

Pod redakcją naukową

EWY CZERNIAWSKIEJ

Muzyka i my

O różnych
przejawach wpływu
muzyki na człowieka

Muzyka i my

O różnych
przejawach wpływu
muzyki na człowieka

Muzyka i my

O różnych
przejawach wpływu
muzyki na człowieka

Pod redakcją naukową
EWY CZERNIAWSKIEJ

Difin

Copyright © by Difin SA
Warszawa 2012

Wszelkie prawa zastrzeżone. Kopiowanie, przedrukowywanie
i rozpowszechnianie całości lub fragmentów niniejszej pracy
bez zgody wydawcy zabronione.

Publikacja dofinansowana z funduszy przeznaczonych na badania
statutowe Wydziału Psychologii Uniwersytetu Warszawskiego.

Recenzenci:
prof. dr hab. Barbara Kamińska
prof. dr hab. Andrzej Sękowski

Redaktor prowadząca:
Iwona Kuc

Korekta:
Anna Baranowska

ISBN 978-83-7930-144-7

Difin SA
Warszawa 2012
00-768 Warszawa, ul. F. Kostrzewskiego 1
tel. (22) 851 45 61, 851 45 62
fax (22) 841 98 91
www.difin.pl

Skład i łamanie: DTP Service
Warszawa, tel. (22) 663 47 67

Wydrukowano w Polsce

Spis treści

Wprowadzenie	7
DOROTA KARWOWSKA AGATA KUDLIK	
Rozdział 1. Neurofizjologiczne mechanizmy odbioru i przetwarzania muzyki	11
ANNA ANTONINA GŁUSKA	
Rozdział 2. Rozwój zmysłu słuchu i muzycznej wrażliwości od okresu prenatalnego do wieku przedszkolnego	27
MATEUSZ MIGUT BARTŁOMIEJ WRZAŁKA	
Rozdział 3. Muzyka a inne rodzaje sztuki	41
AGATA KUDLIK	
Rozdział 4. Czy muzyka jest stenografią uczuć?	57
EWA CZERNIAWSKA	
Rozdział 5. Czy słuchanie muzyki może wspomóc procesy poznawcze?	69
ANNA KRAŚKIEWICZ	
Rozdział 6. Czy przy muzyce czas płynie inaczej?	89
KATARZYNA ŁOPACIUK-GOC	
Rozdział 7. W muzycznej sferze marketingu	99
ANNA ZAJENKOWSKA	
Rozdział 8. Wybrane metody zastosowania specyficznej kulturowo muzyki	118
ANDRZEJ HANKAŁA	
Rozdział 9. Pamięć ekspertów muzycznych	128

NATALIA WILSZ

Rozdział 10. Czy uprawianie muzyki ma korzystny wpływ na procesy poznawcze,
strategie uczenia się i osiągnięcia w nauce? 145

MAŁGORZATA SIERSZEŃSKA-LERACZYK

Rozdział 11. Od czego zależy sukces w muzyce? 161

BARTŁOMIEJ WRZAŁKA

Rozdział 12. Życie bez muzyki: wrodzona i nabyta amuzja 184

Bibliografia 199

Wprowadzenie

Muzyka towarzyszy człowiekowi od zarania dziejów, ale współcześnie stała się właściwie wszechobecna. Nie ma miejsca ani czasu, w którym nie mogłaby się pojawić. Stanowi element ważnych zdarzeń społecznych i prywatnych, rozlega się w miejscu pracy, dopada nas w trakcie robienia zakupów... W autobusie czy tramwaju wielu pasażerów wsłuchuje się w muzykę dzięki słuchawkom, kierowcy rutynowo włączają radio czy płyty CD. Jak muzyka wpływa na ludzkie funkcjonowanie? Na to pytanie nie ma oczywiście jednej prostej odpowiedzi, niemniej dzięki badaniom naukowym wiadomo coraz więcej o znaczeniu słuchania i wykonywania muzyki dla różnych aspektów życia oraz o znaczeniu kształcenia muzycznego. Niniejsza książka zawiera przegląd informacji na ten temat, zarówno z uwzględnieniem nowych wyników badań pochodzących z literatury światowej, jak i badań prowadzonych w ostatnich latach przez polskich psychologów. W niewielkim zakresie przywołano dane z dawniejszych publikacji, gdyż są one łatwiej dostępne polskiemu czytelnikowi. Koncentracja na aktualnym stanie wiedzy nie oznacza zapomnienia o wcześniejszych osiągnięciach. Jednak objętość każdej pracy zmusza do dokonania selekcji i uwzględnienia tego, co w danym okresie ma większe znaczenie oraz w większym stopniu zainteresuje czytelników.

Książka, chociaż nieformalnie, dzieli się na dwie części. W pierwszej znalazły się teksty ukazujące różne przejawy wpływu muzyki dostrzegalne u każdego człowieka. Dotyczy to rozdziałów od pierwszego do ósmego. Rozdziały od dziewiątego do dwunastego poświęcone są zagadnieniom bardziej specyficznym i znaczeniu kształcenia muzycznego, a także problemowi życia bez muzyki, czyli amuzji.

Tom otwiera rozdział Doroty Karwowskiej i Agaty Kudlik „Neurofizjologiczne mechanizmy odbioru i przetwarzania muzyki”, w którym autorki opisują, jak ludzkie ucho i ludzki mózg przetwarzają muzykę, jak to się dzieje, że słyszymy muzykę jako muzykę i które ośrodki mózgowe odpowiadają za te procesy. Wskazują przy tym na liczne kontrowersje oraz braki wiedzy w tym zakresie, które istnieją pomimo coraz częstszego stosowania metod neuroobrazowania do śledzenia aktywności mózgu. W rozdziale drugim „Rozwój słuchu muzycznego i muzycznej wrażliwości od okresu prenatalnego do wieku przedszkolnego” Anna Głuska przedstawia obszerny przegląd danych na temat rozwoju muzycznego w początkowym okresie życia. Wybór tego właśnie okresu jest nieprzypadkowy, gdyż ujawniają się w nim bardzo ogólne i powszechne prawidłowości rozwojowe, które mogą stanowić

