

Eliminacja przesłuchu w badaniach audiometrycznych

Elimination of crossover in audiometric testing

Edyta Bogusz-Witczak¹

Katedra Akustyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
ul. Uniwersytetu Poznańskiego 2, 61-614 Poznań

STRESZCZENIE

Podczas badań audiometrycznych osób z jednostronnym, bądź niesymetrycznym ubytkiem słuchu często napotykamy na konieczność eliminacji przesłuchu międzysusznego. Przesłuchem międzysusznym nazywamy transmisję sygnału nadawanego przez słuchawki powietrzne lub kostne do ucha badanego (ucha z większym ubytkiem słuchu), przez kości czaszki, bezpośrednio do ślimaka ucha niebadanego (ucha z mniejszym ubytkiem słuchu lub z progiem słyszalności w normie). W rezultacie, w trakcie badania bez zastosowania odpowiedniego poziomu i rodzaju sygnału maskującego (audiometria tonalna- szum tarczowy, audiometria mowy- szum mowopodobny) pacjent może odbierać dźwięk uchem niebadanym. W przypadku audiometrii tonalnej powietrznej, maskowanie ucha niebadanego jest konieczne, gdy różnica pomiędzy progami przewodnictwa powietrznego w obu uszach lub różnica pomiędzy progiem przewodnictwa powietrznego w uchu badanym, a progiem przewodnictwa kostnego w uchu niebadanym jest równa lub większa od wartości tłumienia międzysusznego. Tość tłumienia międzysusznego w audiometrii tonalnej jest funkcją częstotliwości i zależy od typu i rodzaju zastosowanych w badaniu słuchawek. Przy wyznaczaniu progu przewodnictwa kostnego ucho niebadane maskujemy gdy w badanym uchu stwierdzamy występowanie rezerwy ślimakowej. Dla potrzeb audiometrii mowy maskowanie ucha niebadanego jest wymagane gdy poziom prezentowanego sygnału mowy przekracza o 40 dB (przyjęte tłumienie międzysuszne dla słuchawek nausznych) lub więcej średni kostny próg słyszenia tonów w uchu przeciwnym, obliczany jako średnia dla dwóch częstotliwości spośród 500, 1000 i 2000 Hz, dla których obserwuje się najniższy próg słyszenia.

Słowa kluczowe: maskowanie, przesłuch międzysuszny, tłumienie międzysuszne, niedosłuch

ABSTRACT

During audiometric testing (pure tone audiometry or speech audiometry) of people with unilateral or asymmetrical hearing loss it may be necessary to eliminate interaural crossover. Interaural crossover is called transmission of a signal presented via air or bone headphones to a tested ear (ear with a greater hearing loss), across the head by skull bones, directly to the cochlea of the non-tested ear (ears with less hearing loss or with normal hearing threshold). As a result, during testing without use of the effective level and appropriate type of signal masking (pure tone audiometry- one-third octave noise, speech audiometry- speech-like signal), the patient hear the sound in non-tested ear. In the case of pure tone air-conduction testing, masking of the non-tested ear is necessary when the difference between the air-conduction thresholds in both ears or the difference between the air-conduction threshold in the tested ear and the bone-conduction threshold in the non-tested ear is equal or greater than the value of interaural attenuation. The value of interaural attenuation in pure tone audiometry is a function of frequency and depends on the type and kind of headphones used in the audiometric testing. When determining the pure tone bone-conduction testing, the non-tested ear is masked when the cochlear reserve in the tested ear is found. For the purposes of speech audiometry, non-tested ear masking shall be used if the speech signal level exceeds by 40 dB (estimated interaural attenuation for circumaural earphones) or more the average bone-conduction hearing threshold levels in the non-tested ear, which is calculated as average for two of the frequencies out of 500, 1000 and 2000 Hz for which the lowest hearing threshold is observed.

Key words: masking, interaural crossover, interaural attenuation, hearing loss

1. Wprowadzenie

W badaniach audiometrycznych maskowanie wykorzystuje się między innymi, gdy może zaistnieć niepożądany przesłuch międzysuszny. Przesłuch międzysuszny to transmisja sygnału (ze słuchawek powietrznych lub kostnych) nadawanego do ucha badanego (z wyższym progiem słyszalności), przez kości czaszki, bezpośrednio do ślimaka ucha niebadanego (z niższym progiem słyszalności lub progiem słyszalności w normie). Natomiast maskowanie jest to proces, w którym próg słyszalności jednego dźwięku „sygnału” wzrasta na skutek obecności innego „sygnału maskującego”.

W badaniach audiometrycznych słuchu, w celu wyeliminowania zjawiska przesłuchu międzysusznego stosujemy maskowanie jednocześnie kontralateralne, tj. sygnał maskujący podajemy do ucha przeciwnego niż ucho badane.

2. Maskowanie progu przewodnictwa powietrznego w audiometrii tonalnej

Podczas badań wykonywanych z użyciem słuchawek powietrznych, np. podczas wyznaczania progu przewodnictwa powietrznego może wystąpić przesłuch międzysuszny. Schemat takiego przesłuchu międzysusznego przedstawiono na Rys.1. W prezentowanym przykładzie w uchu które jest badane (ucho prawe) występuje uszkodzenie odbiorcze,

¹e-mail: ebogusz@amu.edu.pl

w uchu przeciwnym słuch jest prawidłowy (ucho lewe). Sygnał podawany przez słuchawkę powietrzną na ucho prawe pobudza narząd słuchu na drodze przewodnictwa powietrznego i kostnego (następuje pobudzenie całej czaszki do drgań, drgania czaszki w tym przypadku wywołuje fala akustyczna rozchodząca się w powietrzu) [1].



