

Karolina Kluk

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Poznań

Zrozumiałość mowy u osób z niedosłuchem typu „martwe pola”*

Speech intelligibility for people with „dead regions”

Słowa kluczowe: wysokoczęstotliwościowy ubytek słuchu, „martwe pola”, komórki rzęstate wewnętrzne, zrozumiałość mowy, dopasowanie aparatów słuchowych.

Key words: high-frequency hearing loss, „dead regions”, inner hair cells, speech intelligibility, hearing aids fitting.

Streszczenie

Artykuł stanowi omówienie badań zrozumiałości mowy prezentowanej na tle szumu dla osób z wysokoczęstotliwościowym niedosłuchem odbiorczym typu „martwe pola”. Słuchacze testowani byli przy użyciu logatomów typu VCV (*vowel – consonant – vowel*), utworzonych z trzech samogłosek (/i/, /a/, /u/) i 21 różnych spółgłosek. Logatomy prezentowane były na tle szerokopasmowego szumu mowopodobnego. Zarówno szum, jak i mowa poddane zostały wzmocnieniu zależnemu od częstotliwości i określone przez regułę „Cambridge”. Następnie logatomy i szum poddane zostały dolnoprzepustowemu filtrowaniu o różnych częstotliwościach odcięcia filtra dolnoprzepustowego. Dla słuchaczy bez „martwych pól” procent poprawnych odpowiedzi na logatomy typu VCV prezentowane na tle szumu wzrastał monotonicznie wraz ze wzrostem częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego. Dla osób z niedosłuchem typu „martwe pola” w zakresie dużych częstotliwości procent poprawnych odpowiedzi wzrastał wraz ze wzrostem częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego tylko do częstotliwości maksymalnie o oktawę powyżej częstotliwości granicznej „martwego pola”. Przy zwiększaniu częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego dla niektórych słuchaczy wartości pozostawały w przybliżeniu stałe, dla innych pogarszały się, gdy częstotliwość odcięcia filtra dolnoprzepustowego była więcej niż oktawę powyżej wyznaczonej częstotliwości granicznej martwego pola. Uzyskane wyniki wskazują na fakt, że słuchacze bez „martwych pól” mogą efektywnie wykorzystać informacje sygnału mowy zawarte w paśmie dużych częstotliwości, podczas gdy dla słuchaczy z niedosłuchem typu „martwe pola” informacje te są niedostępne.

*Praca została wykonana częściowo w ramach projektów KBN nr 8T11E01717 i nr 8T07B06020.

Summary

This paper is concerned with intelligibility of speech in noise for listeners with dead regions at high frequencies. The speech stimuli were vowel-consonant-vowel (VCV) nonsense syllables, using one of three vowels (/i/, /a/, /u/) and 21 different consonants. They were presented in speech shaped noise. The stimuli were subjected to the frequency-gain characteristic prescribed by the „Cambridge” formula. Then, the speech was lowpass filtered with various cutoff frequencies. For subjects without a dead region, performance improved progressively with increasing cutoff frequency. This indicates that they benefited from high-frequency information. For subjects with a dead region, two patterns of performance were observed. For most subjects, performance improved with increasing cutoff frequency until the cutoff frequency was up to 70% above the estimated edge frequency of the dead region, but hardly changed with further increases. Thus, these subjects were not able to benefit from the addition of high-frequency information, but the amplification of these frequencies did not impair performance for them. For other subjects, performance improved with increasing cutoff frequency until the cutoff frequency was about an octave above the estimated edge frequency of the dead region, but worsened with further increases in cutoff frequency. This indicates that amplification of high frequencies impaired performance.

Jednym z najczęstszych problemów występujących u osób z odbiorczym niedosłuchem są trudności w prowadzeniu konwersacji wynikające z niedostatecznego rozumienia mowy, zwłaszcza gdy prezentowana jest ona w hałaśliwym otoczeniu. Zakres i natura tych trudności zależą od rodzaju i głębokości niedosłuchu.

Odbiorcze uszkodzenie słuchu często związane jest z uszkodzeniem komórek rzęsatych zewnętrznych i/lub wewnętrznych. Konsekwencją uszkodzenia zewnętrznych komórek rzęsatych jest upośledzenie aktywnego mechanizmu ślimaka, konsekwencją natomiast uszkodzenia wewnętrznych komórek rzęsatych jest zmniejszenie wydajności procesu przetwarzania [Yates 1995; Moore 1998]. W wielu przypadkach uszkodzenie słuchu związane jest z całkowitą utratą wewnętrznych komórek rzęsatych w określonych obszarach błony podstawnej i/lub neuronów aferentnych połączonych z tymi obszarami. Taki niedosłuch określa się jako niedosłuch typu „martwe pola” (z ang. *dead regions*) [Moore (i in.) 2000].

„Martwe pole” przedstawić można w „jednostkach” częstotliwości charakterystycznych (CFs) wewnętrznych komórek rzęsatych i/lub neuronów bezpośrednio przylegających do tego pola [Moore 2001]. Jeśli „martwe pole” występuje np. w podstawie ślimaka, a częstotliwość charakterystyczna (CF) wewnętrznych komórek rzęsatych/neuronów bezpośrednio przylegających do tego obszaru wynosi 3000 Hz, wówczas mówi się o „martwym polu” rozciągającym się od 3000 Hz wzwyż.

