla wszystkich polaryzacji trzasku występowała częściej niż w grupie osób z ubytkami słuchu. Uważamy, że zasadnicze przyczyny mniejszej częstości występowania fali I w grupie ubytków słuchu są następujące. W grupie tej poziom stymulacji był większy o 10 dB niż w grupie osób normalnie słyszających. Zatem amplituda artefaktu była większa, co zdecydowanie pogarszało warunki rejestracji fali I w odpowiedziach dla trzasku o stałej polaryzacji. Ponadto, niekorzystnie na detekcję fali I w zapisach odpowiedzi pniowych wpływa obecność ubytku słuchu. Powszechnie wiadomo, że prawidłowy zapis słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu charakteryzuje się m.in. tym, że amplituda fali V jest około 1,5 do 2 razy większa niż fali I. Z punktu widzenia efektywności techniki uśredniania, przy takim samym poziomie szumu tła, bardziej niekorzystne warunki rejestracji dotyczą sygnałów o mniejszej amplitudzie, co w przypadku rejestracji odpowiedzi pniowych dotyczy fali I. Ponieważ obecność ubytku słuchu zmniejsza amplitudę wszystkich fal, dlatego szczególnie w odniesieniu do fali I występuje znaczna redukcja stosunku sygnału do szumu, co w wielu przypadkach może uniemożliwić jej detekcję [Hall III 1992; Hyde 1985].

Uzyskane wyniki mają naszym zdaniem istotne znaczenie praktyczne. Analiza częstości występowania poszczególnych fal w odpowiedziach ABR wywoływanych trzaskami o różnej polaryzacji wykazała, że większość para-

metrów czasowych odpowiedzi można wyznaczyć najczęściej dla trzasku o polaryzacji naprzemiennej. Zatem w diagnostyce różnicowej zaburzeń słuchu stymulacja trzaskiem o polaryzacji naprzemiennej jest najbardziej efektywna w ocenie przewodnictwa w nerwie słuchowym i pniu mózgu.

Stosowanie trzasku o polaryzacji naprzemiennej ma jeszcze jedną zaletę. Pozwala bowiem uniknąć dość częstych w praktyce błędów, które mogą wystąpić, gdy standardowo stosuje się w badaniach trzask o stałej polaryzacji. Błędy te mogą być wynikiem niestarannej kontroli polaryzacji bodźców przez producentów urządzeń oraz bardzo często wynikiem zamiany miejscami wtyczek łączących słuchawkę ze stymulatorem, np. przy wymianie lub naprawie przewodów słuchawkowych. W praktyce może wystąpić sytuacja, że użytkownik wybiera w stymulatorze trzask o polaryzacji dodatniej, a w rzeczywistości ucho jest stymulowane bodźcem o polaryzacji przeciwnej.

Biorąc pod uwagę uzyskane w wyniki, a więc niewielki wpływ polaryzacji trzasku na parametry czasowe odpowiedzi, większą częstość występowania poszczególnych fal w zapisach odpowiedzi dla trzasku o polaryzacji naprzemiennej oraz uwzględniając możliwość popełnienia w praktyce klinicznej niezamierzonych błędów przy stosowaniu trzasku o stałej polaryzacji uważamy, że w badaniach słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu za pomocą trzasku można zalecać stosowanie polaryzacji naprzemiennej.

### Bibliografia

- Bauch C., Olsen W., 1988: Auditory brainstem responses as a function of average hearing sensitivity for 2 000-4 000 Hz. *Audiology* 27, 156-163.
- Borg E., Löfqvist L., 1982: Auditory brainstem response (ABR) to rarefaction and condensation clicks in normal and abnormal ears. *Scand. Audiol.* 11, 227-235.
- Coats A. C., Martin J. L., 1977: Human auditory nerve action potentials and brainstem evoked responses. *Arch. Otolaryngol.* 103, 605-622.
- Drift J. F. C. van der, Brocaar M. P., Zanten G. A. Van, 1987.: The relation between the pure-tone audiogram and the click auditory brainstem response threshold in cochlear hearing loss. *Audiology* 26, 1-10.
- Elberling C., 1979: Auditory electrophysiology: spectral analysis of cochlear and brain stem evoked potentials. *Scand. Audiol.* 8, 57-64.
- Fowler C. G., 1992: Effects of stimulus phase on the normal auditory brainstem response. *J. Speech Hear. Res.* 35, 167-174.
- Gerull G., Mrowinski D., Janssen T., Anft D., 1985: Brainstem and cochlea potentials evoked by rarefaction and condensation single-slope stimuli. *Scand. Audiol.* 14, 141-150.
- Gerull G., Mrowinski D., Janssen T., Anft D., 1987: Auditory brainstem responses to single-slope stimuli. *Scand. Audiol.* 16, 227 - 235.
- Gorga M. O., Abbas P. J., Worthington D. W., 1985: Stimulus calibration in ABR measurements. W: *The auditory brainstem response*. Ed. Jacobson J. T., Taylor & Francis, London, 49-62.
- Hall III J. W., 1992: Effect of acquisition factors. W: *Handbook of auditory evoked responses*. Ed. Hall III J. W., Allyn & Bacon, Boston, 177-220.

