Colloquium 1(57)/2025
ISSN 2081-3813, e-ISSN 2658-0365
CC BY-NC-ND.4.0
DOI: http://doi.org/10.34813/07coll2025

POMIARY EEG OBRAZUJĄCE FALE MÓZGOWE PODCZAS ŚPIEWANIA

EEG imaging of brain waves during singing

Ewa Zwolińska
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
w Bydgoszczy
e-mail: ewazwol@ukw.edu.pl
ORCID 0000-0002-4256-0319

Tadeusz Pracki
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
w Bydgoszczy
e-mail: prackie@wp.pl
ORCID 0000-0001-8056-5703

Paweł A. Trzos
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
w Bydgoszczy
e-mail: ptrzos@ukw.edu.pl
ORCID 0000-0002-9015-4665

Streszczenie

Pomiary EEG mogą być źródłem inspiracji dla studiów z edukacji muzycznej. W niniejszym artykule analizowano strukturalne cechy muzyki, które są jednoznacznie podobne w wykonaniach jedenastu osób. Wszyscy wykonywali tę samą melodię trzy razy: pełnym głosem, mormorando i w myślach, w tej samej kolejności. W trakcie śpiewania rejestrowano czynność fal mózgowych, które odpowiadają za różne umysłowe aktywności i na tej podstawie przy użyciu szybkiej transformaty Fouriera (FFT) obliczano widmo mocy sygnału EEG poszczególnych fal. Chodziło o wykazanie znaczenia uzyskanej wiedzy w procesie uczenia się muzyki poprzez audiację. Jest wiele pytań badawczych związanych z rozwojem języka muzycznego, które mają kluczowe znaczenie, a wśród nich: kwestia cech charakterystycznych dla muzyki, poszukiwanie źródeł generatywności muzycznej czy istnienie okresów krytycznych w rozwoju muzycznym. Ujawnione ustalenia sugerują, że zastosowana perspektywa pozwala na lepsze zrozumienie muzykalności człowieka.

Słowa kluczowe: elektroencefalografia, fale mózgowe, słuch, śpiewanie, audiacja.

Abstract

EEG evaluation showing the bioelectrical activity of the brain while singing a melody can be a source of inspiration for studies in music education. This article analyzes the structural features of music that are unequivocally similar when performed by eleven people. They all sang the same melody three times: full voice, mormorando, mentally, in the same order. While singing, the activity of brain waves, which are

responsible for various mental activities, was recorded, and on this basis, the power spectrum of the EEG signal of individual waves was calculated using the Fast Fourier Transform (FFT). It was about demonstrating the importance of the acquired knowledge in the process of learning music through audio. There are many research questions related to the development of musical language that are of key importance, including: the issue of the characteristics of music, the search for sources of musical generativity, and the existence of critical periods in musical development. The disclosed findings suggest that the applied perspective allows for a better understanding of human musicality.

Keywords: electroencephalography, brain waves, hearing, singing, audio.

Wprowadzenie

Sygnał elektroencefalograficzny jest wskaźnikiem elektrycznym generowanym przez człowieka, charakteryzującym się znaczną złożonością, niską amplitudą, dużą różnorodnością osobniczą, a także zależnością od wieku i stanu psychofizjologicznego badanych osób. Są to czynniki utrudniające opis zależności pomiędzy tym, co można zaobserwować na zewnątrz w postaci sygnału elektrycznego a tym, co dzieje się w mózgu (Pfurtsheller i Lopez da Silva, 1999; Pfurtscheller i Neuper, 1997). Postanowiono sprawdzić, czy zastosowanie EEG – nieinwazyjnego badania czynności bioelektrycznej mózgu może być użyteczne w różnicowaniu jakości śpiewania, w sytuacji znacznego uproszczenia poziomu bezpośredniej komunikacji z otoczeniem pomiędzy człowiekiem a urządzeniem (Dudek, 2003; Wolpaw i in., 2004).

Endogenne potencjały wywołane (EP, *evoked potentials*) są wyrazem bioelektrycznej aktywności neuronów kory mózgowej, związanej z procesami przetwarzania informacji, stymulowanymi bodźcami wzrokowymi, słuchowymi lub somatosensorycznymi, przebiegającymi z udziałem struktur korowych i podkorowych (Chappa, 1997; Majkowski, 1989; Schmidt, 1993). Potencjały endogenne związane z wydarzeniami poznawczymi (*cognitive event related potentials*), do których rejestracji wykorzystuje się bodźce słuchowe zależne od czynników psychoneurologicznych oraz sprawności procesów przetwarzania informacji. Potencjały te wyrażają emocjonalną bądź intelektualną reakcję na bodziec dźwiękowy (Maciejewska i in., 2006). Uznano, że odpowiednie i umiejętne rozpoznanie sygnałów myślowych w badaniach dotyczących aktywności muzycznej będzie nieocenioną pomocą, jeżeli umożliwi uzyskanie danych, które w odniesieniu do osób badanych zasugerują związek między jakością śpiewania a poziomem zdolności muzycznych.

Celem tego artykułu jest przeanalizowanie czynności bioelektrycznej mózgu na podstawie aktywności komórek nerwowych kory mózgowej badanych osób podczas śpiewania melodii, które mają różne formalne wykształcenie muzyczne. Badania w tym obszarze są ważne dla rozważań dotyczących percepcji, pamięci, emocji czy aktywności, ponieważ skupiają uwagę na zdolnościach muzycznych wspólnych dla muzyków i amatorów. Informacje na ten temat, przydatne dla nauczycieli muzyki, są dostępne w kilku kompendiach (Mithen, 2006; Patel, 2008; Peretz i Zatorre, 2005).

Ponieważ sposób przetwarzania muzyki jest uwarunkowany wcześniejszymi doświadczeniami muzycznymi (Münte i in., 2002), ciekawymi obiektami badań stają się mózgi osób wykształconych muzycznie. Ponadto aktywność różnorodnych obszarów mózgu może się zmieniać także w zależności od tego np., na jakim elemencie w strukturze muzycznej skupia się sam słuchacz i wykonawca (Koelsch i Friederici, 2003).

Zakłada się, że lewa półkula przetwarza podstawowe elementy utworu muzycznego, takie jak interwały oraz rytm, natomiast prawa rozpoznaje cechy holistyczne, np. metrum oraz kontur melodyczny (Peretz, 1990). Inne badania sugerują, że muzycy i osoby nieposiadające formalnego wykształcenia w tym zakresie stosują różne strategie lateralizacji bodźców melodycznych. U osób bez specjalistycznego wykształcenia podczas percepcji harmonii odnotowano opóźnioną, ale wyraźną czynnościową asymetrię ciała ludzkiego, wyrażającą się większą sprawnością narządów położonych w prawej półkuli, zaś u muzyków asymetria ta przejawiała się uważnym sposobem słuchania przyczyniającym się do lateralizacji lewej półkuli. Na podstawie badań kilkoma metodami neurofizjologicznymi i neuroobrazowymi stwierdzono, że w przypadku osób nieposiadających wykształcenia muzycznego w percepcji muzyki dominuje półkula prawa, natomiast u profesjonalnych muzyków możliwa jest przewaga lewej. Zaznaczono jednak, że uzyskane wyniki nie są spójne (Evers i in., 1999).

Zauważoną zależność komplikuje jednak fakt, iż pewne elementy strukturalne muzyki, jak chociażby rytm, przetwarza nie tylko lewa, ale także prawa półkula mózgu (Popescu i in., 2004). W czasie porównywania dźwięków o różnych wysokościach zaobserwowano u osób bez wykształcenia muzycznego aktywność okolic prawego płata czołowego oraz górnego zakrętu skroniowego tej samej półkuli, a u profesjonalnych muzyków wykazano zwiększoną aktywność lewej półkuli mózgu (Altenmüller, 1989). W badaniach wykazano także, że przetwarzanie składni w języku i muzyce opiera się na nakładających się zasobach neuronalnych. Zgromadzone dane sugerują, że mechanizmy neurofizjologiczne leżące u podstaw przetwarzania składni w muzyce i języku rozwijają się wcześniej i silniej u dzieci z wykształceniem muzycznym (Jentschke i Koelsch, 2009).

