

Przesłano do redakcji:
02.11.2025
Zaakceptowano po recenzji:
17.11.2025
Opublikowano:
03.03.2026

Ocena percepcji interwałów muzycznych u użytkownika implantu ślimakowego (CI) z jednostronną głuchotą (SSD) – studium przypadku

Assessment of musical interval perception in a cochlear implant (CI) user with single-sided deafness (SSD) – a case study

Wkład autorów:
A Projekt badania
B Gromadzenie danych
C Analiza danych
D Interpretacja danych
E Przygotowanie pracy
F Przegląd literatury
G Gromadzenie funduszy

Weronika Martynowska^{A-F} , Anna Ratuszniak^{A-D} , Artur Lorens^A 

Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Światowe Centrum Słuchu, Zakład Implantów i Percepcji Słuchowej, Warszawa/Kajetany

Streszczenie

Wprowadzenie: Percepcja interwałów muzycznych stanowi kluczowy element w odbiorze melodii i harmonii. Postrzeganie brzmienia interwałów harmoniczných (dźwięki brzmiące jednocześnie) ogrywa istotną rolę w odbiorze współbrzmień i akordów. W zależności od proporcji częstotliwości dźwięków tworzących interwał harmoniczny jego brzmienie może być przyjemne (konsonans) lub nieprzyjemne (dysonans). Użytkownicy implantów ślimakowych (CI) mogą postrzegać brzmienie interwałów harmoniczných inaczej niż osoby prawidłowo słyszące, co jest konsekwencją specyfiki funkcjonowania systemu implantu ślimakowego, wykorzystującego elektryczną stymulację nerwu słuchowego.

Opis przypadku: Przedstawiono przypadek osoby dorosłej z jednostronną głuchotą (SSD), użytkownika CI. Przeprowadzono badania psychoakustyczne w celu oceny percepcji brzmienia interwałów muzycznych w uchu zaimplantowanym oraz w uchu prawidłowo słyszącym. Każdy bodziec składał się z dwóch jednocześnie podawanych tonów tworzących interwał harmoniczny w zakresie od 0 do 12 półtonów. Słuchacz oceniał, który z dwóch bodźców w każdej parze był w jego odczuciu bardziej przyjemny, co pozwoliło na ustalenie rankingu (hierarchii) przyjemności brzmienia interwałów. W uchu prawidłowo słyszającym interwały konsonansowe oceniono jako najbardziej przyjemne, a dysonansowe jako najmniej przyjemne. W uchu zaimplantowanym wzorec ocen różnił się od uzyskanego w uchu z normą słuchu zarówno w przypadku konsonansów, jak i dysonansów.

Wnioski: Percepcja brzmienia interwałów harmoniczných u użytkownika implantu ślimakowego z SSD w uchu zaimplantowanym odbiega od wzorca obserwowanego w uchu prawidłowo słyszającym. Uzyskane wyniki wskazują na potrzebę dalszych badań.

Słowa kluczowe: implant ślimakowy • interwały muzyczne • interwał harmoniczny • konsonans • dysonans

Abstract

Introduction: The perception of musical intervals is a key element in the perception of melody and harmony. Harmonic intervals (sounds sounding simultaneously) are particularly important for the perception of consonances and chords. Depending on the frequency ratio of the sounds that constitute a harmonic interval, its sound can be pleasant (consonance) or unpleasant (dissonance). CI users may perceive harmonic intervals differently than normal-hearing individuals, which is a consequence of the specific functioning of the cochlear implant system that relies on electrical stimulation of the auditory nerve.

Case report: The case of an adult cochlear implant user with single-sided deafness (SSD) is presented. Psychoacoustic studies were conducted to assess the perception of musical intervals in the implanted ear and in the normal-hearing ear. Each stimulus consisted of two simultaneously presented tones creating a harmonic interval ranging from 0 to 12 semitones. The listener rated which of the two stimuli in each pair was more pleasant, which allowed for the determination of a pleasantness ranking of the intervals. In the

Autor korespondencyjny: Weronika Martynowska, Zakład Implantów i Percepcji Słuchowej, Światowe Centrum Słuchu, Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, ul. Mokra 17, Kajetany, 05-830, Nadarzyn; email: weronikamartynowska@gmail.com

normal-hearing ear, consonant intervals were rated as the most pleasant, and dissonant intervals as the least pleasant. In the implanted ear, the pattern of ratings differed from that obtained in the normal-hearing ear, for both consonances and dissonances.

