

# Ocena wpływu kształcenia muzycznego na lateralizację słuchową

## Evaluation of the impact of music education on auditory lateralisation

Patryk Jędrzejczyk<sup>1</sup>, Andrzej Wicher<sup>2</sup>, Emilia Tarnowska<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Wydział Psychologii i Kognitywistyki  
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

<sup>2</sup> Katedra Akustyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

### Streszczenie

Cel pracy: Celem pracy było określenie wpływu wieloletniego, formalnego wykształcenia muzycznego na lateralizację słuchową sygnału mowy oraz sygnału muzycznego. Zastosowanie w przeprowadzonych badaniach testów dychotycznych miało na celu sprawdzenie, czy kształcenie muzyczne polepsza przetwarzanie tych rodzajów sygnału w którejsz z półkul mózgowych.

Materiały i metody: Przeprowadzono trzy rodzaje testów dychotycznych. Test z wykorzystaniem sygnałów mowy składał się z prezentacji par wyrazów minimalnych, natomiast test zawierający akordy muzyczne przeprowadzony został przy użyciu brzmienia pianina MIDI oraz tonów. Aby określić wpływ uwagi słuchacza na otrzymane wyniki, każdy test wykonywany był trzy razy: przy uwadze niekierowanej oraz przy uwadze kierowanej na ucho lewe i prawe. W celu ewaluacji wpływu kształcenia muzycznego badania wykonano na grupie osób kształconych muzycznie oraz grupie kontrolnej. Wszyscy uczestnicy eksperymentu posiadali słuch prawidłowy, a ich wiek nie przekraczał 30 lat.

Wyniki i wnioski: Analiza wyników wykazała brak istotnego statystycznie, bezpośredniego wpływu kształcenia muzycznego na wartość współczynnika lateralizacji słuchowej LI (ang. Laterality Index). Różnice w lateralizacji między grupami pojawiły się jednak przy uwzględnieniu konkretnego warunku uwagowego oraz rodzaju zastosowanego sygnału. Przy uwadze kierowanej, wartości LI u muzyków osiągnęły silniej zlateralizowane wartości niż u niemuzyków. Niezależnie od grupy, sygnały mowy bardziej lateralizowały w kierunku ucha prawego, tony w kierunku ucha lewego, a pianino MIDI nie powodowało widocznej lateralizacji. Poprawność udzielania odpowiedzi była wyższa u muzyków w każdym warunku uwagowym i przy każdym rodzaju sygnału.

*Słowa kluczowe: testy dychotyczne, lateralizacja słuchowa, uwaga słuchowa, kształcenie muzyczne*

### Abstract

Objectives: The aim of this thesis was to evaluate an influence of a long-term, formal music education on auditory lateralisation of speech and music signals. The use of dichotic tests in this research aimed at an examination of an impact of music education on processing of both types of signal in hemispheres.

Materials and methods: There were carried three types of dichotic tests. The speech test consisted of presentations of minimal pairs whereas the music chords test was executed with the use of MIDI piano sound and pure tones. For attention impact to be assessed, each of the tests was repeated in three different conditions: non-forced attention and forced attention (to left and right ear). To evaluate an effect of musical education, the tests were conducted on two groups: musicians and nonmusicians. All subjects of the experiment had normal hearing and were no older than 30 years old.

Results and conclusions: Results show that there was not statistically significant, direct influence of music education on the value of LI (Laterality Index). However, LI differences between groups were statistically important under specific conditions: attention (non-forced/forced) or used signal type (speech/piano/tone). In the condition of forced attention, musicians LIs were more lateralised than those of nonmusicians. In both groups, speech signals lateralized more to the right ear, pure tones lateralized more to the left ear, whereas MIDI piano didn't show any relevant lateralisation. The overall accuracy was higher for musicians, regardless of attention condition and signal type.

*Key words: dichotic tests, auditory lateralization, auditory attention, music education*