podwaliny dalszego kształcenia muzycznego, ale też w wielu przypadkach stanowią kres przygody z muzyką. Warto zwrócić uwagę na zawarte w rozdziale wskazówki praktyczne dla rodziców, ukazujące możliwości wczesnego rozwoju muzycznego oraz płynące stąd korzyści dla dziecka. Bartłomiej Wrzałka i Mateusz Migut w rozdziale „Muzyka a inne dziedziny sztuki” ukazują wzajemne przenikanie się różnych dziedzin sztuki tak w aspekcie historycznym, jak i współcześnie, oraz zastanawiają się nad tym, jak w przyszłości będzie rozwijać się współzależność muzyki i innych dziedzin sztuki. W rozdziale czwartym Agata Kudlik poszukuje odpowiedzi na pytanie „Czy muzyka jest stenografią uczuć?”. Rozważa, jaki wpływ wywiera muzyka na funkcjonowanie na poziomie fizjologicznym i psychologicznym, ukazując na podstawie wyników badań, w tym prowadzonych na Wydziale Psychologii UW, że słuchanie muzyki ma znaczący i zróżnicowany wpływ na nastrój. Kolejny, piąty rozdział „Czy słuchanie muzyki może wspomóc procesy poznawcze?” autorstwa Ewy Czerniawskiej prezentuje obszerny przegląd danych z literatury przedmiotu oraz badań wykonanych przez magistrantów na Wydziale Psychologii UW na temat wpływu muzyki towarzyszącej procesom poznawczym na przebieg i efekty wykonywanych zadań. Czytelnik znajdzie tu informacje na temat tzw. efektu Mozarta oraz zestawienie domniemanych mechanizmów wpływu słuchania muzyki. W rozdziale szóstym „Czy przy muzyce czas płynie inaczej?” Anna Kraśkiewicz zestawia modele wpływu muzyki na percepcję upływu czasu oraz zgromadzone dotąd dane empiryczne, które potwierdzają, że muzyka może modyfikować oszacowania upływu czasu. Jednak wiele pytań, które dotyczą wpływu muzyki na percepcję upływu czasu, nadal czeka na rozwiązanie. Należy przy tym zwrócić uwagę na wkład autorki do dyskusji nad tytułowym zagadnieniem, polegający na własnych poszukiwaniach empirycznych. W rozdziale siódmym, „W muzycznej sferze marketingu” Katarzyna Łopaciuk-Goc przedstawia obszerne zestawienie danych na temat wykorzystywania muzyki w marketingu i warunków efektywności oddziaływania muzyki na konsumentów, odwołując się także do własnych badań. Czytelnik dowie się, jak specjaliści od marketingu próbują oddziaływać na konsumentów za pośrednictwem muzyki i na ile powinniśmy obawiać się złapania w „muzyczne sidła”. Rozdział ósmy „Wybrane metody zastosowania specyficznej kulturowo muzyki” autorstwa Anny Zajenkowskiej ma charakter eseju i ukazuje mało znane oraz rzadko opisywane wybrane sposoby wykorzystywania muzyki z różnych kręgów kulturowych w celach terapeutycznych.

W kolejnych rozdziałach autorzy podejmują zagadnienia związane z kształceniem muzycznym (uprawianiem muzyki). Andrzej Hankała w rozdziale dziewiątym „Pamięć ekspertów muzycznych” omawia ogólne i specyficzne cechy pamięci eksperckiej w odniesieniu do muzyki, ukazując przebieg rozwoju pamięci muzycznej oraz analizując mechanizmy jej wykorzystywania. W rozdziale dziesiątym „Czy uprawianie muzyki ma korzystny wpływ na procesy poznawcze, strategie uczenia się i osiągnięcia w nauce?” Natalia Wilsz omawia wpływ kształcenia muzycznego na rozwój i funkcjonowanie mózgu, osiągnięcia w nauce innych przedmiotów i umiejętności, funkcjonowanie metapoznawcze, do czego wykorzystują dane z literatury przedmiotu oraz wyniki badań przeprowadzonych na Wydziale Psychologii UW. W rozdziale jedenastym Małgorzata Sierszeńska-Leraczyk poszukuje odpowiedzi

na pytanie „Od czego zależy sukces w muzyce?”. Autorka scharakteryzowała polski system kształcenia muzycznego, dokonała niezwykle obszernego przeglądu danych z literatury przedmiotu oraz przedstawiła własne poszukiwania empiryczne w tym zakresie. Książkę kończy rozdział dwunasty „Życie bez muzyki: wrodzona i nabyta amuzja”, w którym Bartłomiej Wrzałka ukazuje, na czym polega amuzja oraz jakie mogą być jej przyczyny.

Książka nie jest podręcznikiem psychologii muzyki ani monografią z tego zakresu. Stanowi obszerne, rzetelne i poparte danymi naukowymi zestawienie aktualnego stanu wiedzy na temat wybranych przejawów wpływu muzyki na funkcjonowanie człowieka. Większość autorów prowadziła lub prowadzi badania na ten temat i uwzględnia ich omówienie w swoich tekstach. Mam nadzieję, że publikacja zainteresuje szeroki krąg odbiorców, osoby uprawiające muzykę i osoby słuchające muzyki, ale także tych, którzy planują prowadzenie badań psychologicznych nad wpływem muzyki na funkcjonowanie człowieka lub już to czynią. Aby ułatwić wszystkim korzystanie z publikacji, na końcu książki sporządzono wspólną obszerną bibliografię. Należy dodać, że można czytać książkę od pierwszego rozdziału do ostatniego, ale także rozpoczynać lekturę od dowolnie wybranego rozdziału, w zależności od osobistych zainteresowań i potrzeb. Poszczególne teksty skonstruowano tak, aby były zrozumiałe niezależnie od znajomości pozostałych. Ma to jednak także jeden mniej korzystny aspekt dla czytelników, którzy zechcą czytać całą książkę od pierwszego do ostatniego rozdziału. Mianowicie niektóre treści pojawiają się więcej niż jeden raz, tak by nie było konieczności sięgania do innego rozdziału, aby zrozumieć zawartość aktualnie czytanego.

Powstanie pracy nie byłoby możliwe bez wsparcia finansowego udzielonego z funduszy na badania statutowe Wydziału Psychologii UW w latach 2006–2008 (Wpływ muzyki na procesy poznawcze – BST 1134/5, Różnice indywidualne jako moderatory wpływu muzyki na procesy poznawcze – BST 1250/3, Wpływ edukacji muzycznej na funkcjonowanie poznawcze – BST 1340/02).

Słowa gorącego podziękowania i wdzięczności kieruję do recenzentów pierwszej wersji książki, prof. Barbary Kamińskiej i prof. Andrzeja Sękowskiego. Dokonali oni niezwykle wnikliwej jej oceny, wskazując na mocne i słabe strony pracy oraz formułując liczne tak ogólne, jak i szczegółowe uwagi merytoryczne i formalne wobec poszczególnych tekstów. Pozwoliło to autorom na usunięcie niedostatków oraz przeredagowanie zawartości części rozdziałów, dzięki czemu znacznie zyskały one na wartości i przejrzystości, a cała praca stała się bardziej spójna.

Mam nadzieję, że lektura książki będzie dla Czytelników interesująca i stanie się inspiracją do dalszego zgłębiania problematyki znaczenia muzyki dla człowieka, czy to w badaniach naukowych, czy też po prostu w życiu. Muzyka na pewno będzie zawsze ludziom towarzyszyć, warto więc mieć świadomość, jak i dlaczego wpływa na każdego z nas.

ROZDZIAŁ 1

Neurofizjologiczne mechanizmy odbioru i przetwarzania muzyki

Od wieków muzyka odgrywa w życiu człowieka niebagatelną rolę, choć nikt obecnie nie wie dokładnie, jaka była jej pierwotna funkcja. Muzyka nie tylko pobudza, ale i pozwala komunikować nasze emocje, wpływa na nastrój i pamięć, buduje więzi między ludźmi oraz może determinować nasze zachowanie. Stanowi jeden z najstarszych i najbardziej podstawowych mechanizmów rozwoju społecznego i poznawczego gatunku ludzkiego. Przypuszcza się, że umiejętności muzyczne mogły odegrać rolę w ewolucji języka. Muzyka stanowi fenomen wszechobecny: przez niemal całą historię ludzkości, w każdej kulturze, ludzie wykonywali muzykę oraz angażowali się w jej słuchanie i przeżywanie. Wykonywanie muzyki w grupie angażuje w ludzkim mózgu praktycznie wszystkie znane procesy: percepcję, działanie, reprezentacje społeczne, emocje, uczenie się i pamięć. Jak to się dzieje, że fale dźwiękowe mogą determinować tak wiele procesów psychicznych człowieka? W jaki sposób słyszymy muzykę i jak jest ona przetwarzana przez nasz mózg? W niniejszym tekście przedstawione zostaną wybrane wyniki badań prezentujące fizjologiczne i anatomiczne podstawy odbioru i przetwarzania muzyki.

