

Grażyna Bartnik, Anna Fabijańska, Danuta Raj-Koziak,
Marek Rogowski

Klinika Szumów Usznych, Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Warszawa

Korelacje DP-gramów z psychoakustycznymi parametrami szumu usznego

The Correlation Between the DPOAE-audiograms and Psychoacoustic
Parameters of Tinnitus

Słowa kluczowe: DPOAE, wysokość szumu, głośność szumu.
Key words: DPOAE, tinnitus pitch, tinnitus loudness.

Streszczenie

Oceniając aktywność ślimaka u pacjentów z szumem usznym w każdym przypadku wykonywano badanie otoemisji zniekształceń ślimakowych – DPOAE (*distortion product otoacoustic emission*). Badaniem tym objęto 53 osoby określając dodatkowo w badaniu psychoakustycznym wysokość i głośność ich szumu. Stwierdzono korelację pomiędzy najniższymi wartościami DP-gramu a odczuwaną wysokością szumu. Wydaje się, że obszar największego uszkodzenia komórek słuchowych zewnętrznych na błonie podstawnej może być miejscem generacji szumu usznego.

Summary

To investigate cochlear activity in tinnitus patients the DPOAE – audiogram (distortion product otoacoustic emission – DP-gram) were measured. 53 patients with subjective tinnitus were included to this study. The patients were asked to assess the pitch and loudness of their tinnitus. The correlation between the shape of DP-gram and above mentioned parameters of tinnitus was stated. In conclusion, the most damaged area of OHC (Outer Hair Cells) seems to be the place of tinnitus generation. This is indicated by perceptual pitch matching of tinnitus and DPOAE recording.

* Praca finansowana z grantu KBN 4 PO5C 009 96/3129.

I. WPROWADZENIE

Diagnostyka audiologiczna pacjentów z szumem usznym ma na celu ocenę stanu słuchu i dróg słuchowych pacjenta oraz przeprowadzenie tzw. charakterystyki szumu. Ważne są zarówno pomiary psychoakustyczne, jak i subiektywne odczucia pacjenta, oceniające intensywność czy dokuczliwość szumu przy użyciu wizualnej skali [Bartnik 1998]. Wśród badań diagnostycznych u pacjentów z szumem usznym rutynowo wykonuje się badanie DPOAE oraz określenie wysokości i głośności szumu [Bartnik 1998].

Teorie na temat ślimakowego pochodzenia szumu zakładają, że szum uszny o określonej wysokości jest generowany z miejsc, które są normalnie zaangażowane w percepcję dźwięku o tej wysokości. Zgodnie z tym, wysokość szumu często koresponduje z częstotliwościami, gdzie jest ubytek słuchu w audiogramie [Feldmann 1995; Hazell 1995; Meikle 1995].

Wysokość szumu jest również prawdopodobnie modyfikowana przez tzw. okresowość wyładowań neuronalnych [Feldmann 1995; Feldmann 1988]. Zjawisko to może wytwarzać alternatywną wysokość szumu i nie powinno być także pomijane. Wydaje się oczywiste, że odczucie wysokości szumu pozostaje pod kontrolą zarówno mechanizmów obwodowych, jak i centralnych.

Nieznanym jest mechanizm, według którego kodowana jest głośność szumu usznego [Feldmann 1995]. Prawdopodobnie, percepcja głośności zależy od ilości pobudzonych włókien nerwu słuchowego oraz od szybkości czasowych wyładowań [Tyler 2000]. Według innych [Moller 1995], zasadniczą rolę odgrywa tu czasowy wzór wyładowań.

Większość obserwacji klinicznych potwierdza regułę, że głośność szumu zwykle mieści się w paśmie od 5 do 10 dB SL, nawet jeśli pacjent cierpi z powodu bardzo głośnego szumu [Bartnik 1998].

II. MATERIAŁ I METODA

Do badania zakwalifikowano 53 pacjentów z subiektywnym szumem usznym, bez przewodzeniowego niedosłuchu, potrafiących psychoakustycznie określić wysokość i głośność własnego szumu. Wśród nich było 28 kobiet i 25 mężczyzn.