Na podstawie badań neuropsychologicznych przypuszcza się, że muzyczne poznanie zależy od innych typów umysłowych procesów. Współczesne empiryczne dowody opierają się na badaniach neurologicznych pacjentów z lokalnymi uszkodzeniami mózgu, a ich wyniki sugerują, że inteligencja społeczna jest odmienna od inteligencji poznawczej (Gallagher i Fritz, 2003). Badania związane z percepcją muzyki dotyczące osób z uszkodzeniami mózgu negują twierdzenie, że rozpoznawanie mowy i muzyki znajduje się w jednym systemie przetwarzania. Z tego wynika, że istnieją co najmniej dwa moduły przetwarzania dźwięków – jeden dla mowy, a drugi dla muzyki (Peretz i Hyde, 2003, s. 362–367).

Jednym z najbogatszych źródeł informacji o tym, jak muzyka jest w mózgu przetwarzana, są badania dotyczące umiejętności śpiewania, ale niestety rzadko podejmowane. Kluczowych informacji na ten temat dostarczyła analiza śpiewu pacjentów z uszkodzeniem mózgu w odniesieniu do autonomii przetwarzania muzyki w stosunku do języka. Skupiając się na percepcji i pamięci tekstu oraz melodii w piosenkach, odróżniono tekst słowny od linii melodycznej. Przedstawiono przypadek z zaburzoną mową, nacechowaną błędami fonemicznymi (fonologicznymi) i jąkaniem, gdzie występowały problemy z nauką systemu dźwiękowego języka, polegające na nierozpoznawaniu znaczenia kontrastów dźwiękowych. Produkcja muzyczna przebiegała jednak bez zakłóceń. Okazało się, że śpiewanie bez tekstu było muzycznie poprawne, co sugeruje, że produkcja werbalna, zarówno mówiona, jak i śpiewana, jest mediowana przez ten sam (upośledzony) system wyjściowy języka i że ta ścieżka mowy różni się od (oszczędzonej) ścieżki melodycznej. Przedstawione wyniki badań wskazują, że autonomia przetwarzania muzyki i języka rozciąga się na zadania produkcyjne (Peretz i in., 2004).

W niniejszych badaniach zarejestrowano funkcjonowanie półkul mózgowych jedenastu osób śpiewających tę samą melodię na neutralnej sylabie. Badania miały charakter wstępny. Chodziło o identyfikację właściwości wykonania konkretnej melodii pod względem wysokości dźwięków i ich czasu trwania. Ponadto szczególną uwagę zwrócono na ujawnione niepoprawne lub nieprecyzyjne śpiewanie w odniesieniu do poziomu umiejętności audiacyjnych określonych odpowiednim testem. Aby wyjaśnić główne mechanizmy funkcjonalne umożliwiające sprawne śpiewanie, skupiono się na oszacowaniu fal mózgowych badanych osób przy zastosowaniu zadania polegającego na wykonaniu linii melodycznej na neutralnej sylabie. Uzyskane wyniki mogą być związane z procesem rozwoju audiacji, w którym zachodzą istotne procesy poznawcze zaangażowane w interpretacje wokalne dźwięków. Model ten w swojej złożoności łączy w sobie komponenty percepcyjne, fizyczne, słuchowo-motorycznego mapowania oraz pamięciowe.

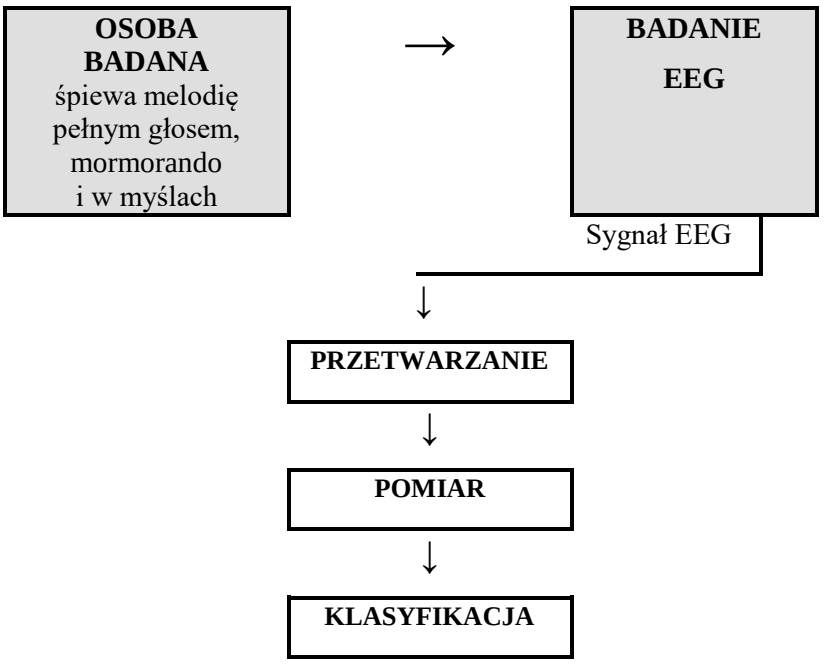
Do wykonania pomiarów przeprowadzonych prób eksperymentalnych, polegających na rejestrowaniu fal mózgowych podczas wykonania melodii głosem, mormorando i w myślach wykorzystano elektroencefalografię (EEG), czyli nieinwazyjną metodę diagnostyczną. Badanie polegało na odpowiednim rozmieszczeniu na powierzchni skóry czaszki elektrod, które rejestrowały zmiany potencjału (odprowadzenia jednobiegunowe) lub różnice w potencjale różnych części mózgu (odprowadzenie dwubiegunowe), które po odpowiednim wzmocnieniu tworzyły ich zapis – elektroencefalogram.

Materiały oraz metodyka badań

Główną przyczyną zainteresowania problematyką sygnałów elektroencefalograficznych (EEG) są potencjalne duże możliwości wykorzystania tej metody pomiaru

w procesie uczenia się muzyki poprzez audiację. Można sądzić, że dane otrzymane dzięki zastosowaniu tego urządzenia, poddane analizie, umożliwią zgromadzenie odpowiednich ilości informacji, które przyczynią się do usprawnienia i przyspieszenia wymiany muzycznych treści. Na komunikację wokalną składają się takie elementy jak: głośność, ton, tempo, trwałość, barwa, rytmiczność i cisza, uwzględnia się w niej zarówno operowanie głosem, jak i ruchy ciała oraz ekspresję twarzy. Traktowanie języka muzycznego jako systemu symboli uwrażliwia na problemy wynikające zesposobu posługiwania się motywami tonalnymi i rytmicznymi. Szczególnie przydatne jest to w stosunku do małych dzieci, które wymagają odpowiednich zewnętrznych oddziaływań, by nie tracić urodzeniowego potencjału zdolności. Współczesna technika pomiarowa stosowana w badaniach naukowych nie ingeruje bezpośrednio w ludzki organizm i pozwala na rejestrowanie czynności związanych z odpowiednią aktywnością mózgu człowieka poza jego bezpośrednim obszarem. Poniżej przedstawiono ogólny schemat przeprowadzonych badań z zastosowaniem elektroencefalografu jako urządzenia pomiarowego.