Conclusions: The perception of harmonic intervals in a cochlear implant user with single-sided deafness in the implanted ear differs from the pattern observed in the normal-hearing ear. These results indicate the need for further research.

Keywords: cochlear implant • musical intervals • harmonic interval • consonance • dissonance

Wprowadzenie

Percepcja interwałów muzycznych stanowi jedno z podstawowych zagadnień w badaniach nad odbiorem muzyki i funkcjonowaniem słuchu muzycznego. Interwały, czyli różnice wysokości między dwoma dźwiękami wyrażane w półtonach, odgrywają istotną rolę w odbiorze melodii, harmonii oraz w kształtowaniu struktury muzycznej. Ich rozpoznawanie i ocena zależą zarówno od właściwości akustycznych dźwięków, jak i od mechanizmów poznawczych oraz doświadczenia słuchacza [1].

Interwały muzyczne dzieli się na dwie podstawowe postaci: melodyczne, w których dźwięki prezentowane są kolejno w czasie, oraz harmoniczne, gdzie dźwięki brzmią równocześnie. Interwały melodyczne tworzą strukturę melodii, natomiast interwały harmoniczne mają kluczowe znaczenie dla postrzegania harmonii, współbrzmień i akordów – elementów stanowiących podstawę większości systemów muzycznych, zarówno w muzyce klasycznej, jak i w wielu nurtach zachodniej muzyki popularnej.

W skali chromatycznej, która ma najpowszechniejsze zastosowanie w muzyce, gdy prezentowane są dwie nuty, stosunki ich wzajemnych częstotliwości opisywane są w półtonach, przy czym podwojenie częstotliwości odpowiada 12 półtonom. W sytuacji kiedy słuchaczowi jednocześnie prezentowane są dwa dźwięki (interwał harmoniczny), proporcje pomiędzy ich częstotliwościami podstawowymi decydują o tym, jak odbierany jest dźwięk z nich złożony: czy jako konsonans (współbrzmienie uznane za przyjemne), czy dysonans (współbrzmienie uznane za nieprzyjemne) [2]. Przykładowo takie proporcje jak oktawa czysta (12 półtonów) lub kwinta czysta (7 półtonów) są postrzegane jako *najbardziej przyjemne*, podczas gdy inne, takie jak sekunda mała (1 półton) lub septyma wielka (11 półtonów), są postrzegane jako *najbardziej nieprzyjemne* [5]. Wykaz wszystkich interwałów prostych (w ramach jednej oktawy) zawarto w **tabeli 1**. W europejskiej tradycji tonalnej dysonans jest postrzegany jako subiektywnie ostre współbrzmienie wywołujące wrażenie dudnienia [3,4]. Tworzy on napięcie, które wymaga tzw. rozwiązania, czyli przejścia do konsonansu. Konsonanse dzieli się na doskonałe – charakteryzujące się wyjątkową zgodnością brzmienia – oraz niedoskonałe, które mimo mniejszej zgodności nie wymagają rozwiązania. Ocena interwałów prostych pod kątem przyjemności ich brzmienia pozwala uchwycić charakterystyczny wzorec percepcji interwałów harmonicznych.

Przetwarzanie dźwięku przez implant ślimakowy (ang. *cochlear implant*, CI) może wpływać na opisany powyżej sposób postrzegania interwałów harmonicznych. Użytkownicy CI odbierają je inaczej niż osoby prawidłowo słyszące, co może mieć wpływ na percepcję muzyki, która stanowi najbardziej złożony bodziec dźwiękowy dla ludzkiego słuchu.

