

Agnieszka Jędrusik¹, Krzysztof Kochanek^{1,2}, Adam Piłka¹,
Jarosław Żygierewicz³, Grażyna Tacikowska²

¹Klinika Otolaryngologii Akademii Medycznej

²Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu

³Pracownia Fizyki Medycznej Uniwersytetu Warszawskiego
Warszawa

Ocena przydatności otoemisji produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka w różnicowaniu uszu normalnie słyszących i ubytków słuchu typu ślimakowego

Distortion product otoacoustic emissions
in evaluation of cochlear hearing loss

Słowa kluczowe: otoemisja akustyczna, produkty zniekształceń,
ślimakowe uszkodzenie słuchu

Key words: otoacoustic emission, distortion products, cochlear hearing loss

Streszczenie

Celem niniejszej pracy była ocena przydatności otoemisji produktów zniekształceń nieliniowych DPOAE (ang. *distortion product otoacoustic emissions*) w różnicowaniu uszu normalnie słyszących i ubytków słuchu typu ślimakowego. Badania wykonano w grupie 130 osób o /słuchu normalnym oraz 166 osób z uszkodzeniem słuchu typu ślimakowego. Rejestracje przeprowadzono za pomocą urządzenia Celesta 503 firmy Madsen z zastosowaniem procedury „DP-gramu” dla częstotliwości 0,5, 1, 2, 4, i 8 kHz. Intensywność tonów pierwotnych wynosiła 70 dB SPL. Wyniki badań DPOAE oceniano w odniesieniu do wartości proggu słyszenia wyznaczonych w audiometrii tonalnej. Największą czułość i specyficzność metody uzyskano w zakresie częstotliwości od 1 do 4 kHz, w granicach od 72-83%, natomiast najmniejsze dla częstotliwości 0,5 i 8 kHz, (mniej niż 74%). Analiza funkcji ROC wykazała najwyższą wiarygodność testu dla częstotliwości 2 kHz (0,90), a najmniejszą dla 0,5 kHz (0,78) i 8 kHz (0,79). Dość silną korelację pomiędzy amplitudą sygnału DPOAE, a progiem słyszenia stwierdzono dla częstotliwości 1, 2 i 4 kHz, a najsłabszą dla 0,5 i 8 kHz. Ogólnie wyniki niniejszej pracy pozostają w zgodzie z wcześniejszymi doniesieniami innych autorów.

Uzyskano zbliżone wartości specyficzności i czułości, wartości współczynników korelacji liniowej i współczynnika ROC.

Summary

The aim of this study was to determine the efficiency of distortion product otoacoustic emissions (DPOAE) as a diagnostic tool in cochlear hearing loss. The performance of DPOAE was evaluated in 130 normal hearing subjects and 166 patients with cochlear hearing loss. DPOAE were recorded using Celesta 503 system (Madsen Electronics). DPOAE data were collected using the „DPOE-versus-frequency” paradigm with the stimulus levels of the primary tones, L_1 and L_2 , equal to 70 dB SPL at frequency range 0,5 -8 kHz. Authors of this study found the sensitivity and specificity of the test to be 72-83% at 1, 2 and 4 kHz, 70-74% at 0,5 and 8 kHz. The performance was also evaluated using decision theory in terms of the area under the receiver operating characteristics (ROC). The latter was found to range from 0,78 to 0,90, the smallest for 0,5 kHz and the highest for 2 kHz. Also high correlation between DPOAE level and pure-tone threshold at 1,2 and 4 kHz and weak correlation at 0,5 and 8 kHz were revealed. These findings support the conclusion that the DPOAEs can form a useful objective test of cochlear function particularly at 1-4 kHz frequency range.

WPROWADZENIE

W ciągu ostatnich lat otoemisja akustyczna – OAE (ang. – *otoacoustic emission*) stała się narzędziem diagnostycznym, którego możliwości wykorzystania w praktyce klinicznej stanowią wciąż przedmiot wielu prac badawczych i klinicznych. Zależność pomiędzy otoemisją, a funkcją ślimaka badano dotychczas głównie w odniesieniu do otoemisji wywołanej trzaskiem – CEOAE (ang. *click evoked otoacoustic emission*). Powszechnie uważa się, że obecność sygnału otoemisji świadczy o prawidłowym funkcjonowaniu aktywnych mikromechanizmów komórek słuchowych zewnętrznego narządu Cortiego [Fritze 1996; Kemp 1986; Brownell 1990]. Jego brak nasuwa podejrzenie uszkodzenia słuchu typu ślimakowego. Otoemisja wywołana trzaskiem jest obecnie szeroko stosowana w badaniach przesiewowych słuchu u noworodków [Francois i wsp. 1995; Lasky i wsp. 1992].