Rysunek 1
Ogólny schemat badania mózg-elektroencefalograf



Zdolności (*aptitude*) stanowią podstawę, bo są potencjałem, z którym się rodzimy, natomiast kompetencje (*ability*) to umiejętności, które zdobywamy w procesie uczenia się. Poziom zdolności muzycznych określono za pomocą dwóch narzędzi

stworzonych przez Edwina E. Gordona: testu Advanced Measures of Music Audiation w przypadku ośmiu osób dorosłych (Gordon, 1989) oraz audiacyjnej gry Am I Musical w odniesieniu do trzech dziewczynek (Gordon, 2003). Testy są obiektywną pomocą dla nauczyciela we wspieraniu danego ucznia, by jak najlepiej wykorzystał on swoje możliwości. Generalnie dużych osiągnięć można oczekiwać u osób, które osiągają wyniki od 80. centyla wzwyż, średnich, jeśli pomiar mieści się w granicach od 21. do 79. centyla, a niskich, jeżeli wynik jest na poziomie 20. centyla i niżej. Audiacyjna gra pozwala natomiast określić ogólny poziom potencjału muzycznego w pięciu zakresach na podstawie uzyskanych punktów: znakomity (36–40), bardzo dobry (31–35), przeciętny/średni (20–30), poniżej przeciętnej (15–19), niski (10–14).

Rysunek 2
Melodia śpiewana przez uczestników badania. Muzyka: Miłosz Gawryłkiewicz



Przeprowadzone doświadczenie polegało na trzykrotnym wykonaniu powyżej przedstawionej melodii przez każdą z jedenastu osób uczestniczących w badaniach. Wszyscy śpiewali w tych samych warunkach i w ustalonej kolejności po usłyszeniu sygnału określającego tempo wykonania linii melodycznej. Miało to na celu wyeliminowanie nałożenia się potencjału słuchowego, wywołanego usłyszanym poleceniem, na badaną aktywność sprowokowaną ruchem w trakcie śpiewania pełnym głosem, mormorando i w myślach. Polecenia następowały co 2 minuty, a zatem całkowity czas zarejestrowanego sygnału wynosił 6 minut. W celu maksymalnego odizolowania się od innych bodźców pomiary EEG wykonywano w osobnym pomieszczeniu przy sztucznym oświetleniu.

Zgodnie z przyjętą koncepcją badań zastosowano system rejestracji i analizy cyfrowej polisomnografu i EEG Somnosan Plus (Pracki i Pracka, 2004). Napięcie EEG pobierano z elektrod przyklejanych do głowy badanego z zastosowaniem przewodzącej pasty elektrodowej. Elektrody rozmieszczono zgodnie z systemem 10–20. Ponieważ osoby badane w czasie rejestracji śpiewały, wykonując ruchy głową, co

powodowało powstawanie artefaktów ruchowych w elektrodach przedczołowych i czołowych, zastosowano odprowadzenia unipolarne lewostronne (L) C3, P3, O1 i prawostronne (P) C4, P4, O2 względem elektrod odniesienia odpowiednio A2 i A1. Dla rejestrowanych sygnałów zastosowano filtry cyfrowe, pasmowo-przepustowe EEG o paśmie 0,2–50 Hz oraz filtr typu Notch wycinający częstotliwość sieci energetycznej 50 Hz. Czułość kanałów EEG ustawiono na 100 μV. Zastosowano częstotliwość próbkowania sygnału EEG o wartości 120 Hz. Dane rejestrowano i analizowano dla wszystkich kolejnych 30-sekundowych odcinków zapisu (składek). Przeprowadzono wizualną i komputerową analizę artefaktów, biorąc do dalszej analizy jedynie składki ich pozbawione (Pracki i Pracka, 2004).

Tak zapisane cyfrowe dane analizowano osobno dla każdego odprowadzenia przy użyciu algorytmu szybkiej transformaty Fouriera (Fast Fourier Transform) – FFT. Analizę prowadzono dla typowej rozdzielczości stosowanej w badaniach EEG – 0,2 Hz, dzieląc każdą 30-sekundową składkę zapisu na sześć pięciosekundowych odcinków. Dla każdych pięciu sekund stosowano filtrację wygładzającą przy użyciu okna Hanna (Pracki i in., 2009). Analizowano dane w paśmie częstotliwości 0,2–25,0 Hz w poszczególnych zakresach fal EEG: delta (0,2–3,6 Hz) , theta (3,8–7,6 Hz), alfa (7,8–12,0 Hz), sigma (12,2–14,0 Hz), beta (14,2–25,0 Hz) oraz w całym zakresie EEG (0,2–25,0 Hz). Uzyskane wyniki widma mocy sygnałów EEG uśredniano, przeliczając na typowe jednostki [μV^2/Hz] wyrażające moc sygnału EEG przypadającą na pasmo częstotliwości o szerokości 1 Hz. Porównano wyniki widma mocy EEG pomiędzy lewą i prawą stroną mózgowia, tzn. pomiędzy odpowiadającymi sobie odprowadzeniami C3 i C4; P3 i P4; O1 i O2 dla poszczególnych zakresów fal EEG.

Wykonując melodii,ę badani audiowali serie motywów, dzięki czemu rozumieli występujące między nimi relacje. Ustalenie syntaksy tonalnej wymaga odniesienia wysokości dźwięków i motywów do dźwięku końcowego, a w przypadku syntaksy rytmicznej ważna jest zależność wartości rytmicznych oraz motywów od makro- i mikrobitów. Brak umiejętności audiowania ze słuchu tego, co znajduje się w notacji, powoduje odbieranie zafałszowanego obrazu, bowiem notacja ma jedynie przypominać wyaudiowane wcześniej brzmienia. Stwierdzono, że nie bez znaczenia jest to, czy poprawność udzielanych odpowiedzi ocenia się od razu, czy po jakimś czasie. Osoby, które przed otrzymaniem informacji zwrotnej mają krótką przerwę, zachowują wiedzę również następnego dnia (Butler i in., 2007). Gdy testujemy jakieś rozwiązanie, a potem zastanawiamy się nad nim, to tworzymy jakąś koncepcję. Nasz umysł jest wtedy nastawiony na to, że informacja zwrotna pojawi się później, ale będzie ona bardziej skuteczna.

Charakterystyka badanych

Przedmiot eksploracji miał charakter jednostkowy. Przeanalizowano zapis fal mózgowych jedenastu osób podczas śpiewania w celu sprawdzenia możliwości badawczych

w profesjonalnym podejściu, opartym na koncepcji rozwoju audiacji. Chodziło o spojrzenie na problemy muzyczne w ich złożonym kontekście, gdzie trzeba je rozpatrywać wielostronnie w kategoriach ciągów konsekwencji podejmowanych decyzji. W grupie badanych kobiet były cztery studentki w wieku 20 lat z kierunku pedagogika wczesnoszkolna realizowanego na Uniwersytecie Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, które ukończyły szkołę muzyczną pierwszego stopnia i znały koncepcję rozwoju audiacji oraz sposoby jej praktycznego stosowania. Pozostałe osoby to: nauczyciel akademicki (wiek 64 lata) podejmujący badania naukowe w tym zakresie. Wśród osób poddanych pomiarom EEG były także trzy dziewczynki: dwie siostry – jednojajowe bliźniaczki (10 lat) i trzecia o rok starsza (11 lat), które uczęszczały do szkoły muzycznej I stopnia w Bydgoszczy. Wszystkie od kilku lat uczą się gry na instrumencie: flecie poprzecznym, akordeonie i wiolonczeli. Siostry wychowują się w inteligenckim, ale niemuzycznym środowisku rodzinnym, a trzecia dziewczynka pochodzi z rodziny uprawiającej muzykę (ojciec zawodowy trębacz, matka z ukończonym średnim wykształceniem muzycznym).

Bliźniacze siostry uczą się muzyki bez audiacji, a trzecia dziewczynka od okresu prenatalnego wychowuje się w środowisku, które celowo organizuje warunki do rozwoju umiejętności audiacyjnych. Ponadto zarejestrowano fale mózgowe trzech mężczyzn – jednego absolwenta kierunku pedagogika wczesnoszkolna (wiek 27 lat) oraz dwóch nauczycieli akademickich (39 i 43 lata) prowadzących zajęcia muzyczne na Uniwersytecie Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy. Żadna z badanych osób nie miała zaburzeń funkcji poznawczych lub sensomotorycznych, wszyscy byli przygotowani do wokalnego i instrumentalnego posługiwania się muzycznym językiem, czytania notacji muzycznej, czyli wizualnego i słuchowego przetwarzania dźwięków oraz posiadali odpowiednią wiedzę muzyczną. Wszyscy badani byli praworęczni.