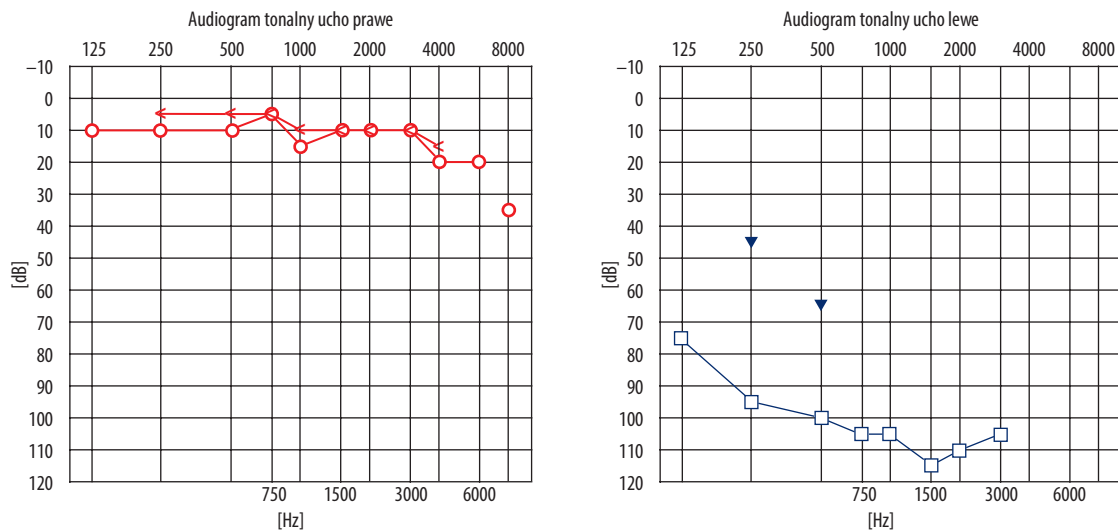
Tabela 1. Interwały muzyczne proste

Table 1. Simple musical intervals

Interwał	Liczba półtonów	Konsonans/dysonans
Pryma czysta	0	konsonans doskonały
Sekunda mała	1	dysonans
Sekunda wielka	2	dysonans
Tercja mała	3	konsonans niedoskonały
Tercja wielka	4	konsonans niedoskonały
Kwarta czysta	5	konsonans doskonały
Tryton	6	dysonans
Kwinta czysta	7	konsonans doskonały
Seksta mała	8	konsonans niedoskonały
Seksta wielka	9	konsonans niedoskonały
Septyma mała	10	dysonans
Septyma wielka	11	dysonans
Oktawa czysta	12	konsonans doskonały

Badania przeprowadzone przez Spitzera i wsp. [5] pokazują, że nie ma wyraźnego wzorca postrzegania interwałów u użytkowników implantów ślimakowych, w porównaniu do osób prawidłowo słyszących. Oznacza to, że różnice w ocenie przyjemności brzmienia poszczególnych interwałów są znacznie mniejsze u osób zaimplantowanych niż u prawidłowo słyszących. W konsekwencji może to powodować, że odbiór utworu muzycznego przez użytkownika CI nie zawsze odzwierciedla to, co chciał swoim dziełem przekazać kompozytor. Użytkownicy CI mogą inaczej postrzegać emocje, przyjemność brzmienia czy wysokość dźwięku podczas słuchania muzyki.

Literatura pokazuje, że implanty ślimakowe mogą istotnie poprawiać rozumienie mowy w zakresie odbioru i przetwarzania złożonego sygnału muzycznego, jednak mają one pewne ograniczenia, co powoduje mniejszą efektywność w analizowaniu u pacjentów większości cech sygnału muzycznego, w tym melodii i harmonii, które odgrywają główną rolę w percepcji muzyki [6]. Istnieje szereg czynników, które przyczyniają się do innego postrzegania interwałów muzycznych przez użytkowników CI w porównaniu do osób z prawidłowym słuchem akustycznym, w tym np. ograniczona liczba separowanych elektrod implantu, silna interakcja pomiędzy elektrodami, rozptył prądu stymulującego, głębokość wprowadzenia wiązki elektrod, stosowana strategia kodowania sygnału, jak również indywidualne cechy anatomiczne ślimaka [7–10].



Rycina 1. Wynik badania audiometrii tonalnej przed wszczępieniem implantu
Figure 1. Pure-tone audiometry results prior to cochlear implant surgery

Celem pracy jest prezentacja przypadku użytkownika CI z jednostronną głuchotą, u którego przeprowadzono badanie percepcji interwałów muzycznych w uchu zaimplantowanym oraz prawidłowo słyszącym (kontrolnie).