Wielu autorów wskazuje, że podobnie jak CEOAE otoemisja produktów zniekształceń nieliniowych – DPOAE (ang. *distortion product otoacoustic emission*) jest rejestrowana w prawie wszystkich uszach normalnie słyszących [Smurzyński i Kim 1992, Lonsbury-Martin i wsp. 1990; Gaskill i Brown 1990]. Sygnał DPOAE wywoływany jest przez parę tonów pierwotnych o różnych częstotliwościach f_1 i f_2 . Zmieniając częstotliwości tonów możemy uzyskać odpowiedzi ślimaka, pochodzące z różnych rejonów, co zdaniem wielu autorów pozwala na specyficzną częstotliwościowo analizę funkcji ślimaka. Eksperymenty przeprowadzane na zwierzętach wykazują, że uszkodzenie ślimaka pod wpływem hałasu [Whitehead i wsp. 1993], leków ototoksycznych [Zorowka 1993] lub niedotlenienia [Lonsbury-Martin 1987] prowadzi do

zmniejszenia amplitudy bądź zaniku sygnału DPOAE dla częstotliwości związanej z tą częścią ślimaka, dla której w badaniu behawioralnym stwierdzono uszkodzenie słuchu.

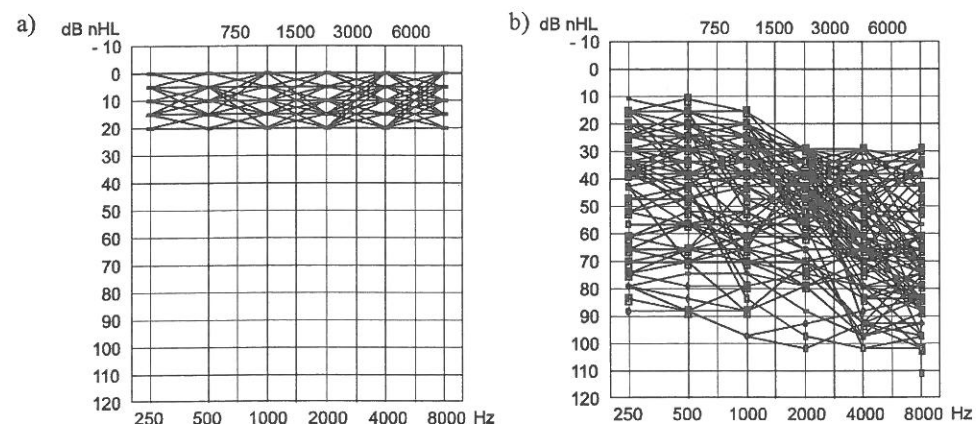
Z klinicznego punktu widzenia interesująca jest analiza zależności między progami słyszenia wyznaczonym w badaniu audiometrycznym, a amplitudą sygnału otoemisji w uszkodzeniach słuchu typu ślimakowego. Na przykład Probst i Harris [1990] wykazali istnienie silnej korelacji pomiędzy progami audiometrycznym a amplitudą DPOAE dla częstotliwości 1, 2, 3 i 4 kHz. Dla 500, 6000 i 8000 Hz korelacja była znacznie słabsza. Wielu autorów wskazuje, że wartość korelacji zwiększa się przy zmniejszeniu intensywności tonów pierwotnych [Avan 1993; Moulin 1994; Probst 1990; Smurzyński 1990], co mogłoby sugerować większą przydatność metod rejestracji DPOAE wywoływanych bodźcami o niższej intensywności w ocenie wielkości ubytków słuchu typu ślimakowego. Należy jednak zwrócić uwagę, że stosowanie niższych intensywności tonów pierwotnych powoduje spadek częstości występowania DPOAE w uszach u osób normalnie słyszących [Probst 1990; Moulin 1992].

Nie istnieją standardowe metody badania DPOAE i dlatego zjawiskiem dość powszechnym jest stosowanie w praktyce klinicznej różnych metod rejestracji, które różnią się między sobą przede wszystkim intensywnościami tonów pierwotnych. W niniejszej pracy do oceny przydatności otoemisji produktów zniekształceń nieliniowych w różnicowaniu uszu normalnie słyszących i z uszkodzeniem słuchu typu ślimakowego u osób dorosłych zastosowano metodę, w której intensywności tonów pierwotnych były takie same i wynosiły 70 dB SPL. Efektywność metody wyznaczono w oparciu o analizę czułości i specyficzności oraz analizę funkcji ROC (ang. *receiver operating characteristics*).

MATERIAŁ I METODA

W badaniach uczestniczyło 130 osób o słuchu normalnym oraz 166 osób z uszkodzeniem słuchu typu ślimakowego w wieku od 12 do 68 lat. U wszystkich osób wykonywano badanie otoskopowe, badanie audiometryczne, audiometrię impedancyjną, a w przypadkach podejrzenia uszkodzenia słuchu typu pozaślimakowego audiometrię słowną i badanie słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu – ABR. U wszystkich osób stwierdzono występowanie tympanogramu typu A. Do grupy osób o słuchu normalnym zakwalifikowano osoby, które nigdy nie były leczone z powodu chorób uszu oraz nie były narażone na działanie hałasu przemysłowego ani na działanie leków ototoksycznych. Nie stwierdzono u tych osób występowania zaburzeń słuchu w rodzinie. W grupie osób o słuchu normalnym wartość progę słysze-

nia nie przekraczała 20 dB HL w zakresie częstotliwości od 0,25 do 8 kHz. Badania wykonywano w kabinie audiometrycznej za pomocą audiometru AP 6 firmy Peters. Ryc. 1 przedstawia audiogramy osób o słuchu normalnym oraz chorych z uszkodzeniem słuchu typu ślimakowego.