- Hyde M. L., 1985: The effect of cochlear lesions on the ABR. W: The auditory brainstem response. Ed. Jacobson J. T., Taylor & Francis, London, 133-146.
- Hyde M. L., 1985: Instrumentation and signal processing. W: The auditory brainstem response. Ed. Jacobson J. T., Taylor & Francis, London, 133-146.
- Javel E., 1986: Basic response properties of auditory nerve fibers. W: Neurobiology of hearing. The cochlea. Ed. Altschuler R. A., Bobbin R. P., Hoffman D., Raven Press, New York, 213-245.
- Kevanishvili Z., Aphonchenko V., 1981: Click polarity inversion effects upon the human brainstem auditory evoked potential. *Scand. Audiol.* 10, 141-147.
- Kiang N. Y. S., Watanabe T., Thomas E. C., Clark L. F., 1962: Discharge patterns of single fibers in the cat's auditory nerve. Research monograph no. 35. M. I. T. Press. Cambridge, Massachusetts.
- Malinoff R. L., Spivak L. G., 1990: Effect of stimulus parameters on auditory brainstem response spectral analysis. *Audiology* 29, 21-28.
- Moller R. Jannetta P. J., 1985: Neural generators of the auditory brainstem response. W: The auditory brainstem response. Ed. Jacobson J. T., Taylor & Francis, London, 13-31.
- Moore B. C., 1995: The physiology and function the normal and damaged cochlea. W: Perceptual Consequences of cochlear damage. Ed. Moore B. C., Oxford University Press, New York, 1-29.
- Orlando M. S., Folsom R. C., 1995: The effect of reversing the polarity of frequency-limited single-cycle stimuli on the human auditory brain stem response. *Ear. Hear.* 16, 311-320.
- Ornitz E. M., Walter D. O., 1975: The effect of sound pressure wavveform on human brain stem auditory evoked responses. *Brain. Res.* 92, 490-498.
- Pickles J. O., 1982: The auditory nerve. W: An introduction to the physiology of hearing. Ed. Pickles J. O., Academic Press, London, 71-153.
- Pijl S., 1987: Effects of click polrity on ABR latency and morphology in a clinical population. *J. Otolaryngol.* 16, 89 - 96.
- Rawool V., Zerlin S., 1988: Phase-intensity effects on the ABR. *Scand. Audiol.* 17, 117-123.
- Rosenhamer H. J., 1981: The auditory evoked brainstem electric response in cochlaer hearing loss. *Scand. Audiol. Suppl.* 13, 83- 93.
- Salt A. N., Thorton A. R. D., 1984: The effect of stimulus rise time and polarity on the auditory brainstem responses. *Scand. Audiol.* 13, 119 - 127.
- Schoonhoven R., 1992: Dependence of auditory brainstem response on click polarity and high-frequency sensorineural hearing loss. *Audiology* 31, 72-86.
- Spivak L. G., Malinoff R., 1990: Spectral differences in the ABRs of old and young subjects. *Ear.Hear.* 11, 5, 351-358.
- Stapells D. R., Picton T. W., Perez-Abalo M., Read D., Smith A., 1985: Frequency specificity in evoked potential audiometry. W: The auditory brainstem response. Ed. Jacobson J. T., Taylor & Francis, London, 147-177.
- Stockard J. E., Stockard J. J., Westmorland B. F., Corfits J. L., 1979: Brainstem auditory evoked responses: Normal variation as a function of stimulus and subject characteristics. *Arch. Neurol.* 36, 823-831.
- Tietze G., Pantev Ch., 1986: Comparison between auditory brainstem responses evoked by Rarefaction and condensation step functions and clicks. *Audiology* 25, 44-53.