

Piotr Markiewicz

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Wojewódzki Szpital Specjalistyczny w Olsztynie

Neuropsychologia amuzji

1. Wprowadzenie. Problematyka

Celem artykułu jest charakterystyka patologii neurokognitywnej, zwanej *amuzją*, na podstawie wybranych badań i koncepcji. Amuzja jest typem wrodzonej lub nabytej dysfunkcji analizy sygnału muzycznego. Osoba z amuzją nie jest w stanie np. rozpoznać w grupie słyszanych dźwięków powszechnie znanego hymnu państwowego lub nie potrafi wykonać na instrumencie utworu muzycznego poprzednio dobrze wyćwiczonego. W literaturze naukowej oraz popularnonaukowej istnieją różne opisy przypadków osób z amuzją, które ujawniają silny związek pomiędzy defektami przetwarzania muzycznego a jakością życia i dobrostanem psychicznym (por. np. Sacks, 2009). Pomimo postępującej wiedzy i licznych badań w tym zakresie amuzja nie zawsze jest przedmiotem analiz w opracowaniach dotyczących neuronauki słuchowej (przykładowo – Schnupp, Nelken, King, 2011).

Z perspektywy neuropsychologicznej fenomen amuzji wskazuje na dwa podstawowe problemy. Pierwszy z nich – (P1) – dotyczy mózgowych mechanizmów (korelatów) amuzji w różnych jej wariantach. Problem (P1) można wyrazić w postaci następującego pytania: jak działa mózg osoby z amuzją? Biorąc pod uwagę, że amuzja jest formą patologii poznawczej możemy spodziewać się opisu różnicującego funkcjonowanie mózgowia osoby z zachowanymi zdolnościami

przetwarzania sygnału muzycznego oraz osoby z amuzją. W ten sposób uzyskamy odpowiedź na pytanie: co jest neurologiczną podstawą defektu zwanego *amuzją* i jakie struktury mózgowia są kluczowe dla przetwarzania muzyki? Problem drugi – (P2) – dotyczy specyfiki amuzji wobec innych zjawisk neurokognitywnych. Problem (P2) można sformułować następująco: czy amuzja jest zjawiskiem specyficznym kognitywnie i neuronalnie, czy też współwystępuje z bardziej uogólnionymi deficytami, np. w zakresie percepcji, pamięci, uwagi i funkcji językowych? Problem (P2) jest analogiczny do trudności z opisem natury afazji, czyli deficytów przetwarzania językowego o etiologii mózkowej (por. np. Friederici, 2002; Saygin i in., 2004; Hagoort, 2005). Pozytywne rozwiązanie problemu (P2) wskazuje, że przetwarzanie sygnału muzycznego odbywa się w modularnie zorganizowanych strukturach mózgowia lub że istnieje coś w rodzaju muzycznego mózgu, wyspecjalizowanego tylko i wyłącznie w dziedzinie muzyki (por. Peretz, Coltheart, 2003; Tillman i in., 2010). Negatywne rozwiązanie problemu (P2) pozwala sądzić, że modularny mózg muzyczny jest fikcją teoretyczną lub że przetwarzanie sygnału muzycznego odbywa się w rozproszonej sieci neuronalnej, w której obok specjalistycznych modułów muzycznych realizujących wąskie zadania kognitywne współwystępują bardziej ogólne systemy, np. pamięci operacyjnej i funkcji motorycznych (dyskusja ze stanowiskiem modularnym, por. np. Douglas, Bilkey, 2007; Särkämö i in., 2009; Särkämö i in., 2010).

W artykule skupiam się zasadniczo na problemie (P1), ale będę też angażował zagadnienia z zakresu problemu (P2). Plan tekstu jest następujący: po przedstawieniu neurokognitywnych modeli przetwarzania informacji muzycznej (pkt 2), przejdę do charakterystyki typologicznej i diagnostycznej zjawiska amuzji (pkt 3–7). W końcowej części artykułu (pkt 8) poruszę zagadnienie modularności muzycznej.