Ryc. 1. Zbiory audiogramów:

a) grupa osób o słuchu normalnym, b) grupa osób z ubytkami słuchu typu ślimakowego

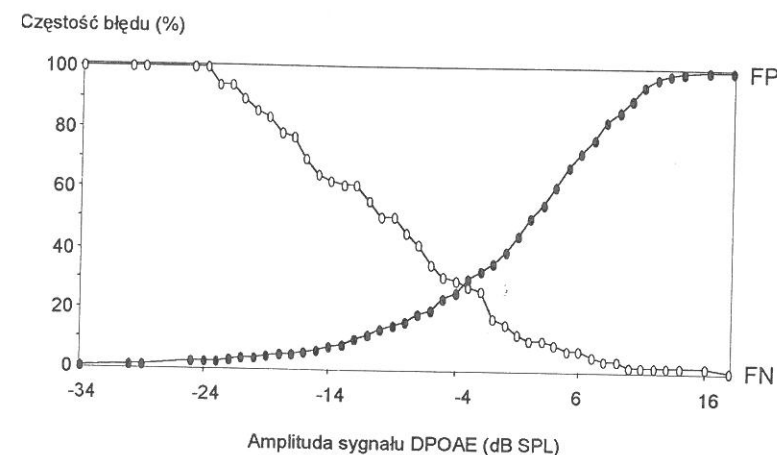
Rejestracje otoemisji zniekształceń nieliniowych ślimaka przeprowadzono za pomocą urządzenia firmy Madsen Electronics Ltd., o nazwie Celesta 503. W badaniach zastosowano procedurę „DP-gramu” umożliwiającą wyznaczenie wykresu amplitudy sygnału DP w funkcji częstotliwości. Podczas rejestracji nie włączano opcji korekcji poziomów tonów pierwotnych wykorzystującej wartości poziomów ciśnienia dźwięku pomierzone w kanale usznym. Otoemisyj wywoływano tonami pierwotnymi o intensywnościach $L_1=L_2=70$ dB SPL. Iloraz częstotliwości tonów pierwotnych f_1 i f_2 wynosił 1,22. Amplitudę otoemisji zniekształceń nieliniowych mierzono dla składowej określonej zależnością $2f_1-f_2$. Przy wykreślaniu DP-gramu wartości amplitudy nanoszono na oś odciętych w punktach, których częstotliwości były określone jako średnie geometryczne częstotliwości tonów pierwotnych. Wartości średnich geometrycznych wynosiły: 0,5 1, 2, 4 i 8 kHz. W czasie rejestracji otoemisji pomiar był automatycznie zatrzymywany, jeżeli odstęp sygnału od szumu tła przekraczał wartość 3 odchyłeń standardowych średniej wartości szumu tła. Liczba uśrednień wynosiła 250.

Do oceny związku między amplitudą sygnału otoemisji zniekształceń nieliniowych ślimaka a progiem słyszenia wyznaczonym w badaniu audiometrycznym stosowano analizę korelacji liniowej. Czulość i specyficzność metody została wyznaczona za pomocą macierzy decyzyjnej, natomiast skuteczność DPOAE w różnicowaniu normy i ubytków słuchu typu ślimakowego

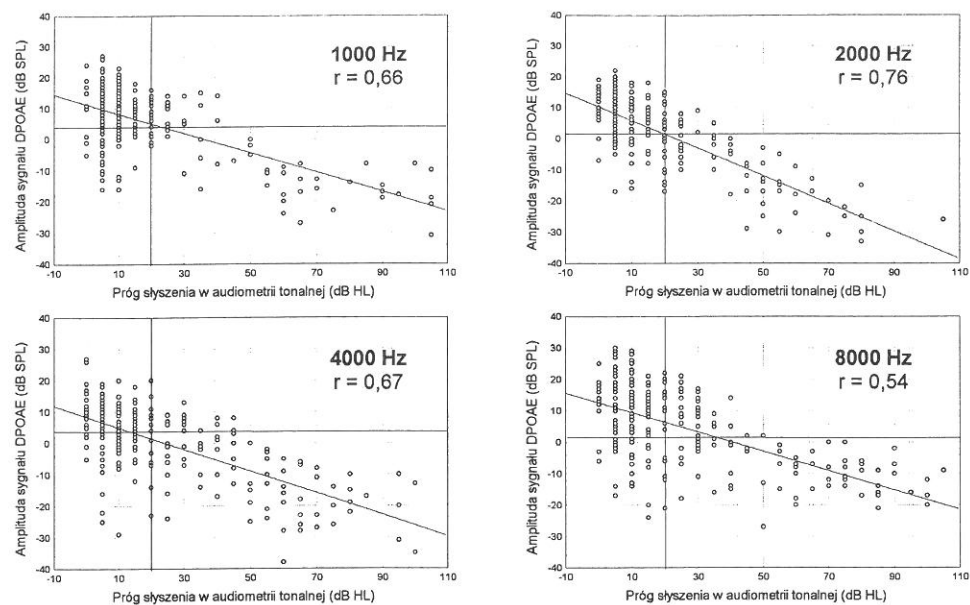
oceniono za pomocą analizy ROC [Jacobson i Northerned 1990]. Wartości amplitudy DPOAE różnicujące normę od patologii wyznaczono na podstawie analizy krzywych częstości błędów. W ocenie statystycznej wyników stosowano poziomy istotności $p \leq 0,05$.