Zdiagnozowanie tego typu niedosłuchu jest trudniejsze niż w przypadku tzw. klasycznego wysokoczęstotliwościowego niedosłuchu odbiorczego. Zdiagnozowanie niedosłuchu typu „martwe pola” na podstawie audiometrii tonalnej nie jest możliwe. Można jednak przypuszczać obecność takiego pola w przypadku, gdy:

– ubytek słuchu jest większy niż 90 dB w zakresie dużych częstotliwości lub większy niż 75-80 dB w zakresie małych częstotliwości;

– ubytek słuchu wynosi ok. 40-50 dB w zakresie małych częstotliwości, w zakresie średnich i dużych częstotliwości słuch jest w normie (taki typ audiogramu prawdopodobnie wskazuje „martwe pole” w zakresie małych częstotliwości);

– ubytek słuchu jest większy niż 50 dB w zakresie małych częstotliwości, a w zakresie dużych częstotliwości jest on niewiele mniejszy (taki typ audiogramu również prawdopodobnie wskazuje „martwe pole” w zakresie małych częstotliwości);

– ubytek słuchu powiększa się bardzo szybko (ponad 50 dB/oktawę) wraz ze wzrostem częstotliwości (taki typ audiogramu prawdopodobnie wskazuje „martwe pole” w zakresie dużych częstotliwości).

Chociaż zdiagnozowanie „martwego pola” na podstawie audiogramu nie jest możliwe, to istnieje kilka innych metod, opartych na zjawisku maskowania, pozwalających wykryć taki niedosłuch. Należą do nich pomiar psychofizycznych krzywych strojenia, tzw. PTC (z ang. *psychophysical tuning curve*) [Small 1959], oraz pomiar progu maskowania sinusoidy na tle szumu zrównującego próg, tzw. TEN (z ang. *threshold equalizing noise*) [Moore (i in.) 2000].

Test TEN, którego główną zaletą jest to, że można go wykonać bardzo szybko, opiera się na detekcji tonu na tle szumu szerokopasmowego, zaprojektowanego w taki sposób, aby wytwarzać równe progi maskowania (w dB SPL) w szerokim paśmie częstotliwości (250-10 000 Hz), dla słuchaczy normalnie słyszających oraz dla słuchaczy z odbiorczym ubytkiem słuchu bez „martwych pól”. Szum taki nosi nazwę szumu zrównującego próg (tzw. TEN, z ang. *threshold equalizing noise*). Próg maskowania dla takiego szumu (szumu TEN) nietypowo podwyższony dla pewnej częstotliwości uważany jest za wskaźnik występowania „martwego pola” w tym miejscu [Moore (i in.) 2000].

Przeprowadzono wiele badań dotyczących percepcji mowy przez osoby z „martwymi polami” w zakresie małych częstotliwości [Thornton, Abbas 1980], wskazujących na fakt, że osoby z tego typu niedosłuchem mogą wykorzystać tylko ograniczoną ilość informacji zawartych w paśmie małych częstotliwości sygnału mowy. Jest to jednocześnie wskazówka, że jednak pewna ilość informacji zawartych w paśmie małych częstotliwości może być percypowana za pomocą wewnętrznych komórek rzęsatych i neuronów strojonych na średnie i duże częstotliwości.

Przebadano również wiele osób z niedosłuchem odbiorczym w zakresie dużych częstotliwości; wiele z publikacji na ten temat sugeruje, że dla niektórych osób z uszkodzonym słuchem zrozumiałość mowy nie zależy tylko od jej słyszalności, czyli prezentowania jej o poziomie wyższym od progu słuchu słuchacza, lecz zależy również od wielu innych czynników, mających znacznie większe znaczenie. Dane te sugerują również, że dla osób z głębokim niedosłuchem w zakresie dużych

częstotliwości wzmocnienie dźwięków z zakresu dużych częstotliwości powinno być bardzo małe lub nawet zerowe [Villchur 1973; Moore (i in.) 1985; Hogan, Turner 1998; Ching (i in.) 1998; Vickers (i in.) 2000]. Badania te przeprowadzone zostały jednak dla osób z niedosłuchem zdiagnozowanym tylko jako odbiorczy, bez wyraźnego podziału na niedosłuch tzw. klasyczny odbiorczy oraz niedosłuch typu „martwe pole”. Dlatego należało przeprowadzić eksperyment sprawdzający wpływ szerokości wzmacnianego pasma sygnału mowy na jej zrozumiałość, uwzględniając jednocześnie możliwość istnienia obszarów martwych i dzieląc słuchaczy na dwie grupy – grupę z tzw. klasycznym niedosłuchem odbiorczym oraz grupę osób z niedosłuchem odbiorczym typu „martwe pole”.

I. EKSPERYMENT

W ramach przeprowadzonego eksperymentu przetestowanych zostało dziesięciu słuchaczy (16 uszu – nie wszyscy słuchacze testowani byli obuusznie) z wysokoczęstotliwościowym ubytkiem słuchu. Obecność i zakres „martwych pól” określone zostały poprzez pomiar psychofizycznych krzywych strojenia (używając słuchawek Sennheiser HD 580) oraz potwierdzone za pomocą testu TEN. Wyniki uzyskane w teście TEN zawsze pokrywały się z wynikami otrzymanymi z pomiaru psychofizycznych krzywych strojenia (PTC). Pięciu z dziesięciu testowanych słuchaczy miało niedosłuch typu „martwe pola”. Wyniki audiometrii tonalnej wskazują na występowanie głębszego ubytku słuchu dla tych słuchaczy niż dla słuchaczy z wysokoczęstotliwościowym niedosłuchem bez „martwych pól”. Dla wszystkich słuchaczy, „martwe pole” rozciągało się od wyznaczonej częstotliwości granicznej aż do najwyższej testowanej częstotliwości, czyli do 10 kHz. Każde ucho testowane było osobno.

