

Rola audiometrii wysokich częstotliwości w ocenie ubytku słuchu u osób narażonych na działanie hałasu przemysłowego

High-frequency audiometry in evaluation of hearing impairment in people exposed to industrial noise

ROBERT PRZEKLASA, ELŻBIETA REROŃ, MACIEJ WIATR, JACEK SKŁADZIEN

Katedra i Klinika Otolaryngologii CMUJ w Krakowie

Wprowadzenie. Proces starzenia się i narażenie na hałas stanowią główne przyczyny odbiorczych uszkodzeń słuchu u osób dorosłych. Oba te procesy cechuje przesunięcie progu słuchu w częstotliwościach wysokich.

Cel pracy. Ocena zmian wartości progowych słuchu w zakresie wysokich częstotliwości (>8kHz) w porównaniu z audiometrią konwencjonalną u osób narażonych zawodowo na hałas.

Materiał i metoda. Badaniami prospektywnymi objęto 102 otologicznie zdrowych młodych mężczyzn pracujących w narażeniu na hałas powyżej 85 dB(A). Badania słuchu (audiometria standardowa i wysokoczęstotliwościowa – HFA, *high-frequency audiometry*) wykonywane były przed przyjęciem i po 8 latach pracy w hałasie. Do badań kontrolnych zgłosiło się 59 mężczyzn.

Wyniki. W badanej grupie pracowników po 8 latach pracy w narażeniu na hałas wykazano obecność ubytków słuchu zarówno w audiometrii konwencjonalnej, jak i wysokich częstotliwości. Jednakże podwyższenia progów słuchu w HFA w stosunku do badania wyjściowego były większe niż w audiometrii standardowej; zmiany w audiometrii konwencjonalnej dla 8 kHz były rzędu 10 dB, natomiast w HFA nawet do 25 dB. Również analiza częstości występowania ubytków słuchu wskazuje na większą progresję w HFA – po 8 latach przesunięcia progu słuchu >5 dB obserwowano w 60-76% uszu, podczas gdy w audiometrii standardowej było to kilka do 36% uszu, w zależności od częstotliwości.

Wnioski. U osób zawodowo narażonych na hałas audiometria wysokich częstotliwości jest czułą metodą monitorowania uszkodzeń słuchu.

Słowa kluczowe: hałas, audiometria wysokich częstotliwości

Introduction. The process of ageing and exposure to noise constitute major causes of the sensorineural hearing loss in adult people. Both those processes are characterised by hearing threshold shift in the high frequency range.

Aim. The aim of the present study was to determine the hearing threshold shifts at the high (>8kHz) frequency range, compared to pure-tone audiometry, in patients exposed to occupational noise.

Material and methods. The study group included 102 otologically healthy men occupationally exposed to noise above 85 dB(A). Hearing tests (conventional and high-frequency audiometry, HFA) were performed before the employment and after 8 years of employment in the noisy environment. The follow-up tests were performed in 59 men.

Results. Hearing impairment in the studied group of workers after 8 years of employment under exposure to noise was detected both by conventional and high-frequency audiometry (HFA). However, higher hearing threshold shifts were recorded in the HFA; in the conventional audiometry the changes for 8 kHz were of the order of 10 dB, while for the HFA the shift was up to 25 dB. Also the analysis of the frequency of hearing deficits points to a greater progression in the HFA; after 8 years, a >5 dB hearing threshold shift was observed in 60% to 76% of the ears, while for the conventional audiometry the corresponding value was from few to 36% of the ears, depending on the frequency.

Conclusions. In people occupationally exposed to noise, high-frequency audiometry is a sensitive method for monitoring of hearing loss.

Key words: noise, high frequency audiometry

WSTĘP

Hałas, to drgania oddziałujące na człowieka w zakresach częstotliwości od 20 Hz do 20 kHz, szkodliwe dla narządu słuchu lub odbierane jako uciążliwe. Szkodliwość hałasu na narząd słuchu zależy nie tylko od jego parametrów akustycznych tj. natężenia, częstotliwości, charakteru czy czasu ekspozycji oraz rozkładu narażenia podczas dnia pracy, ale również od szeregu innych czynników, spośród których istotną rolę odgrywa wrażliwość osobnicza.