WYNIKI

Na ryc. 2 przedstawiono wykresy częstości błędów metody DPOAE dla 500 Hz, przy założeniu, że metodą referencyjną jest badanie audiometryczne. Wartości progów słyszenia przekraczające 20 dB HL dla danej częstotliwości oznaczają patologię (ubytek słuchu), natomiast mniejsze lub równe 20 dB HL oznaczają normę (normalny próg słyszenia). Z przedstawionych wykresów wynika, że wzrostowi częstości wyników fałszywie dodatnich FP (ucho normalnie słyszące zakwalifikowane niewłaściwie do grupy ubytków słuchu na podstawie wyniku badania DPOAE) towarzyszy zmniejszanie się ilości wyników fałszywie ujemnych FN (ubytek słuchu rozpoznany niewłaściwie na podstawie wyniku badania DPOAE jako norma). Wykresy przecinają się w punkcie, w którym częstość wyników fałszywie dodatnich i fałszywie ujemnych osiąga jednocześnie najniższą wartość. Amplituda sygnału DPOAE, w punktach przecięcia wykresów częstości błędów stanowi kryterium różnicujące normę od patologii w badaniu DPOAE. Wartości amplitudy sygnału DPOAE dla poszczególnych częstotliwości wynosiły: -2 dB SPL dla 500 Hz, 3 dB SPL dla 1000 Hz, 1 dB SPL dla 2000 Hz, 4 dB SPL - 4000 Hz, 1 dB SPL - 8000 Hz.

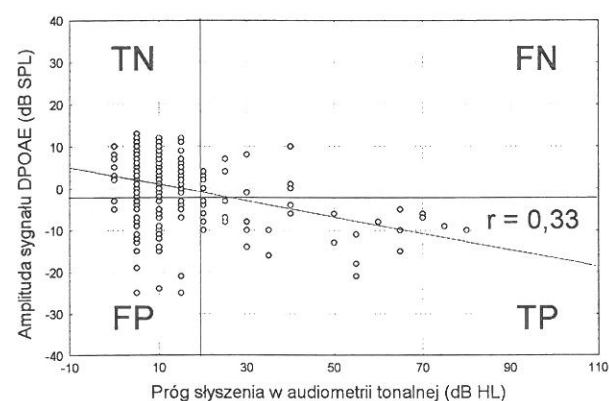


Ryc. 2. Krzywe częstości błędów dla częstotliwości 500 Hz
FN – częstość wyników fałszywie ujemnych (ang. *false negative*); FP – częstość wyników fałszywie dodatnich (ang. *false positive*)



Ryc. 3. Diagram korelacyjny wartości progów słyszenia i amplitudy DPOAE dla częstotliwości 500 Hz. TN – liczba wyników prawdziwie ujemnych (ang. *true negative*), FN – liczba wyników fałszywie ujemnych (ang. *false negative*), FP – liczba wyników fałszywie dodatnich (ang. *false positive*), TP – liczba wyników prawdziwie dodatnich (ang. *true positive*)

Zależność między progiem słyszenia a amplitudą sygnału DPOAE przedstawiono za pomocą diagramów korelacyjnych, wyznaczonych dla poszczególnych częstotliwości oraz prostych regresji liniowej (ryc. 4). Analiza wartości współczynnika korelacji liniowej wykazała słabą korelację pomiędzy wartością progów słyszenia i amplitudą sygnału DPOAE dla częstotliwości 500