Opis przypadku

W badaniu wzięła udział kobieta w wieku 66 lat z jednostronną głuchotą (ang. *single-sided deafness*, SSD), tj. ze zdiagnozowanym głębokim ubytkiem słuchu w uchu lewym oraz normą słuchu w uchu prawym. Wynik badania audiometrii tonalnej przedstawiono na **rycinie 1**. W wywiadzie – brak chorób współistniejących oraz prawidłowe funkcjonowanie psychomotoryczne. Utrata słuchu w wieku 51 lat w uchu lewym wystąpiła nagle, z przyczyn nieznanых. Implant firmy Med-El z elektrodą Flex 26 został wszczępiiony w Światowym Centrum Słuchu Instytutu Fizjologii i Patologii Słuchu (ŚCS IFPS) do ucha lewego; wiek pacjentki w momencie operacji – 65 lat. Aktywacja procesora Sonnet 2 odbyła się zgodnie z przyjętym klinicznym protokołem postępowania u pacjentów zaopatrzonych w CI. Badana nie posiada formalnego wykształcenia muzycznego w zakresie gry na instrumencie ani śpiewu.

Metoda

W badaniu zastosowano nieinwazyjną metodę psychoakustyczną, polegającą na prezentowaniu serii par bodźców dźwiękowych. Badanie wykonano z użyciem oprogramowania PsyWorks 7.1.1 firmy Med-El (Innsbruck, Austria). Osobie badanej zaprezentowano dwa bodźce dźwiękowe następujące po sobie, a jej zadaniem było wskazanie, który z nich jest przyjemniejszy, także w sytuacji, kiedy nie była pewna. Każdą parę bodźców zaprezentowano jednokrotnie. Do ucha prawidłowo słyszącego sygnały podawane były przez słuchawki nauszne, natomiast do procesora mowy – za pośrednictwem kabla podłączonego bezpośrednio do wejścia audio. Całe badanie trwało ok. 20 minut. Bodźce użyte w badaniu percepcji interwałów muzycznych składały się z dwóch tonów, które były

prezentowane jednocześnie jako interwał harmoniczny. Każdy bodziec dźwiękowy charakteryzował się jednym z 13 różnych stosunków częstotliwości podstawowych: od 0 do 12 półtonów. Istotą badania było porównywanie par bodźców w celu ustalenia rankingu przyjemności ich brzmienia – od 1 (najmniej przyjemny) do 13 (najbardziej przyjemny).

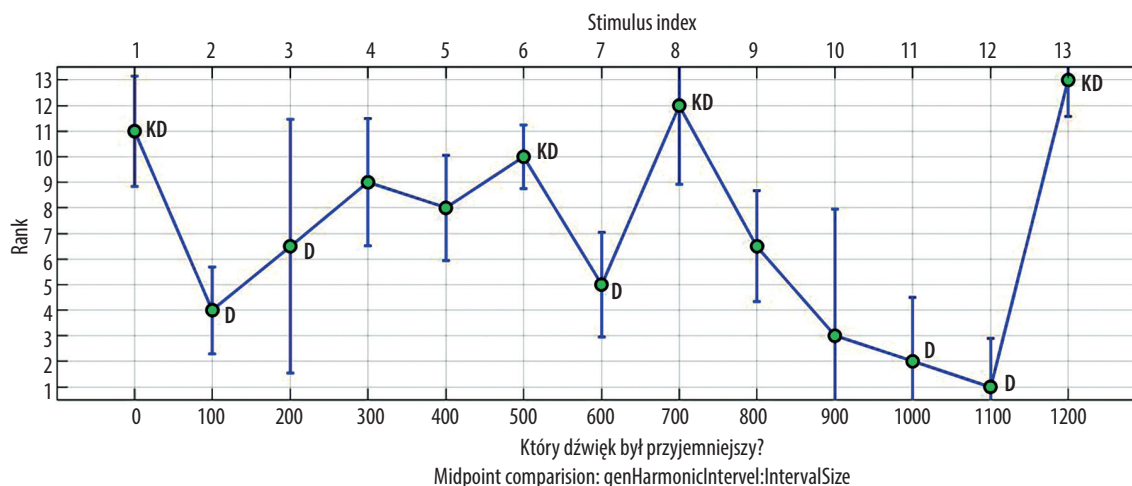
Badanie przeprowadzono za zgodą Komisji Bioetycznej przy Instytucie Fizjologii i Patologii Słuchu w Warszawie nr: KB.IFPS 10/2024.

Wyniki

W uchu ze słuchem prawidłowym (**rycina 2**) interwały konsonansowe doskonale (pryma czyta, kwarta czysta, kwinta czysta, oktawa czysta) ocenione zostały jako najbardziej przyjemne i uzyskały pozycje w rankingu w zakresie 10–13. W tym samym uchu interwały dysonansowe uzyskały pozycje w zakresie od 1 do 6,5, czyli zostały ocenione jako zdecydowanie mniej przyjemne.