Długotrwała ekspozycja na hałas, zwłaszcza związana z wykonywanym zawodem, powoduje uszkodzenie narządu Cortiego, w tym w szczególności komórek słuchowych zewnętrznych [1].

Niezależnie od uszkodzeń słuchu wywołanych hałasem, do stopniowego upośledzenia słuchu doprowadza proces starzenia się organizmu człowieka. Uszkodzenie słuchu związane z wiekiem (*presbycusis*) rozpoczyna się najczęściej w szóstej dekadzie życia i uwarunkowane jest w stopniu zasadniczym zmianami w uchu wewnętrznym. Podstawowymi czynnikami mającymi wpływ na upośledzenie słuchu są: degeneracja komórek słuchowych narządu Cortiego, proces inwolucji włókien nerwowych, zaburzenia biochemiczne i biofizyczne oraz zaburzenia ukrwienia więzadła spiralnego [2]. Początek i wielkość tego uszkodzenia zależy od czynników zarówno wewnętrznych, jak zewnętrznych, do których należą m.in. predyspozycje genetyczne czy przewlekłe procesy chorobowe (np. cukrzyca).

Zarówno uszkodzenie słuchu związane z wiekiem, jak i z narażeniem na hałas rozpoczyna się w zakresie wysokich częstotliwości, stąd ocena audiometrii wysokich częstotliwości może być istotnym narzędziem wczesnej diagnostyki tych chorób [3,4].

Celem pracy jest ocena zmian wartości progowych słuchu w zakresie wysokich częstotliwości (>8kHz) w porównaniu z audiometrią konwencjonalną u osób narażonych zawodowo na hałas.

PACJENCI I METODY

Pacjenci

Wyjściową populację stanowiło 600 otolaryngologicznie zdrowych, młodych mężczyzn ubiegających się o zatrudnienie na wydziałach, na których wartości natężenia hałasu wynoszą od 85 do 125 dB. Średnia wieku w analizowanej grupie w chwili badania wstępnego wynosiła 23 lata, odchylenie standardowe (SD) $\pm 3,69$. Minimalny wiek kandydata wynosił 18 lat, a maksymalny 32 lata. Do badań nie włączono osób powyżej 32 roku życia,

chorych leczonych z powodu ostrych lub przewlekłych stanów zapalnych ucha, a także wcześniej wykonujących pracę w warunkach narażenia na hałas. Opierając się na wyżej przyjętych kryteriach ostatecznie wyeliminowano 498 badanych, a do dalszej analizy włączono 102 mężczyzn.

Metody

U wszystkich pracowników przeprowadzono badanie audiometryczne słuchu w zakresie konwencjonalnych częstotliwości (125Hz - 8 kHz) oraz audiometrię wysokoczęstotliwościową (*High frequency audiometry* – HFA) w zakresie częstotliwości 9-20 kHz, oddzielnie dla ucha prawego i ucha lewego. Po upływie ośmiu lat od badania wstępnego przeprowadzono badania kontrolne. Do badania kontrolnego zgłosiło się 59 osób, co stanowi 57,8% pierwotnie analizowanej grupy.

Badania audiometryczne przeprowadzano w dźwiękoszczelnej i dźwiękochłonnej kabinie pracowni audiometrycznej Katedry i Kliniki Otolaryngologii CM UJ, w której równoważny poziom dźwięku korygowany charakterystyką A nie przekraczał 25 dBA (L Aeq = 25,1 dBA). Wnętrze kabiny każdorazowo zajmowała tylko osoba badana. Wartości progowe dla przewodnictwa powietrznego i kostnego wyznaczano posługując się audiometrem MIDIMATE® 622 firmy Madsen® wyposażonym w słuchawki TDK 39®. Urządzenie to spełnia warunki norm ISO dla przewodnictwa powietrznego ISO0389-1985 oraz dla przewodnictwa kostnego ISO7566-1987. Natężenie bodźca dla każdej badanej częstotliwości oznaczono z dokładnością do 5 dB.