Tab. 1. Rozkład płci w materiale

	Liczność	Procent
Kobiety	28	52,83
Mężczyźni	25	47,17

Ich wiek mieścił się pomiędzy 22-66 lat, a średni wiek wynosił 49 lat.

Tab. 2. Rozkład wieku w grupach wg płci

	N	Średnie (lata)	Odch. std (lata)
Kobiety	28	50,54	17,11
Mężczyźni	25	47,52	15,59
Ogółem	53	49,11	16,32

Średnia wieku nie była zróżnicowana w grupach wg płci (w teście analizy wariancji).

Wszyscy pacjenci mieli stały, subiektywny szum uszny, trwający dłużej niż 6 miesięcy, ale nie dłużej niż 22 lata.

Tab. 3. Rozkład czasu odczuwania szumu

	Liczność	Procent
5 lat lub mniej	39	73,6
$5 < x \leq 10$	5	9,4
$10 < x \leq 15$	4	7,6
Powyżej 15 lat	5	9,4

Każdy badany przeszedł pełną diagnostykę audiologiczną, na którą składały się standardowe testy oraz tzw. charakterystyka szumu usznego.

Określając wysokość szumu, pacjenci sami manipulowali częstotliwościami w audiometrze, aż wybrali tę najbardziej zbliżoną do wysokości własnego szumu.

Do określenia głośności szumu podawano kontrlateralnie ton lub wąskopasmowy szum o danej wysokości dopasowując jego głośność do głośności odczuwanego szumu.

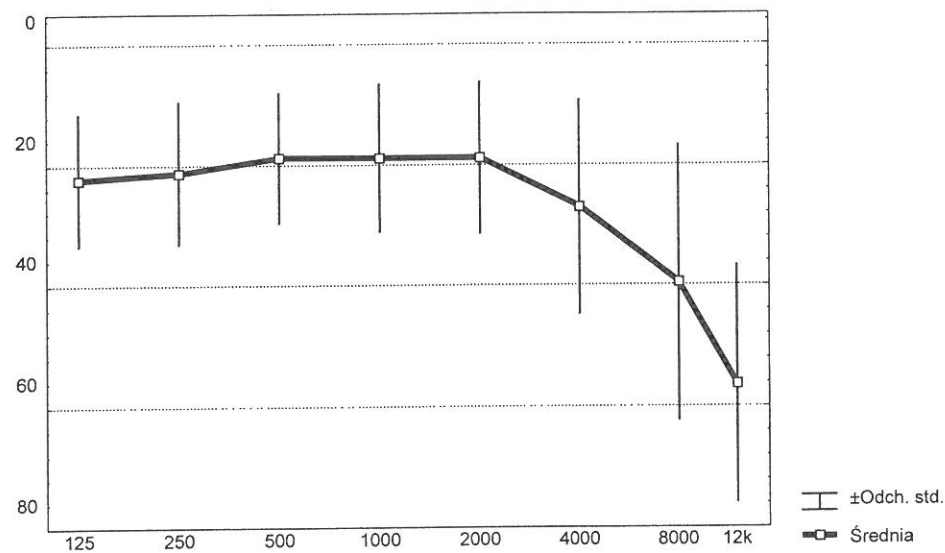
Otoemisja produktów zniekształceń (DPOAE) była mierzona w cichym pomieszczeniu przy użyciu Madsen Electronics Cochlear Emissions Analyzer – Celesta 503. Stosunek częstotliwości pomiędzy dwoma tonami prostymi f_1 i f_2 wynosił 1,22. Odpowiedzi dla częstotliwości $2f_1-f_2$ były mierzone na średnich geometrycznych tych częstotliwości i ogniskowane wokół audiometrycznych częstotliwości pomiędzy 500 Hz i 8000 Hz przy użyciu stałej intensywności tonów stymulujących ($L_1=L_2$) wynoszącej 70 dB SPL.