Rys. 1. Schemat przesłuchu międzyusznego jaki może powstać podczas badania progu przewodnictwa powietrznego [1]

Pobudzenie czaszki do drgań powoduje pobudzenie narządów Cortiego obu uszu, a w rezultacie pacjent może odbierać dźwięk uchem niebadanym, lewym. Mamy wtedy do czynienia z tzw. przewodnictwem kostnym pośrednim. Dlatego, w przypadku, gdy różnica poziomów słyszenia między uszami jest znaczna, tj. przekracza wartość tłumienia międzyusznego w czasie badania gorszego ucha, należy zamaskować ucho lepiej słyszące

2.1. Kiedy maskujemy ucho niebadane przy wyznaczaniu progu przewodnictwa powietrznego?

To czy wystąpi przesłuch zależy od tłumienia międzyusznego (IA- Interaural Attenuation). Maskowanie ucha niebadanego przy wyznaczaniu progu przewodnictwa powietrznego jest wymagane, gdy różnica pomiędzy progami przewodnictwa powietrznego (PP) w obu uszach lub różnica między progiem przewodnictwa powietrznego w uchu badanym (PP_{UB}) a progiem przewodnictwa kostnego w uchu niebadanym (PK_{UN}) jest równa lub większa od wartości tłumienia międzyusznego:

$$PP_{U1} - PP_{U2} \geq IA, \quad (1)$$

$$PP_{U1} - PK_{U2} \geq IA. \quad (2)$$

W audiometrii tonalnej powietrzej wartości tłumienia zależą od częstotliwości oraz od typu i rodzaju (nauszne, wewnętrzne) zastosowanych słuchawek. Wartości tłumienia międzyusznego przedstawiono w Tab.1 [1-3]. Jeżeli nie znamy dokładnych wartości tłumienia międzyusznego z Tab. 1 wtedy przyjmujemy że:

- dla słuchawek nausznych średnia wartość tłumienia międzyusznego wynosi 40 dB,

- dla słuchawek wewnętrznych mamy większe tłumienie międzyusznego dla mniejszych częstotliwości, tj. średnia

wartość tłumienia międzyusznego wynosi 75 dB dla częstotliwości do 1000 Hz włącznie i 50 dB dla częstotliwości powyżej 1000 Hz:

$$PP_{U1} - PP_{U2} \geq 75dB \quad PP_{U1} - PK_{U2} \geq 75dB \leq 1000Hz, \quad (3)$$

$$PP_{U1} - PP_{U2} \geq 50dB \quad PP_{U1} - PK_{U2} \geq 50dB > 1000Hz. \quad (4)$$

Tab. 1. Wartości tłumienia międzyusznego [2, 3]

		Częstotliwość [kHz]							
			0.125	0.250	0.5	1	2	4	8
dla słuchawek nausznych	Katz J, 1994	dB	35	40	40	40	45	50	50
	Katz J, 2015	dB	35	48	44	48	44	50	42
dla słuchawek wewnętrznych	Katz J, 2015	dB	60	72	64	58	56	72	62

2.2. W jaki sposób obliczamy poziom szumu maskującego ucho niebadane przy wyznaczaniu progu przewodnictwa powietrznego?

Aby móc prawidłowo zamaskować sygnał dochodzący do ucha niebadanego, poziom sygnału maskującego z jednej strony musi być wystarczająco duży, by skutecznie zagłuszyć ucho niebadane, z drugiej strony nie może być za duży, by nie zagłuszyć przez przesłuch ucha badanego.

Jeżeli na podstawie wyników audiometrii tonalnej stwierdzimy potrzebę maskowania ucha niebadanego poziom maskera obliczamy wg wzoru (5), tj. początkowa wartość poziomu szumu maskującego w uchu przeciwnym do badanego (L_m) przekracza o zaledwie 10 dB próg słyszalności wyznaczony dla przewodnictwa powietrznego ucha niebadanego (PP_{UN}).

$$L_m = PP_{UN} + 10dB \text{ (efektywne maskowanie)}. \quad (5)$$

Następnie postępujemy wg procedury maskowania Goldsteina i Newmana [1,2]:

- włączamy jednocześnie sygnał progowy i masker (poziomy odpowiadające PP_{UB} i L_m),

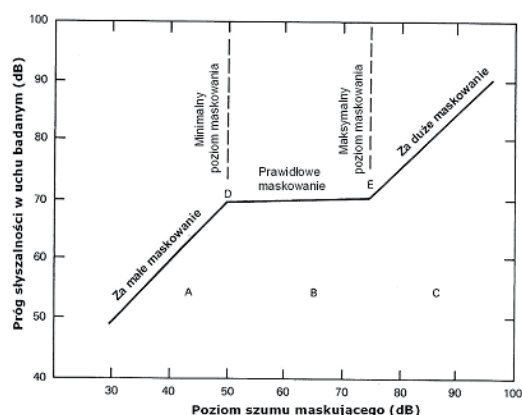
- za każdym razem kiedy pacjent słyszy ton zwiększamy o 5 dB poziom szumu ($L_m + 5 \text{ dB}$, $L_m + 10 \text{ dB}$, itd.),

- jeżeli po wzroście szumu pacjent nie słyszy tonu, zwiększamy wartość tonu w skokach co 5 dB aż pacjent spostrzeże ton ($PP_{UB} + 5 \text{ dB}$, $PP_{UB} + 10 \text{ dB}$, itd.),

- kontynuujemy procedurę tak długo aż pacjent będzie słyszał ton o tym samym poziomie przy trzykrotnym skoku wartości szumu,

- tak otrzymaną wartość nanosimy na audiogram z zaznaczeniem że była wykonywana z maskowaniem, możemy zaznaczyć wartość poziomu szumu maskującego.