Badania audiometryczne dla wysokich częstotliwości przeprowadzano przy wykorzystaniu audiometru Monitor Demlar Extended High Frequency Audiometer – Model 20 K produkcji USA. Audiometr ten był wyposażony w słuchawki z membraną ceramiczną KOSS HV/1A-Plus. Zakres audiometru obejmował wartości częstotliwości od 8 kHz do 20 kHz oraz natężeń od 1-110 dB SPL. Wartości progowe dla przewodnictwa powietrznego wyznaczono w przedziale co 1 kHz i co 1 dB, a ubytek słuchu wyrażano w wartościach bezwzględnych.

Jako brak zmian w stanie słuchu w badaniu kontrolnym przyjęto wahania progów przewodnictwa powietrznego nie większe niż 5 dB. W przypadku wysokich częstotliwości jako poziom odniesienia dla oceny uszkodzeń słuchu spowodowanych przez hałas przyjęto wyniki uzyskane u osób słyszących prawidłowo w zakresie konwencjonalnych częstotliwości (mierzone przed przyjęciem do pracy). Wartości te mogą tym samym stanowić normę słuchu dla wysokich częstotliwości w tej grupie wiekowej (osoby w trzeciej dekadzie życia).

Do określenia rozkładu zmiennych w każdej z grup został użyty test Shapiro-Wilka. Do analizy związku między zmiennymi użyto korelacji Personsa w przypadku, gdy zmienne charakteryzowały się rozkładem zbliżonym do normalnego oraz metodę korelacji Spearmana, jeżeli rozkład badanych zmiennych był różny od normalnego. Analizę związku między zmiennymi powiązanych o rozkładzie różnym od normalnego przeprowadzono testem Gamma. Do analizy porównawczej wyników badania wstępnego i badania kontrolnego użyto testu parametrycznego t-Studenta dla zmiennych o rozkładzie zbliżonym do normalnego, określając wartość średnią i odchylenie standardowe (SD) w każdej grupie. Dla zmiennych o rozkładzie różnym od normalnego, użyto testu nieparametrycznego U Manna-Whitneya określając medianę oraz rozstęp kwartylowy (Q3-Q1) w każdej grupie. Istotność statystyczną przyjęto na poziomie $p=0,05$.

WYNIKI

Progi słuchu

Średnie progi słuchu w badaniu wstępnym i po 8 latach narażenia na hałas w audiometrii konwencjonalnej i wysokoczęstotliwościowej przedstawia rycina 1.

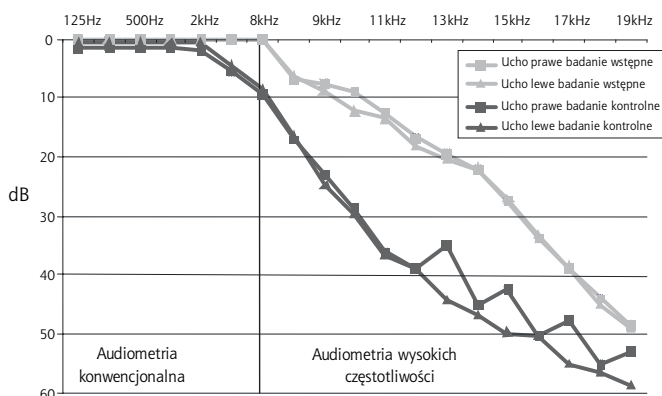
W badaniu wstępnym w audiometrii konwencjonalnej nie stwierdzono ubytku słuchu w uchu prawym ani uchu lewym dla żadnej z badanych częstotliwości u żadnego z badanych. Średnie progi słuchu plasowały się ok. wartości 0 dBHL. Natomiast krzywa progowa w częstotliwościach wysokich (HFA) miała charakter krzywej opadającej, średnio od ok. 8 dB dla częstotliwości 9 kHz do ok.