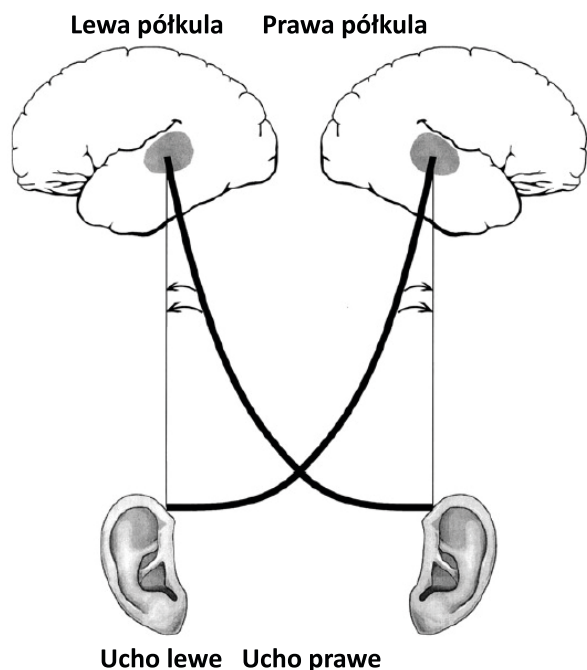
<sup>2</sup> e-mail: awaku@amu.edu.pl

## 1. Wprowadzenie

### 1.1. Lateralizacja słuchowa

Lateralizacja to zjawisko asymetrii w aktywacji poszczególnych obszarów kory mózgowej, zaangażowanych w przetwarzanie różnych rodzajów informacji. Najbardziej znanym rodzajem lateralizacji jest lateralizacja ruchowa, znana jako prawo- lub leworęczność. Innymi jej rodzajami jest również lateralizacja wzrokowa oraz słuchowa. Asymetria ta polega na tym, że podczas angażowania obu stron ciała (oburęczność, obuocność lub obuusność), w jednej z półkul mózgowych aktywowany jest większy obszar kory mózgowej. Takie efektywniejsze przetwarzanie w którejś z półkul skutkuje przewagą percepcyjną lub wykonawczą którejś strony ciała [1].

W przypadku słuchu, lateralizacja jest nierozzerwalnie związana z krzyżowaniem się dróg słuchowych (podobnie jak w przypadku wzroku z krzyżowaniem się dróg wzrokowych). Celem tego krzyżowania jest wymiana informacji dotyczących odbieranego sygnału między półkulami mózgu. Mechanizm ten odgrywa ważną rolę podczas lokalizacji źródła dźwięku, umożliwiając słyszenie przestrzenne [2]. Powiązanie lateralizacji słuchowej występującej na poziomie mózgu z konkretnym uchem jest możliwe dzięki przewodze dróg skrzyżowanych nad drogami bezpośrednimi. Włókna nerwowe biegnące od ślimaka ucha prawego do półkuli lewej przenoszą więcej impulsów nerwowych niż do półkuli prawej [3], co schematycznie obrazuje Rys. 1.



Rys. 1. Schematyczne przedstawienie krzyżowania się dróg słuchowych ucha lewego i prawego. Zaadaptowano z [1].

Zjawisko lateralizacji słuchowej nie istnieje jednak na tak dużym poziomie ogólności – asymetria może być prawo- lub lewostronna dla różnych rodzajów odbieranych sygnałów. Jednym z najważniejszych rodzajów dźwięków jest sygnał mowy. Jego przetwarzanie zachodzi w polu Wernickego [4,5]. Jednym z dowodów na lewostronną asymetrię tego obszaru podczas odbioru sygnału mowy jest zachowanie prawidłowego odbioru mowy przy uszkodzeniu w półkuli prawej i pogorszenie tej funkcji podczas uszkodzenia w półkuli lewej [6]. W związku z krzyżowaniem się dróg słuchowych, lewo- i prawopółkulowa lateralizacja tej funkcji oznacza, że to ucho prawe w większości odpowiada za percepcję i rozumienie sygnału mowy [7].

### 1.2. Wpływ kształcenia muzycznego na słyszenie

Kształcenie muzyczne to proces polegający na wykonywaniu wielu zadań związanych z wykonywaniem i słuchaniem muzyki. Osoby, które przechodzą tego typu edukację koncentrują się na odbiorze sygnału muzycznego w sposób aktywny i analityczny.

Cechy słyszenia, które poprawia kształcenie muzyczne, to między innymi:

- a) pamięć słuchowa [8],
- b) uwaga słuchowa [9],
- c) rozdzielczość częstotliwościowa [9],
- d) strumieniowanie percepcyjne [10],
- e) rozumienie mowy w szumie [11-13]

Konieczność analitycznego słuchania muzyki przez muzyków w dłuższym okresie skutkuje zmianami w anatomii ich mózgu [14]. Zmiany te widoczne są głównie w obszarach zaangażowanych w przetwarzanie sygnału akustycznego [14-17]. Skutkuje to sprawniejszą analizą sygnału akustycznego [14,17]. W praktyce oznacza to, że muzycy, poza posiadaniem umiejętności muzycznych, wkładają znacznie mniej wysiłku w wykonywanie zadań słuchowych [14].

W związku z tymi zmianami na poziomie mózgu, często badaną cechą osób kształconych muzycznie jest lateralizacja słuchowa. W tym celu przeprowadza się między innymi testy dychotyczne na grupie osób, które przeszły ten rodzaj kształcenia oraz grupie kontrolnej. Kształcenie muzyczne wpływa na wyniki tych testów, ale w sposób niejednoznaczny [18-20].