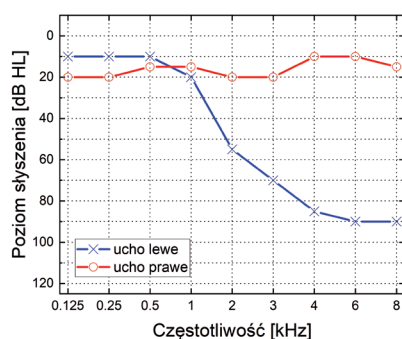
Procedura maskowania przeprowadzona w ten sposób pozwala uzyskać odpowiedni poziom maskowania i prawidłowo wyznaczyć próg słyszalności ucha badanego. Na Rys.2 pokazano, że maskowanie jest prawidłowo przeprowadzone wówczas, kiedy zmiana poziomu szumu maskującego nie pociąga za sobą zmiany progu słyszalności, jest to środkowy, płaski fragment krzywej nazywany czasami plateau [1,4].



Rys. 2. Schemat pokazujący warunki przeprowadzenia prawidłowego maskowania (B:D-E) oraz sytuacje, w której mamy za mały (A) oraz za duży (C) poziom szumu maskującego [4]

2.3. Przykład maskowania ucha niebadanego przy wyznaczaniu progu przewodnictwa powietrznego

Na Rys.3 pokazano progi słyszalności dla przewodnictwa powietrznego pacjenta, który w uchu prawym ma słuch w normie, natomiast w uchu lewym ma ubytek wysokoczęstotliwościowy. W zaproponowanym przykładzie badamy ucho lewe. Chcemy odpowiedzieć na pytanie czy zachodzi konieczność maskowania ucha prawego? W tym celu określamy różnicę pomiędzy progami przewodnictwa powietrznego w uchu prawym i lewym, otrzymane różnice porównujemy z wartościami tłumienia międzuszynowego, identyfikujemy te częstotliwości dla których należy zastosować maskowanie (3-8 kHz), następnie dla każdej z tych częstotliwości obliczamy początkowy poziom maskera (Tab. 2). W kolejnym kroku postępujemy wg procedury Goldsteina i Newmana [1,2].



Rys. 3. Przykładowy audiogram pacjenta z niesymetrycznym ubytkiem słuchu, U którego wymagane jest maskowanie ucha prawego przy wyznaczaniu progu przewodnictwa powietrznego ucha lewego

Tab. 2. Sposób obliczania początkowej wartości poziomu szumu maskującego w badaniu przewodnictwa powietrznego na podstawie audiogramu z Rys.3

	Częstotliwość [kHz]								
	0.125	0.250	500	1	2	3	4	6	8
$(PP_{UP} - PP_{UL})$ [dB]	10	10	5	5	35	50	75	80	75
Tłumienie międzyuszne [dB]	35	48	44	48	44		50		42
PP_{UN}	20	20	15	15	20	20	10	10	15
L_m [dB HL] = $PP_{UN} + 10$ dB						30	20	20	25

Rozważmy maskowanie przy wyznaczaniu progu przewodnictwa powietrznego ucha lewego dla jednej, wybranej częstotliwości, np. 4 kHz. Do ucha lewego podajemy ton o poziomie odpowiadającym progowi słyszalności uzyskanemu bez maskowania ucha prawego (85 dB HL), natomiast do ucha prawego szum maskujący o poziomie obliczonym wg procedury zawartej w Tab. 3, tj. 20dB HL. W Tab.3 znak „-” oznacza że pacjent nie spostrzega tonu na tle szumu maskującego, znak „+” oznacza że pacjent spostrzega ton na tle szumu. Dla początkowej wartości poziomu szumu maskującego pacjent nie słyszał tonu o poziomie 85 dB HL. Ponieważ po zwiększeniu poziomu tonu o 5 dB (do 90 dB HL) pacjent nadal nie słyszał tonu, nastąpiło zwiększenie tonu o kolejne 5 dB, tj. do 95 dB HL. Dla poziomu prezentacji tonu 95 dB HL pacjent pierwszy raz spostrzegł ton, a więc od tego poziomu rozpoczęła się procedura zwiększania poziomu szumu maskującego. Ponieważ przy stałym poziomie prezentacji tonu 95 dB HL było możliwe trzykrotne zwiększenie poziomu szumu maskującego (poziom szumu maskującego 20-35 dB HL), ostatecznie 95 dB HL jest rzeczywistym progiem przewodnictwa powietrznego w uchu lewym wyznaczonym z zastosowaniem maskowania ucha niebadanego, prawego (Tab.3). Widzimy, że po wyeliminowaniu zjawiska przesłuchu międzuszynowego próg przewodnictwa powietrznego wzrósł z o 10 dB HL.

Tab. 3. Sposób wyznaczania rzeczywistego progu słyszalności dla przewodnictwa powietrznego w obecności sygnału maskującego

Prezentowane bodźce		Detekcja tonu - / +
UP – szum maskujący	UL – ton	
20 dB HL	85 dB HL	-
20 dB HL	90 dB HL	-
20 dB HL	95 dB HL	+
25 dB HL	95 dB HL	+
30 dB HL	95 dB HL	+
35 dB HL	95 dB HL	+

2.4. Jaki sygnał maskujący stosujemy w audiometrii tonalnej?

Najczęściej stosowanymi maskerami w audiometrii tonalnej (powietrznej, kostnej, progowej, nadprogowej) są tercjowe pasma szumu o częstotliwości środkowej równej częstotliwości tonu maskowanego (NB- narrow-band noise). Szumy NB są najbardziej efektywne, wymagają zastosowania najmniejszego poziomu dla najskuteczniejszego maskowania. Alternatywą dla nich może być szum równomaskujący, który powinien mieć taki sam poziom ciśnienia akustycznego w tercjach w zakresie 250-6 kHz, jak dla 1000 Hz, np. szum różowy. W maskowaniu przesłuchu międzysznego nie powinno się stosować szumu białego, ponieważ jest on mało efektywny, szczególnie w zakresie małych częstotliwości.