50 dB dla częstotliwości 20 kHz. W badaniu wstępnym nie wykazano różnic progów słuchu między uchem prawym i lewym zarówno w audiometrii konwencjonalnej, jak i HFA. Stwierdzono natomiast silną dodatnią korelację między poziomem słuchu w uchu prawym i lewym dla wszystkich ocenianych częstotliwości.

Porównując progi słuchu dla kolejnych częstotliwości w audiometrii konwencjonalnej nie wykazano różnic statystycznie istotnych dla ucha prawego, ani dla ucha lewego. Porównując natomiast progi słuchu dla wysokich częstotliwości (9-20 kHz) wykazano, że zwiększają się one w grupie 102 badanych mężczyzn wraz ze wzrostem ocenianych częstotliwości, a różnice pomiędzy kolejnymi progami słuchu są istotne statystycznie zarówno dla ucha prawego, jak i ucha lewego.

W badaniu kontrolnym, po ośmiu latach pracy w hałasie, stwierdzono podwyższenie audiometrycznej krzywej progowej, widoczne szczególnie dla HFA. W audiometrii tonalnej zmiany dotyczyły głównie częstotliwości powyżej 2 kHz, w HFA natomiast wszystkich częstotliwości (ryc. 1). Średnie trwał przesunięcia progów słuchu wynosiły ok. 10 dB dla częstotliwości 8 kHz w audiometrii konwencjonalnej i do ok. 25 dB w HFA. Średnie zmiany w uchu lewym dla częstotliwości 14, 16, 18 i 20 kHz były większe w uchu lewym niż w uchu prawym.

Porównując progi słuchu dla kolejnych częstotliwości w audiometrii konwencjonalnej wykazano, że zwiększają się one wraz ze wzrostem częstotliwości, a różnice pomiędzy rozpatrywanymi częstotliwościami zarówno dla ucha prawego jak i ucha lewego są statystycznie istotne. Podobnie, porównując progi słuchu dla kolejnych częstotliwości w HFA wykazano, że ubytek słuchu zwiększa się w grupie 59 badanych mężczyzn wraz ze wzrostem stosowanych częstotliwości, a różnice między nimi zarówno dla ucha prawego jak i ucha lewego są statystycznie istotne.



Ryc. 1. Średnie ubytki słuchu w uchu prawym i uchu lewym oceniane w audiometrii tonalnej konwencjonalnej i wysokich częstotliwości w badaniu wstępnym i kontrolnym po 8 latach pracy (UP – ucho prawe; UL – ucho lewe)

Częstość występowania ubytków słuchu

W audiometrii konwencjonalnej zaobserwowano największą ilość ubytków słuchu w zakresie częstotliwości 4 i 8 kHz zarówno dla ucha prawego, jak i dla ucha lewego. Zmiany dotyczyły do 36% uszu dla częstotliwości 8 kHz. W HFA obserwowany odsetek przypadków z pogorszeniem słuchu był znacznie większy. Zmiany dotyczyły ok. 60% uszu dla częstotliwości 9-10 kHz i do 75-76% uszu dla częstotliwości 19 kHz.

Tabela I. Liczba uszu (odsetek) z ubytkami słuchu w badaniu kontrolnym rozpoznany na podstawie audiometrii konwencjonalnej (badanie kontrolne po 8 latach) (UP – ucho prawe; UL – ucho lewe)

kHz	Liczba (częstość) ubytków słuchu						
	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8
UP	2 (3,4%)	2 (3,4%)	2 (3,4%)	2 (3,4%)	3 (5,1%)	11 (18,6%)	21 (35,6%)
UL	2 (3,4%)	2 (3,4%)	2 (3,4%)	2 (3,4%)	3 (5,1%)	8 (13,6%)	20 (33,9%)