Słuchacze testowani byli przy użyciu logatomów (syłab nie niosących żadnej informacji) typu VCV (z ang. *vowel – consonant – vowel*), utworzonych z trzech samogłosek (/i/, /a/, /u/) i 21 różnych spółgłosek (/p, t, k, b, d, g, f, th, s, sh, h, v, z, r, l, y, w, ch, j, n, m/). Początkowa samogłoska była zawsze taka sama, jak samogłoska końcowa, np. iti, ata, utu, imi, ama, umu. Każda kombinacja samogłoski i spółgłoski prezentowana była raz w każdej z dwunastu list w sposób przypadkowy, dając w sumie 63 logatomy na listę. Kolejność logatomów w poszczególnych listach była różna. Logatomy wypowiadane były przez spikera płci żeńskiej z południowobrytyjskim akcentem i prezentowane na tle szerokopasmowego szumu mowopodobnego (szerokość pasma 7500 Hz), którego długoterminowe widmo jest takie samo, jak widmo mowy (tzn. widmo logatomów VCV). Zadany poziom wejściowy szumu i mowy wynosił 65 dB SPL. Następnie zarówno szum, jak i mowa poddane zostały wzmocnieniu zależnemu od niedosłuchu słuchacza i określone przez regułę „Cambridge”:

$$IG(f) = 0.48HL(f) + INT$$

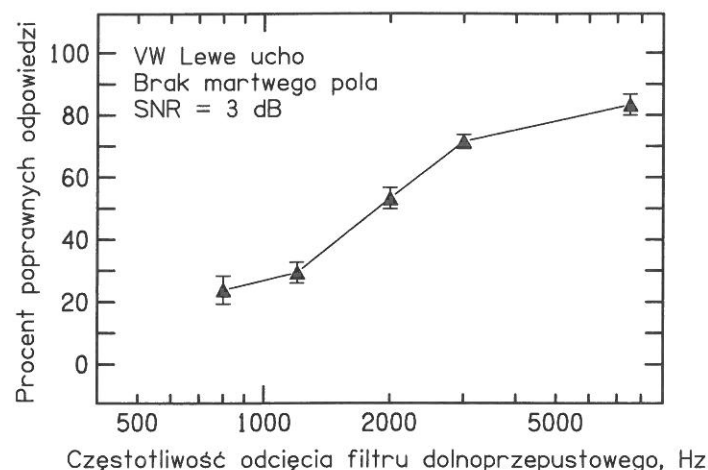
gdzie $IG(f)$ jest skutecznym wzmocnieniem akustycznym aparatu słuchowego w dB dla częstotliwości f , $HL(f)$ jest ubytkiem słuchu w dB dla częstotliwości f , INT jest stałą zależną od częstotliwości [Peters (i in.) 2000].

Celem zastosowania metody „Cambridge” było nadanie logatomom takiego wzmocnienia, aby możliwa była ich prezentacja o poziomie wyższym od progu słuchu słuchacza, czyli aby logatomy mogły być usłyszane przez danego słuchacza, unikając jednocześnie nadmiernej głośności. Jest to bardzo ważne w przypadku osób z niedosłuchem odbiorczym, ponieważ osoby te charakteryzują się bardzo małą dynamiką słuchu, tzn. dźwięki o małym poziomie są dla tych słuchaczy niesłyszalne, podczas gdy dźwięki prezentowane o poziomie niewiele większym mogą być już zbyt głośne.

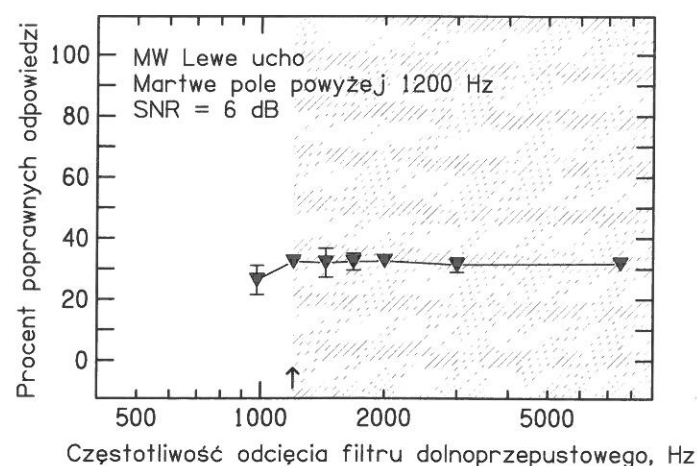
Zadanie słuchaczy polegało na napisaniu usłyszanej w logatomie spółgłoski (ignorując samogłoski). Jeśli zaprezentowanym logatomem było np. ata, to należało napisać t, w przypadku np. iki – należało napisać k itd. Eksperyment przebiegał w dwóch etapach. Pierwszym krokiem było (korzystając z wcześniej uzyskanych w Laboratorium w Cambridge danych) wybranie takiej częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego, dla której wyrazistość logatomów prezentowanych w ciszy była najlepsza. Następnie dla tej częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego zmierzono procent poprawnych odpowiedzi w funkcji stosunku sygnału do szumu tzw. SNR (z ang. *signal to noise ratio*) i wybrano taki SNR, który redukował wyrazistość logatomów o ok. 15% w porównaniu z takim samym pomiarem wykonanym w ciszy. Znalazłszy „optymalny” SNR, przystąpiono do badania wpływu dolnoprzepustowego filtrowania na wyrazistość logatomów prezentowanych na tle szumu mowopodobnego. W tym celu prezentowano słuchaczom logatomy i szum, które poddane były dolnoprzepustowemu filtrowaniu o różnych częstotliwościach odcięcia filtra dolnoprzepustowego. Porządek różnych częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego w pierwszej sesji był przypadkowy, w drugiej sesji natomiast porządek z sesji pierwszej był odwrócony w celu wyrównania wpływu praktyki i zmęczenia.