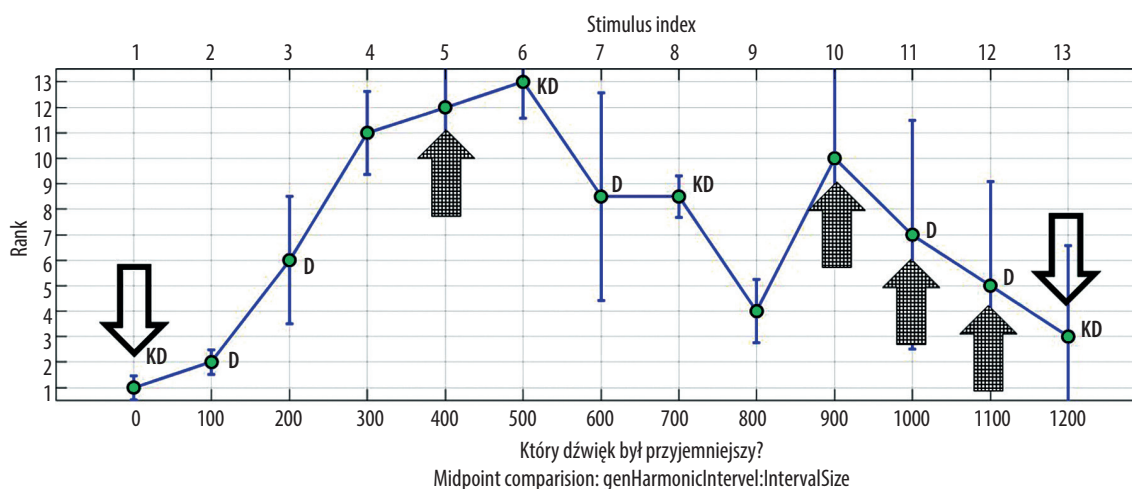
W uchu z CI wzór ocen interwałów harmonicznych przebiegał inaczej w porównaniu do ucha prawidłowo słyszącego. Najwyżej zostały ocenione: tercja mała, tercja wielka i kwarta czysta (w rankingu: pozycje 11–13), a najniżej: pryma czysta, sekunda mała i oktawa czysta (w rankingu: pozycje 1–3).

Interwały dysonansowe słyszane przez CI uzyskały w rankingu lepsze oceny niż w przypadku ucha prawidłowo słyszącego, za wyjątkiem sekundy małej i wielkiej. Septyma wielka, której brzmienie zostało ocenione jako najbardziej nieprzyjemne przez ucho prawidłowo słyszące (w rankingu: 1), uzyskała w uchu implantowanym pozycję 5. Jako najbardziej nieprzyjemny interwał słyszany w uchu zaimplantowanym została oceniona pryma czysta (w rankingu: 1), podczas gdy w uchu prawidłowo słyszącym – jako konsonans doskonały (w rankingu: 11). Największą różnicę w rankingu pomiędzy uchem prawidłowo słyszącym



Rycina 2. Wynik badania postrzegania brzmienia interwałów harmoniczych dla ucha prawidłowo słyszącego. Na osi pionowej wykresu wynikowego przedstawiono ranking ocen (od 1 do 13), natomiast dolna oś pozioma prezentuje liczbę półtonów (przemnożoną przez 100) między tonami składowymi bodźca. Górna oś pozioma obrazuje numer porządkowy interwału: od 1, oznaczającego prymę czystą (0 półtonów), do numeru 13, odpowiadającego oktawie czystej (12 półtonów). KD – konsonans doskonały, D – dysonans

Figure 2. Result of the harmonic intervals perception test for the normal-hearing ear. The vertical axis of the presented graph shows the ranking of ratings (from 1 to 13), while the lower horizontal axis presents the number of semitones (multiplied by 100) between the component tones of the stimulus. The upper horizontal axis shows the ordinal number of the interval: from 1, representing a perfect unison (0 semitones), to 13, corresponding to a perfect octave (12 semitones). KD – perfect consonance, D – dissonance



Rycina 3. Wynik badania postrzegania interwałów harmoniczych dla ucha zaimplantowanego; opis jak dla ryciny 2

Figure 3. Result of the harmonic intervals perception test for the implanted ear; description as in Figure 2

a zaimplantowanym uzyskano dla skrajnych interwałów, tj. prymy czystej i oktawy czystej. Dla konsonansów niedoskonałych, tj. tercji wielkiej i seksty wielkiej, pozycje w rankingu były wyższe niż w uchu prawidłowo słyszącym.