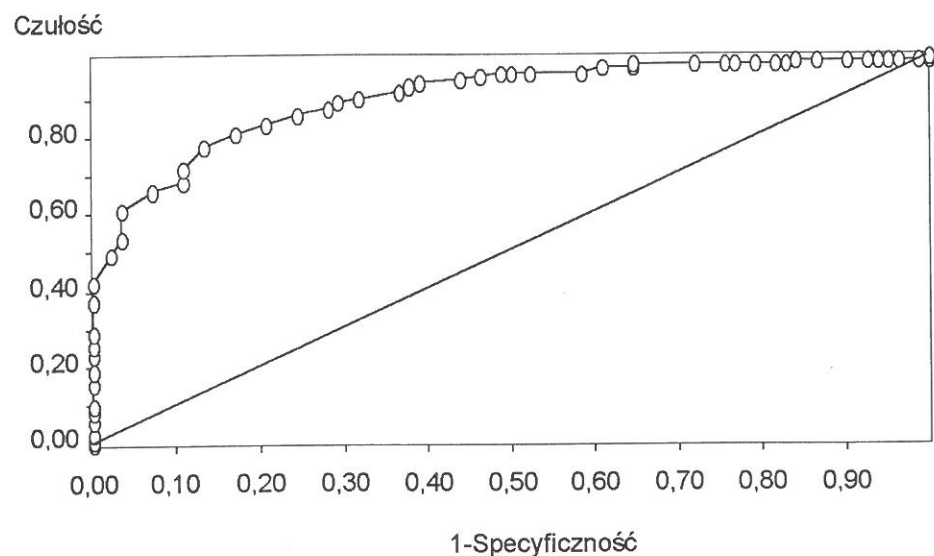
Ryc. 4. Diagramy korelacyjne oraz proste regresji liniowej pomiędzy progiem słyszenia i amplitudą sygnału DPOAE dla częstotliwości 1000, 2000, 4000 i 8000 Hz

Hz i 8000 Hz, dla których wartości współczynnika korelacji wynosiły 0,33 i 0,54, a dość wysoką dla 1000, 2000 i 4000 Hz, gdzie wartości współczynnika wynosiły odpowiednio 0,66, 0,76 i 0,67. Dla wszystkich częstotliwości wartości współczynnika korelacji liniowej były istotne statystycznie ($p < 0,05$).

Na diagramy naniesiono dwie linie – pionową i poziomą, przecinające odpowiednio oś rzędnych i odciętych w punktach odpowiadających kryteriom różnicującym normę od patologii w badaniu otoemisji i audiometrii tonalnej. Dla sygnału otoemisji kryteria te zostały przyjęte na podstawie wartości wyznaczonych w analizie wykresów częstości błędów (ryc. 3). W badaniu audiometrycznym normę od ubytku słuchu różnicuje wartość progów słyszenia wynosząca 20 dB HL. Punkty położone na lewo od linii pionowej oznaczają wyniki badań DPOAE grupy uszu normalnie słyszających, natomiast położone na prawo – wyniki grupy uszu z ubytkami słuchu. Linia pozioma dzieli otrzymane wyniki na normę i patologię z punktu widzenia badań DPOAE. Punkty położone powyżej linii poziomej oznaczają w badaniu DPOAE wynik prawidłowy (norma słuchowa), natomiast położone poniżej – patologię (ubytek słuchu). Te dwie linie dzielą diagram korelacyjny na cztery części. W powstałych polach znajdują się wyniki prawdziwie ujemne – TN (ang. *true negative*), fałszywie ujemne – FN (ang. *false negative*), fałszywie dodatnie – FP (ang. *false positive*) i prawdziwie dodatnie – TP (ang. *true positive*). W badaniu DPOAE wynik TN oznacza, że ucho słyszące zostało zakwalifikowane prawidłowo do grupy norm, wynik FN oznacza, że ucho z ubytkiem słuchu zostało niewłaściwie zakwalifikowane do grupy norm, wynik FP oznacza, że ucho normalnie słyszące zostało w sposób niewłaściwy zakwalifikowane do grupy patologii, natomiast wynik TP oznacza, że ucho z ubytkiem słuchu zostało zakwalifikowane prawidłowo do grupy patologii. Na podstawie oceny liczby poszczególnych typów wyników można określić czułość i specyficzność metody DPOAE w różnicowaniu uszu normalnie słyszających i uszu z ubytkami słuchu typu ślimakowego, w odniesieniu do metody audiometrycznej. Czułość testu definiowana jest prawdopodobieństwem, z jakim dana metoda prawidłowo wykrywa patologię. Wyznacza się ją jako iloraz liczby wyników prawdziwie dodatnich (prawidłowo rozpoznanych ubytków słuchu) oraz sumy wyników prawdziwie dodatnich i fałszywie ujemnych (całkowita liczba uszkodzonych uszu). Natomiast specyficzność jest to prawdopodobieństwo prawidłowego wyznaczenia normy. Określa się ją ilorazem wyników prawdziwie ujemnych (prawidłowo rozpoznane uszu normalnie słyszące) oraz sumy wyników prawdziwie ujemnych i fałszywie dodatnich (całkowita liczba uszu normalnie słyszających).

W oparciu o przyjęte kryteria różnicujące normę od patologii uzyskano dla poszczególnych częstotliwości następujące wartości czułości badania DPOAE: 500 Hz – 70%, 1000 Hz – 72%, 2000 Hz – 83%, 4000 Hz – 80%

i 8000 Hz – 73%. Natomiast specyficzność wynosiła: 500 Hz – 74%, 1000 Hz – 75%, 2000 Hz – 80%, 4000 Hz – 77%, 8000 Hz – 72%. Najwyższą czułość i specyficzność metody uzyskano dla częstotliwości 2000 Hz, a najniższą dla 500 Hz. Wyznaczono również maksymalne wartości ubytków słuchu dla poszczególnych częstotliwości, przy których stwierdzano obecność prawidłowego sygnału otoemisji na podstawie przyjętych kryteriów. Dla częstotliwości 2000 i 8000 Hz maksymalna wielkość ubytku słuchu wynosiła 40 dB HL, natomiast dla pozostałych częstotliwości nie przekraczała 45 dB HL.