II. WYNIKI

Na rys. 1 przedstawiono procent poprawnych odpowiedzi uzyskanych dla logatomów typu VCV prezentowanych na tle szumu mowopodobnego, wykreślony w funkcji częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego dla jednego z dziesięciu słuchaczy z niedosłuchem odbiorczym w zakresie dużych częstotliwości bez „martwych pól”.



Rys. 1. Procent poprawnych odpowiedzi na logatomy typu VCV prezentowane na tle szumu mowopodobnego, wykreślony w funkcji częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego dla jednego z dziesięciu słuchaczy z niedosłuchem odbiorczym w zakresie dużych częstotliwości bez „martwych pól”; stosunek sygnału do szumu (SNR) wynosił 3 dB

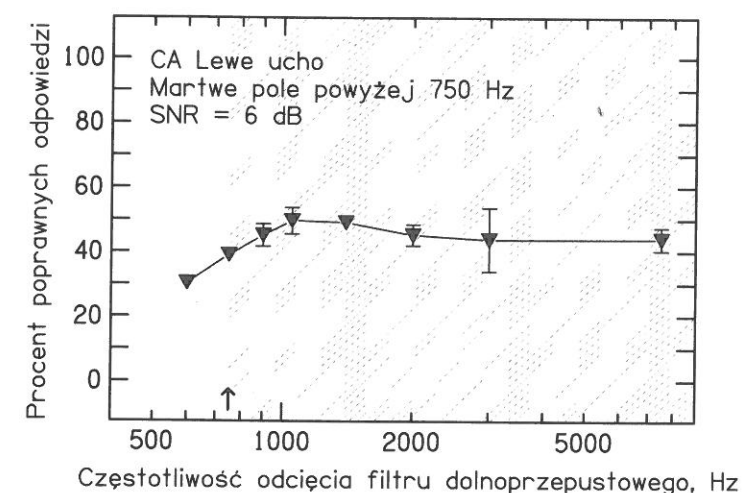


Rys. 2. Procent poprawnych odpowiedzi na logatomy typu VCV prezentowane na tle szumu mowopodobnego, uzyskany dla jednego z sześciu słuchaczy z „martwymi polami” w zakresie dużych częstotliwości; częstotliwość graniczna „martwego pola” zaznaczona jest za pomocą strzałki i wynosi 1200 Hz; stosunek sygnału do szumu (SNR) wynosił 6 dB

Wyrazistość logatomowa wzrastała monotonicznie wraz ze wzrostem częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego dla wszystkich dziesięciu słuchaczy z niedosłuchem odbiorczym w zakresie dużych częstotliwości bez „martwych pól”.

Wyniki te są zgodne z wcześniejszymi rezultatami uzyskanymi dla osób ze średnim niedosłuchem w zakresie dużych częstotliwości [Vickers (i in.) 2000], jednocześnie wskazują one na fakt, że słuchacze bez „martwych pól” są w stanie efektywnie wykorzystać informacje na temat mowy zawarte w paśmie dużych częstotliwości. Maksymalne wartości (procent poprawnych odpowiedzi) uzyskane przez tych słuchaczy wynosiły od 73.8% do 84.9% w warunkach tzw. *allpass* (szerokość pasma przepustowego 7500 Hz).

Sześciu pozostałych słuchaczy miało niedosłuch typu „martwe pola” w zakresie dużych częstotliwości. Na rys. 2 i 3 przedstawiono wyniki (procent poprawnych odpowiedzi w funkcji częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego) uzyskane dla dwóch słuchaczy z takim niedosłuchem. Zakresy „martwych pól” pokazane są na każdym rysunku (zakresowane obszary), a ich częstotliwości graniczne zaznaczone są za pomocą strzałek.



Rys. 3. Procent poprawnych odpowiedzi na logatomy typu VCV prezentowane na tle szumu mowopodobnego uzyskany dla jednego z sześciu słuchaczy z „martwymi polami” w zakresie dużych częstotliwości; częstotliwość graniczna „martwego pola” zaznaczona pomocą strzałki i wynosi 750 Hz; stosunek sygnału do szumu (SNR) wynosił 6 dB

Należy zauważyć, że procent poprawnych odpowiedzi wzrasta wraz ze wzrostem częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego tylko do częstotliwości maksymalnie o oktawę powyżej częstotliwości granicznej „martwego pola”. Zwiększając częstotliwość odcięcia filtra dolnoprzepustowego powyżej częstotliwości o oktawę większej od częstotliwości granicznej „martwego pola”, zaobserwowano dwa rodzaje krzywych. Dla niektórych słuchaczy wartości pozostawały w przybliżeniu stałe (rys. 2), co świadczy o tym, że tacy słuchacze nie czerpali

żadnych korzyści (lub bardzo niewielkie) ze wzmocnienia dźwięków o częstotliwościach leżących o 70-100% powyżej wyznaczonej częstotliwości granicznej martwego pola. Uzyskane wyniki wskazują jednocześnie, że wzmocnienie dźwięków o tych częstotliwościach nie wywarło negatywnego wpływu na wyrazistość logatomów.

Dla pozostałych słuchaczy z „martwymi polami” wyrazistość logatomowa pogarszała się, gdy częstotliwość odcięcia filtra dolnoprzepustowego była więcej niż oktawę powyżej wyznaczonej częstotliwości granicznej „martwego pola” (rys. 3). Wskazuje to na fakt, że wzmocnienie dźwięków z zakresu dużych częstotliwości wywarło szkodliwy wpływ na wyrazistość logatomów, co zgodne jest z wynikami uzyskanymi przez Hogana i Turnera [1998] oraz Vickersa i współautorów [2000].