Tabela II. Liczba uszu (odsetek) z ubytkami słuchu w badaniu kontrolnym rozpoznany na podstawie audiometrii wysokich częstotliwości – HFA (badanie kontrolne po 8 latach) (UP – ucho prawe; UL – ucho lewe)

kHz	Liczba (częstość) ubytków słuchu											
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
UP	36 (61%)	36 (61%)	40 (67,8%)	41 (69,5%)	43 (72,9%)	41 (69,5%)	42 (71,2%)	42 (71,2%)	42 (71,2%)	40 (67,8%)	45 (76,3%)	42 (71,2%)
UL	35 (59,3%)	40 (67,8%)	38 (64,4%)	42 (71,2%)	41 (61,5%)	42 (71,2%)	43 (72,8%)	42 (71,2%)	43 (72,8%)	43 (72,8%)	44 (74,6%)	43 (72,8%)

DYSKUSJA

Zaletą wykonywania badań HFA jest nie tylko dostarczanie informacji o kształtowaniu się wartości progowych słuchu, lecz także możliwość wykrycia wczesnych ubytków słuchu, zanim uwidoczną się one w częstotliwościach istotnych dla rozumienia mowy – ocenianych w konwencjonalnej audiometrii tonalnej [3,5,6].

W pracy badaniami objęto młode osoby podejmujące pracę w charakterze obsługi wielkiego pieca (przetapiającego surówkę), na którym to stanowisku pracy występuje hałas ciągły o poziomach w zakresie 71,4 dB(A) do 107,8 dB(A). Okresowo występuje hałas impulsowy o natężeniu 132,9 dB(A) wytworzony podczas napełniania i opróżniania nagrzewnicy. Pozycja osoby obsługującej piec w stosunku do źródła dźwięku impulsowego zwiększa narażenie na hałas po stronie lewej w stosunku do strony prawej. Jednocześnie, w pomieszczeniu zamkniętym pole akustyczne swobodne występuje tylko w otoczeniu i w bezpośredniej odległości od hałaśliwej maszyny, natomiast w odległości dalszej i bliżej ścian pomieszczenia występuje pole akustyczne rozproszone, w którym do uszu osoby znajdującej się na tym obszarze fale dźwiękowe dochodzą nie tylko od strony źródła dźwięku, ale ze wszystkich stron. Wszyscy badani byli więc narażani zarówno na hałas ciągły, jak i impulsowy.

W badaniu audiometrycznym wstępnym u wszystkich osób objętych badaniem stwierdzono w audiometrii konwencjonalnej wartości progów słuchu mieszczące się w granicach normy. Stąd, prog słuchu w HFA dla tych osób przyjęto jako normę dla tej grupy wiekowej (20-30 lat).

Wielu autorów polskich i zagranicznych wykonujących badania HFA, w swoich pracach zajmowa-

ło się określeniem wartości progowych słuchu dla przewodnictwa powietrznego w celu wyznaczenia zera audiometrycznego dla poszczególnych grup wiekowych osób prawidłowo słyszących. Spośród autorów polskich m.in. T. Gierek opracowała i opublikowała normy progów słuchowych w HFA dla przewodnictwa powietrznego dla 4 dekad życia, zwracając jednocześnie uwagę na to, że wartości te zależą od wieku. Z danych tych badań wynika, że wszystkie osoby badane w przedziale 30-39 lat, słyszały tony w zakresie do 20 kHz [7]. W badaniach własnych stwierdzono, że wraz ze wzrostem częstotliwości wzrastają również wartości progowe słuchu. Uzyskane wyniki pomiarów są zgodne z wynikami innych badaczy [8-10].

W badanej grupie pracowników, po 8 latach pracy w narażeniu na hałas wykazano obecność ubytków słuchu zarówno w audiometrii konwencjonalnej, jak i wysokich częstotliwości. Jednakże podwyższenia progów słuchu w HFA w stosunku do badania wyjściowego były większe niż w audiometrii standardowej; zmiany w audiometrii konwencjonalnej dla 8 kHz były rzędu 10 dB, natomiast w HFA rzędu do 25 dB. Przesunięcie prog słuchu w niektórych częstotliwościach było przy tym większe w uchu lewym niż prawym. Również analiza częstości występowania ubytków słuchu wskazuje na większą progresję w HFA – po 8 latach przesunięcia prog słuchu >5 dB obserwowano w 60-76% uszu, podczas gdy w audiometrii standardowej było to kilka do 36% uszu, w zależności od częstotliwości.