Na rycinie 3 przedstawiono wynik uzyskany w uchu zaimplantowanym. Wyróżniono interwały, w przypadku których wyniki oceny przyjemności brzmienia znacząco różnią się w rankingu od wyników uzyskanych w uchu prawidłowo słyszącym. Strzałki w dół wskazują przedziały ocenione znacząco gorzej w uchu zaimplantowanym niż w uchu z normą słuchu, a strzałki w górę – lepiej (różnica w rankingu równa lub większa niż 4 pozycje).

Dyskusja

Wynik badania postrzegania brzmienia interwałów muzycznych opisany w niniejszej pracy w uchu prawidłowo słyszącym wydaje się w większości zbliżony z wynikami prezentowanymi w literaturze przedmiotu [3,4]. Tworzy spójny wzorec postrzegania zarówno konsonansów, jak i dysonansów. Wynik dla ucha zaimplantowanego wykazuje wyraźne odstępstwa w postrzeganiu brzmienia interwałów harmoniczych od wyniku dla ucha prawidłowo słyszącego, co może być spowodowane wieloma czynnikami. Należy tu przede wszystkim rozważyć wpływ ograniczeń technologicznych CI, w tym ograniczoną rozdzielczość widmowo-czasową, jak również

czynniki osobnicze, takie jak: wiek w momencie implantacji, złącze elektroda-neuron, długość i położenie elektrody w ślimaku, neuroplastyczność i in. Wskazówki widmowe nie wpływają tak silnie na ocenę interwałów podczas prezentacji bodźców do ucha z CI, jak interakcje obwiedni czasowej (np. dudnienie), które prawdopodobnie mają większy wpływ na postrzeganie dysonansu w słyszeniu elektrycznym [5].

Według wiedzy autorów w literaturze nie znajduje się jasnego stanowiska co do tego, czy użytkownicy CI są w stanie za pomocą słuchu elektrycznego jednoznacznie postrzegać interwały harmoniczne – dysonanse i konsonanse. Brockmeier i wsp. [11] podają, że użytkownicy CI byli w stanie rozróżniać akordy muzyczne, ale dyskryminacja była gorsza niż u słuchaczy prawidłowo słyszących. W grupie użytkowników CI ($N=31$) i osób prawidłowo słyszących ($N=67$) uzyskano znacząco różne wyniki w zakresie: rozróżniania wysokości dźwięku, melodii i akordów oraz wykrywania i identyfikacji instrumentów, jakkolwiek nie zaobserwowano znaczących różnic w wynikach w podtestach rozróżniania rytmu, oceny dysonansu i oceny emocji. Dodatkowo autorzy tego artykułu twierdzą, iż percepcja dysonansu zależy od kultury i doświadczenia muzycznego, ale potwierdzenie tej tezy wymaga przeprowadzenia większej liczby badań [11].

Z kolei Knobloch i wsp. [12] podają, że użytkownicy CI są w stanie rozróżniać akordy, a oceny preferencji wybranych akordów w ich badaniach były ogólnie podobne do ocen słuchaczy prawidłowo słyszących. W badaniach Spitzer i wsp. [5] analizowano przyjemność brzmienia dysonansów podawanych pacjentom z SSD z CI ($N=11$). Wyniki dla ucha z CI tych pacjentów porównano z wynikami uzyskanymi w uchu przeciwnym. Przyjemności brzmienia interwałów była oceniana w trzech warunkach: dla ucha prawidłowo słyszącego, dla ucha z CI i dla obojga uszu razem. W przypadku słuchania wyłącznie uchem prawidłowo słyszącym interwały sekunda mała, sekunda wielka i septyma wielka zostały ocenione jako najmniej przyjemne, natomiast tercja wielka, kwinta czysta i oktawa czysta zostały ocenione jako najbardziej przyjemne. Wyniki oceny w przypadku słuchania wyłącznie przez CI odbiegały od tych uzyskanych w uchu prawidłowo słyszącym i wykazywały mniejsze zróżnicowanie pod względem przyjemności (wzorzec był bardziej płaski). Badanie pokazało, że niektóre interwały konsekwentnie były odbierane jako mniej przyjemne niż inne. Wyniki badania Spitzer były podobne w testach dla ucha prawidłowo słyszącego oraz obuusnie, a oceny – wiarygodne dla najmniej i najbardziej przyjemnych interwałów [5]. Przytoczone wyniki wykazały, że różnicowanie interwałów harmonicznych za pomocą słuchu elektrycznego jest możliwe.