Ryc. 5. Wykres funkcji ROC dla częstotliwości 2000 Hz

Do oceny skuteczności metody DPOAE w różnicowaniu normy od patologii zastosowano analizę funkcji ROC (ang. *receiver operating characteristics*). Zaletą tego rodzaju analizy jest to, że pozwala ona na ocenę efektywności metody przy braku ściśle określonego kryterium normy w badaniach DPOAE. Wyniki analizy zostały przedstawione w postaci wykresu wartości czułości metody w funkcji parametru określonego wartością różnicy „1-specyficzność”. Pole pod krzywą ROC odzwierciedla prawdopodobieństwo, z jakim w losowo wybranej parze – osoby zdrowej i osoby z ubytkiem słuchu, test prawidłowo rozpozna patologię. Im większe jest pole pod krzywą ROC lub też wskaźnik krzywej ROC jest bliższy jedności tym większa jest wiarygodność testu. W analizowanym materiale wartości te dla poszczególnych częstotliwości były następujące: 0,78 dla 500 Hz, 0,82 dla 1000 Hz, 0,9 dla 2000 Hz, 0,84 dla 4000 Hz i 0,79 dla 8000 Hz.

Wyniki wszystkich analiz, które wykonano w ocenie metody DPOAE zestawiono w tab. 1.

Tab. 1. Zestawienie wyników analiz dotyczących oceny efektywności metody DPOAE w różnicowaniu uszu normalnie słyszących z uszkodzeniem słuchu typu ślimakowego

Rodzaj wskaźnika	Częstotliwość w Hz				
	500	1000	2000	4000	8000
Wartość współczynnika korelacji liniowej	0,33	0,66	0,76	0,67	0,54
Wartość amplitudy DPOAE różnicująca normę od patologii w dB SPL	-2	3	1	4	1
Czułość testu DPOAE w %	70	72	83	80	73
Specyficzność testu DPOAE w %	74	75	80	77	72
Maksymalna wielkość ubytku słuchu, przy której rejestrowano sygnał DPOAE [dB HL]	45	46	40	45	40
Wartość wskaźnika funkcji ROC	0,78	0,82	0,90	0,84	0,79

DYSKUSJA

Na obecnym etapie rozwoju badań nie oczekuje się już, aby jeden test, czy jedna metoda diagnostyczna, pozwoliły w sposób jednoznaczny określić miejsce i rodzaj uszkodzenia narządu słuchu. Wysiłki badaczy idą w kierunku poszukiwania pewnego optymalnego zestawu metod, które pozwolą najsukuteczniej i najefektywniej ustalić właściwe rozpoznanie. Wśród nowoczesnych metod znaczące miejsce zajmują obiektywne badania narządu słuchu, w tym słuchowe potencjały wywołane i otoemisja akustyczna. Należy jednak pamiętać, że ograniczeniem tej ostatniej metody jest to, że dostarcza ona informacji jedynie na temat funkcjonowania obwodowej części narządu słuchu – tj. ślimaka.

Wielu autorów podkreśla przydatność otoemisji zniekształceń nieliniowych ślimaka w praktyce klinicznej [Franklin 1988; Balkany 1994], wyrażając nadzieję, że badanie to może być użyteczne w obiektywnej ocenie niezbyt głębokich ubytków słuchu typu ślimakowego. Z klinicznego punktu widzenia interesujące jest to, w jakim stopniu DPOAE może wspomóc lub zastąpić niektóre z badań narządu słuchu stosowanych obecnie w ocenie wielkości ubytku słuchu. W niniejszej pracy dokonano oceny efektywności metody DPOAE, w której stosowano intensywności tonów pierwotnych wynoszące 70 dB SPL. Do oceny metody wykorzystano szereg wskaźników (współczynnik korelacji, czułość, specyficzność, wskaźnik funkcji ROC), które były stosowane również w pracach innych autorów, zajmujących się tym samym zagadnieniem [Kim 1996; Probst i Harris 1990].