Fizyka dźwięku

Aby wyjaśnić mechanizm odbierania przez nas bodźców słuchowych jako muzyki, należy na wstępie omówić procesy odpowiedzialne za to, że w ogóle słyszymy.

Dźwięk jest wrażeniem słuchowym wywołanym falami akustycznymi. Fale akustyczne powstają jako rezultat drgania cząsteczek rozchodzących się w środowisku. Co ciekawe,

fale akustyczne nie rozchodzą się w każdych warunkach. Dźwięki mogą powstawać jedynie w tak zwanych ośrodkach sprężystych, to jest w warunkach, które umożliwiają powstawanie naprężeń. Wymogi takie spełniają gazy, ciecze, a nawet niektóre ciała stałe. W różnych środowiskach fale dźwiękowe poruszają się z różną prędkością. Na przykład w powietrzu prędkość ta wynosi około 330 m/s, w wodzie o temperaturze 15°C – 1450 m/s, natomiast w żelazie o temperaturze 20°C – 5130 m/s (Gerrig i Zimbardo, 2008). Dźwięk nie będzie się natomiast pojawiał w próżni (na przykład w kosmosie), gdzie brakuje cząsteczek, które mogłyby być wprowadzone w drgania (Gerrig i Zimbardo, 2008).

Z fizycznego punktu widzenia fale akustyczne mają dwie podstawowe właściwości, które wpływają na odbiór informacji słuchowej. Są to częstotliwość i amplituda. Niektórzy badacze dodają do tych dwóch podstawowych właściwości jeszcze trzecią: czas (por. Gage, 2007).

Częstotliwość wyrażana jest w hercach (Hz) i odnosi się do liczby cykli (tj. odległości od szczytu jednej fali do szczytu drugiej), jakie wykonuje fala w określonym czasie (sekundach). Przykładowo, fala zawierająca 100 cykli na sekundę charakteryzować się będzie częstotliwością 100 Hz. Amplituda odnosi się natomiast do siły fali dźwiękowej i jest mierzona w jednostkach ciśnienia lub energii dźwięku. Fizyczne właściwości dźwięku na płaszczyźnie psychologicznej tworzą trzy subiektywnie odczuwane wymiary: wysokość dźwięku, jego głośność oraz barwę.

Wysokość dźwięku jest wyznaczana przez częstotliwość. Oznacza to, że wysokie częstotliwości będą generowały dźwięki słyszane jako wysokie, natomiast niskie częstotliwości wygenerują dźwięki niskie. Ludzkie ucho jest w stanie usłyszeć dźwięki w zakresie częstotliwości od niskich 20 Hz do tak wysokich jak 20 000 Hz (Gage, 2007). Co interesujące, dźwięki poniżej 20 Hz mogą być również w pewien sposób odbierane, choć nie są one słyszalne. Są to tzw. infradźwięki, odczuwane przez nas raczej jako wibracja niż bodźce słuchowe. Przykładem mogą być drgania wytwarzane przez ciężkie pojazdy, jak np. pociągi, ciężarówki.

Kolejną własnością dźwięku odczuwaną w wymiarze psychologicznym jest głośność dźwięków, czyli ich fizyczna intensywność. Własność ta jest uzależniona od amplitudy fali dźwiękowej. W tym przypadku głośne dźwięki to takie, których amplituda jest wysoka, natomiast niska amplituda sprawia, że dźwięki są ciche. Wskaźnikiem poziomu amplitudy jest ciśnienie fali dźwiękowej, które decyduje o głośności. Poziom ten mierzony jest w decybelach (dB). Proóg bólu mieści się w zakresie od 120 do 140 dB. Dźwięki powyżej tego progu są tak głośne, że sprawiają nam ból. Przykładem jest dźwięk wystrzelenia rakiety słyszany z odległości 50 m lub samolot odrzutowy słyszany z odległości 30 m. Nieco poniżej progu bólu znajdują się dźwięki generowane przez zespół rockowy czy grzmot pioruna o głośności około 120 dB. Dla porównania szept z odległości półtora metra odpowiada około 20 dB.

Kolejną z subiektywnie odbieranych właściwości fali dźwiękowej jest jej barwa. Barwa odnosi się do złożoności fali, tj. kombinacji pomiędzy częstotliwością a amplitudą fal dźwiękowych. Większość dźwięków składa się z różnych kombinacji tych czynników i tylko nieliczne można nazwać czystymi. Dźwięki czyste to dźwięki posiadające jedną częstotliwość i jedną amplitudę jak np. kamerton. Ciekawe jest też to, że niektóre dźwięki nie mają jasno

zdefiniowanej częstotliwości i odbierane są jako szum. Przykładowo szum w radiu zawiera różne częstotliwości, które nie są ze sobą systematycznie powiązane i przez to trudno nam powiedzieć, jaka jest jego wysokość.

Dźwięki możemy słyszeć jako wyizolowane, oddzielne zjawiska (np. grzmot pioruna) lub jako pewnego rodzaju układy, sekwencje dźwięków. W świecie rzeczywistym większość dźwięków występuje w tej drugiej formie. Mowa ludzka, z którą stykamy się na każdym kroku, jest właśnie przykładem sekwencji dźwięków. Również muzyka ma charakter sekwencji. Na ogół słuchanie muzyki zaliczane jest do czynności biernych, choć w naszym mózgu zachodzi w tym czasie wiele procesów, na przykład generowanie uczuć, wydobywanie wspomnień (Sloboda, 2002). Właśnie ze względu na fakt, że muzyka aktywizuje liczne procesy psychiczne człowieka, na obecnym etapie nie jest możliwe zrozumienie wszystkich mechanizmów zaangażowanych w jej odbiór. Trudności sprawia zwłaszcza wyodrębnianie procesów zachodzących symultanicznie, i to pomimo dynamicznego rozwoju metod obrazujących pracę mózgu, w tym w trakcie odbioru czy wykonywania muzyki (Sloboda, 2002).