3. Maskowanie progu przewodnictwa kostnego w audiometrii tonalnej

Przesłuch międzysny może występować również podczas badań wykonywanych z użyciem słuchawek na przewodnictwo kostne. Schemat przesłuchu międzysznego przy wyznaczaniu progu przewodnictwa kostnego przedstawiono na Rys.4.



Rys. 4. Schemat przesłuchu międzysznego jaki może powstać podczas badania progu przewodnictwa kostnego [4]

W zaprezentowanym schemacie sygnał podawany przez słuchawkę kostną na jedno ucho (ucho lewe) pobudza narząd słuchu na drodze przewodnictwa kostnego, kolejno następuje pobudzenie całej czaszki do drgań. Pobudzenie dochodzi do narządów Cortiego obu uszu, w rezultacie pacjent odbiera dźwięk również uchem niebadanym (uchem prawym). Przyjmuje się że tłumienie międzyszne w audiometrii tonalnej progowej kostnej wynosi 0 dB [1,4].

3.1. Kiedy maskujemy ucho niebadane przy wyznaczaniu progu przewodnictwa kostnego?

Wyznaczając próg słyszalności dla przewodnictwa kostnego stosujemy maskowanie wówczas jeżeli w badanym uchu stwierdzamy występowanie rezerwy ślimakowej, tj. gdy różnica pomiędzy progiem przewodnictwa powietrznego i kostnego jest większa niż 10 dB:

$$PP_{UB} - PK_{UB} > 10dB. \quad (6)$$

3.2. W jaki sposób obliczamy poziom szumu maskującego ucho niebadane przy wyznaczaniu progu przewodnictwa kostnego?

Jeżeli na podstawie wyników audiogramu tonalnego ucha badanego stwierdzimy występowanie rezerwy ślimakowej, to początkową wartość poziomu maskera (L_m) obliczamy wg wzoru (7), następnie postępujemy wg opisanej powyżej procedury maskowania Goldsteina i Newmana [1,2].

W praktyce na głowę słuchacza należy założyć słuchawkę na przewodnictwo kostne na ucho badane, jednocześnie na ucho niebadane, na które będzie podawany masker należy założyć słuchawkę na przewodnictwo powietrzne. Ważne podczas przeprowadzania procedury maskowania przewodnictwa kostnego jest to aby ucho badane pozostało otwarte.

$$L_m = PP_{UN} + 10dB \text{ (efektywne masowanie)} \quad (7)$$

+ efekt okluzji.

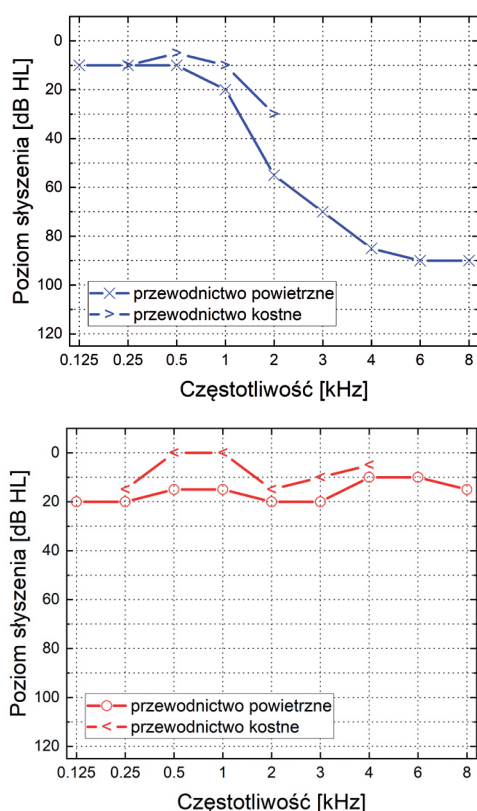
Wzór (7) uwzględnia tzw. efekt okluzji czyli tzw. „efekt zatkanego ucha”. Ze względu na to, że w obu uszach podczas tego badania występują różne warunki akustyczne, poziom szumu musi być większy od poziomu szumu maskującego podawanego przy wyznaczaniu progu przewodnictwa powietrznego o wartość określającą okluzję. Dzieje się tak dlatego ponieważ zamknięcie ucha niebadanego słuchawką na przewodnictwo powietrzne powoduje polepszenie przewodnictwa kostnego w uchu niebadanym i spotęgowanie przesłuchu. Chcąc zamaskować ten spotęgowany przesłuch musimy na ucho niebadane podać szum maskujący o większym poziomie. W Tab. 4 pokazano wartości okluzji dla słuchawek nausznych podane przez różnych autorów oraz wartości zalecane do stosowania wg najnowszej wiedzy przez audiologów [1-3].

Tab. 4. Wartości okluzji wg różnych autorów [1-3]

Autorzy	Częstotliwość [Hz]			
	250	500	1000	2000
Huizing (1960)	13	15	8	1
Elpern i Naunton (1963)	28	20	9	0
Goldstein i Hayes (1965)	19.4	12.6	5.7	1.1
Dirks i Swindeman (1967)	22.9	20.2	8.8	0.5
Wartości zalecane dla słuchawek nausznych Katz J (2015)	30	20	10	0

3.3. Przykład maskowania ucha niebadanego przy wyznaczaniu progu przewodnictwa kostnego

Na Rys.5 pokazano przykładowy audiogram (progi słyszalności dla przewodnictwa powietrznego i kostnego) pacjenta z niesymetrycznym ubytkiem słuchu. W zaproponowanym przykładzie chcemy odpowiedzieć na pytanie czy zachodzi konieczność maskowania ucha niebadanego gdy wyznaczamy próg przewodnictwa kostnego? W tym celu dla ucha badanego określamy różnice pomiędzy progami przewodnictwa powietrznego i kostnego, identyfikujemy te częstotliwości dla których występuje rezerwa ślimakowa i należy zastosować maskowanie (dla ucha prawego: 500 Hz i 1 kHz, dla ucha lewego: 2 kHz). W kolejnym kroku obliczamy początkowy poziom szumu maskującego i postępujemy wg procedury Goldsteina i Newmana opisanej w pkt. 2.2.