Tab. 4. Średnie audiogramy

Częstotliwość	N ważnych	Średnia [dB]	Minimum [dB]	Maksimum [dB]	Odch. std. [dB]
125	74	22,4	0	70	10,9
250	74	21,3	0	70	11,8
500	74	18,8	0	55	10,8
1000	74	18,9	0	50	12,2
2000	74	18,9	0	45	12,5
4000	74	27,0	0	65	17,7
8000	74	39,5	0	80	22,7
12000	63	56,3	0	90	19,5

Liczba audiogramów prawidłowych (ubytek nie większy niż 25 dB HL dla częstotliwości od 125 Hz do 4 kHz) była równa 30 (40,5%).

Biorąc pod uwagę także częstotliwość 8 kHz i wymaganie, aby ubytek dla tej częstotliwości nie przekraczał 25 dB, liczba audiogramów prawidłowych spadła do 17 (23%).

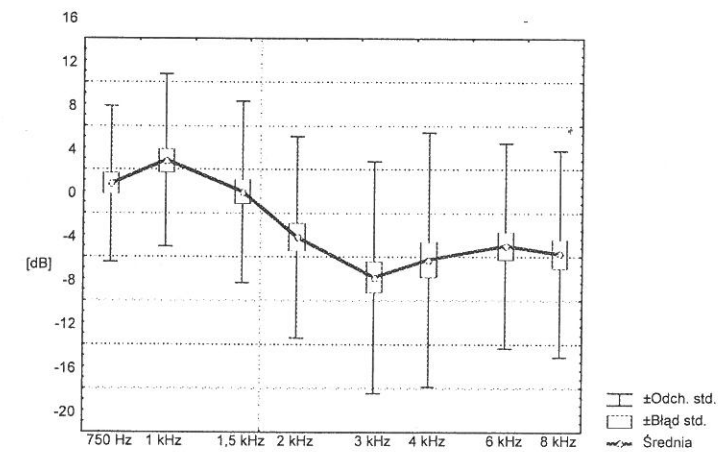


Ryc. 1. Średni audiogram dla badanej grupy

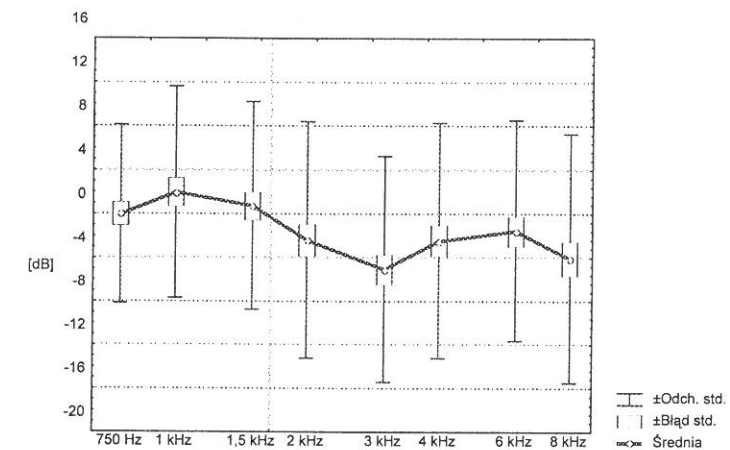
Poniżej przedstawiono średnie wartości DP-gramów dla całego materiału.

Tab. 5. Średnie wartości, błędy standardowe i rozrzuty DPOAE dla całego materiału

	Ucho lewe			Ucho prawe		
	Średnia [dB]	Błąd standard [dB]	Odch. std. [dB]	Średnia [dB]	Błąd standard [dB]	Odch. std. [dB]
750 Hz	2,67	1,00	7,14	-0,04	1,11	8,14
1 kHz	4,84	1,11	7,90	1,94	1,31	9,65
1,5 kHz	1,94	1,15	8,32	0,74	1,29	9,49
2 kHz	-2,19	1,28	9,22	-2,41	1,47	10,81
3 kHz	-5,87	1,47	10,59	-5,07	1,41	10,35
4 kHz	-4,25	1,61	11,63	-2,48	1,46	10,76
6 kHz	-2,98	1,33	9,39	-1,57	1,39	10,09
8 kHz	-3,72	1,33	9,43	-4,10	1,59	11,39



Ryc. 2. Średnie wartości DPOAE w uchu lewym dla całego materiału



Ryc. 3. Średnie wartości DPOAE w uchu prawym dla całego materiału

III. CEL PRACY

Celem pracy było określenie korelacji pomiędzy:

- DP-gramem i głośnością szumu,
- DP-gramem i wysokością szumu.