Wyniki obrazujące fale mózgowe w trakcie śpiewania melodii

Spodziewanym wynikiem części analizy danych było rozróżnienie fal mózgowych oddzielnie w każdym z trzech wariantów wykonania melodii. Pomiar widma mocy EEG nie pozwolił jednak na osiągnięcie tego celu, dlatego wszystkie wersje realizacji zadania potraktowano jako całość i przeanalizowano rozróżnienie przynależności sygnału EEG do lewej lub prawej strony mózgu. Pomiary EEG obrazują fale mózgowe delta, theta, alfa, sigma i beta w trakcie wykonywania melodii.

Jak wspomniano we wstępie, występowanie fal delta oraz theta w czuwaniu może świadczyć o patologii. Fale te nie pojawiły się u żadnego z badanych, więc uzyskane wyniki uznano jako drobne niewykrywalne wzrokowo i automatycznie artefakty występujące w czasie badania w wyniku ruchów głowy. Dlatego wnioskowanie dotyczące tych fal zostanie dalej pominięte. Wyniki dla wszystkich 11 badanych osób przedstawiono w kolejnych tabelach (przypadki 1–11). Zamieszczono w nich wyniki

pomiaru zdolności muzycznych i stosunki mocy sygnałów EEG strony prawej/strony lewej mózgu dla poszczególnych fal EEG oraz całego pasma sygnału EEG dla poszczególnych odprowadzeń.

Przypadek nr 1 to 20 letnia kobieta-studentka. Dla wszystkich zakresów częstotliwości EEG, dla odprowadzeń C4 i C3, stwierdzono występowanie wyższej mocy sygnału po prawej stronie mózgu, w szczególności dla fal beta, odbieranych z okolic czołowych w trakcie przetwarzania dźwięków oraz skupiania uwagi. Dla pozostałych częstotliwości i odprowadzeń wyniki nie były jednoznaczne. Wykonanie melodii nie było jednak wystarczająco stabilne tonalno-rytmicznie, dlatego eksperymentator nucił melodię razem z osobą badaną. Kolejne próby były od siebie wyraźnie oddzielone i całkowicie akceptowalne w zakresie rytmu i konturu linii melodycznej. Poziom uzdolnień muzycznych zmierzono testem Advanced Measures of Music Audiation i ustalono, że w przypadku nr 1 są one na poziomie średnim o wartości 62. centyla.

Tabela 1
Przypadek nr 1: kobieta (20 lat)

Zdolności	**Stosunek mocy sygnałów strony P/L**					
muzyczne	**EEG**	**delta**	**theta**	**alfa**	**sigma**	**beta**
62. centyl	0,2–25,0Hz	0,2–3,6Hz	3,8–7,6Hz	7,8–12,0Hz	12,2–14,0Hz	14,2–25,0Hz
C4/C3	1,292	1,857	1,040	1,090	1,059	1,509
P4/P3	0,638	1,766	0,936	0,818	0,604	0,564
O2/O1	0,481	1,044	0,738	2,038	0,504	0,729

Przypadek nr 2 to 20-letnia studentka. Dla odprowadzeń O2 i O1 stwierdzono występowanie wyższej mocy sygnału EEG po prawej stronie mózgu, dla fal alfa i beta, co świadczy o odprężeniu w trakcie podejmowanej aktywności. Dla pozostałych częstotliwości i odprowadzeń wyniki nie były jednoznaczne. W przypadku nr 2 wprawdzie nie stwierdzono błędów intonacyjnych ani rytmicznych, ale ze względu na brak stabilnego tempa eksperymentator wspomagał badaną osobę nuceniem linii melodycznej. Pomiary EEG w trakcie wykonywania melodii świadczą o stymulacji dość szerokiego obszaru kory mózgowej i wyciągnięto wniosek, że bezpośrednie wsparcie głosowe udzielone przez eksperymentatora pomagało w poprawnym wykonaniu. Warto zauważyć, że badana nr 2 orientowała się, kiedy reprodukcja melodii ma zaburzone tempo i spontanicznie reagowała, wprowadzając korekty we właściwy sposób. Poziom uzdolnień muzycznych zmierzony testem Advanced Measures of Music Audiation ustalono w granicach 65. centyla, co oznacza średnie muzyczne możliwości.

Tabela 2
Przypadek nr 2: kobieta (20 lat)

Zdolności	Stosunek mocy sygnałów strony P/L					
muzyczne	**EEG**	**delta**	**theta**	**alfa**	**sigma**	**beta**
65. centyl	0,2–25,0Hz	0,2–3,6Hz	3,8–7,6Hz	7,8–12,0Hz	12,2–14,0Hz	14,2–25,0Hz
C4/C3	1,282	2,320	1,282	0,905	0,815	1,032
P4/P3	0,615	1,752	0,946	0,514	0,599	0,579
O2/O1	0,849	2,778	1,021	2,083	0,814	1,199

Przypadek nr 3 to 20-letnia studentka. Dla odprowadzeń C4 i C3 wystąpiły artefakty ruchowe fałszujące pomiar (*). Dla odprowadzeń P4 i P3 stwierdzono występowanie wyższej mocy sygnału EEG po prawej stronie mózgu, dla całego zakresu fal EEG oraz dla fal sigma, które mogą świadczyć o stresie i beta aktywizujących się podczas przetwarzania informacji. Natomiast dla odprowadzeń O2 i O1 dla wszystkich częstotliwości stwierdzono występowanie wyższej mocy sygnału EEG po stronie lewej. W przypadku 3. na podstawie tego zestawu ćwiczeń i zebranych danych widać wyraźnie, w jakim stopniu, w badaniu EEG realizowane zadania są związane z uzdolnieniami muzycznymi, które decydują o dokładności zaśpiewania poszczególnych fraz. Pomiary przeprowadzano w takich samych warunkach dla każdej badanej osoby, podczas wykonywania tej samej melodii, co pozwoliło na przeanalizowanie neuronalnej aktywności i ustalenie miejsca pobudzenia. Uzdolnienia muzyczne zmierzone testem Advanced Measures of Music Audiation ustalono na 35. centyl, co oznacza średnie muzyczne możliwości, ale w dolnej granicy ustalonych norm.

Tabela 3
Przypadek nr 3: kobieta (20 lat)

Zdolności	Stosunek mocy sygnałów strony P/L					
muzyczne	**EEG**	**delta**	**theta**	**alfa**	**sigma**	**beta**
35. centyl	0,2–25,0Hz	0,2–3,6Hz	3,8–7,6Hz	7,8–12,0Hz	12,2–14,0Hz	14,2–25,0Hz
C4/C3	*	*	*	*	*	*
P4/P3	2,784	2,737	3,177	0,482	3,263	3,553
O2/O1	0,454	0,481	0,535	0,506	0,600	0,444

* artefakty

Przypadek nr 4 to 20-letnia studentka. Dla odprowadzeń P4 i P3 oraz O2 i O1, stwierdzono występowanie wyższej mocy sygnału EEG po prawej stronie mózgu dla fal alfa, sigma i beta. Dla odprowadzeń C4 i C3 dla wszystkich częstotliwości stwierdzono występowanie wyższej mocy sygnału EEG po stronie lewej. Kobieta uprawia muzykę w postaci śpiewu przy akompaniamencie gitary, odnotowano u niej wyraźną aktywność zarówno prawej, jak i lewej półkuli mózgu. Badana w trzech wariantach wykonywała melodię czysto intonacyjnie i stabilnie rytmicznie. Uzdolnienia muzyczne zmierzone testem Advanced Measures of Music Audiation ustalono na 65. centyl, co oznacza średnie muzyczne możliwości.