W odróżnieniu od innych sygnałów słuchowych, w muzyce, podobnie jak w mowie, dźwięki pozostają w ścisłym związku. Percepcja jest możliwa dzięki posiadanym przez słuchacza umiejętnościom spostrzegania, rozpoznawania i identyfikowania związków pomiędzy dźwiękami i grupami dźwięków. Jednym z najbardziej podstawowych sposobów klasyfikacji jest grupowanie dźwięków według ich wysokości – grupowanie to jest niezależne od wiedzy i struktury muzycznej. W każdym rodzaju muzyki pojedyncze elementy składowe (takie jak: tony, interwały, akordy) organizowane są w sekwencje, odznaczające się charakterystyczną budową. Uchwycenie struktury muzycznej wymaga analizy zależności zachodzących pomiędzy tymi elementami, np. pomiędzy akordami a harmonicznością utworu. Podobne operacje przeprowadzane są prawdopodobnie dla rytmu i metrum (Koelsch i Siebel, 2005). Owa analiza budowy utworu zachodzi w dużej mierze automatycznie. Świadczy o tym fakt, że pobudzenie obszarów mózgu związanych z przetwarzaniem budowy muzycznej zachodzi przy słuchaniu pasywnym, gdy osoby skupiają się na innych czynnościach, np. grają w gry video albo czytają książkę (Koelsch i Friederici, 2003). Z kolei aktywacja obszarów kory słuchowej związanych z oceną harmoniczności muzyki zachodziła także wtedy, gdy celowo odwracano uwagę uczestników badania od tej cechy utworu i polecano im np. oceniać liczbę akordów z towarzyszeniem wokalu (Bigand, Tillmann, Poulin, Adamo i Madurell, 2001). Liczne badania wskazują, że utajona wiedza (*implicite knowledge*) na temat budowy muzycznej utworu jest w dużym stopniu niezależna od wykształcenia muzycznego. Osoby nie będące muzykami nabywają ją poprzez swoje doświadczenia związane z obcowaniem z muzyką w codziennym życiu (Tillmann, Janata i Bharucha, 2003). Co ciekawe, badania wskazują, że możliwe jest śledzenie jedynie jednego dźwięku w danym momencie (Dowling, 1973; Cherry, 1953). Zanim jednak przeanalizujemy status wiedzy na temat przetwarzania muzyki w mózgu, zacznijmy od rozważenia, jak to się dzieje, że w ogóle słyszymy dźwięki.

Układ słuchowy – czyli dzięki czemu słyszymy to, co słyszymy

Aby zrozumieć, jak złożone jest przetwarzanie muzyki w mózgu, warto bliżej przyjrzeć się układowi słuchowemu człowieka oraz etapom przetwarzania informacji słuchowej w mózgu.

Centralny układ słuchowy człowieka składa się z trzech głównych systemów: systemu peryferycznego, do którego zaliczane są ucho zewnętrzne, środkowe i wewnętrzne, szlaków słuchowych, czyli szlaków wiodących do i z kory oraz ścieżek równoległych przebiegających przez obszary korowe, oraz centralnego układu nerwowego, a dokładnie kory mózgowej (Gage, 2007). Aby informacje słuchowe mogły być odebrane przez człowieka, muszą przejść kilka etapów przekształceń w obrębie wymienionych wcześniej systemów. W pierwszym etapie informacje ze świata zewnętrznego (fale dźwiękowe) muszą zostać przekształcone w fale przenoszone przez płyn znajdujący się w ślimaku ucha. Na kolejnym etapie dochodzi do mechanicznego pobudzenia blaszki podstawnej ślimaka, co sprawia, że drgania zostają przekształcone na impulsy elektryczne. Aby dźwięk został świadomie odebrany, impulsy elektryczne muszą dotrzeć do kory słuchowej znajdującej się w płatach skroniowych mózgu.

Na wejściu informacja słuchowa dociera w postaci fali dźwiękowej do ucha zewnętrznego (Gage, 2007). Na tym etapie fale dźwiękowe płynące ze świata zewnętrznego przenoszone są przez ucho zewnętrzne (małżowinę uszną) oraz zewnętrzny przewód słuchowy w kierunku błony bębenkowej. Zmiany ciśnienia spowodowane przez falę dźwiękową w kanale słuchowym pobudzają błonę bębenkową. Drgania błony bębenkowej aktywizują z kolei niewielkie kosteczki ucha środkowego – młoteczek, kowadełko i strzemiączko. Następnie drgania przenoszone są dalej, do tak zwanego okienka owalnego znajdującego się w ślimaku. Ślimak jest podstawowym organem ucha wewnętrznego. Jest on strukturą zawierającą płyn, w którym drgania przenoszone są dalej przez błonę podstawną, a dokładniej przez jej część: komórki włosowate. Na tym etapie dochodzi do przekształcenia drgań mechanicznych w impulsy elektryczne, zrozumiałe dla układu nerwowego. Następnie informacja dźwiękowa, w postaci impulsu nerwowego, przekazywana jest dalej do mózgu za pomocą nerwu słuchowego. Przepływające nerwem słuchowym informacje z obu uszu spotykają się w jądrze ślimakowatym pnia mózgu, gdzie krzyżują się szlaki słuchowe. Dzięki temu informacje płynące z obu stron głowy docierają do obu półkul mózgowych. Należy pamiętać, że informacje słuchowe analizowane są na różnych poziomach przetwarzania. Przyglądając się bliżej szlakom słuchowym, można zauważyć, że zostały one ukształtowane w sposób umożliwiający precyzyjne przekazywanie bardzo złożonych informacji dźwiękowych, jak mowa czy muzyka. Zanim dotrą do kory słuchowej, informacje dźwiękowe przechodzą przez wiele stadiów analizy. Odbyna się ona dzięki obecności licznych struktur jąder – gdzie analizowane są właściwości dźwięku, takie jak: ton, barwa, harmonia, intensywność (Sinex i in., 2003). Kora słuchowa zajmuje się natomiast analizą wyższego rzędu.

Zlokalizowana w płatach skroniowych każdej półkuli mózgu, wzdłuż bruzdy Sylwiusza, kora słuchowa jest rejonem wyspecjalizowanym w przetwarzaniu informacji dźwiękowych. Należy pamiętać, że kora słuchowa nie jest końcem łańcucha przepływu informacji słuchowych. Stanowi ona raczej wyspecjalizowany ośrodek przetwarzania dźwięku, który wchodzi w dynamiczne interakcje z innymi korowymi ośrodkami mózgu. Dzięki temu możliwe jest wykonywanie niezwykle złożonych zadań związanych ze słyszeniem i różnieniem dźwięków. Kora słuchowa składa się z wielu wyspecjalizowanych obszarów odpowiedzialnych za przetwarzanie informacji dźwiękowych, jednakże na obecnym etapie wiedzy nie jesteśmy w stanie dokładnie określić specyficznych funkcji każdego z nich (Gage, 2007).

Jak przetwarzana jest muzyka w mózgu?

Przetwarzanie muzyki w mózgu jest czynnością złożoną. Po pierwsze zakłada się, że dźwięki, tak jak i inne informacje sensoryczne, przetwarzane są w mózgu hierarchicznie. Po drugie sądzi się, że nie istnieje konkretne miejsce w mózgu odpowiadające za przetwarzanie muzyki jako takiej. Coraz częściej odchodzi się również od koncepcji wskazujących na wyraźny rozdział funkcji pomiędzy półkulami mózgu w przetwarzaniu informacji muzycznych.

Wielu badaczy zwraca uwagę na hierarchiczność przetwarzania informacji dźwiękowych w mózgu. Jak większość danych płynących ze środowiska zewnętrznego, informacje muzyczne przetwarzane są od parametrów najprostszych do najbardziej skomplikowanych. Ludzka kora słuchowa składa się z podobszarów charakteryzujących się odmiennymi właściwościami odpowiedzi czasowej. Jednocześnie każdy dźwięk, a dokładniej fala dźwiękowa, ma swój określony czas trwania. W obrębie kory słuchowej wyróżnić można dwa rodzaje odpowiedzi: trwałą, nieprzerwaną odpowiedź, utrzymującą się przez cały czas stymulacji dźwiękowej oraz krótkotrwałą odpowiedź, trwającą około pięciu sekund od zadziałania bodźca. Co więcej, tym dwóm typom odpowiedzi odpowiadają odmienne lokalizacje przestrzenne: ciągła odpowiedź czasowa związana jest z zakrętem Heschla (element pierwszorzędowej kory słuchowej), a odpowiedź krótkotrwała – z aktywacją licznych, otaczających zakręt Heschla jąder (Seifritz, Esposito, Hennel, Mustovic, Neuhoﬀ, Bilecen, Tedeschi, Scheffler i Di Salle, 2002). Odmienne charakterystyka funkcjonalna tych obszarów stanowi argument za hierarchicznym przetwarzaniem informacji dźwiękowej versus przetwarzaniem całościowym (Zatorre, 2003).