## 2. Materiały i metody

### 2.1. Grupa badana

W badaniach wzięły udział osoby ze słuchem prawidłowym, podzielone na dwie grupy: osoby kształcone muzycznie oraz osoby niekształcone w tym kierunku (grupa kontrolna). Osoby w grupie muzyków biorące udział w badaniach musiały spełnić następujące dodatkowe kryteria:

- a) zaczęły edukację muzyczną w wieku 10 lat lub wcześniej,

- b) ukończyły II. stopień szkoły muzycznej,
- c) nadal były aktywne muzycznie.

W grupie kontrolnej osoby musiały z kolei spełnić inne dodatkowe kryteria:

- a) nie przechodziły kształcenia muzycznego,
- b) nie były aktywne muzycznie w sposób nieformalny.

Wiek badanych wynosił  $18 \div 30$  lat. Najmłodsza zbadana osoba miała 20 lat, a najstarsza 30. Średnia wieku w grupie muzyków to  $22,50 \pm 1,57$  lat, a w grupie kontrolnej  $26,8 \pm 2,9$  lat. Całkowita liczba uczestników badania to 21 osób, w tym 11 muzyków (8 kobiet i 3 mężczyzn) i 10 niemuzyków (5 kobiet i 5 mężczyzn).

Jednorodność wyników badania psychoakustycznego ściśle zależy od stanu słuchu jego uczestników. Dlatego dodatkowym kryterium włączenia dla wszystkich badanych osób było uzyskanie wyników wskazujących na słuch prawidłowy w badaniach diagnostycznych wymienionych w podrozdziale 2.3.

## 2.2. Aparatura

Podczas przeprowadzania testów dychotycznych problemem może być występowanie przesłuchu międzuszynowego, który prowadzi do bezpośredniej (fizycznej) interakcji dźwięków dostarczanych do lewego i prawego ucha. Zastosowano więc słuchawki douszne Etymotic Insert Earphones ER-2 zakończone wkładkami termoplastycznymi, dopasowującymi się do kształtu przewodu słuchowego (widoczne na Rys. 2). Słuchawki te charakteryzują się dużą wartością tłumienia międzuszynowego, rzędu 70 dB.



Rys. 2. Słuchawki douszne Etymotic Insert Earphones ER-2 [21]

Do uzyskania odpowiedniego poziomu głośności konieczne było użycie wzmacniacza słuchawkowego Fostex PH-50. Źródłem sygnału był laptop Medion Eraser P7643 z kartą dźwiękową Realtek High Definition Audio. Wszystkie sygnały odtwarzane były na poziomie 65 dB SPL, czyli na poziomie komfortowego słyszenia. W celu jego uzyskania, przed rozpoczęciem eksperymentu skalibrowano zestaw pomiarowy, wykorzystując do tego sztuczną głowę Brüel & Kjær 4100D z modelami odwzorowującymi kształt i parametry przewodów słuchowych oraz opro-

gramowanie Brüel & Kjær PULSE Time Data Recorder v.12.6.0.255.

Każdy z uczestników badania przechodził wcześniej badania diagnostyczne. Audiometrię tonalną wykonano na audiometrze klinicznym Interacoustics AC40, wyposażonym w słuchawki TDH39. Audiometrię impedancyjną wykonano z użyciem tympanometru Interacoustics Titan oraz oprogramowania Otoaccess. Dodatkowo, wykonano pomiary otoemisji produktów zniekształceń nieliniowych – DPOAE (ang. Distortion Product Otoacoustic Emissions). Przeprowadzenie badań możliwe więc było również w pomieszczeniach o akustyce niekwalifikowanej, czyli niezaadaptowanych akustycznie. Testy wykonywano w pomieszczeniach odsłuchowych Katedry Akustyki oraz salach ćwiczeniowych Akademii Muzycznej w Poznaniu.

Wszystkie testy przeprowadzane były za pomocą oprogramowania przygotowanego w środowisku MATLAB v.R2015A. W celu wykonania testu słownego, skorzystano z gotowego skryptu napisanego w tym języku. Zawierał on listy słów z Nowych List Artykulacyjnych NLA-93 (wersja poprawiona z 2011 r.). Aby przeprowadzić test muzyczny, konieczne było napisanie autorskiego skryptu, również w języku MATLAB. W tym samym programie wygenerowano tony używane jako jeden z rodzajów sygnału w teście muzycznym. Drugim rodzajem sygnału muzycznego było syntetyczne brzmienie pianina, zinstrumentowane za pomocą wtyczki FL Keys w programie typu DAW (ang. Digital Audio Workstation) – FL Studio v.10.0.09.