Tabela 4
Przypadek nr 4: kobieta (20 lat)

Zdolności	**Stosunek mocy sygnałów strony P/L**					
muzyczne	**EEG**	**delta**	**theta**	**alfa**	**sigma**	**beta**
65. centyl	0,2–25,0Hz	0,2–3,6Hz	3,8–7,6Hz	7,8–12,0Hz	12,2–14,0Hz	14,2–25,0Hz
C4/C3	0,859	0,859	0,707	0,800	0,881	0,919
P4/P3	0,885	0,854	1,016	2,522	2,206	1,244
O2/O1	1,070	1,042	0,956	1,769	1,695	1,228

Przypadek nr 5 to 64–letnia kobieta, nauczyciel akademicki z praktyką nauczania muzyki poprzez audiację w grupach niemowląt, małych dzieci, uczniów klas młodszych oraz studentów. Dla odprowadzeń C4 i C3, P4 i P3 stwierdzono występowanie wyższej mocy sygnału EEG po prawej stronie mózgu, dla całego zakresu fal EEG oraz dla fal alfa, sigma i beta. Również dla odprowadzeń O2 i O1 dla fal sigma i beta stwierdzono występowanie wyższej mocy sygnału EEG po prawej stronie mózgu. Wykonanie melodii we wszystkich wariantach było poprawne i stabilne tonalno-rytmicznie. Uzdolnienia muzyczne zmierzone testem Advanced Measures of Music Audiation ustalono na 85. centyl, co oznacza wysokie muzyczne możliwości.

Tabela 5
Przypadek nr 5: kobieta (64 lata)

Zdolności	**Stosunek mocy sygnałów strony P/L**					
muzyczne	**EEG**	**delta**	**theta**	**alfa**	**sigma**	**beta**
85. centyl	0,2–25,0Hz	0,2–3,6Hz	3,8–7,6Hz	7,8–12,0Hz	12,2–14,0Hz	14,2–25,0Hz
C4/C3	2,052	1,848	2,465	1,557	2,343	2,840
P4/P3	0,747	0,656	0,631	1,201	2,011	1,269
O2/O1	0,872	0,863	0,682	0,924	1,589	1,135

Przypadek nr 6 to 10-letnia dziewczynka o bardzo dobrych uzdolnieniach muzycznych. Dla wszystkich odprowadzeń oraz fal alfa, sigma i beta stwierdzono występowanie wyższej mocy sygnału EEG po prawej stronie mózgu. Wyższa moc sygnału po prawej stronie występowała także dla całego zakresu częstotliwości EEG dla odprowadzeń C4 i C3. Badana zaśpiewała melodię w całości bezbłędnie pod względem tonalnym i metrycznym.

Tabela 6
Przypadek nr 6: dziewczynka (10 lat)

Zdolności	**Stosunek mocy sygnałów strony P/L**					
muzyczne	**EEG**	**delta**	**theta**	**alfa**	**sigma**	**beta**
Bdb 34 pkt	0,2–25,0Hz	0,2–3,6Hz	3,8–7,6Hz	7,8–12,0Hz	12,2–14,0Hz	14,2–25,0Hz
C4/C3	1,885	1,587	2,063	1,320	2,137	2,498
P4/P3	0,794	0,671	0,619	1,294	2,138	1,225
O2/O1	0,905	0,843	0,685	1,026	1,650	1,076

Przypadek nr 7 to 10-letnia dziewczynka, bliźniacza siostra przypadku nr 6, której uzdolnienia muzyczne są także bardzo dobre. Dla odprowadzeń P4 i P3 oraz O2 i O1 stwierdzono występowanie wyższej mocy sygnału EEG po prawej stronie mózgu dla fal alfa, sigma i beta, oraz w całym zakresie częstotliwości EEG dla odprowadzeń O2 i O1. Natomiast dla odprowadzeń C4 i C3 dla wszystkich częstotliwości stwierdzono występowanie wyższej mocy sygnału EEG po stronie lewej.

Tabela 7
Przypadek nr 7: dziewczynka (10 lat)

Zdolności	**Stosunek mocy sygnałów strony P/L**					
muzyczne	**EEG**	**delta**	**theta**	**alfa**	**sigma**	**beta**
Bdb 32 pkt	0,2–25,0Hz	0,2–3,6Hz	3,8–7,6Hz	7,8–12,0Hz	12,2–14,0Hz	14,2–25,0Hz
C4/C3	0,347	0,300	0,475	0,766	0,970	0,793
P4/P3	0,369	0,300	1,104	1,553	1,520	1,102
O2/O1	1,508	1,746	1,551	1,195	1,214	0,929

Przypadek nr 8 to 11-letnia dziewczynka o znakomitych zdolnościach muzycznych, wychowująca się w środowisku czynnie uprawiającym muzykę. Dla odprowadzeń O2 i O1 stwierdzono występowanie wyższej mocy sygnału EEG po prawej stronie mózgu, dla fal alfa i sigma oraz całego zakresu częstotliwości EEG, natomiast dla odprowadzeń P4 i P3 stwierdzono występowanie wyższej mocy sygnału EEG po

prawej stronie mózgu dla fal sigma. Dla odprowadzeń C4 i C3 stwierdzono występowanie wyższej mocy sygnału EEG po stronie prawej dla fal sigma i beta oraz całego zakresu częstotliwości EEG. Wykonanie melodii było w całości bezbłędne i zdecydowane.

Tabela 8
Przypadek nr 8: dziewczynka (11 lat)

Zdolności	**Stosunek mocy sygnałów strony P/L**					
muzyczne	**EEG**	**delta**	**theta**	**alfa**	**sigma**	**beta**
Znakomite 38 pkt	0,2–25,0Hz	0,2–3,6Hz	3,8–7,6Hz	7,8–12,0Hz	12,2–14,0Hz	14,2–25,0Hz
C4/C3	2,970	2,925	3,778	0,765	2,615	2,016
P4/P3	0,653	0,633	0,694	0,877	1,020	0,903
O2/O1	1,354	0,707	0,601	1,713	1,108	0,901

Przypadek nr 9 to 27-letni mężczyzna po przebytej operacji serca, znający metodykę nauczania muzyki poprzez audiację i chętnie śpiewający. Dla fal alfa i sigma oraz dla odprowadzeń P4 i P3 i O2 i O1 stwierdzono występowanie wyższej mocy sygnału EEG po prawej stronie mózgu. Natomiast dla odprowadzeń C4 i C3 dla wszystkich częstotliwości stwierdzono występowanie wyższej mocy sygnału EEG po stronie lewej. W dwóch słyszalnych wariantach (zaśpiewanie melodii pełnym głosem i mormorando) wykonano linię melodyczną poprawnie, ale z widoczną ostrożnością. Poziom uzdolnień muzycznych zmierzony testem Advanced Measures of Music Audiation wyniósł 74. centyl, co oznacza górną granicę średnich możliwości.

Tabela 9
Przypadek nr 9: mężczyzna (27 lat)

Zdolności	**Stosunek mocy sygnałów strony P/L**					
muzyczne	**EEG**	**delta**	**theta**	**alfa**	**sigma**	**beta**
74. centyl	0,2–25,0Hz	0,2–3,6Hz	3,8–7,6Hz	7,8–12,0Hz	12,2–14,0Hz	14,2–25,0Hz
C4/C3	0,884	0,904	0,797	0,914	0,974	0,978
P4/P3	0,828	0,730	0,899	1,217	1,479	0,960
O2/O1	0,904	0,884	0,847	1,084	1,003	0,966

Przypadek nr 10 to 39-letni improwizujący muzyk (trębacz) z wieloletnią praktyką w zakresie nauczania muzyki poprzez audiację w różnych grupach wiekowych (niemowlęta, dzieci przedszkolne i szkolne, studenci). Dla odprowadzeń C4 i C3 oraz

O2 i O1 stwierdzono występowanie wyższej mocy sygnału EEG po prawej stronie mózgu, dla fal alfa, sigma i beta. Dla odprowadzeń P4 i P3 dla fal sigma i beta stwierdzono występowanie wyższej mocy sygnału EEG po prawej stronie mózgu. Ponadto dla całego zakresu częstotliwości EEG i odprowadzeń C4 i C3 stwierdzono wyższą wartość mocy sygnału po stronie prawej. Wykonanie melodii w dwóch słyszalnych wariantach (I i II) było bezbłędne i najprawdopodobniej takie samo było także w próbie trzeciej, podczas śpiewania w myślach. Uzdolnienia muzyczne zmierzone testem Advanced Measures of Music Audiation ustalono na 99. centyl, co oznacza bardzo wysokie muzyczne możliwości.