Dla osób z „martwymi polami” w zakresie dużych częstotliwości wyrazistość logatomowa dla „optymalnej” częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego (zazwyczaj dla 1.7 częstotliwości granicznej martwego pola) była stosunkowo niska i wynosiła od 27.0% do 55.6%. Wyniki te zgodne są z założeniem, że elementy mowy z zakresu dużych częstotliwości, wzmocnione nawet o 50 dB, nie są źródłem informacji dla osób z niedosłuchem typu „martwe pola” w zakresie dużych częstotliwości.

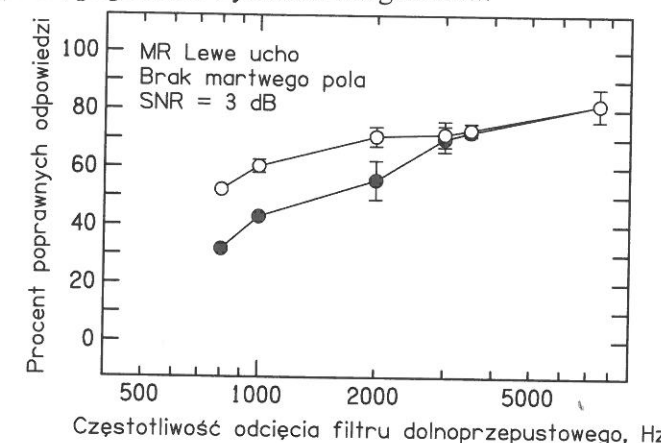
III. WPŁYW SZUMU MOWOPODOBNEGO NA WYRAZISTOŚĆ LOGATOMÓW

W celu wykazania wpływu szumu mowopodobnego na wyrazistość logatomów porównano funkcje psychometryczne (procent poprawnych odpowiedzi w funkcji częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego) uzyskane w ciszy i na tle szumu dla słuchaczy z „martwymi polami” i bez.

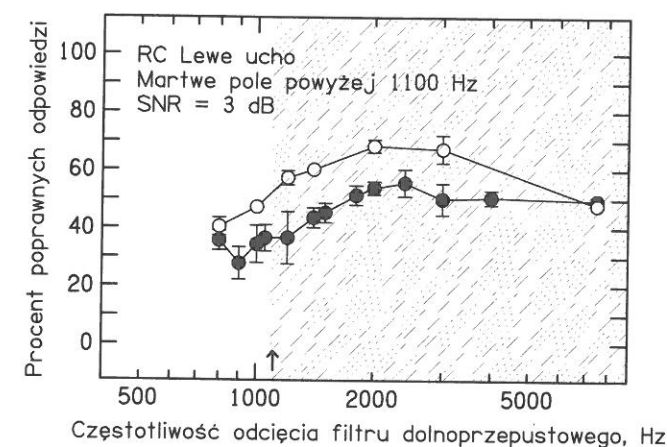
Na rys. 4 przedstawiono wyniki (procent poprawnych odpowiedzi na test typu VCV) uzyskane w ciszy (puste kółka) oraz na tle szumu (wypełnione kółka) dla jednej z dziesięciu osób z niedosłuchem odbiorczym w zakresie dużych częstotliwości bez „martwych pól”. Stosunek sygnału do szumu wynosił 3 dB. Generalnie szum nie wywarł dużego wpływu na wyrazistość logatomową. Dla bodźca szerokopasmowego wyrazistość logatomów prezentowanych na tle szumu osiągała nawet takie same wartości, jak wyrazistość logatomów prezentowanych w ciszy.

Na rys. 5 przedstawione zostały wartości (procent poprawnych odpowiedzi na test typu VCV) uzyskane w ciszy (puste kółka) i na tle szumu mowopodobnego (wypełnione kółka) w funkcji częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego dla jednego z sześciu słuchaczy z „martwymi polami” w zakresie dużych częstotliwości. Częstotliwość graniczna „martwego pola” zaznaczona jest za pomocą strzałki i wynosi 1100 Hz. W tym przypadku zaobserwować można większy wpływ szumu na wyrazistość logatomów niż dla słuchaczy bez „martwych pól”.

Wyrazistość logatomów prezentowanych na tle szumu mowopodobnego osiągała takie same wartości dla bodźca szerokopasmowego, jak dla logatomów prezentowanych w ciszy tylko dla dwóch słuchaczy, dla których wzmocnienie dźwięków z zakresu dużych częstotliwości, ponad 70% powyżej częstotliwości granicznej „martwego pola”, pogarszało wyrazistość logatomów.



Rys. 4. Procent poprawnych odpowiedzi na logatomy typu VCV prezentowane w ciszy (puste kółka) oraz na tle szumu mowopodobnego (wypełnione kółka), wykreślony w funkcji częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego dla jednego z dziesięciu słuchaczy z niedosłuchem odbiorczym w zakresie dużych częstotliwości bez martwych pól; stosunek sygnału do szumu (SNR) wynosił 3 dB



Rys. 5. Procent poprawnych odpowiedzi na logatomy typu VCV prezentowane w ciszy (puste kółka) oraz na tle szumu mowopodobnego (wypełnione kółka), wykreślony w funkcji częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego dla jednego z sześciu słuchaczy z „martwymi polami” w zakresie dużych częstotliwości; stosunek sygnału do szumu (SNR) wynosił 3 dB; częstotliwość graniczna martwego pola wynosi 1100 Hz i zaznaczona jest za pomocą strzałki