## 2.3. Badania diagnostyczne

Diagnostyczne kryteria włączenia do eksperymentu to:

- a) otoskopia: drożny przewód słuchowy, brak perforacji błony bębenkowej, widoczny refleks świetlny,
- b) audiometria tonalna: 500,1000,2000,4000 20 dB HL, progi słyszenia w zakresie częstotliwości  $125 \div 8\ 000$  Hz nieprzekraczające 25 dB HL,
- c) tympanometria: tympanogram typu A, przy częstotliwości tonu próbnego 226 Hz,
- d) pomiary sygnałów otoemisji akustycznych DPOAE: stosunek sygnału do szumu 6 dB, przy zakresie częstotliwości 500 – 10 000 Hz, stosunku częstotliwości tonów  $f_2/f_1=1,22$  oraz odpowiadających im poziomach 55/65 dB SPL.

## 2.4. Testy dychotyczne

W badaniach zastosowano testy dychotyczne, polegające na podawaniu różnych sygnałów do każdego z uszu. Jest to przeciwieństwem prezentacji diotycznej, w której obu usznie podaje się takie same sygnały. Oba sygnały prezentowane były jednocześnie, na tym samym poziomie głośności i miały taki sam czas trwania. Były to więc dwa konkurencyjne sygnały akustyczne i słuchacz nie mógł ocenić, który z nich pojawił się wcześniej, ani który był głośniejszy.

Przed rozpoczęciem badania słuchaczowi przedstawiany był sposób udzielania odpowiedzi:

- w teście werbalnym – wpisanie usłyszanych słów,
- w testach muzycznych – wskazanie odpowiedzi (wpisując jedną lub dwie cyfry przypisane do poszczególnych akordów).

Podczas badania wyróżniono trzy warunki uwagowe:

- uwaga niekierowana – możliwe było wpisanie dwóch odpowiedzi (dźwięku usłyszanego w uchu lewym lub prawym),
- uwaga kierowana na ucho prawe – możliwe było wpisanie jednej odpowiedzi dotyczącej sygnału usłyszanego w uchu prawym,
- uwaga kierowana na ucho lewe – możliwe było wpisanie jednej odpowiedzi dotyczącej sygnału usłyszanego w uchu lewym.

Testy zostały podzielone ze względu na rodzaj prezentowanych bodźców, tzn. na test słowny oraz dwa testy muzyczne. Wszystkie testy, przy danym warunku uwagowym, wykonywane były zaraz po sobie, testy muzyczne następowały po teście słownym. Na każdy z testów składały się łącznie 4 próby, po 10 prezentacji danego bodźca każda. Każdy test przeprowadzono trzykrotnie, przy różnych warunkach uwagowych, tj. przy uwadze niekierowanej oraz kierowanej odpowiednio na ucho prawe i lewe. Łączna liczba prezentacji dla każdej osoby wynosiła więc: 3 (rodzaje sygnałów) x 3 (warunki uwagowe) x 4 (liczba prób) x 10 (liczba prezentacji w próbie) = 360.

Wynikiem każdej próby przeprowadzonych testów dychotycznych był wskaźnik lateralizacji słuchowej LI (ang. Laterality Index), gdzie:

P – liczba poprawnych odpowiedzi w uchu prawym

L – liczba poprawnych odpowiedzi w uchu lewym

Wskaźnik ten przyjmuje wartości z przedziału. Wartość oznacza całkowitą przewagę ucha lewego LEA (ang. Left Ear Advantage), czyli większą efektywność przetwarzania sygnału w półkuli prawej. Wartość oznacza całkowitą przewagę ucha prawego REA (ang. Right Ear Advantage), czyli lepsze przetwarzanie sygnału w półkuli lewej. Wartość 0 oznacza, że żadne z uszu nie wykazało przewagi w danym teście dychotycznym. W takim przypadku, dany rodzaj bodźca przetwarzany jest tak samo efektywnie przez obie półkule.

#### 2.4.1. Test słowny

Test słowny zawierał pary słów minimalnych, czyli takich, które różnią się jednym fonemem, np. wada-wata, klon-klon. Podczas każdej kolejnej prezentacji odtwarzane były jednocześnie dwa różne słowa, oddzielnie, po jednym do każdego z uszu. Instrukcja udzielania odpowiedzi przez osobę badaną różniła się w zależności od danego warunku uwagowego. Przy uwadze niekierowanej zadaniem słuchacza było wpisanie jednego lub dwóch słów, które

udało mu się rozpoznać. Przy uwadze kierowanej możliwe było wpisanie tylko jednego słowa po stronie lewej lub prawej, odpowiednio do badanej strony.