IV. WYNIKI

1. DP-gramy a subiektywna głośność szumu

Tab. 6. Korelacja głośności szumu z DP-gramami dla każdego ucha z osobna

		750 Hz	1 kHz	1,5 kHz	2 kHz	3 kHz	4 kHz	6 kHz	8 kHz
Ucho lewe	Wsp. kor.	-0,2088	-0,1434	-0,262	-0,2422	-0,3204	-0,4401	-0,3246	-0,2132
	N	49	49	50	50	50	50	48	48
	P	0,15	0,326	0,066	0,09	0,023	0,001	0,024	0,146
Ucho prawe	Wsp. kor.	-0,17	-0,19	-0,25	-0,31	-0,25	-0,32	-0,3399	-0,2241
	N	52	52	52	52	52	52	51	49
	p	0,22	0,18	0,08	0,03	0,08	0,02	0,015	0,122

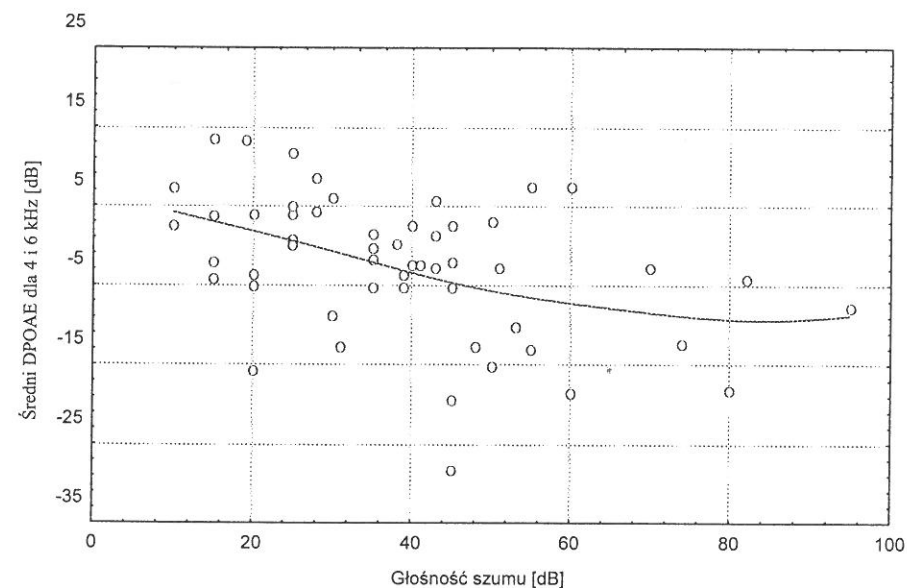
Wartości DP-gramów dla wszystkich częstotliwości są ujemnie skorelowane z głośnością szumu oznaczoną podczas pierwszej wizyty. Oznacza to, że im większa głośność szumu, tym mniejszy poziom DPOAE. Dla pewnych częstotliwości ujemna korelacja jest tak silna, że należy ją uznać za znamiennej statystycznie (komórki wyróżnione tłustym drukiem w tabeli). Zakres częstotliwości, gdzie związek głośności z poziomem produktów zniekształceń nieliniowych DPOAE jest najsilniejszy rozciąga się między 2 kHz a 6 kHz.