Należy zauważyć, że dla osób z odbiorczym niedosłuchem w zakresie dużych częstotliwości bez „martwych pól” szum wywierał wpływ na wyrazistość logatomów od najniższej częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego aż do ok. 3000 Hz, czyli w zakresie częstotliwości, w którym zawierają się informacje ważne dla rozumienia mowy (znaczna część informacji ważnych dla zrozumiałości mowy leży poniżej 3000 Hz [Pavlovic 1987]). Dla częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego powyżej 3000 Hz wyrazistość logatomów prezentowanych na tle szumu osiągała takie same wartości, jak dla logatomów prezentowanych w ciszy. Fakt ten może świadczyć o tym, że słuchacze z niedosłuchem odbiorczym w zakresie dużych częstotliwości bez „martwych pól” mogą poprzez naukę i praktykę osiągnąć stosunkowo dużą zrozumiałość mowy, ignorując jednocześnie wpływ tła (w tym przypadku szumu mowopodobnego). Wpływ szumu mowopodobnego na wyrazistość logatomową dla osób z „martwymi polami” w zakresie dużych częstotliwości okazał się większy niż dla osób bez „martwych pól” w tym zakresie częstotliwości. Szum wywiera w tym przypadku wpływ w szerokim paśmie częstotliwości. Największy wpływ zaobserwować można dla częstotliwości od najniższej aż do ok. 70% powyżej częstotliwości granicznej „martwego pola”; powyżej tej częstotliwości wpływ szumu nieznacznie maleje.

IV. WYKORZYSTANIE INFORMACJI NA TEMAT CECH ARTYKULACYJNYCH FONEMÓW

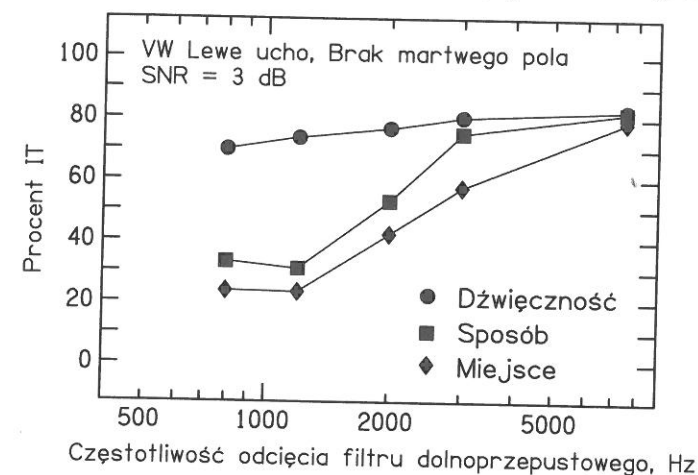
Analizując wyrazistość logatomów, należy zastanowić się nad tym, jakie cechy artykulacyjne i w jakim stopniu wpływają na poprawną identyfikację fonemu. Co warunkuje spostrzeganie /p/ jako /p/, a nie jako /b/? Dlaczego słuchacze częściej myślą spółgłoskę /b/ ze spółgłoską /g/ czy /d/ niż ze spółgłoską /t/ czy /k/?

Szukając odpowiedzi na powyższe pytania, przeprowadzono analizę zwaną sekwencyjną analizą informacji SINFA (z ang. *sequential information analyse*) [Wang, Bilger 1973]. Analiza SINFA bazuje na założeniu, że każdy fonem zawiera informacje na temat sposobu i miejsca artykulacji oraz informacje na temat dźwięczności [Miller, Nicely 1955]. Dlatego wyniki uzyskane dla każdego ze słuchaczy przeanalizowano pod względem procentu wykorzystanych informacji (tzw. IT, z ang. *information transmitted*) na temat takich cech, jak dźwięczność, sposób i miejsce artykulacji w funkcji częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego. Analiza została przeprowadzona za pomocą pakietu „Fix”, utworzonego przez M. Johnsona z Department of Phonetics and Linguistics, University College, London, który dostępny jest w internecie na stronie <http://www.phon.ucl.ac.uk/resource.htm>.

Dla każdej cechy artykulacji program Fix obliczał procent wykorzystanych informacji (IT) na temat tej cechy, następnie cechę artykulacji, dla której procent

wykorzystanych informacji (IT) był największy, traktował jako stałą. W pierwszej iteracji najwyższe IT przypadało zawsze dla dźwięczności; cecha ta była identyfikowana i traktowana jako stała we wszystkich kolejnych iteracjach. W drugiej iteracji cechą dającą największe IT był zazwyczaj sposób artykulacji. Natomiast w trzeciej iteracji wartości dla dwóch cech – dźwięczność i sposób artykulacji – pozostawały stałe, a cechą dającą w tej iteracji najwyższą wartość było zawsze miejsce artykulacji.

Wyniki przeprowadzonej analizy dla dwóch z dziesięciu słuchaczy przedstawione są na rys. 6 i 7 – procent wykorzystanych informacji na temat cech artykulacji (IT) wykreślony jest w funkcji częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego dla każdej z trzech cech (dla dźwięczności, sposobu i miejsca artykulacji).