Rys. 5. Przykładowy audiogram pacjenta u którego wymagane jest maskowanie przy wyznaczaniu progu przewodnictwa kostnego

Badając ucho prawe, maskowanie ucha lewego jest wymagane dla dwóch częstotliwości: 500 Hz i 1 kHz. Dla tych częstotliwości początkowy poziom maskera jaki powinien być podany do ucha lewego wynosi 40 dB HL (Tab. 5).

Tab. 5. Sposób obliczania początkowej wartości poziomu szumu maskującego w badaniu progu przewodnictwa kostnego ucha prawego na podstawie audiogramu z Rys.5

	Częstotliwość [kHz]				
	0.250	0.500	1	2	4
$PP_{UP} - PK_{UP}$ [dB]	5	15	15	5	5
Efekt okluzji [dB]	30	20	10	0	0
PP_{UN}		10	20		
L_m [dB HL] = $PP_{UN} + 10$ dB + okluzja		40	40		

Rozważmy procedurę maskowania jaką musimy zastosować przy badaniu ucha lewego. W uchu lewym rezerwa ślimakowa, a tym samym potrzeba maskowania, występuje dla jednej częstotliwości, tj. 2kHz. Za pomocą słuchawki kostnej do ucha lewego podajemy ton o poziomie odpowiadającym progowi słyszalności uzyskanemu bez maskowania (30 dB HL), natomiast początkowy poziom szumu maskującego podawany do ucha prawego obliczony wg wzoru (7) wynosi 30 dB HL. Już dla początkowej wartości poziomu szumu maskującego pacjent słyszał ton na tle szumu (oznaczenie „+” w Tab.6).

W tej sytuacji, zgodnie z procedurą Goldsteina i Newmana, poziom szumu maskującego został zwiększony o 5 dB (do 35 dB HL). Jednak po zwiększeniu poziomu szumu pacjent przestał spostrzegać ton (oznaczenie „-” w Tab.6), dlatego wymagane było zaprezentowanie tonu o większym o 5 dB poziomie, tj. 40 dB HL. Dopiero teraz nastąpiła detekcja tonu na tle szumu. Dla poziomu prezentacji tonu 40 dB HL rozpoczęła się procedura zwiększania poziomu szumu maskującego. Ponieważ przy stałym poziomie tonu 40 dB HL było możliwe trzykrotne zwiększenie poziomu szumu maskującego (35-50 dB HL), ostatecznie 40 dB HL jest rzeczywistym progiem przewodnictwa kostnego w uchu lewym (Tab.6). W tym przypadku po odpowiednim zamaskowaniu ucha prawego próg przewodnictwa kostnego w uchu lewym wzrósł o 10 dB.

Tab. 6. Sposób wyznaczania rzeczywistego progu słyszalności dla przewodnictwa kostnego ucha lewego w obecności sygnału maskującego

Prezentowane bodźce		Detekcja tonu - / +
UP – szum maskujący	UL – ton, sł. kostna	
30 dB HL	30 dB HL	+
35 dB HL	30 dB HL	-
35 dB HL	35 dB HL	-
35 dB HL	40 dB HL	+
40 dB HL	40 dB HL	+
45 dB HL	40 dB HL	+
50 dB HL	40 dB HL	+

4. Maskowanie w badaniach

4.1. Kiedy maskujemy ucho niebadane podczas przeprowadzania badań nadprogowych?

W badaniach nadprogowych maskowanie stosujemy gdy poziom sygnału testowego podawanego do ucha badanego (PL - presentation level) jest większy od progu przewodnictwa powietrznego (PP_{UN}) lub progu przewodnictwa kostnego (PK_{UN}) ucha niebadanego o wartość równą lub większą od wartości tłumienia międzuszynnego (IA) (Tab. 1):

$$PL - PP_{UN} \geq IA, \quad (8)$$

$$PL - PK_{UN} \geq IA. \quad (9)$$

4.2. W jaki sposób obliczamy poziom szumu maskującego ucho niebadane w badaniach nadprogowych?

Wartość poziomu sygnału maskującego przesłuch ustala się w zależności od rodzaju zastosowanych badań nadprogowych. Wybieramy tylko jeden poziom szumu maskującego dla poszczególnych częstotliwości [1,4]. Korzystamy z wzoru (10) dla próby nadprogowej SISI (Short Increment Sensitivity Index) i wzoru (11) dla próby nadprogowej zaniku tonu TDT (Ton Decay Test):

$$L_m = PL - IA (40dB) + (PP_{UN} - PK_{UN}), \quad (10)$$

$$L_m = PK_{UB} + IA (40dB) - 5. \quad (11)$$

5. Maskowanie w audiometrii mowy

5.1. Kiedy maskujemy ucho niebadane w audiometrii mowy?

Maskowanie w audiometrii mowy (słuchawki powietrzne) stosujemy gdy poziom prezentacji mowy do ucha badanego (L_t) i średni próg przewodnictwa kostnego w uchu przeciwnym (MB_m), obliczony jako średnia z dwóch częstotliwości spośród 500 Hz, 1 kHz i 2 kHz, dla których obserwuje się najniższy poziom słyszenia, różnią się co najmniej o wartość tłumienia międzysusznego, przyjętą w audiometrii mowy [5,6]. Przyjmuje się, że tłumienie międzysusne w audiometrii mowy wynosi 40 dB dla słuchawek nausznych i 60 dB dla słuchawek wewnątrzusznych:

$$L_t - M_{Bm} \geq 40dB. \quad (12)$$

5.2. W jaki sposób obliczamy poziom szumu maskującego ucho niebadane przy wyznaczaniu krzywych artykulacyjnych w audiometrii mowy?