Uważa się, że podstawowe elementy, takie jak wysokość dźwięków i ich głośność, przetwarzane są w korze pierwszorzędowej, a dokładniej w obszarze nazywanym zakrętem Heschla. Obszary pierwszorzędowej kory słuchowej, takie jak zakręt Heschla, bruzda skroniowa poprzeczna (*sulcus temporalis transversus*) oraz płaszczyzna skroniowa (*planum temporale*), stanowiąca skojarzeniowy obszar słuchowy, były pobudzane za każdym razem, gdy osobom prezentowano tony o tej samej, kontrolowanej częstości, ale różniące się

głośnością w zakresie słyszalności od 30 do 70 dB (Brinder, Kaufman, Possing, Liebenthal, Tong i Ward, 2000).

Aktywacja zakrętu Heschla oraz sąsiadujących z nim obszarów korowych związana jest również ze zmianą wysokości dźwięków (*pitchs' changes*; Warren, Jennings i Griffiths, 2005). Co ciekawe, dokładnie te same obszary aktywowane były przy zmianie przestrzennej reprezentacji dźwięków (tzw. *spectrum envelope*). Jak zauważają autorzy, przestrzenna reprezentacja dźwięków odgrywa ważną rolę przy identyfikacji różnych bodźców muzycznych (np. instrumentów muzycznych) czy sylab w ludzkiej mowie: dźwięki o podobnym widmie są przez nas odbierane jako podobne, bez względu na inne ich charakterystyki. Przykładowo, jesteśmy w stanie rozpoznać daną sylabę niezależnie od tego, czy zostanie ona wypowiedziana szeptem czy głośno. Powyższe dane bezpośrednio potwierdzają przekładanie się wymiarów fizycznych dźwięku na ich subiektywny odbiór.

W drugorzędowej korze słuchowej przetwarzane są bardziej złożone właściwości dźwięków, jak: rytm, harmonia i kontur melodyczny. Przyjmuje się również, że istnieje trzeciorzędowa kora słuchowa, która bierze udział w integracji wszystkich danych, co uwiadcza się w możliwości słyszenia muzyki. Oznacza to, że nie ma centralnego „procesora” odpowiedzialnego za przetwarzanie form i treści muzycznych. Wiele danych wskazuje, że owo przetwarzanie ma charakter rozproszony i związane jest z aktywacją różnych obszarów korowych mózgu. Badania obrazujące mózg podczas słuchania muzyki wskazują nie tylko na aktywację kory słuchowej, lecz także części płata skroniowego, płata ciemieniowego, jak również mózdzku. Przykładowo, w badaniach D. Khorram-Sefata, Dierksa i Hackera (1997) pasywne słuchanie muzyki klasycznej wiązało się z aktywacją kory przedczołowej, kory skroniowej oraz mózdzku. Silne odpowiedzi wystąpiły także w pierwszorzędowej korze słuchowej oraz w korze asocjacyjnej.

Warto nawiązać tutaj do tematu poruszanego wcześniej, tj. do naszej zdolności wyodrębniania pojedynczych dźwięków z ich skomplikowanych i złożonych układów. Ma to znaczenie w wielu sytuacjach życia codziennego, np. na ruchliwym skrzyżowaniu ważna staje się umiejętność odróżnienia dźwięku samochodów czekających na światłach od poruszających się na sąsiednim pasie czy od innych odgłosów ulicy. Nowe badania z użyciem metod obrazowania mózgu fMRI sugerują, że w efektywnej percepcji zmian dźwięku mają znaczenie różnorodne struktury mózgowe: skroniowe, czołowe, jak i ciemieniowe (Zimmer i Macaluso, 2009). Współdziałanie wielu obszarów mózgu wydaje się więc konieczne dla percepcji złożonego układu, jaki stanowi muzyka.

Zgodnie z nowymi badaniami percepcja muzyki może mieć charakter modułowy (Peretz i Coltheart, 2003). Różne obszary mózgu odpowiadają za przetwarzanie poszczególnych danych dotyczących odmiennych aspektów muzyki. Oznacza to, że inny moduł mózgu odpowiada za przetwarzanie tonów, inny interwałów, a jeszcze inny rytmu czy metrum. Przykładowo górny zakręt skroniowy (*superior temporal gyrus*) okazał się odpowiedzialny za przełączanie się pomiędzy różnymi rodzajami stymulacji muzycznej, ale nie za przetwarzanie melodii czy harmonii słyszanych dźwięków. Obszar ten uaktywniał się, kiedy osoby miały za zadanie rozpoznawać różne utwory (Schmithorst, 2005). W innych

badaniach wykazano, że środkowa część zakrętu skroniowego ma z kolei znaczenie przy rozpoznawaniu melodii jako znanych lub nieznanymi (Platel, Baron, Desgranges, Bernard i Eustache, 2003). Jeżeli chodzi o przetwarzanie słyszanych dźwięków pod względem harmonii, badacze biorą pod uwagę dwie struktury: płat ciemieniowy, który uaktywnia się przy prezentacji melodii harmonijnych w porównaniu do nieharmonijnych (Beisteiner, Erdler, Mayer, Gartus, Edward, Kaindl, Golaszewski, Lindinger i Deecke, 1999) oraz płat potyliczny (Sato, Takeda, Nagata, Hatazawa i Kuzuhara, 2001). Zwiększoną aktywność płata potylicznego zaobserwowano, kiedy osoby miały za zadanie zwracać szczególną uwagę na harmonię słyszanych utworów. Aktywność płata potylicznego wykazały również badania z użyciem pomiaru pola magnetycznego mózgu (MEG), kiedy uczestnikom, zawodowym muzykom, prezentowano wizualnie różne zapisy nutowe oraz proszono o wyobrażenie sobie odpowiadających im dźwięków (Schürmann, Rajj, Fujiki i Hari, 2002).

Istnieje wiele danych wskazujących na fakt rozproszenia funkcji związanych z przetwarzaniem muzyki w mózgu. O braku jednego wyspecjalizowanego ośrodka odpowiadającego za przetwarzanie muzyki może także świadczyć przypadek znanego francuskiego kompozytora Maurice'a Ravela. Doznał on uszkodzenia mózgu w okolicach skroniowo-ciemieniowych lewej półkuli, prawdopodobnie w wyniku udaru. Uszkodzenie to ograniczyło możliwości rozumienia i powtarzania ze słuchu, co sprawiło, że Ravel nie był już w stanie zapisywać i czytać nut – nie mógł rozpoznawać zapisanej muzyki. Niemniej jednak francuski kompozytor zachował pewne zdolności muzyczne. Potrafił rozpoznać melodię i wychwycić w niej błędy. Pamiętał też swoje wcześniejsze kompozycje. Co ciekawe, niektórzy badacze uważają, że najslawniejsze dzieło Ravela – „Bolero” – mogło stanowić wczesny przejaw jego choroby. Zwracają uwagę na fakt występowania w tym utworze powtarzającej się uporczywie jednej frazy, która nie zostaje w żaden sposób rozwinięta. Przypadek ten wskazuje, że za różne czynności muzyczne odpowiadać mogą różne obszary mózgu: inne za zapis dźwięków, inne za rozumienie i rozpoznawanie.