Tab. 7. Współczynniki korelacji między głośnością szumu a DP-gramami dla średnich z obu uszu

	750 Hz	1 kHz	1,5 kHz	2 kHz	3 kHz	4 kHz	6 kHz	8 kHz
Wsp. kor.	-0,2017	-0,1834	-0,2946	-0,313	-0,2994	-0,4007	-0,3718	-0,2413
N	52	52	53	53	53	53	51	49
p	0,152	0,193	0,032	0,022	0,029	0,003	0,007	0,095

W wyniku redukcji danych, wydobyta została zależność między głośnością szumu a poziomem produktów zniekształceń nieliniowych w większym zakresie

częstotliwości – od 1,5 kHz do 6 kHz. Najsilniejsza korelacja dla wartości uśrednionych występuje dla 4 kHz. Podobnie silna korelacja występuje dla 6 kHz. Drugi etap redukcji to uśrednienie wyników dla wybranych częstotliwości. Najlepsze wyniki uzyskuje się uśredniając poziom DPOAE dla częstotliwości 4 i 6 kHz. Wówczas współczynnik korelacji jest równy -0,4224 (N=53) przy p=0,002. Zależność tę pokazano na ryc. 4.



Ryc. 4. Zależność DPOAE od głośności szumu

Wniosek: Wartość DPOAE maleje ze wzrostem głośności szumu dla małych i średnich głośności. Dla dużych głośności średni DPOAE stabilizuje się. Krzywą zależności między DPOAE i głośnością dopasowano metodą najmniejszych kwadratów ważonych dystansami przy współczynniku gładkości 0,35.

2. Korelacja wysokości szumu z minimum DP-gramu

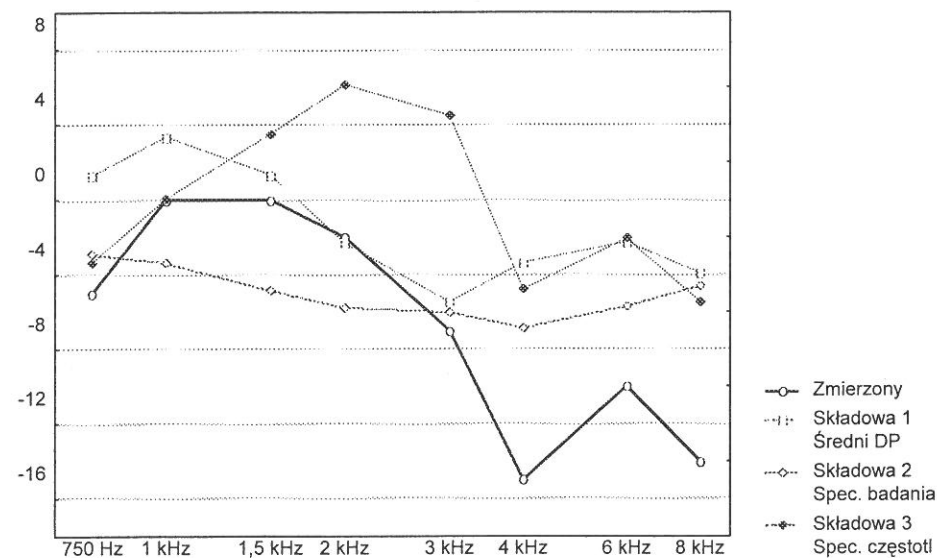
Zastosowano tu analizę czynnikową, czyli analizę czynników specyficznych częstotliwościowo w DP-gramach (*factorial analysis*).

Każdy DP-gram został rozłożony na trzy składowe (zakłada się, że zestaw wartości produktu zniekształceń dla badanego układu częstotliwości składa się z trzech podstawowych składników):

- średni DP-gram dla całej grupy (*mean DP-gram*),
- część wspólna dla wszystkich częstotliwości zależnej od indywidualnych cech badanego, charakteryzująca poziom DP u danego pacjenta (*principal component*),

– część specyficzna dla poszczególnych częstotliwości u poszczególnych badanych (*the rest*).

Po takim rozkładzie tylko trzecia składowa jest brana pod uwagę.



Ryc. 5. Przykład rozkładu na trzy składowe dla wybranego badania

Przykład rozkładu badania na trzy składowe pokazano na ryc. 5 dla badania, gdzie wysokość szumu była równa 8 kHz. Wyjściową krzywą jest wynik pomiaru oznaczony grubą linią. Końcowym wynikiem jest składowa specyficzna częstotliwościowo oznaczona linią przerywaną.