W prezentowanym przez nas przypadku wzorzec dla ucha zaimplantowanego wygląda inaczej niż dla ucha prawidłowo słyszącego. Pacjentka w pewnym stopniu odmiennie postrzega interwały konsonansowe i dysonansowe. Efekt ten może być skutkiem kombinacji wielu czynników związanych m.in. z uwarunkowaniami anatomicznymi i technologią przetwarzania sygnału przez implant, w tym specyfiką rozprzysygu prądu w uchu wewnętrznym. Wydaje się również, że odniesienie do ucha prawidłowo

słyszącego u użytkowników CI z SSD daje lepszy wgląd w realne możliwości postrzegania interwałów przez osoby zaimplantowane niż odniesienie do osób prawidłowo słyszących, które mogą mieć różne doświadczenia muzyczne i sprawność procesów poznawczych, a także mogą odznaczać się zróżnicowanym słuchem muzycznym i in.

Wiele badań potwierdza, iż preferowanie konsonansów może być uwarunkowane szkoleniem muzycznym [1,3] oraz obyciem w muzyce zachodniej [13]. Doświadczenie muzyczne pozytywnie wpływa na zdolność odbioru i analizy muzyki, w tym również na rozpoznawanie interwałów czy struktur melodycznych. Jednak nawet osoby bez wykształcenia muzycznego, ale mające prawidłowy słuch osiągają w tego typu zadaniach wyniki lepsze od użytkowników implantów ślimakowych. Badania pokazują, że implantowani pacjenci jako grupa osiągają istotnie niższe wyniki w rozpoznawaniu melodii, szczególnie gdy pozbawieni są wsparcia w postaci rytmu czy słów piosenki. Główna przyczyna leży nie tyle w braku doświadczenia muzycznego, ile w technologicznych ograniczeniach samego implantu [8].

Ponadto, jak zauważają Gfeller i wsp. [14–16], zaawansowany wiek oraz długotrwała głuchota mogą negatywnie wpływać na zdolność rozpoznawania melodii – funkcję silnie związaną z rozpoznawaniem interwałów. W opisywanym przez nas przypadku okres deprywacji obejmował 14 lat, co stanowi dość długi czas w kontekście jedynie roku korzystania z systemu implantu. Fakt ten może sugerować, że korzystanie z implantu może w dalszej perspektywie pozytywnie wpłynąć na uzyskiwane wyniki. Pomimo dużych różnic w ocenach pomiędzy uchem z implantem a uchem prawidłowo słyszącym pacjentka na co dzień nie zgłasza problemów dotyczących brzmienia dźwięku oraz regularnie i długoczasowo korzysta z procesora mowy.

W celu uzyskania odpowiedzi na pytanie, jak wygląda wzorzec postrzegania interwałów muzycznych w słuchu elektrycznym, konieczna jest kontynuacja badań na większej grupie osób.

Wnioski

W prezentowanym przypadku użytkowniczki CI z SSD wzorzec percepcji interwałów muzycznych w uchu prawidłowo słyszącym wygląda podobnie do wzorca prezentowanego w literaturze, charakterystycznego dla osób ze słuchem w normie. Wynik uzyskany dla ucha zaimplantowanego odbiega od wzorca wyniku ucha prawidłowo słyszącego zarówno w odbiorze konsonansu, jak i dysonansu, co wymaga dalszych badań na większej grupie osób. Badania tego typu mogą być pomocne w pooperyacyjnej opiece nad pacjentami zaopatrzonymi w implanty ślimakowe.

Finansowanie

Praca powstała w wyniku realizacji projektu badawczego o nr 2024/ABM/03/KPO/KPOD.07.07-IW.07-0221/24-00 finansowanego przez Agencję Badań Medycznych z Krajowego Planu Odbudowy i Zwiększania Odporności.