#### 2.4.2. Test muzyczny

W teście muzycznym wykorzystano dychotycznie prezentowane akordy, odtwarzane po melodii wprowadzającej. Najpierw napisanych zostało osiem melodii w różnych tonacjach do trzech znaków przykluczowych. Następnie do każdej z melodii przyporządkowane zostały cztery różne akordy w danej tonacji. Akordy zbudowane zostały na poszczególnych stopniach skali każdej z zastosowanych tonacji i były to różne formy toniki, subdominanty oraz dominanty.

Przykładową melodię wprowadzającą wraz z jej czterema możliwymi rozwiązaniami w postaci akordów pokazuje Rys. 3.



Rys. 3. Melodia wprowadzająca w tonacji C-dur i przyporządkowane do niej cztery możliwe akordy.

Sygnały muzyczne odtwarzane były w następującej kolejności:

- diotycznie – melodia wprowadzająca do tonacji,
- 500 ms ciszy (sygnalizującej odtworzenie akordów),
- dychotycznie – dwa różne akordy o czasie trwania 1 s, z czterech możliwych w danej tonacji,
- 1 s ciszy (sygnalizującej prezentację możliwych odpowiedzi),
- diotycznie – prezentacja możliwych odpowiedzi, czyli cztery akordy w danej tonacji odtwarzane kolejno po sobie, o długości 1 s każdy.

Podobnie jak w teście słownym, sposób udzielania odpowiedzi przez osobę badaną różnił się w zależności od danego warunku uwagowego. Przy uwadze niekierowanej zadaniem słuchacza było wpisanie jednej lub dwóch cyfr, przyporządkowanych odpowiednim akordom z prezentacji odpowiedzi. Przy uwadze kierowanej możliwe było wpisanie tylko jednej cyfry.

Przed rozpoczęciem właściwych testów, badani zapoznawali się z konstrukcją testu za pomocą skryptu do nauki. Skrypt ten zmodyfikowany został tak, aby ułatwić wykonanie testu i w tym celu wszystkie sygnały odtwarzane były diotycznie. Umożliwiało to osłuchanie się z możliwymi melodiami, ich zakończeniami w postaci akordów oraz zaznajomienie się ze sposobem udzielania odpowiedzi.

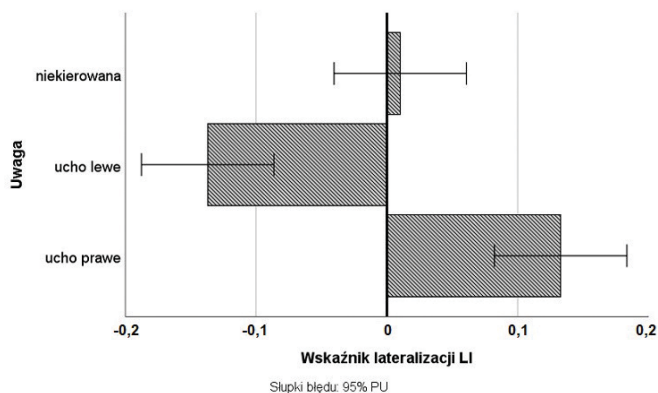
Test muzyczny przeprowadzany był dwukrotnie. Najpierw badani wykonywali test z użyciem syntetycznych dźwięków pianina MIDI, a zaraz potem kolejny test z użyciem tonów.

W teście z użyciem tonów konieczne było zastosowanie szumu TEN (ang. Threshold-Equalizing Noise) na poziomie 15 dB poniżej poziomu sygnału, w celu zamaskowania zniekształceń nieliniowych powstających w ślimaku ucha wewnętrznego.

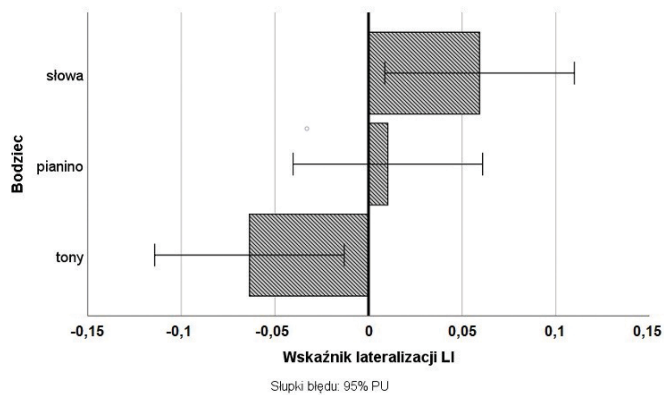
### 3. Wyniki

Wszystkie analizy statystyczne wykonano w programie IBM SPSS v.25. Czynniki, według których przeprowadzono analizy to: grupa badanych, warunek uwagowy oraz rodzaj użytego sygnału.