Jeżeli na podstawie kompletu wyników badań audiometrii tonalnej i audiometrii mowy stwierdzimy potrzebę maskowania, to poziom szumu maskującego w audiometrii mowy wykonywanej przy użyciu słuchawek powietrznych nausznych obliczamy wg wzoru [5,6]:

$$L_{tm} = L_t - 40dB + (M_{Am} - M_{Bm}). \quad (13)$$

Wartość poziomu szumu maskującego w uchu przeciwnym do badanego (L_m) jest równa poziomowi na jakim prezentujemy mowę w uchu badanym pomniejszonemu o wartość przesłuchu międzysusznego i powiększonemu o rezerwę ślimakową ucha maskowanego ($M_{Am} - M_{Bm}$). M_{Am}/M_{Bm} to średnie przewodnictwo powietrzne/ kostne ucha które powinno być maskowane, tj. średnia z 2 spośród 3 częstotliwości: 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz dla których mamy najniższy progowy poziom słyszenia.

W przypadku audiometrii mowy wykonywanej za pomocą słuchawki kostnej przyjmujemy tłumienie międzysusne 0 dB i dlatego poziom szumu maskującego obliczamy wg wzoru:

$$L_{mk} = L_t + (M_{Am} - M_{Bm}). \quad (14)$$

W audiometrii słownej bardzo ważną kwestią, aby nie popełnić błędu przy podejmowaniu decyzji, czy należy maskować, a następnie przy obliczaniu poziomu szumu maskującego, jest ujednolicenie jednostek. Wynika to z faktu że w audiometrii tonalnej posługujemy się „dB HL” a w audiometrii mowy „dB SPL”. Badania prowadzone w Instytucie Akustyki UAM wyka-

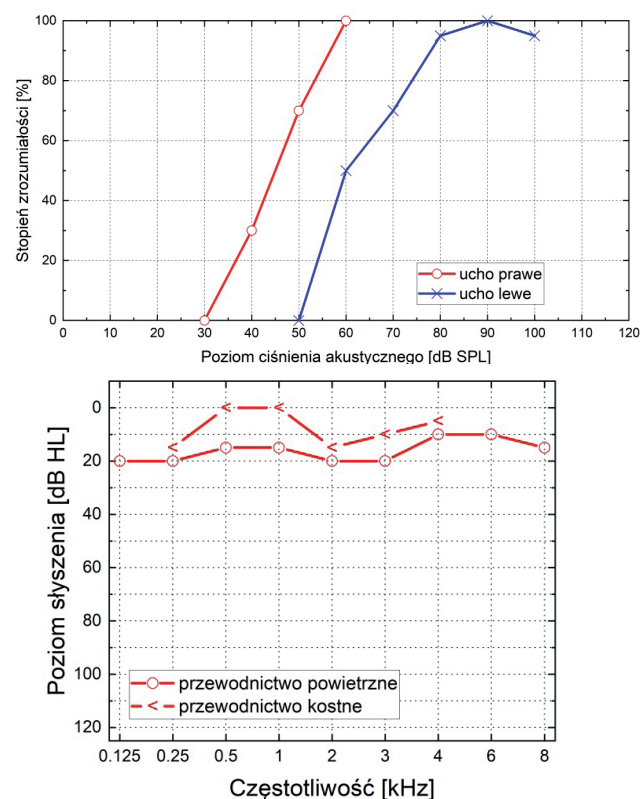
zały że wartość „0” poziomu słyszenia mowy (dB HL) dla osób otologicznie normanych odpowiada 26.3 dB SPL.

Na potrzeby badań audiometrycznych, które zazwyczaj wykonujemy z dokładnością 5dB w przybliżeniu przyjmuje się: 0 dB HL = 25 dB SPL [5,7]. Konieczne może być zwiększenie obliczonego poziomu maskowania o kilka dB (zawsze zaokrąglamy wynik obliczeń poziomu szumu maskującego w górę), aby uzyskać wystarczające zamaskowanie ucha nie podlegającego badaniu. Maskując ucho lepiej słyszące dążymy do tego, aby różnica pomiędzy poziomem prezentacji mowy do ucha gorzej słyszącego (badanego) a podniesionym na skutek maskowania progiem kostnym w uchu lepiej słyszącym była co najmniej równa wartości tłumienia międzysusznego.

5.3. Przykłady maskowania ucha niebadanego przy wyznaczaniu krzywych artykulacyjnych w audiometrii mowy

5.3.1. Przykład nr 1

Na Rys.6 pokazano wyniki badań słuchu przykładowego pacjenta z większym ubytkiem słuchu i gorszą zrozumiałością mowy w uchu lewym, tj. krzywą artykulacyjną 1-sylabową dla obu uszu oraz progi przewodnictwa powietrznego i kostnego w uchu prawym. Badamy ucho lewe. Chcemy odpowiedzieć na pytanie od jakiego poziomu prezentacji sygnału mowy zachodzi konieczność maskowania ucha prawego?