Wyniki badań podzielono na grupy wg wysokości szumu. Każda grupa gromadziła przypadki o wysokościach szumu z przedziału obejmującego częstotliwości pomiaru DP-gramów. Granice między przedziałami określono jako średnie geometryczne między kolejnymi mierzonymi częstotliwościami. W każdym przedziale wyznaczono średni DP-gram ze składowych specyficznych częstotliwościowo. Innymi słowy, dla każdej grupy uśredniono składowe specyficzne częstotliwościowo DP-gramów i obserwowano, dla jakich częstotliwości uśredniane DP-gramy przyjmują wartości minimalne.

Wyniki przedstawiono w tab. 8.

Tab. 8. Zależność składowych specyficznych częstotliwościowo od wysokości szumu

Fsz	<	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	>
Zkr	< 650	650+870	870+1,2k	1,2k+1,7k	1,7k+2,5k	2,5k+3,5k	3,5k+4,9k	4,9k+6,9k	6,9k+9,2k	>9,2k
N	7	9	4	7	5	9	3	13	10	11
750	0,74	0,80	1,00	-1,17	0,63	-1,14	2,48	0,27	0,90	0,07
1000	-1,45	-2,69	2,89	0,16	2,08	-2,07	4,47	1,08	0,91	-0,55
1500	2,35	-3,78	2,29	0,20	-1,75	-1,14	2,70	0,99	0,14	-2,55
2000	4,33	-2,32	-1,14	-0,34	-1,68	1,01	-1,19	1,32	0,65	-3,91
3000	2,76	2,39	-4,40	-1,33	1,93	-5,02	-3,00	0,84	-0,15	-0,46
4000	1,19	0,75	-1,39	-1,82	0,42	-0,45	-1,32	-0,84	-0,57	0,89
6000	-4,95	1,16	2,75	2,98	-0,77	5,12	0,08	-1,68	-0,18	2,14
8000	-6,53	2,69	0,70	1,61	-0,16	3,06	-0,42	-1,43	-0,96	4,58

Legenda: Fsz – wartości w wierszu nagłówkowym to wysokości środkowe przedziału szumu, Zkr – zakres wysokości tworzących przedział, N – liczba uśrednionych DP-gramów, dalsze kolejne wiersze zawierają dane dla poszczególnych częstotliwości DP-gramów, tłustym drukiem oznaczono minima DP-gramów (w kolumnach).

Komentarz: Należy rozdzielić przypadki na dwie grupy według wysokości szumu. Dla grupy o wysokości szumu poniżej 2 kHz minimum produktu zmniejsza się monotonicznie z wysokością szumu. Zależność pokazuje tab. 9.

Tab. 9. Minimum DPOAE a wysokość szumu (dla grupy o wysokości szumu poniżej 2 kHz)