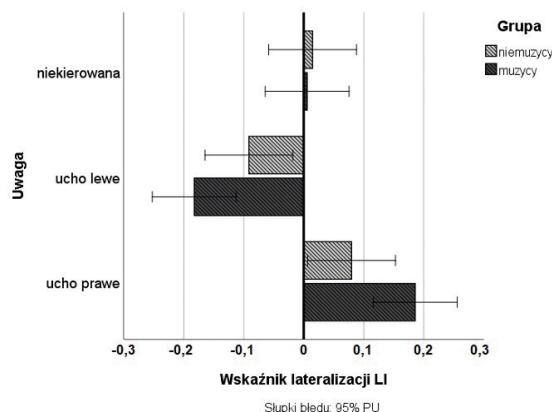
Aby określić różnice w lateralizacji słuchowej między muzykami a niemuzycami, porównano wartości wskaźników lateralizacji LI między tymi grupami. Wykonano wieloczynnikową analizę wariancji ANOVA, przyjmując poziom istotności statystycznej  $p \leq 0.05$ . Rysunki 4 ÷ 8 dotyczą analiz wyników badań, dla których stwierdzono istotny statystycznie wpływ czynników na wartości LI. Warto zauważyć, że stwierdzono istotny wpływ czynników, mimo niskich wartości LI. Szerokość słupków błędów obrazuje stosunkowo duży rozrzut wyników, typowy dla testów dychotycznych. Na Rys. 4 i Rys. 5 zamieszczono odpowiednio wpływ czynnika „Uwaga” oraz czynnika „Bodziec” na wartości LI. Rys. 6. obrazuje wartości wskaźnika LI w poszczególnych warunkach uwagowych z uwzględnieniem podziału na grupę muzyków i niemuzyków. Muzycy osiągnęli tu bardziej zlateralizowane wartości LI w porównaniu do grupy kontrolnej (niemuzyków), co najprawdopodobniej wiąże się z ich lepszą umiejętnością kierowania uwagi słuchowej.



Rys. 4. Wartości średnie wskaźników lateralizacji LI dla wszystkich uczestników eksperymentu, w poszczególnych warunkach uwagowych. Słupki błędów oznaczają 95%-owy przedział ufności.

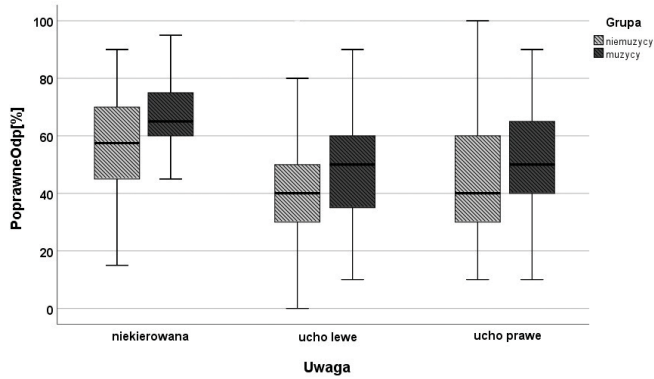


Rys. 5. Wartości średnie wskaźników lateralizacji LI dla wszystkich uczestników eksperymentu, względem rodzaju zastosowanego bodźca. Słupki błędów oznaczają 95%-owy przedział ufności.

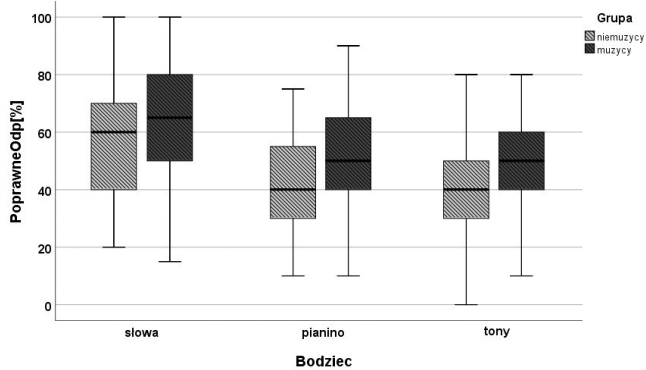


Rys. 6. Wartości średnie wskaźników lateralizacji LI w grupie muzyków i niemuzyków, w poszczególnych warunkach uwagowych. Słupki błędów oznaczają 95%-owy przedział ufności.