Rys. 6. Przykładowy audiogram słowny obu uszu i audiogram tonalny ucha prawego pacjenta, u którego wymagane jest maskowanie przy wyznaczaniu krzywej artykulacyjnej ucha lewego

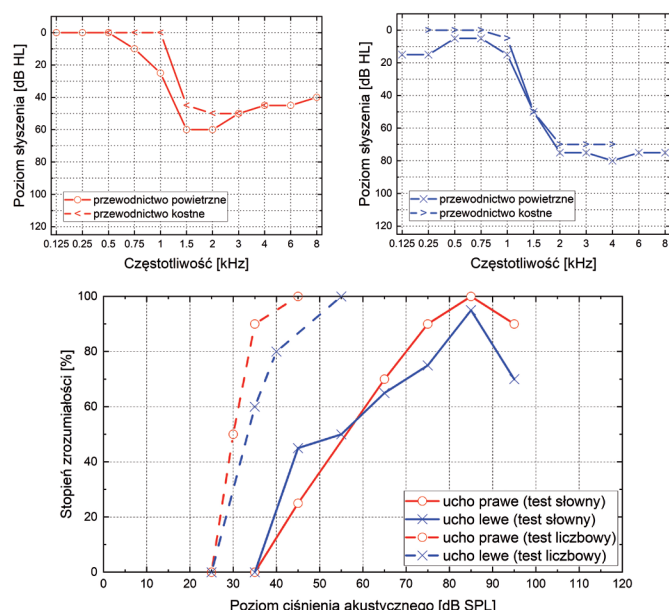
W tym celu określamy wg ww. zasady średnie przewodnictwo kostne w uchu prawym (5 dB HL), następnie dodajemy do tej wartości średnie tłumienie międzuszne dla audiometrii mowy, tj. 40 dB. Otrzymujemy 45 dB HL, co odpowiada wartości 70 dB SPL. W ten sposób zyskujemy informację, że od poziomu prezentacji sygnału mowy 70 dB SPL do ucha lewego musimy zastosować maskowanie ucha prawego. W celu obliczenia poziomu sygnału maskującego potrzebujemy obliczyć rezerwę ślimakową w uchu prawym, tj. M_{Am} (15 dB HL) – M_{Bm} (5 dB HL) = 10 dB. Następnie, posługując się wzorem (13), dla danego poziomu prezentacji sygnału mowy, obliczamy ostateczny poziom szumu maskującego. Dla poziomu prezentacji mowy do ucha lewego 70 dB SPL musimy zastosować szum maskujący w uchu prawym o poziomie 40 dB SPL (Tab. 7).

Tab. 7. Sposób obliczania poziomu szumu maskującego ucho prawe przy wyznaczaniu krzywej artykulacyjnej ucha lewego, na podstawie audiogramów z Rys. 6

	Poziom mowy w badanym uchu (lewym)			
dB SPL	70	80	90	100
dB HL	45	55	65	75
Poziom mowy (dB HL) – M_{Bm}	40	50	60	70
$L_m = L_t - 40dB + (M_{Am} - M_{Bm})$	$L_m = 70 - 40 + 10 = 40$ dB SPL	$L_m = 80 - 40 + 10 = 50$ dB SPL	$L_m = 90 - 40 + 10 = 60$ dB SPL	$L_m = 100 - 40 + 10 = 70$ dB SPL

5.3.2. Przykład nr 2

Na Rys. 7 pokazano wyniki badań słuchu przykładowego pacjenta z symetrycznym ubytkiem słuchu oraz podobną zrozumiałością mowy w uchu prawym i lewym. Duża rozpiętość krzywych artykulacyjnych oraz kształt przebiegu krzywych progowych słyszalności w obu uszach wskazują na uszkodzenie neuretyczne.



Rys. 7. Przykładowy audiogram tonalny i słowny obu uszu pacjenta, u którego wymagane jest maskowanie przy wyznaczaniu audiogramu słownego

Założmy, że jako pierwsze badamy ucho prawe. Chcemy odpowiedzieć na pytanie: od jakiego poziomu prezentacji sygnału mowy do ucha prawego zachodzi konieczność maskowania ucha lewego? Analogicznie do przykładu nr 1 określamy średnie przewodnictwo kostne w uchu lewym (2.5 dB HL), następnie po dodaniu do tej wartości 40 dB (średnie tłumienie międzuszne dla audiometrii mowy) otrzymujemy 42.5 dB HL, co odpowiada wartości 67.5 dB SPL. Uzyskujemy informację, że od poziomu prezentacji sygnału mowy 67.5 dB SPL do ucha prawego musimy zastosować maskowanie ucha lewego. Ponieważ badania audiometrii mowy przeprowadzamy standardowo z krokiem 5 dB, pierwszym poziomem prezentacji mowy wymagającym maskowania będzie 70 dB SPL. Odwołując się do wyników badań prezentowanych na audiogramie słownym widzimy, że mowa nie była prezentowana pacjentowi na poziomie 70 dB SPL, a dopiero na poziomie 75 dB SPL. Następnie w celu obliczenia odpowiedniego poziomu szumu maskującego obliczamy rezerwę ślimakową w uchu lewym, tj. M_{Am} (10 dB HL) – M_{Bm} (2.5 dB HL) = 7.5 dB. Wg wzoru (13), dla danego poziomu prezentacji sygnału mowy, obliczamy poziom szumu maskującego. Dla poziomu prezentacji mowy do ucha prawego 75 dB SPL wymagany jest szum maskujący w uchu lewym o poziomie 42.5 dB SPL, tj. po zaokrągleniu w górę 45 dB SPL (Tab. 8).