2. Przetwarzanie informacji muzycznej

Amuzja jest negatywnym odpowiednikiem czegoś, co możemy nazwać *muzyką* (podobnie jest w przypadku agnozji i gnozji), a więc zdolnością przetwarzania informacji muzycznej. Z różnych badań wiadomo, że takie przetwarzanie jest złożonym procesem, w którym uczestniczą różne funkcje kognitywne i struktury mózgowia (m.in. Peretz, Coltheart, 2003; Koelsch, Siebel, 2005; Koelsch, 2011).

W modularnym modelu Peretz i Colthearta (2003), opartym na analizie zachowań pacjentów po uszkodzeniu mózgowia, przetwarzanie muzyczne rozpoczyna się od analizy akustycznej sygnału (rys. 1, kółko 1). Na tym etapie dochodzi do automatycznej interpretacji (2) danego sygnału jako sygnału o charakterze muzycznym, w odróżnieniu od innych sygnałów dźwiękowych. Dalsza analiza sygnału już muzycznego przebiega równolegle (3) w dwóch podsystemach. Pierwszy z nich (4), zdaniem Peretz i Colthearta specyficzny dla przetwarzania muzycznego, dotyczy organizacji meliczno-tonalnej (kontur melodyczny oraz funkcje tonalne) sygnału. Taka organizacja odbywa się w sposób automatyczny i nie dotyczy dźwięków mowy. Na podstawie badań zespołu Janaty (Janata i in., 2002), Peretz i Coltheart sugerują, że możliwym neuroanatomicznym substratem modułu tonalnego są przednie struktury kory przedczołowej. Uszkodzenia tego modułu mogą powodować m.in. brak zdolności oceny podobnych melodii i poważny deficyt pamięci dźwięków. Drugi podsystem (5), niekoniecznie specyficzny dla przetwarzania muzycznego, zajmuje się aspektami temporalnymi sygnałów (rytm, metrum).

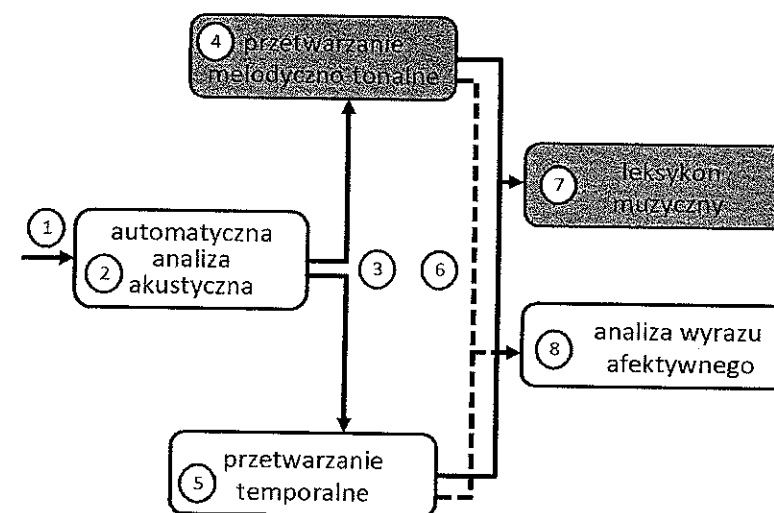


Fig. 1. Model przetwarzania informacji muzycznej

Źródło: Peretz, Coltheart (2003). Adaptacja własna zmodyfikowana na użytek artykułu. Kółka 1–8 oraz różnice w wypełnieniu ramek – opis w tekście

Zorganizowany w obu niezależnych podsystemach sygnał może następnie (6) zostać przetworzony w bazie danych w leksykonie muzycznym (7) lub zostać poddany analizie afektywnej (8). Dzięki temu pewne melodie są rozpoznawane, nowe melodie zostają zapisane w leksykonie, a wszystkie nabierają wartości emocjonalnej.