Drugą miarą określającą różnice międzygrupowe jest procent poprawnych odpowiedzi udzielonych przez słuchaczy. Poszczególne zależności przedstawione zostały w formie wykresów pudełkowych. Na Rys. 7 widoczny jest mniejszy procent poprawnych odpowiedzi udzielanych przy uwadze kierowanej (dla obu grup). Wynik ten odzwierciedla trudność w odseparowaniu sygnału dychotycznego po konkretnej stronie. Różnicę w trudności odgadywania słów i akordów pokazuje Rys. 8. Co ciekawe, dla muzyków słowa również były łatwiejsze do rozpoznania. Na Rys. 7 i Rys. 8 można zauważyć, że muzycy, w porównaniu do grupy kontrolnej, poprawnie rozpoznają wszystkie sygnały prezentowane dychotycznie. Różnica ta pojawia się w każdym warunku uwagowym i dla każdego rodzaju sygnału. Większe różnice międzygrupowe widoczne są przy zastosowaniu sygnałów muzycznych (Rys. 8), co świadczyć może o trafności zastosowanego testu muzycznego.



Rys. 7. Procent poprawnych odpowiedzi w grupie muzyków i niemuzyków, w poszczególnych warunkach uwagowych. Pogrubione, poziome linie to wartości median, a dolne i górne słupki to wartości skrajne.



Rys. 8. Procent poprawnych odpowiedzi w grupie muzyków i niemuzyków, względem rodzaju zastosowanego bodźca. Pogrubione, poziome linie to wartości median, a dolne i górne słupki to wartości skrajne.

#### 4. Dyskusja i wnioski

Celem pracy było określenie wpływu kształcenia muzycznego na lateralizację słuchową. Cechą słyszenia, badaną pod kątem wykształcenia muzycznego była tutaj lateralizacja słuchowa, czyli specjalizacja półkul mózgowych w przetwarzaniu określonego typu sygnału akustycznego. Zastosowanie w przeprowadzonych badaniach testów dychotycznych miało na celu określenie, czy kształcenie muzyczne zmienia w jakiś istotny sposób przetwarzanie danego rodzaju sygnału akustycznego przez półkule mózgowie.

Wiele wniosków z literatury przedmiotu [15, 18, 22 ÷ 26] wskazuje na to, że osoby kształcone muzycznie w odmienny sposób odbierają sygnały muzyczne i niemuzyczne prezentowane dychotycznie. Obliczany w testach wskaźnik lateralizacji LI osiągał u nich wyższe wartości niż w grupie kontrolnej (niemuzyków). W związku z tego typu

wynikami przypuszczano, że wartość wskaźnika lateralizacji LI będzie różna u muzyków i niemuzyków, a konkretniej, że będzie ona wyższa u muzyków. Inaczej mówiąc, zakładano, że muzycy osiągną większe REA (ang. Right Ear Advantage), czyli przewagę ucha prawego w testach dychotycznych.

Główne wnioski z przeprowadzonych badań są następujące:

Wartości współczynnika lateralizacji LI nie różnią się istotnie statystycznie między grupą muzyków a niemuzyków, uśredniając wyniki po wszystkich warunkach uwagowych oraz po wszystkich rodzajach sygnałów.

Na wartości LI istotny wpływ miała uwaga słuchaczy. Przy uwadze niekierowanej zaobserwowano brak lateralizacji, a przy uwadze kierowanej na ucho lewe i prawe – lateralizację ujemną i dodatnią, odpowiednio do badanej strony.

Różnice w lateralizacji między grupami pojawiają się przy uwzględnieniu konkretnego warunku uwagowego. Podczas uwagi kierowanej, muzycy osiągają bardziej zlateralizowane wartości LI niż niemuzycy, co może świadczyć o lepszej umiejętności kierowania uwagi słuchowej u muzyków.

Lateralizacja różni się w zależności od danego rodzaju sygnału. Średni współczynnik lateralizacji LI przyjął wartości dodatnie dla sygnału mowy, wartości ujemne dla tonów, a dla syntetycznego brzmienia pianina MIDI jego wartości były bliskie zero.

Poprawność udzielania odpowiedzi różni się między grupami w każdym warunku uwagowym i przy każdym rodzaju sygnału. Muzycy w każdym przypadku poprawniej rozpoznawali wszystkie sygnały dychotyczne.

Wnioski płynące z wyników badań zamieszczonych w niniejszej pracy mogą stanowić pewne wskazówki co do sposobu protezowania słuchu. W pracy potwierdzono przewagę prawego ucha w procesie przetwarzania dźwięków mowy. Zatem w procesie dopasowania aparatów słuchowych należy w szczególny sposób uwzględnić ucho prawe, szczególnie jeśli istnieją wątpliwości, co do aparatowania tego ucha, np. ze względów finansowych, a nie bezpośrednio wynikających z procedur dopasowania.