Tabela 10
Przypadek nr 10: mężczyzna (39 lat)

Zdolności	**Stosunek mocy sygnałów strony P/L**					
muzyczne	**EEG**	**delta**	**theta**	**alfa**	**sigma**	**beta**
99. centyl	0,2–25,0Hz	0,2–3,6Hz	3,8–7,6Hz	7,8–12,0Hz	12,2–14,0Hz	14,2–25,0Hz
C4/C3	2,097	2,076	2,103	1,903	3,061	2,403
P4/P3	0,722	0,613	0,463	0,869	1,670	1,072
O2/O1	0,963	0,660	0,535	1,492	2,264	1,179

Przypadek nr 11 to 43-letni mężczyzna. Stwierdzono występowanie wyższej mocy sygnału EEG po lewej stronie mózgu dla wszystkich odprowadzeń EEG i częstotliwości fal. Jest to nauczyciel akademicki z teoretyczną i praktyczną znajomością koncepcji rozwoju audiacji, którego wykonania linii melodycznej włączonej do badań były całkowicie poprawne. Uzdolnienia muzyczne zmierzone testem Advanced Measures of Music Audiation ustalono na 86. centyl, co oznacza wysokie muzyczne możliwości.

Tabela 11
Przypadek nr 11: mężczyzna (43 lata)

Zdolności	**Stosunek mocy sygnałów strony P/L**					
muzyczne	**EEG**	**delta**	**theta**	**alfa**	**sigma**	**beta**
86. centyl	0,2–25,0Hz	0,2–3,6Hz	3,8–7,6Hz	7,8–12,0Hz	12,2–14,0Hz	14,2–25,0Hz
C4/C3	0,837	0,846	0,663	0,760	0,808	0,825
P4/P3	0,785	0,780	0,610	0,898	0,846	0,796
O2/O1	0,830	0,842	0,590	0,684	0,893	0,782

Poniżej w tabeli 12 przedstawiono uśrednione wyniki dla wszystkich badanych, wszystkich odprowadzeń EEG oraz wszystkich mierzonych częstotliwości.

Tabela 12
Uśrednione wyniki dla wszystkich 11 badanych i wszystkich odprowadzeń EEG

	Stosunek mocy sygnałów strony P/L					
	EEG	**delta**	**theta**	**alfa**	**sigma**	**beta**
	0,2–25,0Hz	0,2–3,6Hz	3,8–7,6Hz	7,8–12,0Hz	12,2–14,0Hz	14,2–25,0Hz
C4/C3	1,451	1,552	1,537	1,078	1,566	1,581
P4/P3	0,893	1,045	1,009	1,113	1,578	1,206
O2/O1	0,926	1,081	0,795	1,319	1,212	0,961
EX ± DX	1,075 ±0,887	1,023 ± 0,820	0,974 ± 0,859	1,185 ± 0,913	1,442 ± 1,015	1,147 ± 0,762

Dla odprowadzeń C4 i C3 stwierdzono występowanie wyższej mocy sygnału EEG po prawej stronie mózgu dla wszystkich zakresów fal oraz sygnału EEG w całym paśmie częstotliwości. Dla odprowadzeń P4 i P3 występuje dominująca moc sygnału EEG po prawej stronie mózgu dla fal alfa, sigma i beta. Dla odprowadzeń O2 i O1 prawostronna dominacja występuje dla fal alfa i sigma. Dla wszystkich uśrednionych zakresów fal (alfa, sigma i beta) oraz całego pasma częstotliwości EEG uzyskano wartości średnie (EX ± DX) widma mocy sygnału EEG wyższe po prawej stronie mózgu. Szczególnie jest to widoczne dla fal sigma.

Jak wykazano, w przypadku osób 1, 2 i 3 brak stabilności tonalno-rytmicznej nie uniemożliwił stwierdzenia wyższej mocy sygnału EEG po prawej stronie mózgu, ale mógł mieć wpływ na to, że niektóre częstotliwości i odprowadzenia wyników nie były jednoznaczne. Zauważone błędy nie miały jednak istotnego znaczenia ani dla siły stymulacji, ani czasu jej trwania. Brak zdecydowanej równowagi w wykonaniu całej melodii ma związek z poziomem uzdolnień muzycznych, co widać wyraźnie w przypadku 3, ponieważ wystąpiły artefakty ruchowe fałszujące pomiar. Osoby badane oznaczone numerami od 4 do 11 nie popełniły żadnych błędów w wykonywanym zadaniu. Poprawne próby powtarzania melodii były związane z pełnym zakresem amplitudy fal mózgowych i czasem trwania stymulacji. Wyniki potwierdzają, że błędy w trakcie powtarzania melodii były spowodowane niższym poziomem muzykalności, co potwierdzono testem uzdolnień muzycznych.

Dyskusja i wnioski

Przeanalizowano pięć rodzajów fal mózgowych, które działają niemalże jak nuty w muzyce. Niektóre z nich mają niskie częstotliwości, inne wysokie, ale razem mają

moc tworzenia harmonii. Zgromadzone wyniki ilustrują stosunek mocy sygnałów prawej i lewej strony mózgu u osób posiadających formalne wykształcenie muzyczne lub uczęszczających do szkoły muzycznej. Ich myśli, emocje i wrażenia były skupione na konkretnej melodii i otwarte na to, co działo się wokół nich w takich samych warunkach. Badani działali na swój własny sposób, na swojej częstotliwości i na optymalnym poziomie. Należy podkreślić, że fale mózgowe nie są statyczne, zmieniają się wraz z wiekiem, żaden typ nie jest lepszy ani bardziej „wyjątkowy" od innych. Wszystkie są ważne, ponieważ są wynikiem aktywności elektrycznej neuronów i stanów psychicznych.

Badania EEG sugerują wzmożoną aktywność prawej półkuli mózgu na podstawie zarejestrowanych fal alfa, sigma i beta oraz potwierdzają intensywniejszą pracę tego obszaru podczas przetwarzania dźwięków. Mózg jest podzielony na dwie półkule przez głęboką podłużną bruzdę, ale obie części nie są idealnie symetryczne. Dopasowują się do siebie w trakcie kolejnych lat wspólnego życia i w niektórych miejscach zmieniają swój kształt. Aktywność elektryczna podczas śpiewania jest odpowiedzialna za różne rodzaje fal mózgowych, jest to złożony proces, w którym stan psychiczny i umiejętności audiacyjne są w stanie emitować określony rodzaj fal mózgowych. W zależności od tego, jak badani śpiewali, niektóre fale mózgowe były bardziej aktywne w pewnych obszarach mózgu, podczas gdy inne wykazywały mniejszą aktywność w pozostałych rejonach, ale żadna część nie była „wyłączona".