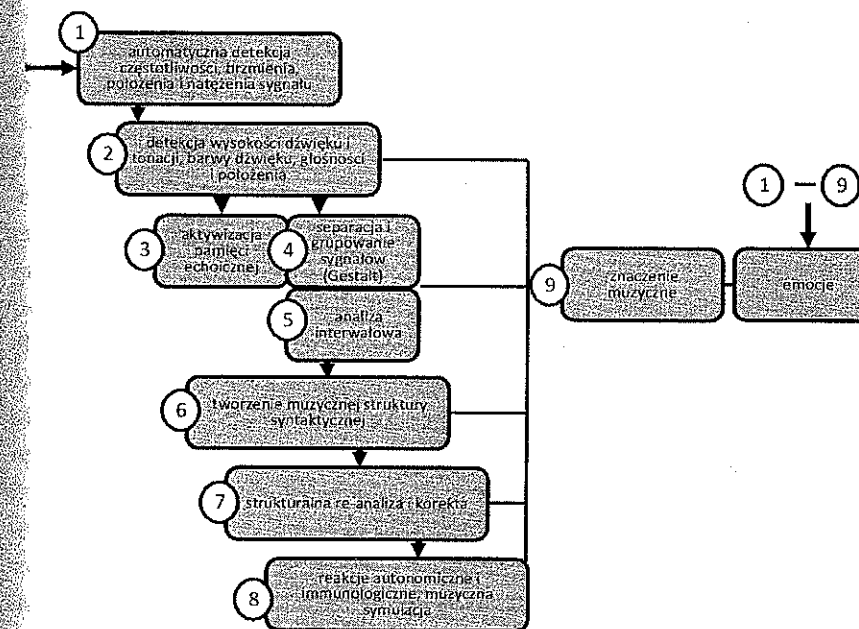
Poza wymienionymi elementami model Peretz i Colthearta zawiera inne komponenty i relacje, np. moduł tworzenia planu wokalnego, a następnie śpiewu oraz udział pamięci asocjacyjnej lub modułów fonologicznych w przetwarzaniu muzycznym. Ich obecność pozwala kreślić autorom przedstawianego modelu różne scenariusze kognitywne w kontekście analizy informacji muzycznej. Z tego modelu wynika, że przetwarzanie meliczno-tonalne oraz leksykon muzyczny (zaciemnione obszary 4 i 7 w ramkach na ryc. 1) są specyficznymi modułami muzycznymi (pomijam tutaj także specyficzny muzycznie moduł śpiewu). Inne moduły (5 oraz 8) mogą być specyficznie muzyczne, ale zdaniem Peretz i Colthearta jest to kwestia przyszłych ustaleń empirycznych.

Bardziej neurokognitywnie opracowany model przetwarzania muzycznego a dokładniej percepcji muzycznej, sformułował Koelsch (Koelsch, Siebel, 2005), wersja zaktualizowana Koelsch, 2011). Szczególna wartość tego modelu polega na charakterystyce czasowej (EEG, ERPs) i strukturalno-funkcjonalnej (fMRI) procesu przetwarzania sygnału muzycznego. W przeciwieństwie do modułarnej, zorientowanego modelu Peretz i Colthearta (2003), model Koelscha zakłada, że poszczególne moduły obok funkcji muzycznych mogą także obsługiwać funkcje językowe.

W modelu Koelscha (2011) proces percepcji muzycznej rozpoczyna się od przeduwagowej translacji wartości sygnału na wzory reakcji neuronalnych w ślimaku oraz w słuchowych ścieżkach pnia mózgu i wzgórz. Czas takiej reakcji wynosi 1,5–10 ms i pozwala na wstępną detekcję częstotliwości, widma, położenia i natężenia sygnału (ryc. 2 – kółko 1). Następnie sygnał zostaje przesłany do wielu obszarów kory słuchowej (BA41, BA42, BA52) oraz do jąder ciała migdałowatych i do przednich obszarów kory przedczołowej. Spośród różnych funkcji kognitywnych realizowanych przez obszary kory słuchowej podstawowa z nich dotyczy zdolności przekształcenia własności akustycznych w percept słuchowy (wysokość dźwięku, chroma). Uszkodzenia (obustronne lub prawostronne) w obszarach pierwotnej kory słuchowej mogą powodować właśnie deficyty przetwarzania w zakresie wysokości dźwięków i chromy (por. Johnsrude i in., 2000; Zatorre, 2001; Tramo i in., 2002; za: Koelsch, 2011). Poza tym

obszary kory słuchowej zajmują się detekcją barwy dźwięku, głośności i położenia (ryc. 2 – kółko 2). Latencje opisanego procesu tworzenia pierwotnego perceptu słuchowego oscylują w granicach 10–100 ms od rozpoczęcia ekspozycji bodźcowej.