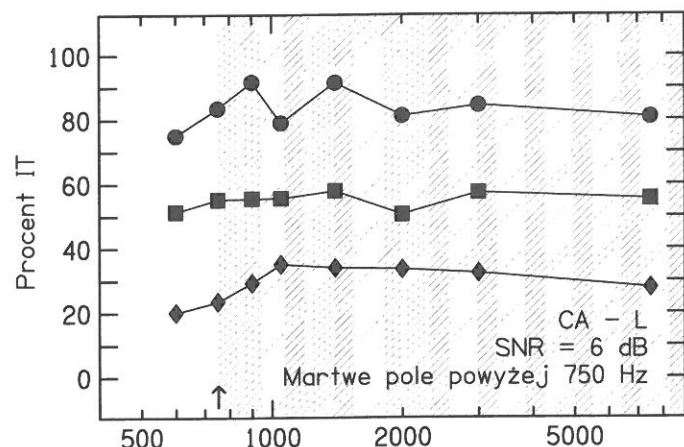
Rys. 6. Procent wykorzystanych informacji na temat dźwięczności (kółka), sposobu (kwadraty) i miejsca artykulacji (romby), wykreślony w funkcji częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego dla jednego z sześciu słuchaczy z odbiorczym niedosłuchem w zakresie dużych częstotliwości bez „martwych pól”

Procent wykorzystanych informacji (IT) był prawie zawsze najwyższy dla dźwięczności a najniższy dla miejsca artykulacji. Procent wykorzystanych informacji na temat dźwięczności osiągał zarówno dla słuchaczy bez „martwych pól”, jak i dla słuchaczy z „martwymi polami” wartość ok. 80%, nawet dla częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego równej 800 Hz. Oznacza to, że informacje na temat dźwięczności mogą być efektywnie „wydobywane” z niskoczęstotliwościowego pasma logatomów. Dla słuchaczy bez „martwych pól” (rys. 6) procent wykorzystanych informacji na temat miejsca i sposobu artykulacji wzrastał wraz ze wzrostem częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego aż do 3000 Hz; powyżej tej częstotliwości utrzymywał się na stałym poziomie.

Dla słuchaczy z niedosłuchem typu „martwe pola” (rys. 7) procent wykorzystanych informacji na temat zarówno miejsca, jak i sposobu artykulacji wzrastał wraz ze wzrostem częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego, ale tylko do momentu osiągnięcia częstotliwości ok. 70% powyżej częstotliwości granicznej „martwego pola”; powyżej tej częstotliwości wartości pozostawały w przybliżeniu stałe.

Powyższe wartości wskazują na fakt, że informacje zawarte w dźwiękach z zakresu dużych częstotliwości na temat sposobu i miejsca artykulacji były niedostępne dla słuchaczy z niedosłuchem typu „martwe pola” w zakresie dużych częstotliwości i dlatego nie czerpali oni korzyści ze wzmocnienia dźwięków z tego pasma.

Generalnie krzywa wykreślona dla procentu wykorzystanych informacji na temat miejsca artykulacji była taka sama, jak krzywa wykreślona dla ogólnego procentu poprawnych odpowiedzi. Zgodne jest to z założeniem, że większość błędów popełnianych podczas identyfikacji spółgłosek związana była z identyfikacją miejsca artykulacji.



Rys. 7. Procent wykorzystanych informacji na temat dźwięczności

(kółka), sposobu (kwadraty) i miejsca artykulacji (romby), wykreślony w funkcji częstotliwości odcięcia filtra dolnoprzepustowego dla jednego z sześciu słuchaczy z niedosłuchem typu „martwe pola” w zakresie dużych częstotliwości; częstotliwość graniczna „martwego pola” wynosiła 750 Hz i zaznaczona jest za pomocą strzałki

V. DYSKUSJA WYNIKÓW ORAZ WNIOSKI

Wcześniejsze badania wykazały, że niektórzy słuchacze z ubytkiem słuchu w zakresie dużych częstotliwości czerpią korzyści ze wzmocnienia dźwięków z zakresu tych częstotliwości, podczas gdy inni słuchacze nie [Villchur 1973; Moore (i in.) 1985; Hogan, Turner 1998; Ching (i in.) 1998; Turner, Hurtig 1999; Vickers (i in.) 2000]. Badania te pokazały również ogólną tendencję powiązania głębszego niedosłuchu z mniejszą korzyścią płynącą ze wzmocnienia dźwięków z zakresu dużych częstotliwości lub nawet z negatywnym wpływem takiego wzmocnienia. Przewidywanie tylko na podstawie audiogramu tonalnego, który ze słuchaczy będzie mógł wykorzystać informacje zawarte we wzmocnionych pasmach wysokoczęstotliwościowych, a który nie, jest bardzo trudne, a właściwie niemożliwe. Kluczem do rozwiązania tego problemu jest obecność lub brak „martwych pól”. Dla osób z niedosłuchem odbiorczym bez „martwych pól” w zakresie dużych częstotliwości wzmocnienie dźwięków z zakresu dużych częstotliwości zawsze jest bardzo korzystne, nawet w przypadku, gdy słuchają oni w głośnym otoczeniu. Natomiast osoby z niedosłuchem typu „martwe pola” w zakresie dużych częstotliwości, generalnie, nie czerpią korzyści ze wzmocnienia dźwięków z pasma dużych częstotliwości, z wyjątkiem częstotliwości leżących niewiele (ok. 70%) powyżej częstotliwości granicznej „martwego pola”.

Wyniki uzyskane w przeprowadzonym eksperymencie mają ważne znaczenie dla dopasowania aparatów słuchowych u osób z niedosłuchem typu „martwe pola” w zakresie dużych częstotliwości. Sugerują one, że wzmocnienie sygnałów o częstotliwościach powyżej 70-100% częstotliwości granicznej martwego pola nie wpływa na poprawę wyrazistości logatomów, a czasami może nawet wiązać się z jej pogorszeniem. Należy podkreślić, że dla osób z odbiorczym niedosłuchem bez „martwych pól” w zakresie dużych częstotliwości wzmocnienie dźwięków z pasma dużych częstotliwości zawsze jest korzystne dla poprawy wyrazistości logatomowej, również w przypadku, gdy logatomy prezentowane są na tle szumu. Dlatego bardzo ważnym etapem przed podjęciem decyzji o wielkości i zakresie wzmocnienia aparatu słuchowego dla danego słuchacza z niedosłuchem odbiorczym w zakresie wysokich częstotliwości jest ustalenie, czy słuchacz ten ma niedosłuch typu „martwe pole” w danym paśmie częstotliwości, czy też nie. W przypadku stwierdzenia obecności „martwego pola” należy określić jego zakres (wyznaczyć częstotliwości graniczne martwego pola) i rozważyć ograniczenie wzmocnienia dźwięków o częstotliwościach przypadających na zakres takiego pola.