Wiadomo, że ośrodek mowy u osób praworęcznych aż w 96 procentach przypadków znajduje się w lewej półkuli, dlatego odpowiedni rejon mózgu jest po tej stronie nieco większy niż po prawej. Każda półkula zawiaduje naprzeciwległą stroną ciała, co dotyczy także wrażeń zmysłowych. Jedną z podstawowych zasad uporządkowania układu nerwowego jest to, że włókna ruchowe i czuciowe w pewnym punkcie w mózgu krzyżują się. Neurologowie nie wiedzą, z jakiego powodu tak się dzieje, ale wyprowadzili ogólny wniosek, że półkule mózgowe nie pracują niezależnie od siebie. Są połączone tzw. spoidłem wielkim, zwanym też ciałem modzelowatym, które zapewnia obu półkulom wzajemną komunikację (Beck, 2018).

Zawartością spoidła wielkiego jest ćwierć miliarda włókien nerwowych, które gwarantują doskonałe porozumiewanie się, ale nie jest prawdą, że lewa półkula jest analityczna, a prawa kreatywna. Prowadzono badania aktywności mózgu, gdy ludzie wyobrażali sobie jak płyną w tańcu po parkiecie i okazało się, że inaczej postrzegany jest ruch podczas klasycznego walca a inaczej podczas swobodnej improwizacji. Na podstawie tych badań stwierdzono dwie rzeczy: 1. walczyk aktywizuje mniejszą powierzchnię mózgu niż taniec improwizowany, badani byli bardziej skupieni na precyzyjnym wykonywaniu określonej sekwencji ruchów i przez to zestresowani; 2. ruchowa improwizacja w równym stopniu angażowała obie półkule (Fink i in., 2009).

A zatem w centrum nauczania i uczenia się muzyki powinna znajdować się improwizacja, która jest umiejętnością audiowania wyższego rzędu. W jej trakcie uczniowie realizują własne pomysły w różnych muzycznych stylach i korzystają z wolności w muzyce, która wiąże się zarówno z możliwościami wyboru, jak i ograniczeniami w wykonawstwie muzycznym. Poprzez improwizowanie na lekcjach muzyki uczniowie i nauczyciele mogą wyrażać muzyczne pomysły w różnych stylach, dzięki czemu ujawniają się indywidualne różnice. Improwizacja umożliwia korzystanie z wolności w muzyce, która wiąże się zarówno z możliwościami wyboru, jak i ograniczeniami w muzycznym wykonawstwie (Azzara, 2005).

W zależności od wykonywanych czynności, w mózgu pobudzane są najrozmaitsze rejony: raz po prawej, raz po lewej stronie, czasem te, którym podlegają uczucia (jak ciało migdałowate), a innym razem te, które sterują ruchem (jak móżdżek). Wszystko zależy od rodzaju zadania. W muzycznych improwizacjach zawsze potrzebna jest kreatywność, choć wydaje się, że nie istnieje jakiś konkretny obszar w mózgu, który w szczególny sposób za nią odpowiada (Dietrich i Kanso, 2010).

Obie półkule zawsze pracują wspólnie i dopiero razem tworzą dynamicznie funkcjonującą całość. Dotyczy to także myślenia muzycznego (audiowania), które przypisuje się raczej prawej półkuli. Nie można uruchomić jakiegoś konkretnego rejonu mózgu, by w efekcie przełączyć się na muzyczny sposób działania, bo muzykę wykonujemy tym sprawniej, im intensywniejsza zachodzi komunikacja między półkulami. Nie należy też stosować podziału typu „na prawo sztuka, na lewo matematyka" (Singh i O'Boyle, 2004), bo zdecydowaną większość zadań rozwiązuje się w rozproszonych, oddalonych od siebie partiach mózgu w obu półkulach (Nielsen i in., 2013).

We wczesnym okresie życia dziecka prawa półkula mózgu rozwija się przed lewą, dzięki czemu zdolności percepcyjne mogą się uruchomić zaraz po urodzeniu, ale w miarę nabywania pojęciowych i językowych zdolności lewa półkula tłumi niektóre umysłowe funkcje (Gordon, 2008ł Saks, 2009). U wszystkich dzieci bardzo wcześnie obserwujemy zainteresowanie muzyką i chociaż nie można negować różnic pomiędzy mózgami żeńskimi i męskimi, to nie ma żadnego sensu uzasadniać tego zaangażowania strukturą ich mózgów. Ponadto trzeba pamiętać o działaniu w drugą stronę: określone funkcje mózgu warunkują pewne zachowania, a w konsekwencji kształtują się muzyczne struktury, które z kolei oddziałują na mózg. Nieustające sprzężenie zwrotne pomiędzy mózgiem a otoczeniem powoduje, że struktura umysłu stanowi zarówno odzwierciedlenie warunków środowiskowych, jak i przyczynę muzycznych zachowań.

Bardzo prawdopodobne, iż muzyka jest przetwarzana w sposób hierarchiczny, od najprostszych parametrów akustycznych do najbardziej skomplikowanych (Zatorre, 2003), a także modułowy (Peretz i Coltheart, 2003). W naszym mózgu znajdują się obwody neuronalne, które odpowiadają za rozwiązywanie konkretnych problemów. Moduły są jednostkami umysłowego przetwarzania i są w mózgu rozproszone.

Definiuje się je na podstawie tego, co robią z informacjami, a nie tego, jakie aktywizujące bodźce odbierają. Moduły reagują w konkretny sposób na określone bodźce wysyłane ze środowiska. Docierające do nas dźwięki muzyczne sprawiają, że moduły neuronalne reagują na nie automatycznie. Ludzkie mózgi mają jednak swoje ograniczenia, więc istnieją zadania, których nie są w stanie wykonać, umiejętności, których nie mogą sobie przyswoić, i treści, których nie potrafią zrozumieć. Niektóre informacje i umiejętności mózgi przyswajają sobie już przy pierwszej próbie, ale są i takie, które wymagają wielu systematycznie wykonywanych ćwiczeń. Posługiwanie się modelami intuicyjnymi jest łatwe, szybkie i najmniej pracochłonne, więc stanowi standardowy tryb funkcjonowania mózgu (Gazzaniga, 2011, s. 135).

Wyniki badań wskazują, że odbiór muzyki ma ściśle biologiczne podłoże i znajduje swoje odzwierciedlenie w organizacji funkcjonalnej mózgu. Biologiczne podejście kładzie nacisk na kilka ważnych kwestii, takich jak: 1. wyjaśnianie ludzkiego zachowania w kategoriach funkcjonowania mózgu i układu nerwowego ukształtowanego genetycznie; 2. „redukcjonistyczne" próby zastąpienia pojęć psychologicznych takich jak: świadomość, intencje, wspomnienia kombinacjami sądów i faktów fizjologicznych odnoszący się do zakresów działania pewnych obszarów mózgu; 3. uniwersalność psychologicznej struktury człowieka jako wyniku wspólnego genetycznego dziedzictwa; 4. podstawowe zwyczaje czy społeczne instytucje, wspierające działania jednostek. Krytycy takiego podejścia uważają, że taka koncepcja nie może się powieść ze względu na rozległość zmian kulturowych i historycznych w ludzkim zachowaniu, a filozofowie dostrzegają w nim próbę ograniczenia umysłowych wydarzeń zachodzących w mózgu (Sloboda, 2002, s. 292).

Prezentowane w tym artykule dane różnią się. Zadanie polegało na prostej stymulacji muzycznej, jednak nawet w takim wypadku konieczne jest współdziałanie kilku regionów mózgu. Porównywalne wyniki odnotowano u osób dobrze audiujących tonalność i metrum, czyli elementy ściśle i strukturalnie związane z muzyką. W przypadku ósmym fundamenty umiejętności audiacyjnych budowano we wczesnym dzieciństwie, kiedy zdolności muzyczne były w fazie rozwijającej. Tej dziewczynce już w okresie prenatalnym i zaraz po urodzeniu stwarzano warunki do angażowania się w aktywność muzyczną ruchową, wokalną i instrumentalną, dzięki czemu następował rozwój wyspecjalizowanych umiejętności poznawczych i czynności umysłowych. Podsumowując, poznanie aktywności fal mózgowych osób śpiewających taką samą melodię pozwoliło zrozumieć, że nasze procesy umysłowe, emocje, działania i zachowania generują określoną „energię". Każdy badany charakteryzuje się odmienną częstotliwością fal mózgowych, czyli różnicami w zakresie aktywności bioelektrycznej mózgu. Prawidłowo pracujący mózg płynnie przechodzi pomiędzy różnymi stanami świadomości zmieniając rytm pracy fal mózgowych. Kluczowa jest wiedza, że fundamenty umiejętności audiacyjnych trzeba budować we wczesnym dzieciństwie, kiedy zdolności muzyczne są w fazie rozwijającej.