Przeprowadzone badania wykazały, że czułość i specyficzność metody DPOAE w różnicowaniu uszu normalnie słyszących i z ubytków ślimako-

wych, nie były wysokie. Analiza indywidualnych wyników przedstawionych na diagramach korelacyjnych wskazuje, że największy wpływ na niską specyficzność metody miała zbyt duża liczba wyników fałszywie dodatnich, co wynika z faktu, że u wielu osób o słuchu normalnym nie zarejestrowano prawidłowego sygnału otoemisji. W całym zakresie częstotliwości czułość metody nie przekraczała 83%, a specyficzność 80%. Najmniejszą czułość i specyficzność uzyskano dla częstotliwości 500 i 8000 Hz, a najwyższą dla 2000 Hz. Podobne wyniki badań w odniesieniu do tych częstotliwości uzyskali m.in. Probst i Harris [1990] oraz Smurzyński i Kim [1992]. Niską czułość metody można wiązać z obecnością pewnej liczby wyników fałszywie ujemnych. Chodzi tu o badania, w których zarejestrowano prawidłowy sygnał otoemisji, pomimo głębokiego ubytku słuchu. Wielu autorów potwierdza, że stosowaniu tonów pierwotnych o dużej intensywności może towarzyszyć uaktywnienie się innych i do końca nie poznanych źródeł i mechanizmów generowania sygnału otoemisji. [Martin 1990; Lonsbury-Martin i Martin 1990; Probst i Hauser 1990]. Jedną z hipotez, którą przedstawiła m.in. Moulin [1994] zakłada istnienie pewnej grupy resztkowych komórek słuchowych zewnętrznych w uszach z uszkodzeniem ślimakowym, które mogą być zdolne do generowania produktów zniekształceń nieliniowych. Obecność sygnału DPOAE w uszach z głębokim uszkodzeniem słuchu może również oznaczać, że struktury i mechanizmy ślimaka odpowiedzialne za powstawanie otoemisji produktów zniekształceń nieliniowych (komórki słuchowe zewnętrzne i aktywne mechanizmy ślimaka) funkcjonują w stopniu wystarczającym do generacji sygnału DPOAE, pomimo że inne elementy ślimaka (głównie komórki słuchowe wewnętrzne) i procesy synaptyczne uległy uszkodzeniu. Nie można również wykluczyć istnienia innych nie określonych do tej pory mechanizmów, mniej wrażliwych na uszkodzenie w wyniku działania leków ototoksycznych czy niedotlenienia, które mogą być odpowiedzialne za generowanie otoemisji w głębokich ubytkach słuchu. Istnienie takich mechanizmów wydają się potwierdzać wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych na małpach przez Whithead'a i in. [1992], który wskazał obecność DPOAE wywołanych bodźcami o wysokiej częstotliwości pomimo znaczącej ekspozycji na hałas.

Niektórzy autorzy, m.in. Avan i Bonfils [1993] fakt niskiej czułości i specyficzności pomiarów DPOAE w różnicowaniu uszu normalnych i ubytków ślimakowych wiążą z ograniczoną specyficznością częstotliwościową metody dla dużych intensywności tonów pierwotnych. Rozproszenie energii bodźca o dużej intensywności może powodować pobudzenie rejonów ślimaka leżących poza obszarem bezpośredniej stymulacji, w których czułość słuchu jest normalna. Sytuacja ta dotyczy w szczególności ubytków słuchu nisko- i wysokoczęstotliwościowych. Zdaniem Probst [1993, 1997] specyficzność częstotliwościową odpowiedzi można zwiększyć, stosując tony pierwotne

o intensywnościach niższych, np. 65 dB SPL. W niniejszej pracy stwierdzono słabszą korelację progę słyszenia i amplitudy sygnału otoemisji DPOAE, w porównaniu z wynikami prac innych autorów, którzy stosowali niższe intensywności tonów pierwotnych [Probst i Hauser 1990; Avan i Bonfils 1993; Moulin i in. 1994]. Być może jest to efekt nieco gorszej specyficzności częstotliwościowej odpowiedzi dla dużych intensywności tonów pierwotnych

Analiza funkcji ROC potwierdziła małą efektywność testu dla częstotliwości 500 Hz oraz wyższą dla 2000 Hz. Dla 500 Hz wskaźnik krzywej ROC wynosił 0,78, a dla 2000 Hz – 0,90. Podobne wyniki analizy funkcji ROC dla 2000 Hz uzyskał Kim i wsp. [1996], który stosował stymulację tonami pierwotnymi o niższej intensywności – 65 dB SPL. Należy również zauważyć, że na nie najlepsze wyniki analiz DPOAE w odniesieniu do czułości i specyficzności metody dla 500 Hz w niniejszej pracy mogą być związane z małą liczbą pacjentów z uszkodzeniem słuchu w zakresie niskich częstotliwości.

Ogólnie należy stwierdzić, że wyniki pracy pozostają w zgodzie z doniesieniami innych autorów. Uzyskano zbliżone wartości specyficzności i czułości, wartości współczynników korelacji liniowej i współczynnika ROC. Wszystkie wskaźniki oceny metody dla 500 i 8000 Hz były gorsze niż dla pozostałych częstotliwości i dlatego uważamy, że dla potrzeb rutynowych badań klinicznych rejestracje DPOAE można ograniczyć do zakresu częstotliwości od 1000 do 4000 Hz. Dość niska czułość i specyficzność metody obserwowana przez autorów niniejszej pracy wskazuje na konieczność dalszego poszukiwania optymalnych parametrów metody oraz kryteriów oceny sygnału otoemisji pozwalających na bardziej specyficzną częstotliwościowo analizę funkcji ślimaka oraz na uzyskanie lepszej wiarygodności metody.