Kolejne fazy przetwarzania sygnału akustycznego przebiegają względnie równoległe i obejmują tworzenie formy-figury (Gestalt) dźwiękowej oraz aktywizację pamięci echoicznej (sensoryczna pamięć słuchowa) (ryc. 2 – kółka 3 i 4). Ta ostatnia funkcjonuje w zakresie latencji 100–200 ms i prawdopodobnie jest zlokalizowana wokół kory słuchowej oraz w brzuszno-bocznych obszarach kory przedczołowej (obszary Brodmanna 41,42,52, 6, 44, 45). Z kolei Gestalt muzyczny polega na procesach separacji i grupowania (np. melodycznego, rytmicznego, przestrzennego) sygnałów w scenie słuchowej (Bregman, 1994). Z różnych badań (por. Koelsch, 2011) wynika, że kluczową strukturą neuroanatomiczną dla analizy sceny słuchowej i segregacji sygnałów jest fragment asocjacyjnej kory słuchowej, tzw. *placium temporale* (płaszczyna skroniowa, skojarzeniowy obszar słuchowy).



Ryc. 2. Neurokognitywny model percepcji muzyki

Źródło: Koelsch (2011). Adaptacja własna, zmodyfikowana na użytek artykułu.

Kółka 1–9 oraz lokalizacje neuronalne – opis w tekście

Z przetwarzaniem typu Gestalt jest ściśle powiązana analiza interwałowa i bardziej szczegółowa analiza akordów oraz melodii (ryc. 2 – kółko 5). Prawdopodobnym neuronalnym korelatem takich analiz są struktury zarówno skroniowe, jak i dolne przedczołowe. Obserwacja konsekwencji uszkodzenia mózgu wskazuje na kluczową rolę tylnej części prawego górnego zakrętu skroniowego w przetwarzaniu konturu melodycznego oraz obustronnie płaszczyzny nadskroniowej w zaawansowanej analizie interwałowej (Liégeois-Chauvel i in., 1998; Patterson i in., 2002; Peretz, Zatorre, 2005; za: Koelsch, 2011).

Kolejny etap przetwarzania muzycznego w modelu Koelscha dotyczy syntakty tonalnej (harmonicznej) oraz szczegółowych analiz czasowych w zakresie metrum i rytmiki (ryc. 2 – kółko 6). Efektem takiego procesu jest formowanie struktury muzycznej. Różne badania wskazują na większe latencje w tym zakresie (180–400 ms) i istotną rolę dolnego zakrętu czołowego (obustronnie ze wskazaniem na prawy zakręt, BA 44). Wskazana struktura uczestniczy także w innych, niemuzycznych już procesach, np. w przetwarzaniu syntaktyki językowej i sekwencji motorycznych. Poza BA 44 także inne obszary odpowiadają za przetwarzanie syntaktyki muzycznej – górna część wiczkowa dolnego zakrętu czołowego, przednie obszary górnego zakrętu skroniowego, obszary brzusznej kory przedczołowej (przegląd: Koelsch, 2011).

W przypadku percepcji struktur nietypowych, nieznanych lub nieoczekiwanych może włączyć się proces strukturalnej re-analizy i korekty percypowanej frazy (ryc. 2 – kółko 7). Taki proces odbywa się z latencją 600–900 ms, co wskazuje na występowanie sterowanych *top-down* relacji pomiędzy posiadaną wiedzą a informacją bodźcową. Poza tym inne aspekty przetwarzania muzycznego (ryc. 2 – kółko 8) dotyczą reakcji autonomicznych lub immunologicznych na sygnały dźwiękowe (muzyczne) oraz wirtualnego (symulacja) i rzeczywistego działania. Różne studia neurokognitywne (przegląd: Koelsch, 2011) dotyczące związków pomiędzy percepcją i działaniem sugerują, że także w przypadku przetwarzania muzycznego istnieją interferencyjne związki pomiędzy późnymi procesami percepcji muzyki i wczesnymi procesami organizacji motorycznej (planowanie ruchu). To wyjątkowo, takie efekty, jak aktywność obszarów przedruchowych u pianistów słuchających tylko utworu fortepianowego lub u amatorów słuchających utworów wokalnych.