Jako drugie badamy ucho lewe. Chcemy teraz odpowiedzieć na odwrotne pytanie tj. od jakiego poziomu prezentacji sygnału mowy do ucha lewego zachodzi konieczność maskowania ucha prawego? Określamy średnie przewodnictwo kostne w uchu prawym (0 dB HL), następnie po dodaniu 40 dB średniego tłumienia międzuszne otrzymujemy 40 dB HL – co odpowiada wartości 65 dB SPL. A więc od poziomu prezentacji sygnału mowy 65 dB SPL do ucha lewego musimy zastosować maskowanie ucha prawego. Obliczamy rezerwę ślimakową w uchu prawym, tj. M_{Am} (12.5 dB HL) – M_{Bm} (0 dB HL) = 12.5 dB. W kolejnym kroku korzystając ze wzoru (13) obliczamy ostateczny poziom szumu maskującego. Dla najniższego, wymagającego maskowania poziomu prezentacji mowy w uchu lewym czyli 65 dB SPL, wymagany jest szum maskujący w uchu prawym o minimalnym poziomie 37.5 dB SPL, tj. po zaokrągleniu 40 dB SPL (Tab. 9).

Tab. 8. Sposób obliczania poziomu szumu maskującego ucho lewe przy wyznaczaniu krzywej artykulacyjnej ucha prawego, na podstawie audiogramów z Rys. 7

	Poziom mowy w badanym uchu (prawym)		
dB SPL	75	85	95
dB HL	50	60	70
Poziom mowy (dB HL) – M_{Bm}	47.5	57.5	67.5
$L_m = L_t - 40dB + (M_{Am} - M_{Bm})$	$L_m = 75 - 40 + 7.5 = 42.5$ dB SPL (45 dB SPL)	$L_m = 85 - 40 + 7.5 = 52.5$ dB SPL (55 dB SPL)	$L_m = 95 - 40 + 7.5 = 62.5$ dB SPL (65 dB SPL)

Tab. 9. Sposób obliczania poziomu szumu maskującego ucho prawe przy wyznaczaniu krzywej artykulacyjnej ucha lewego, na podstawie audiogramów z Rys.7

	Poziom mowy w badanym uchu (lewym)			
dB SPL	65	75	85	95
dB HL	40	50	60	70
Poziom mowy (dB HL) - M_{Bm}	40	50	60	70
$L_m = L_t - 40dB + (M_{Am} - M_{Bm})$	$L_m = 65 - 40 + 12.5 = 37.5 \text{ dB SPL}$ (40 dB SPL)	$L_m = 75 - 40 + 12.5 = 47.5 \text{ dB SPL}$ (50 dB SPL)	$L_m = 85 - 40 + 12.5 = 57.5 \text{ dB SPL}$ (60 dB SPL)	$L_m = 95 - 40 + 12.5 = 67.5 \text{ dB SPL}$ (70 dB SPL)

5.4. Jaki sygnał maskujący stosujemy w audiometrii mowy?

Jako maskery w audiometrii mowy stosuje się szumy mowopodobne (SN- Speech Noise), czyli szumy których struktura widmowa przypomina widmo mowy, dzięki czemu są najbardziej efektywne. Wyróżniamy następujące szumy mowopodobne: LTASS (Long-Term average Speech Spectrum), CCITT(Comite Consultatif International Telegraphique et Telephonique - szum imitujący średnie widmo języków: angielskiego, niemieckiego, węgierskiego, szwedzkiego, rosyjskiego i włoskiego, wada- niewielkie fluktuacje czasowe amplitudy sygnału), szum Fastla (szum CCITT zmodulowany amplitudowo pasmem szumu o częstotliwości środkowej 4Hz), ISTS (International Speech Test Signal, stworzony z nagrań mowy żywej, języki: angielski, arabski, chiński, francuski, niemiecki i hiszpański), babble noise (szum mowopodobny utworzony dla poszczególnych języków z nagrań wielu zdań wypowiedzianych przez zawodowego spikera, dla którego dany język jest językiem ojczystym [5]).

6. Podsumowanie

Artykuł ma charakter szkoleniowy, przedstawia najważniejsze informacje dotyczące sposobu postępowania w przypadku gdy podejrzewamy, że pacjent może reagować na sygnał odbierany uchem niebadanym. Bardzo ważne jest prawidłowe zidentyfikowanie sytuacji w których może wystąpić przesłuch międzysuszny, a następnie jego odpowiednie, efektywne zamaskowanie, co oznacza zastosowanie odpowiedniego rodzaju i poziomu sygnału maskującego. Niemniej istotne jest stosowanie procedur maskowania określonych wg obowiązujących wytycznych i doniesień najnowszej literatury światowej. Błędne, obarczone przesłuchem międzysuszny wyniki badań słuchu mogą doprowadzić do nieprawidłowej diagnozy. Dzięki odpowiednio określonejmu poziomowi szumu maskującego jesteśmy w stanie wyeliminować odpowiedzi słuchacza dotyczące ucha niebadanego, co umożliwi uzyskanie rzetelnych wyników badań audiometrycznych.

Bibliografia

1. Furmann A., Metody subiektywne badania słuchu, w Protetyka Słuchu, Hojan E. (pod redakcją), Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 2017.
2. Katz J., Handbook of Clinical Audiology, wyd.4., Williams Wilkins, Baltimore, 1994.

3. Katz J., Handbook of Clinical Audiology, Madsen 2015.
4. Martin F.N., Clark J.G., Introduction to Audiology, wyd.10., Pearson Education, Inc., New York, 2009.
5. Skrodzka, E., Audiometria mowy, w Protetyka Słuchu, Hojan E. (pod redakcją), Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 2017.
6. PN-EN ISO 8253-3: 2012, Akustyka-Metody pomiarów akustycznych-cz.3: Audiometria słowna.
7. Furmann A., Audiometria słowna, Metodyka pomiarów zgodna z polskimi normami PN-EN ISO 8253-3: 2005, w Biuletyn PSPS, 2007, nr 26, s.20-22.