Do niedawna uważano, że muzyka przetwarzana jest zgodnie z zasadą asymetrii półkulowej mózgu. Sądzono, że podobnie jak w przypadku innych funkcji poznawczych, przetwarzanie dźwięków oraz inne procesy związane z muzyką łączą się z funkcjonowaniem jednej z półkul mózgowych. Wskazywano, że uszkodzenie lewej półkuli upośledza funkcje związane z mową, natomiast uszkodzenie prawej półkuli upośledza funkcjonowanie emocjonalne (por. Springer i Deutsch, 2004).

Jeszcze na początku obecnego stulecia funkcjonowanie poznawcze, mowę, logikę itd. przypisywano lewej półkuli, natomiast prawa półkula miała być holistyczna i zajmować się głównie funkcjonowaniem emocjonalnym (por. Grabowska, 2000; Springer i Deutsch, 2004). Jednakże badania przeprowadzone w ostatnich latach pokazały, że w wyniku uszkodzenia którejś z półkul mogą zostać upośledzone pewne aspekty zarówno funkcjonowania poznawczego, jak i emocjonalnego, natomiast nie będzie zaburzone funkcjonowanie poznawcze/emocjonalne sensu stricto, w ujęciu globalnym (Baars i Gage, 2007). Obecnie wiadomo, że o ile na poziomie ogólnym rzeczywiście uszkodzenie lewej półkuli mózgowej prowadzi do zakłóceń funkcjonowania poznawczego, np. mowy, to jednak na poziomie

bardziej szczegółowym upośledzone zostają jedynie pewne aspekty mówienia (por. Springer i Deutsch, 2004). Podobnie, jeśli chodzi o prawą półkulę – jej uszkodzenie często prowadzi do trudności w rozpoznawaniu emocji, ale nie upośledza całkowicie funkcjonowania emocjonalnego (por. Springer i Deutsch, 2004).

Podobne różnice zdań dotyczą przetwarzania muzyki przez półkule. O zlateralizowaniu percepcji muzyki mogłyby świadczyć dane pochodzące z badań nad pacjentami, którzy doznali uszkodzenia lewej półkuli i cierpieli na zaburzenia mowy. Pacjenci mimo tego uszkodzenia potrafili śpiewać. Z kolei uszkodzenie prawej półkuli często powodowało zaburzenia zdolności muzycznych, co mogłoby świadczyć o prawostronnej lateralizacji funkcji muzycznych. Zagadnienie zaburzeń w percepcji i przetwarzaniu muzyki – amuzja – jest szerzej omawiane w końcowym rozdziale książki.

Obecnie badacze skłonni są jednak twierdzić, że podobnie jak inne procesy, percepcja muzyki oraz inne czynności z nią związane nie mają jasnej lokalizacji półkulowej. Uważa się, że różne elementy czy procesy mogą łączyć się z funkcjonowaniem zarówno prawej, jak i lewej półkuli. Badacze nie są jednak do końca zgodni, które funkcje kontroluje prawa, a które lewa półkula. Większość autorów skłonna jest uznać, że lewa półkula odpowiada raczej za przetwarzanie informacji dotyczących rytmu, natomiast prawa odpowiada przede wszystkim za przetwarzanie holistyczne i zajmuje się analizą metrum, harmonii czy konturu melodycznego. Tezie tej zdają się jednak przeczyć badania Popescu, Otsuki i Ioannidesa (2004), w których stwierdzono, że w przetwarzanie rytmu zaangażowana była zarówno lewa, jak i prawa półkula. Aktywnymi strukturami podczas słuchania muzyki okazały się obszary motoryczne, zwłaszcza pole przedruchowe (PMA) oraz dodatkowe pole ruchowe (SMA). Pobudzenie tych struktur występowało przy braku jawnych zachowań motorycznych (jak np. wybijania rytmu utworu). Można uznać je natomiast za zaangażowane w percepcję wzorców czasowych, odzwierciedlających zmiany w strukturze rytmicznej muzyki. Aktywacja PMA oraz SMA wykazywała silną lateralizację w zależności od ekspresji muzycznej, to jest od tego, na ile wykonanie utworu wykazywało odchylenia od średniego, dominującego tempa. Przy małej rozbieżności aktywacji ulegały obszary motoryczne lewej półkuli. Gdy rozbieżność była duża, pobudzana była półkula prawa. Być może wyjaśnieniem tych wyników mógłby być fakt, że zgodność utworu z dominującym tempem, a więc niejako z oczekiwaniami osób badanych, wiązała się z emocjami pozytywnymi (pobudzeniem lewej półkuli), niezgodność zaś z emocjami negatywnymi (prawa półkula).

Tradycyjne podejście do lateralizacji półkul mózgowych (lewa: funkcjonowanie poznawcze, prawa: emocjonalne) w połączeniu z przetwarzaniem różnych dźwięków, znalazło natomiast potwierdzenie w badaniu Meyera, Zysseta, Yves von Cramona i Altera (2005). Osobom prezentowano dźwięki, takie jak ludzki śmiech, rozwijająca się rozmowa oraz dźwięki pozbawione ludzkiego głosu (*non vocal sounds*), przy czym wszystkie dźwięki były zróżnicowane pod względem czasu trwania i brzmienia (np. śmiech męski lub żeński). Bez względu na rodzaj stymulacji zwiększony przepływ krwi wystąpił w okolicach bruzdy Sylwiusza (*peri-sylvian cortex*), przy czym słyszenie ludzkiego śmiechu aktywowało głównie obszary słuchowe i somatosensoryczne prawej półkuli, rozmowa ludzka – boczne obszary

skroniowe półkuli lewej, a dźwięki pozbawione ludzkiego głosu – okolice zakrętu Heschla i bruzdę boczną Sylwiusza w obu półkulach. Stanowi to potwierdzenie większego udziału półkuli lewej w przetwarzaniu mowy, a półkuli prawej – w przetwarzaniu informacji niewerbalnych. Ludzki śmiech można przy tym traktować jako niosący w sobie ładunek emocjonalny i przez to pobudzający w większym stopniu półkulę prawą. Co ciekawe, pasywne słuchanie ludzkiego śmiechu aktywowało również obszary mózgu odpowiedzialne za motorykę, a dokładniej za funkcjonowanie krtani, co stanowi dowód na silne powiązanie w obszarach odbioru oraz ekspresji dźwięków. W tym przypadku można powiedzieć, że słuchanie ludzkiego śmiechu pobudza słuchacza do śmiechu.