Piśmiennictwo

1. Lee KM, Skoe E, Kraus N, Ashley R. Selective subcortical enhancement of musical intervals in musicians. *J Neurosci*, 2009; 29(18): 5832–40; <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.6133-08.2009>.
2. Golachowski S, Drobner M. Akustyka muzyczna. Warszawa: Polskie Wydawnictwo Muzyczne; 1953.
3. McDermott JH, Lehr AJ, Oxenham AJ. Individual differences reveal the basis of consonance. *Curr Biol*, 2010; 20(11): 1035–41; <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.04.019>.
4. Cousineau M, McDermott JH, Peretz I. The basis of musical consonance as revealed by congenital amusia. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2012; 109(48): 19858–63; <https://doi.org/10.1073/pnas.1207989109>.
5. Spitzer E, Landsberger D, Friedmann D, Galvin J. Pleasantness ratings for harmonic intervals with acoustic and electric hearing in unilaterally deaf cochlear implant patients. *Front Neurosci*, 2019; 13; 922. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00922>.
6. Shannon RV, Fu Q-J, Galvin J. The number of spectral channels required for speech recognition depends on the difficulty of the listening situation. *Acta Otolaryngol Suppl*, 2004; 552: 50–4; <https://doi.org/10.1080/03655230410017562>.
7. Galvin JJ, Fu Q-J, Nogaki G. Melodic contour identification by cochlear implant listeners. *Ear Hear*, 2007; 28(3): 302–19; <https://doi.org/10.1097/01.aud.0000261689.35445.20>.
8. Gfeller K, Turner C, Oleson J, Zhang X, Gantz B, Froman R i wsp. Accuracy of cochlear implant recipients on pitch perception, melody recognition, and speech reception in noise. *Ear Hear*, 2007; 28(3): 412–23; <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3180479318>.
9. Nimmons GL, Kang RS, Drennan WR, Longnion J, Ruffin C, Worman T i wsp. Clinical assessment of music perception in cochlear implant listeners. *Otol Neurotol*, 2008; 29(2): 149–55; <https://doi.org/10.1097/mao.0b013e31812f7244>.
10. Limb CJ, Roy AT. Technological, biological, and acoustical constraints to music perception in cochlear implant users. *Hear Res*, 2014; 308: 13–26; <https://doi.org/10.1016/j.heares.2013.04.009>.
11. Brockmeier SJ, Fitzgerald D, Searle O, Fitzgerald H, Grasmeyer M, Hilbig S i wsp. The music perception test: a novel battery for testing music perception of cochlear implant users. *Cochlear Implants Int*, 2011; 12(1): 10–20; <https://doi.org/10.1179/146701010X12677899497236>.
12. Knobloch M, Verhey JL, Ziese M, Nitschmann M, Arens C, Böckmann-Barthel M. Musical harmony in electric hearing. *Music Perception*, 2018; 36(1): 40–52; <https://doi.org/10.1525/mp.2018.36.1.40>.
13. McDermott JH, Schultz AF, Undurraga EA, Godoy RA. Indifference to dissonance in native Amazonians reveals cultural variation in music perception. *Nature*, 2016; 535(7613), 547–50; <https://doi.org/10.1038/nature18635>.
14. Gfeller K, Turner C, Mehr M, Woodworth G, Fearn R, Knutson JF i wsp. Recognition of familiar melodies by adult cochlear implant recipients and normal-hearing adults. *Cochlear Implants Int*, 2002; 3(1): 29–53; <https://doi.org/10.1179/cim.2002.3.1.29>.
15. Gfeller K, Witt S, Woodworth G, Mehr MA, Knutson J. Effects of frequency, instrumental family, and cochlear implant type on timbre recognition and appraisal. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2002; 111: 349–56; <https://doi.org/10.1177/000348940211100412>.
16. Gfeller K, Knutson JF, Woodworth G, Witt S, DeBus B. Timbral recognition and appraisal by adult cochlear implant users and normal-hearing adults. *J Am Acad Audiol*, 1998; 9(1): 1–19.

Lek. Weronika Martynowska, email: weronikamartynowska@gmail.com •  0009-0003-6403-6926
 Dr hab. n. med. i n. o zdr. Anna Ratuszniak, email: a.ratuszniak@ifps.org.pl •  0000-0001-6925-0460
 Prof. dr hab. inż. Artur Lorens, email: a.lorens@ifps.org.pl •  0000-0001-8618-7651