BIBLIOGRAFIA

Altenmüller, E. (1989). Cortical DC-potentials as electrophysiological correlates of hemispheric dominance of higher cognitive function. *International Journal of Neuroscience*, *47*, 1–14. https://doi.org/10.3109/00207458908987413

Azzara, Ch. D. (2005). Understanding Music through Improvisation. W: M. Rundfola, C.C. Taggart (Eds.), *The Development and Practical Application of Music Learning Theory*. GIA Publications, Inc.

Beck, H. (2018). *Mózgobrednie. 20 i pół mitu o mózgu i jak on naprawdę działa*, Wydawnictwo JK [tytuł oryginału: *Hirnrissig. Die 20,5 größten Neuromythen – und wird unser Gehirn wirklich tick*].

Butler, A. C., Karpicke, J. D., Roediger, H. L. 3rd. (2007). The effect of type and timing of feedback on learning from multiple-choice tests. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 13(4), 273–281. https://doi.org/10.1037/1076-898X.13.4.273

Chiappa K .H. (red.). (1997). *Evoked potentials in clinical medicine*. Lippincott–Raven Publishers.

Dietrich, A., Kanso, R. (2010). A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight. *Psychological Bulletin, 136*(5), 822–848. https://doi.org/10.1037/a0019749

Dudek, Z. T. (2003). Interfejs BCI – próba przełamania bariery pomiędzy człowiekiem a komputerem. *Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne*, *7*.

Evers, S., Dannert J., Rödding D., Rotter G., Ringelstein, B. (1999). The cerebral haemodynamics of music perception: A transcranial Doppler sonography study. *Brain*, *122*(1), 75–85. https://doi.org/10.1093/brain/122.1.75

Fink, A., Graf, B. Neubauer, A. C. (2009). Brain correlates underlying creative thinking: EEG alpha activity in professional vs. novice dancers, *Neuroimage*, *46*(3), 854–862. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.02.036

Gallagher, H., Fritz, C. (2003). Functional imaging of "Theory of Mind". *Trends in Cognitive Sciences*, *7*, 77–83. https://doi.org/10.1016/s1364-6613(02)00025-6

Gazzaniga, M. S. (2011), *Istota człowieczeństwa. Co sprawia, że jesteśmy wyjątkowi?* Wydawnictwo Smak Słowa [tytuł oryg.: *Human. The science behind what makes us unique*].

Gordon, E.E. (1989). *Advanced Measures of Music Audiation*. GIA. Publications, Inc..

Gordon, E.E. (2003). *Am i musical? Discover your music potential (adults and children ages 7 and up). Music Audiation Games*. GIA Publikations, Inc.

Gordon, E. E. (2008). *Corybantic conversation. Imagined encounters between Dalcroze, Kodaly, Laban, Mason, Orff, Seashore, and Suzuki*. GIA Publications, Inc.

Jentschke, S., Koelsch, S. (2009). Musical training modulates the development of syntax processing in children. *Neuroimage*, *47*, 735–744. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.04.090

Koelsch S., Friederici A. (2003). Toward the neural basis of processing structure in music. *New York Academy of Science, 999*, 15–28. https://doi.org/10.1196/annals.1284.002

Maciejewska, B., Wiskirska-Woźnica, B., Świdziński, P. (2006). Historia rozwoju badań elektrofizjologicznych słuchu. *Audiofonologia*, *29*, 119–122.

Majkowski, J. (red.) (1989). *Elektroencefalografia kliniczna*. PZWL.

Mithen, S. (2006). *The singing Neanderthals*. Oxford University Press.

Münte ,T., Altenmüller, E., Jäncke, L. (2002). The musician's brain as a model of neuroplasticity. *Nature Reviews Neuroscience, 3*, 473–478. https://doi.org/10.1038/nrn843

Nielsen, J. A., Zieliński, B. A., Ferguson, M. A., Lainhart, J.E., Anderson, J. S. (2013). An evaluation of the left-brain vs. right-brain hypothesis with resting state functional connectivity magnetic resonance imaging. *PLoS One*, 8(8), e71275. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071275

Patel, A. D. (2008). *Music, language and the brain*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195123753.001.0001

Peretz, I. (1990). Processing of local and global musical information by unilateral braindamaged patients. *Brain*, *113*, 1185–1205. https://doi.org/10.1093/brain/113.4.1185

Peretz, I., Coltheart, M. (2003). Modularity of music processing, *Nature Neuroscience*, *6*(7), 668–691. https://doi.org/10.1038/nn1083

Peretz, I., Hyde, K. L. (2003). What is specific to music processing? Insights from congenital amusia. Review. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*(8), 362–367. https://doi.org/10.1016/s1364-6613(03)00150-5

Peretz, I., Gagnon, L., Hébert, S., Macoir, J. (2004). Singing in the brain: Insights from cognitive neuropsychology. *Music Perception*, *21*(3), 373–390. https://doi.org/10.1525/mp.2004.21.3.373

Peretz, I., Zatorre, R. (2005). Brain organization for music processing. *Annual Review of Psychology*, *56*, 89–114. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.56.091103.070225

Pfurtscheller, G., Neuper, C. (1997). Motor imagery activates primary sensorimotor area in human. *Neuroscientific Lett*ers, *239*, 65–68. https://doi.org/10.1016/s0304-3940(97)00889-6

Pfurtscheller, G., Lopez da Silva, F. L. (1999). *Handbook of electroencephalography and clinical neurophysiology*. Revised series. Elsevier Science B.V.

Popescu, M., Otsuka, A., Ioannides, A. (2004). Dynamics of brain activity in motor and frontal cortical areas during music listening: a magnetoencephalographic study. *NeuroImage*, *21*, 1622–1638. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.11.002

Pracki, T., Pracka, D. (2004). Elektroencefalografia cyfrowa. *Sen*, *4*(2), 71–77.

Pracki, T., Pracka, D., Szulc, K., Ziółkowska-Kochan, M., Tafil-Klawe, M. (2009). Polisomnografia. Wprowadzenie do analizy widmowej EEG. *Sen*, *9*(1–2), 31–36.

Saks, O. (2009), *Muzykofilia. Opowieści o muzyce i mózgu* (tłum. J. Łoziński). Wydawnictwo Zysk i S-Ka.

Schmitt, R. (1993). Aktywność elektryczna mózgu. W: T. Sosnowski, K. Zimmer (red.), *Metody psychofizjologiczne w badaniach psychologicznych* (s. 101–134). PWN.

Singh, H., O'Boyle, M. (2004), Interhemispheric interaction during global-local processing in mathematically gifted adolescents, avarage-ability youth, and college students. *Neuropsychology*, *18*(2), 371–377. https://doi.org/10.1037/0894-4105.18.2.371

Sloboda, J. A. (2002), *Umysł muzyczny. Poznawcza psychologia muzyki*. Wydawnictwo Akademii Muzycznej im. Fryderyka Chopina.

Wolpaw, J. R., Birbaumer, N., McFarland, D., Pfurtscheller, G., Vaughan, T. M. (2004), Brain-computer interfaces for communication and control. *Clinical Neurophysiology*, *113*, 767–791. https://doi.org/10.1016/s1388-2457(02)00057-3

Zatorre, R. (2003). Sound analysis in auditory cortex. *Trends in Neurosciences*, *26*, 229–230. https://doi.org/10.1016/S0166-2236(03)00074-2