Wciąż brak jest jednak zgody co do istnienia bądź braku lateralizacji mózgowej w przetwarzaniu muzyki. Przykładowo w badaniach Schmithorsta (2005), przy rozróżnianiu różnych rodzajów stymulacji muzycznej oraz ocenie harmoniczności ich brzmienia zaobserwowano zwiększoną aktywację okolicy Broca w lewej półkuli, ale także odpowiadających jej obszarów prawopółkulowych, oraz obustronną aktywację zakrętu czołowego, co przemawiałoby przeciwko lateralizacji półkulowej przy przetwarzaniu bodźców muzycznych. W tym samym badaniu stwierdzono jednakże zwiększoną aktywację obszarów lewej półkuli odpowiedzialnych za funkcje językowe, kiedy podczas analizy utworów badani spontanicznie przypominali sobie słowa popularnych piosenek. Zależność ta nie występowała, gdy prezentowany utwór był jedynie linią melodyczną, bez tekstu (np. *Chariots of Fire* Vangelisa). Z kolei w badaniu Puschmana, Uppenkampa, Kollmeiera i Thiela (2010) w odpowiedzi na dźwięki o różnej wysokości aktywowany był zakręt Heschla w obu półkulach, co stanowiłoby dowód zgeneralizowanego przetwarzania muzyki, a przynajmniej wysokości dźwięków w korze słuchowej. Podobnie, zarówno prawa, jak i lewa półkula okazały się być zaangażowane w przetwarzanie tembru (barwy) dźwięku (zwłaszcza zakręt Heschla i bruzda skroniowa górna). Jednocześnie aktywacja płatu skroniowego przy przetwarzaniu barwy dźwięku była wyraźnie opóźniona w lewej półkuli w porównaniu z prawą, co wskazywałoby na pewną asymetrię funkcjonalną (Menon, Levitin, Smith, Lembke, Krasnov, Glazer, Glover i McAdams, 2002). Jednym z wyjaśnień tej asymetrii mogą być różnice w budowie anatomicznej: prawa pierwszorzędowa kora słuchowa jest bardziej wysunięta do przodu i na bok niż lewa, przez co szybciej odbiera stymulację (por. Rademacher, Morosan, Schormann, Schleicher, Werner, Freund i Zilles, 2001).

Ponieważ słuchanie muzyki związane jest z licznymi czynnościami psychicznymi człowieka (angażowaniem emocji, wyobraźni, uruchamianiem wspomnień, wyzwaniem zachowań), badania nad konkretnymi korelatami mózgowymi nie dają nam precyzyjnej odpowiedzi na pytania o lokalizację tego procesu (Gage, 2007). Należy również wspomnieć o subtelnych różnicach w aktywacji obszarów mózgowych w zależności od cech odbieranych dźwięków. Przykładowo złożone dźwięki stanowiące dla nas nowość w porównaniu do prezentacji dźwięków standardowych, wiązały się z większą aktywacją struktur lewopółkulowych: zakrętu skroniowego (*temporal gyrus*) i zakrętu czołowego (*frontal gyrus*), co mogłoby świadczyć o ich zwiększonej analizie. Jednocześnie jednak pobudzeniu ulegały niewielkie obszary zakrętu skroniowego górnego, odpowiedzialnego za zrozumienie i pamięć dźwięków, w prawej półkuli (Müller, Jüptner, Jentzen i Müller, 2002).

Obecna wiedza pozwala potwierdzić istnienie silnych powiązań między strukturami odpowiedzialnymi za procesy emocjonalne (np. ciało migdałowe, ośrodki układu nagrody) i poznawcze (np. ośrodki mowy czy ośrodki w płacie skroniowym odpowiedzialne za pamięć operacyjną) (Altenmuller, 2004) a strukturami biorącymi udział w odbiorze muzyki. Przykładowo, wstępne procesy odpowiedzialne za rejestrację dźwięku odbywają się m.in. z udziałem wzgórza, skąd sygnał przekazywany jest dalej do pierwszorzędowej kory słuchowej. Co ważne, wzgórze posiada liczne połączenia z ciałem migdałowatym oraz środkową korą oczodołowo-czołową (*medial orbitofrontal cortex*), strukturami odpowiedzialnymi za emocje oraz kontrolę emocjonalną (Le Doux, 2000; Öngür i Price, 2000). Ocenianie muzyki jako przyjemnej/nieprzyjemnej, a więc zaangażowanie procesów emocjonalnych, wpływało na aktywację obszarów nagrody/kary. Reakcja wywołana oceną muzyki była równie silna jak dla pożywienia i seksu – pierwotnych, istotnych emocjonalnie bodźców (Blood i Zatorre, 2001).

Wcześniej już zwrócono uwagę na występującą powszechnie, niezależnie od edukacji muzycznej, umiejętność analizy utworu muzycznego, tj. wyodrębniania jego cech (tonów, interwałów, akordów) przekładających się m.in. na subiektywne wrażenie harmonicznego utworu. Wydaje się, że ta umiejętność jest istotna dla odbioru emocji oraz znaczeń niesionych przez muzykę. Przykładowo, nagłe, nieregularne akordy w utworze mogą wywoływać odpowiedź emocjonalną analogiczną do tej występującej przy zaskoczeniu (Koelsch, Kasper, Sammler, Schulze, Gunter i Friederici, 2004). Fakt ten wykorzystywany jest również przez kompozytorów jako środek ekspresji muzycznej i nadawania określonego znaczenia utworowi.

Inne badania pokazują, że bez względu na wykształcenie muzyczne słuchaczy muzyka ma zdolność wywoływania u nich analogicznych emocji. Kiedy profesjonalistom oraz osobom bez wykształcenia muzycznego polecono sklasyfikować specjalnie dobrane utwory według wywoływanych przez nie emocji, okazało się, że grupy te nie różniły się pod względem udzielanych odpowiedzi. Innymi słowy, wszystkie osoby doznawały pod wpływem konkretnej muzyki podobnych uczuć (Bigand, Tillmann, Poulin-Charronnat, Manderlier, 2005). Wynik ten może sugerować, że bez względu na formalną wiedzę i umiejętność analizy budowy utworu muzycznego, wiele z jego cech składowych automatycznie przekłada się na odpowiedź emocjonalną.

Z kolei o znaczeniu muzyki, jako mogącej poprzedzać reprezentację znaczeniową, świadczy badanie przeprowadzone z użyciem EEG, w którym badanym najpierw prezentowano krótkie fragmenty muzyczne, a następnie różne słowa (zarówno konkretne, jak i abstrakcyjne), związane lub niezwiązane z utworem. W grupie kontrolnej zamiast muzyki prezentowane były różne zdania. Okazało się, że w obydwu przypadkach, tj. zarówno wtedy, gdy słowa poprzedzane były przez zdania, jak i przez muzykę, mózgi osób wykazywały dokładnie taki sam potencjał elektryczny N400, będący oznaczeniem aktywności mózgowej, która występuje przy przetwarzaniu semantycznym. Dowodzi to, że muzyka może mieć znaczący wpływ na przetwarzanie semantyczne słów oraz że efekt poprzedzania dla przetwarzania semantycznego słów może być identyczny dla muzyki oraz dla języka (Koelsch, Kasper, Sammler, Schulze, Gunter i Friederici, 2004).