#### Bibliografia

1. Kimura D.: From ear to brain, Brain and Cognition, 2011, 76(2), 214-217.
2. Ress A., Palmer A.: The Oxford handbook of auditory science: the auditory brain, Oxford University Press, 2012.
3. Paolini A., Fitzgerald J., Burkitt A., Clark G.: Temporal processing from the auditory nerve to the medial nucleus of the trapezoid body in the rat, Hearing Research, 2001, 159(1-2), 101-116.
4. Caplan D.: Why is Broca's area involved in syntax?, Cortex, 2006, 42(4), 469-471.

5. Binder J., Frost J., Hammeke T., Cox R., Rao S., Prieto T.: Human brain language areas identified by functional magnetic resonance imaging, *The Journal of Neuroscience*, 1997, 17(1), 353-362.
6. Foundas A., Leonard C., Gilmore R., Fennell E., Heilman K.: Planum temporale asymmetry and language dominance, *Neuropsychologia*, 1994, 32(10), 1225-1231.
7. Rosenzweig M.: Representations of the two ears at the auditory cortex, *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 1951, 167(1), 147-158.
8. Cohen M., Evans K., Horowitz T., Wolfe J.: Auditory and visual memory in musicians and nonmusicians, *Psychonomic Bulletin & Review*, 2011, 18(3), 586-591.
9. Strait D., Kraus N., Parbery-Clark A., Ashley R.: Musical experience shapes top-down auditory mechanisms: evidence from masking and auditory attention performance, *Hearing Research*, 2010, 261(1-2), 22-29.
10. Rosiński A.: Łączenie dźwięków w strumieniu percepcyjnym: badanie porównawcze muzyków i osób niebędących muzykami, rozprawa doktorska, Uniwersytet Muzyczny Fryderyka Chopina, 2016.
11. Slater J., Skoe E., Strait D., O'Connell S., Thompson E., Kraus N.: Music training improves speech-in-noise perception: longitudinal evidence from a community-based music program, *Behavioural Brain Research*, 2015, 291, 244-252.
12. Parbery-Clark A., Skoe E., Lam C., Kraus N.: Musician enhancement for speech-in-noise, *Ear and Hearing*, 2009, 30(6), 653-661.
13. Strait D., Parbery-Clark A., Hittner E., Kraus N.: Musical training during early childhood enhances the neural encoding of speech in noise, *Brain and Language*, 2012, 123(3), 191-201.
14. Meyer M., Elmer S., Jäncke L.: Musical expertise induces neuroplasticity of the planum temporale, *Annals of The New York Academy of Sciences*, 2012, 1252(1), 116-123.
15. Schlaug G., Jancke L., Huang Y., Steinmetz H.: In vivo evidence of structural brain asymmetry in musicians, *Science*, 1995, 267(5198), 699-701.
16. Gaser C., Schlaug G.: Brain structures differ between musicians and non-musicians, *The Journal of Neuroscience*, 2003, 23(27), 9240-9245.
17. Ohnishi T., Matsuda H., Asada T., Aruga M., Hirakata M., Nishikawa M., Katoh A., Imabayashi E.: Functional anatomy of musical perception in musicians, *Cerebral Cortex*, 2001, 11(8), 754-760.
18. Johnson P.: Dichotically-stimulated ear differences in musicians and nonmusicians, *Cortex*, 1977, 13(4), 385-389.
19. Zatorre R.: Recognition of dichotic melodies by musicians and nonmusicians, *Neuropsychologia*, 1979, 17(6), 607-617.
20. Gordon H.: Hemispheric asymmetry for dichotically-presented chords in musicians and non-musicians, males and females, *Acta Psychologica*, 1978, 42(5), 383-395.
21. <https://www.etymotic.com/auditory-research/insert-earphones-for-research/er2.html>.
22. Špajdel M., Jariabková K., Riečanský I.: The influence of musical experience on lateralisation of auditory processing, *Laterality*, 2007, 12(6), 487-499.
23. Branucci A., di Nuzzo M., Tommasi L.: Opposite hemispheric asymmetries for pitch identification in absolute pitch and non-absolute pitch musicians, *Neuropsychologia*, 2009, 47(13), 2937-2941.
24. Deutsch D.: Absolute pitch, *The Psychology of Music*, 2013, 141-182.
25. Messerli P., Pegna A., Sordet N.: Hemispheric dominance for melody recognition in musicians and non-musicians, *Neuropsychologia*, 1995, 33(4), 395-405.
26. Bever T., Chiarello R.: Cerebral dominance in musicians and nonmusicians, *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 2009, 21(1), 94-97.