Redukcja wzmocnienia może spowodować poprawę zrozumiałości mowy oraz zmniejszyć lub zupełnie wyeliminować problem związany z akustycznym sprzężeniem zwrotnym. Problem akustycznego sprzężenia zwrotnego często występuje podczas podjęcia próby osiągnięcia wzmocnienia odpowiedniego dla

głębokiego niedosłuchu. Redukcja wzmocnienia może również ograniczyć zniekształcenia występujące w aparacie słuchowym, szczególnie zniekształcenia intermodulacyjne, które mogą prowadzić do pogorszenia zrozumiałości mowy [Crain, Van Tasell 1994].

Ostatecznie wiedza na temat obecności niedosłuchu typu „martwe pola” pozwala protetykowi słuchu skoncentrować się na dopasowaniu odpowiedniego wzmocnienia w zakresie częstotliwości, dla których słuch pacjenta jest na tyle dobry, aby wzmocnione informacje z tego zakresu mogły być efektywnie wykorzystane. Alternatywnym wyjściem w przypadku wysokoczęstotliwościowego „martwego pola” jest zastosowanie aparatu słuchowego z transpozycją częstotliwości lub z ich kompresją [Turner, Hurtig 1999; Velmans, Marcuson 1983]. Aparaty słuchowe z transpozycją częstotliwości i/lub kompresją przenoszą składowe o dużych częstotliwościach do pasm mniejszych częstotliwości, dla których funkcje słuchowe są znacznie lepsze. Jednakże nie są jeszcze znane ostateczne wyniki zastosowania tego typu aparatów u osób z niedosłuchem typu „martwe pola”.

Podziękowania

Badania wykonane zostały w Laboratorium Psychoakustycznym na Uniwersytecie w Cambridge dzięki uprzejmości Profesora B. C. J. Moore’a, któremu serdecznie dziękuję za pomoc i cenne uwagi.

Bibliografia

- Ching T., Dillon H., Byrne D. [1998]. Speech recognition of hearing-impaired listeners: Predictions from audibility and the limited role of high-frequency amplification. „Journal of the Acoustical Society of America” 103, 1128-1140.
- Crain T. R., Van Tasell D. J. [1994]. Effect of peak clipping on speech recognition threshold. „Ear and Hearing” 15, 443-453.
- Hogan C. A., Turner C. W. [1998]. High-frequency audibility: Benefits for hearing-impaired listeners. „Journal of the Acoustical Society of America” 104, 432-441.
- Miller R. L., Nicely P. E. [1955]. An analysis of perceptual confusions among some English consonants. „Journal of the Acoustical Society of America” 27, 338-352.
- Moore B. C. J. [1998]. Cochlear Hearing Loss. London: Whurr.
- Moore B. C. J. [2001]. Dead regions in the cochlea: diagnosis, perceptual consequences, and implications for the fitting of hearing aids. Auditory Neuroscience.
- Moore B. C. J., Huss M., Vickers D. A., Glasberg B. R., Alcántara J. I. [2000]. A test for the diagnosis of dead regions in the cochlea. „British Journal of Audiology” 34, 205-224.
- Moore B. C. J., Laurence R. F., Wright D. [1985]. Improvements in speech intelligibility in quiet and in noise produced by two-channel compression hearing aids. „British Journal of Audiology” 19, 175-187.

- Pavlovic C. [1987]. Derivation of primary parameters and procedures for use in speech intelligibility predictions. „Journal of the Acoustical Society of America” 82, 413-422.
- Peters R. W., Moore B. C. J., Glasberg B. R., Stone M. A. [2000]. Comparison of the NAL(R) and Cambridge formulae for the fitting of linear hearing aids. „British Journal of Audiology” 34, 21-36.
- Small A. M. [1959]. Pure-tone masking. „Journal of the Acoustical Society of America” 31, 1619-1625.
- Thornton A. R., Abbas P. J. [1980]. Low-frequency hearing loss: Perception of filtered speech, psychophysical tuning curves, and masking. „Journal of the Acoustical Society of America” 67, 638-643.
- Turner C. W., Hurtig R. R. [1999]. Proportional frequency compression of speech for listeners with sensorineural hearing loss. „Journal of the Acoustical Society of America” 106, 877-886.
- Velmans M., Marcuson M. [1983]. The acceptability of spectrum-preserving and spectrum-destroying transposition to severely hearing-impaired listeners. „British Journal of Audiology” 17, 17-26.
- Vickers D. A., Baer T., Moore B. C. J. [w druku]. Effects of lowpass filtering on speech intelligibility for listeners with dead regions at high frequencies. „British Journal of Audiology”.
- Villchur E. [1973]. Signal processing to improve speech intelligibility in perceptive deafness. „Journal of the Acoustical Society of America” 53, 1646-1657.
- Wang M. D., Bilger R. C. [1973]. Consonant confusions in noise: A study of perceptual features. „Journal of the Acoustical Society of America” 54, 1248-1266.
- Yates G. K. [1995]. Cochlear structure and function. W: B. C. J. Moore (ed.). Hearing. San Diego: Academic Press s. 41-73.