Zaobserwowano również, że brak stosowania ochronników słuchu u badanych dodatkowo podwyższa stałe narażenie na niekorzystne bodźce dźwiękowe. Dodatkowym zagrożeniem mógł być hałas impulsowy. Z badań przeprowadzonych przez

innych autorów wynika bowiem, że przy narażeniu na hałas impulsowy występują większe ubytki słuchu niż przy ekspozycji na hałas ciągły [11]. Wydaje się być prawdopodobne, że opisany typ narażenia na hałas impulsowy po stronie lewej doprowadził do powstania wyraźniejszych zmian u badanych z jednoczesnym podwyższeniem progu słuchu w zakresie 4-8kHz, co jest zgodne z obserwacjami Rabinowitza i wsp. [12].

Audiometria wysokich częstotliwości pozwala na wykrycie ubytków słuchu wcześniej niż audiometria konwencjonalna, w sytuacji obecności subklinicznych zmian w zakresie częstotliwości nie odczuwanych jeszcze przez badanych.

Reasumując, wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że u osób zawodowo narażonych na hałas audiometria wysokich częstotliwości jest czołową metodą monitorowania uszkodzeń słuchu

Piśmiennictwo

1. Śliwińska-Kowalska M. Patofizjologia uszkodzeń słuchu wywołanych hałasem. (w) *Audiologia Kliniczna*. Śliwińska-Kowalska M (red.). Mediton, Łódź 2005: 89-96.
2. Gierek T. Niedosłuch związany z wiekiem. (w) *Audiologia Kliniczna*. Śliwińska-Kowalska M (red.). Mediton, Łódź 2005: 299-303.
3. Ivarsson A, Bennrup S, Toremalm NG. Models for studying the progression of hearing loss caused by noise. *Scand Audiol* 1992; 21(2): 79-86.
4. Puzyna Cz. Podstawowe wiadomości o dźwiękach i ich oddziaływaniu na człowieka. IWZZ Warszawa 1985.
5. Barttsch R, Dieroff HG, Brueckr C. High-frequency audiometry in the evaluation of critical noise intensity. *Int Arch Occup Environ Health* 1989; 61(5): 347-51.
6. Prince MM, Gilbert SJ, Smith Rj, Stayner LT. Evaluation of risk of noise-induced hearing loss among unscreened male industrial workers. *J Acoust Soc Am* 2003; 113(2): 871-80.
7. Gierek T. Ocena wydolności narządu słuchu dla zakresów częstotliwości od 250 Hz – 20 kHz w procesie starzenia się organizmu człowieka. *Otolaryngol Pol* 1979; 33: 95-104.
8. Fletcher JL, Cairns A, Collins F i wsp. High frequency hearing following meningitis. *J Aud Res* 1967; 7.
9. Osterhammel D, Osterhammel P, Terkildsen K. A quasi-free-field transducer system for high-frequency audiometry. *Scand Audiol* 1977; 6(2): 91-5.
10. Gierek T, Bielska D. Ocena urazu akustycznego na podstawie tonalnych pomiarów progowych w rozszerzonym zakresie częstotliwości wysokich. *Otolaryngol Pol* 1979; 33: 69-78.
11. Pawlaczyk-Łuszczynska M, Dudarewicz A, Zamysłowska-Szmytke E, Śliwińska-Kowalska M. Occupational exposure to noise, hand-arm vibration and organic solvents in dopyard and glass factory workers. (w) *Proceedings Low Frequency 2004, 11th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control*. Leventhall G (red.). Maastricht The Netherlands 30 August – 1st September 2004: 239-251.
12. Rabinowitz PM, Galusha D, Dixon-Ernst C, Slade MD, Cullen MR. Do ambient noise exposure levels predict hearing loss in a modern industrial cohort? *Occup Environ Med* 2007; 64(1): 53-9.