F szumu	F minimum
Poniżej 750 Hz	1 kHz
750 Hz	1,5 kHz
1 KHz	3 kHz
1,5 kHz	4 kHz

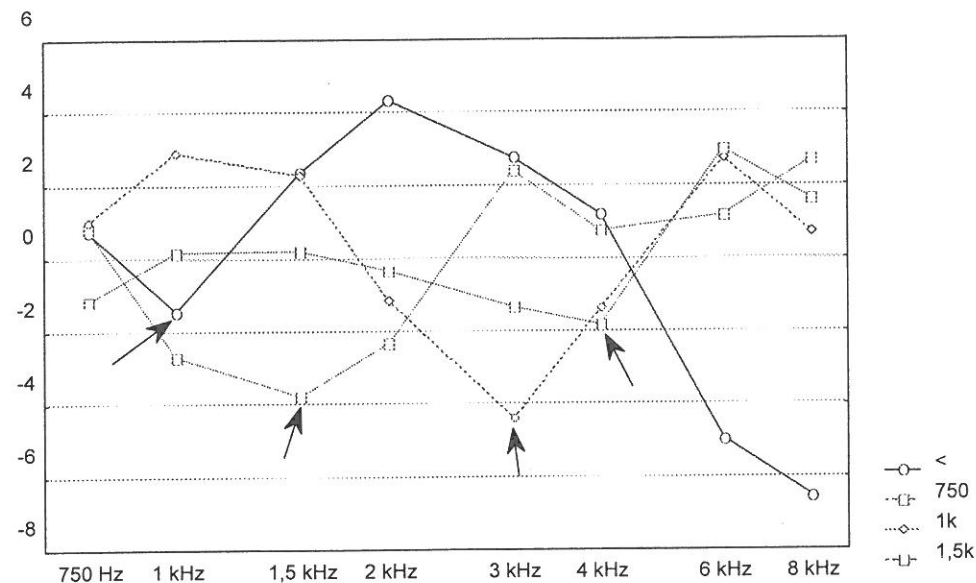
V. WNIOSKI

1. Poniżej 2 kHz minimum DP-gramu rośnie z wysokością szumu, ale obie częstotliwości nie pokrywają się. Zależność tę pokazano na ryc. 6.

2. W grupie o wysokości szumu 2 kHz i powyżej zasadniczo obserwujemy zgodność wysokości szumu i minimum DP-gramu. Drobne odstępstwa od tej reguły można wyjaśnić błędem statystycznym.

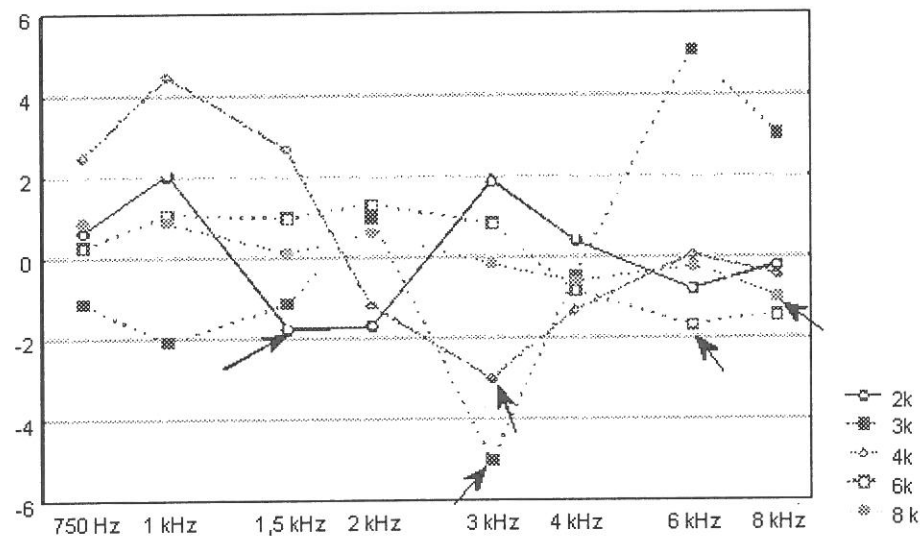
3. W przypadku szumu o wysokości 3 kHz zgodność ta jest bardzo wyraźna i minimum bardzo ostre.

4. Dla wysokości szumu 4 kHz minimum DP-gramu znajdujemy dla 3 kHz, ale wynik ten obliczono na podstawie tylko 3 przypadków.



Ryc. 6. Uśrednione składowe specyficzne częstotliwościowo DP-gramów dla szumu o wysokościach nie przekraczających 1,5 kHz. Strzałkami zaznaczono minima kolejnych krzywych

5. Dla przypadków szumu o wysokości 6 i 8 kHz zaobserwowano zgodność z częstotliwością minimum. Zależności te pokazano na ryc. 7.