Powiązanie procesów przetwarzania muzyki z procesami językowymi postulowane jest przez wielu autorów. Po pierwsze, zarówno mowa, jak i muzyka angażują sekwencje dźwięków. Reguły budowy utworów muzycznych przyrównywane są ponadto do składni zdania (Patel i Iversen, 2007; Price, Guillaume i Griffiths, 2005). Wong, Skoe, Russo, Dees i Kraus (2007) zwracają uwagę na procesy przetwarzania tonów. Ton stanowi składową muzyki, ale tony służą także do przekazywania informacji językowych. Praktycznie wszystkie istniejące języki wykorzystują odmienną tonację do akcentowania różnic leksykalnych (znaczeniowych) między wyrazami. Wypowiedzenie sylaby powoduje oscylacyjną odpowiedź neuronalną we wzgórkach czworaczych dolnych (*inferior colliculus*), stanowiących stację przekaźnikową na drodze przesyłania informacji słuchowych wyżej, do struktur korowych. W badaniach Wonga i współpracowników (2007), w których brali udział muzycy oraz osoby niebędące muzykami, okazało się, że wypowiadanie sylab z różną tonacją wpływa na silniejszą aktywację wzgórków czworaczych u muzyków niż u niemuzyków. Co więcej, występowała pozytywna korelacja pomiędzy intensywnością odpowiedzi neuronalnej a długością treningu muzycznego z jednej strony oraz umiejętnością adekwatnego rozróżnienia znaczenia wypowiadanych sylab z drugiej. Wyniki te sugerują, że doświadczenie muzyczne wpływa na procesy przetwarzania mowy na poziomie podkorowym. Wsparcia dla tych badań, a jednocześnie kolejnego dowodu powiązania procesów percepcji językowej i muzycznej, dostarczają badania Jentschke i Koelsch (2009), które potwierdzają, że trening muzyczny wpływa na rozwój składni u dzieci. U dzieci poddanych treningowi, amplitudy EEG dla struktur nerwowych odpowiedzialnych za przetwarzanie budowy muzycznej i językowej były prawie dwukrotnie wyższe niż u dzieci nieuczestniczących w ćwiczeniach muzycznych. Najnowsze badania z użyciem fMRI wskazują na istnienie wspólnego obszaru korowego, zaangażowanego w przetwarzanie językowe i muzyczne. Badani słuchali słów wypowiadanych, wokalizowanych (śpiewanych bez użycia słów) oraz wyśpiewywanych. Każdorazowo aktywowane były te same obszary mózgowie, tj. środkowy i górny zakręt skroniowy (*middle and superior temporal gyri*) oraz dolny i środkowy zakręt czołowy (*inferior and middle frontal gyri*), aczkolwiek w różnym stopniu (Schön, Gordon, Campagne, Magne, Astésano, Anton, Besson, 2010).

W percepcji muzyki bierze udział także pamięć słuchowa. Bodziec dźwiękowy zostaje poddany analizie pod tym kątem prawdopodobnie bezpośrednio po zakończeniu analizy w korze słuchowej (Koelsch i Siebel, 2005). Procesy zachodzące w pamięci słuchowej odzwierciedla przynajmniej częściowo fala potencjału niezgodności (*mismatch negativity* MMN). Potencjał MMN należy do potencjałów słuchowych, rejestrowanych z poziomu kory mózgowej. Jest on wyrazem automatycznej aktywności mózgu związanej z wykryciem różnicy pomiędzy wyróżnionym bodźcem dźwiękowym a serią identycznych, standardowych bodźców dźwiękowych, które go poprzedzają. Inaczej mówiąc, ten potencjał odzwierciedla proces wykrycia niezgodności pomiędzy cechami akustycznymi bodźca rzadkiego a utrwaloną w krótkotrwałej pamięci słuchowej informacją o cechach akustycznych bodźca częstego (Senderski, 2002). Co ważne, dwa główne źródła generowania MMN stanowią kora słuchowa prawej i lewej półkuli oraz kora płata czołowego.

Integracja cech słuchowych bodźców pozwala zaklasyfikować je w pamięci słuchowej pod względem podobieństwa, odległości przestrzennej od ich źródeł oraz ciągłości. W codziennym życiu jest to ważne nie tylko dla przetwarzania muzycznego, lecz np. także dla odróżnienia głosu naszego rozmówcy od innych dźwięków w otoczeniu. Procesy pamięciowe odgrywają rolę w rozpoznawaniu i tworzeniu poznawczych reprezentacji obiektów akustycznych (Koelsch i Siebel, 2005). Nie dziwi zatem, że pamięć słuchowa jest ściśle związana z innymi rodzajami pamięci, takimi jak pamięć operacyjna (analiza budowy dźwięków muzycznych) oraz pamięć długotrwała (analiza znaczenia dźwięku). Dane neuroobrazowe sugerują, że pamięć operacyjna dla tonów angażuje przede wszystkim zakręt czołowy, okolicę przedruchową, obszary ciemieniowe oraz mózdzek (Gaab, Gaser, Zaehle, Jancke i Schlaug, 2003; Janata, Tillmann i Bharucha, 2002; Zatorre, Evans i Meyer, 1994). Semantyczna pamięć muzyczna wiąże się zaś z aktywacją głównie lewych przednich obszarów skroniowych (Platel, Baron, Desgranges, Bernard i Eustache, 2003). Oba typy procesów zwykle ze sobą współwystępują. Dane te stanowią jednocześnie potwierdzenie modułowego charakteru przetwarzania muzyki.

W jeszcze innych badaniach stwierdzono, że obecność muzyki może wpływać na aktywność wzrokową mózgu (Jaušovec i Habe, 2004). Posłużono się zadaniem typu *visual oddball task*. W zadaniu tego typu osobie badanej prezentuje się wielokrotnie dwa rodzaje bodźców. Jeden bodziec, standardowy, pojawia się często, drugi zaś, celowy, pojawia się rzadko. Zadaniem osoby badanej jest zwracanie uwagi na bodźce celowe, np. liczenie, ile razy się one pojawiają. Porównanie zapisu aktywności elektrycznej mózgu w momentach, kiedy pojawiały się bodźce standardowe versus bodźce celowe, ujawnia charakterystyczną zmianę. Kilkaset milisekund po momencie, w którym prezentowano bodźce, w zapisie wysokości napięcia elektrycznego pojawia się nagłe pozytywne wychylenie, obrazujące jego wzrost. Po bodźcach celowych wzrost napięcia jest bardzo znaczny. W omawianym badaniu bodźcami standardowymi były koła, a bodźcami celowymi – kwadraty. Okazało się, że wykonywanie tego prostego zadania poznawczego z towarzyszeniem muzyki (sonata K 448 Mozarta) wpływa na zmianę aktywności mózgu. Podczas słuchania muzyki zmiany zachodziły intensywniej i bardziej chaotycznie niż w warunkach ciszy, analogicznie jak ma to miejsce np. w warunkach aktywności mentalnej versus spoczynku (Stam, Tavy, Jelles, Achtereekte, Slaets i Keunen, 1994; Lutzenberger, Birbaumer, Flor, Rockstroh i Elbert, 1992; Lutzenberger, Elbert, Birbaumer i Ray, 1992). W oparciu o powierzchniowe obserwacje zaistniałe zmiany można by tłumaczyć większym obciążeniem poznawczym, wynikającym z konieczności przetwarzania muzyki przy wykonywaniu zadania poznawczego. Okazało się jednak, że zmianie w zależności od warunków ulegał również rytm fal gamma, które to fale uznawane są za towarzyszące procesom identyfikowania bodźców jako całości (Singer i Gray, 1995). Słuchanie muzyki, w przeciwieństwie do warunków ciszy, zdaje się przyczyniać do zwiększonej integracji poszczególnych obszarów mózgu, i tym samym ułatwia analizę i syntezę poszczególnych elementów stymulacji sensorycznej w jedną całość (Jaušovec i Habe, 2004). Również w innych badaniach odmienne warunki (słuchanie muzyki versus odpoczynek) przekładały się na zmiany