Bibliografia

- Avan P., Bonfils P., 1993: Frequency specificity of human distortion product otoacoustic emissions. *Audiology*, 32, 12-26.
- Bonfils P., Avan P., 1992: Distortion-product otoacoustic emissions. Values for clinical use. *Arch. Otolaryngol. Head Neck Surg., Suppl*, 118, 1069-1076.
- Brownell W. E., 1990: Outer hair cell electromotility and otoacoustic emissions. *Ear and Hear.*, 11, 82-90.
- Fabiani M., 1993: Evoked otoacoustic emissions in the study of adult sensorineural hearing loss. *Br J Audiol.*, 27, 131-137.
- Francois M., Bonfils P., Narcy P., 1995: Screening for neonatal and infant deafness in Europe in 1992. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.*, 31, 175-182.
- Fritze W., 1996: On mechanical preprocessing in the cochlea: The three great hearing theories combined. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 223, 211-215.
- Gaskill S. A., Brown A. M., 1990: The behaviour of the acoustic distortion product $2f_1 - f_2$ from the human ear and its relation to auditory sensitivity. *J. Acoust. Soc. Am.*, 88, 821-839.
- Hyde M. L., Davidson J., Albert P., 1990: Auditory test strategy. W: Jacobson J. T., Northern J.L. (eds). *Diagnostic audiology*. Allyn and Bacon, 295-323.

- Kemp D. T., Brown A. M., 1983: An integrated view of cochlear mechanical nonlinearities observable from the ear canal. W: De Boer E., Viergever M.A. (eds): *Cochlear Mechanics*. Delft University Press, Delft, 27-38.
- Kemp D. T., 1986: Otoacoustic emissions, travelling waves and cochlear mechanics. *Hear. Res.*, 22, 95-104.
- Kim D. O., Paparello J., Jung M. D., Smurzyński J., Sun X., 1996: Distortion product otoacoustic emission test of sensorineural hearing loss: performance regarding sensitivity, specificity and receiver operating characteristic. *Acta Otolaryngol. (Stockh)*, 116, 3-11.
- Lasky R., Perlman J., Hecox K., 1992: Distortion – product otoacoustic emissions in human newborns and adults. *Ear and Hear.*, 13, 430-441.
- Lonsbury-Martin B. L., Probst R., Coats A. C., Martin G. K., 1987: Acoustic distortion products in rabbits. I. Basic features and physiological vulnerability. *Hear. Res.* 28, 173-189.
- Lonsbury-Martin B. L. i in., 1995: New approaches to the evaluation of the auditory system and a current analysis of otoacoustic emissions. *Otolaryngol. Head Neck Surg.*, 112, 50-63.
- Lonsbury-Martin B. L., Harris F. P., Stagner B. B., Harkins M. D., 1990: Distortion product emissions in humans. I. Basic properties in normal hearing subjects. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol., Suppl*, 147, 3-14.
- Martin G. K., Lonsbury-Martin B. L., Probst R., Sceinin S. A., Coats A. C., 1987: Acoustic distortion products in rabbit ear canal. II. Sites of origin revealed suppression contours and pure-tone exposures. *Hear. Res.* 29, 191-208.
- Martin G. K., Ohlms L. A., Harris F. P., Franklin D. J., Lonsbury-Martin B. L., 1990: Distortion product emissions in humans. III. Influence of sensorineural hearing loss. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol., Suppl*, 147, 30-42.
- Moulin A., Bera J. Ch., Collet L., 1994: Distortion product otoacoustic emissions and sensorineural hearing loss. *Audiology* 33, 305-326.
- Northon S. J., 1993: Application of transient evoked otoacoustic emissions to pediatric populations. *Ear Hear.*, 14, 64-73.
- Probst R., Harris F. P., 1997: Otoacoustic emissions. W: *Electrophysiologic evaluation in otolaryngology*. Adv Otorhinolaryngol. Alford B. R., Jerger J., Jenkins H. A.,(eds) Basel, Karger, 53, 182-204.
- Probst R., Antonelli C., Pieren C., 1991: Method and preliminary results of measurement of distortion product otoacoustic emissions in normal and pathological ear. *Adv. Audiol.* 7, 12-19.
- Probst R., Hauser R., 1990: Distortion Product Otoacoustic Emissions in normal and hearing impaired ears. *Am. J. Otolaryngol.* 11, 236-243.
- Smurzyński J., Kim D. O., 1992: Distortion – product and click evoked otoacoustic emissions of normally-hearing adults. *Hear. Res.*, 58, 227-240.
- Whitehead M. L., Lonsbury-Martin B. L., Martin G. K., 1993: The influence of noise on the measured amplitudes of distortion product otoacoustic emissions. *J. Speech. Hear. Res.*, 36, 1097-1102.
- Zorowka P. G., Schmitt H. J., Gutjahr L., 1993: Evoked otoacoustic emissions and pure-tone threshold audiometry in patients receiving cisplatin therapy. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.*, 25: 73-80.