Ryc. 7. Uśrednione składowe specyficzne częstotliwościowo DP-gramów dla szumu o wysokościach z zakresu od 2 kHz do 8 kHz. Strzałkami zaznaczono minima kolejnych krzywych

VI. POSUMOWANIE

Jest faktem, że obwodowy ubytek słuchu wywiera silny wpływ na odczuwaną wysokość szumu usznego [Meikle 1995]. W przeprowadzonych badaniach wysokość szumu usznego była skorelowana z minimum DP-gramu, co sugeruje, że miejsca na błonie podstawnej ze znacznym uszkodzeniem komórek słuchowych zewnętrznych (OHC ang. *outer hair cell*) mogą być odpowiedzialne za generację szumu usznego o odpowiadającej wysokości. Oceniając w następnym etapie stan komórek słuchowych wewnętrznych (IHC ang. *inner hair cell*) można by potwierdzić teorię dysharmonicznego uszkodzenia układów OHCs i IHCs jako jedną z najczęstszych przyczyn generacji szumu usznego [Jastreboff 1995]. Jakkolwiek audiogram tonalny przedstawia w pewnym sensie funkcyjną integralność układu IHCs, nie ma jednak specyficznych metod do badania tylko tego układu. Ponadto należy pamiętać, że sposób wykrywania, rozróżniania i kodowania częstotliwości dźwięków i wysokości szumu usznego przez układ słuchowy może być o wiele bardziej skomplikowany [Feldmann 1995].

Przetwarzanie mechanicznych parametrów w neuronalną aktywność jest domeną komórek słuchowych wewnętrznych. Wydaje się więc, że subiektywny szum uszny nie powstaje na poziomie komórek słuchowych zewnętrznych [Feldmann 1988], jakkolwiek początek procesu powstawania szumu ma niewątpliwie ścisły związek z uszkodzeniem OHCs.

Negatywna korelacja głośności szumu usznego z wartościami DP-gramów jest zaskakującym wynikiem i z pewnością sprawa ta wymaga dalszych badań.

Należy również pamiętać, że głośność szumu mierzona w dB HL lub dB SL często nie koreluje ze stopniem dokuczliwości szumu ocenianego przez pacjenta w skali od 0 do 10. Sugeruje to zaangażowanie ośrodków centralnych w proces odczuwania szumu usznego [Bartnik 1998; Jastreboff 1995].

Bibliografia

- Bartnik G. (1998). Patogeneza generacji i podstawy neurofizjologiczne powstawania szumów usznych i nadwrażliwości na dźwięki. W: H. Skarżyński (red.). Szumy uszne i nadwrażliwość słuchowa. Warszawa: IFPS.
- Feldmann H. (1995). Mechanisms of Tinnitus. W: J. A. Vernon, A. R. Moller (red.). Mechanisms of Tinnitus. Boston: Allyn&Bacon. 35-39.
- Feldmann H. (1988). Pathophysiology of Tinnitus. W: M. Kitahara (red.). Tinnitus-Pathophysiology and Management. Tokyo/New York: Igaku-Shoin. 7-35.
- Hazell J. W. (1995). Model of tinnitus: generation, perception, clinical implication. W: J. A. Vernon, A. R. Moller (red.). Mechanisms of tinnitus. Boston: Allyn&Bacon. 57-72.
- Hazell J. W. (1987). A Cochlear model for tinnitus. W: H. Feldman (red.). Proceedings III International Tinnitus Seminar, Munster. Karlsruhe: Harsch Verlag. 121-128.

- Jastreboff P. J. (1995). Tinnitus as a phantom perception: theories and clinical implications. W: J. A. Vernon, A. R. Moller (red.). Mechanisms of tinnitus. Boston: Allyn&Bacon. 73-93.
- Meikle M. B. (1995). The interaction of central and peripheral mechanisms in tinnitus. W: J. A. Vernon, A. R. Moller (red.). Mechanisms of tinnitus. Boston: Allyn&Bacon. 181-206.
- Moller A. R. (1995). Pathophysiology measurement. W: J. A. Vernon, A. R. Moller (red.). Mechanisms of tinnitus. Boston: Allyn&Bacon. 73-93.
- Tyler R. S. (2000). Psychoacoustical measurement. W: R. Tyler (red.). Tinnitus handbook. USA: A Singular Audiology Textbook. 149-181.