Ostatnie komponenty percepcyjnego przetwarzania muzycznego w modelu Koelscha (2011) to tworzenie znaczenia muzycznego (ryc. 2 – kółko 9) oraz reakcje emocjonalne. Proces budowania semantyki muzycznej oraz regulacji afektywno-emocjonalnej rozpoczyna się już na wczesnym etapie detekcji cech

wrażeńiowych dźwięków i przebiega przy pozostałych elementach przetwarzania muzycznego. Zdaniem Koeschla część dostępnych danych empirycznych (studia ERPs) wskazuje na silne podobieństwa pomiędzy semantyką językową a semantyką muzyczną. Jednak niektóre studia wskazują na specyficzne reakcje (N5) podczas przetwarzania informacji muzycznej, co sugeruje występowanie zjawiska tworzenia znaczenia wewnątrzmuzycznego. Korelatami takiej specyficznej reakcji są złożone źródła w obszarach skroniowych (BA 21/37) i czołowych (tylne obszary dolnego zakrętu czołowego).

Przedstawione modele przetwarzania muzycznego są istotne z perspektywy neuropsychologicznej. Przede wszystkim z obu modeli wynika brak zgody w zakresie specyficzności przetwarzania sygnału muzycznego. Obok modelu modularnego mamy model interaktywny, wskazujący na liczne powiązania analizy muzycznej z analizą językową lub motoryczną. Po drugie, wartość tych modeli polega na wskazaniu funkcjonalnych elementów przetwarzania muzycznego oraz ich neuroanatomicznych lub neurofunkcjonalnych korelatów. Jest to o tyle istotne, że deficyty przetwarzania informacji muzycznej pochodzą z defektów normalnie działającej architektury neurokognitywnej. Znajomość takiej architektury, a to zapewniają wyżej opisane modele, pozwala na bardziej precyzyjne wskazanie specyfiki deficytu przetwarzania muzycznego, w tym różnych typów amuzji.

3. Typy amuzji i neuropsychologiczna diagnostyka amuzji

Amuzja jako typ agnozji słuchowej jest złożoną klasą różnych dysfunkcji. Podobnie jak w wypadku innych typów agnozji słuchowych, warunkiem koniecznym wystąpienia amuzji jest obecność defektów mózgowia, brak uszkodzenia sensorycznej modalności słuchowej, brak deficytów motorycznych i zachowanie ogólnej inteligencji. Amuzję od innych typów agnozji słuchowych wyróżnia jej odniesienie, czyli zaburzone przetwarzanie muzyczne. Osoba z amuzją nie jest w stanie m.in. prawidłowo odebrać, wykonać utworu muzycznego. Taka osoba nie rozpoznaje melodii, które wcześniej rozpoznawała, i nadal zachowuje zdolność rozumienia mowy, rozpoznawania znajomych głosów oraz dźwięków środowiskowych (Peretz, Coltheart, 2003).

Zakres amuzji ujawniają jej różne typy. Podstawowa typologia dotyczy genetycznych dysfunkcji. Gdy deficyt przetwarzania muzycznego ujawnia się wcześniej

w ontogenezie jako rezultat wady mózgowej organizacji, mamy do czynienia z amuzją wrodzoną. Gdy deficyt przetwarzania muzycznego jest wynikiem np. udaru lub urazowego uszkodzenia mózgowia, wówczas możemy mówić o amuzji nabytej. Inna podstawowa typologia obejmuje zakres deficytu. Amuzja czuciowa wiąże się z utratą słuchu muzycznego, natomiast amuzja motoryczna może ujawnić się np. w postaci utraty umiejętności gry na instrumencie muzycznym.

Diagnoza amuzji wymaga zastosowania wystandaryzowanych narzędzi badawczych. W tym kontekście najczęściej wykorzystywaną jest Montrealska Bateria Oceny Amuzji (*Montreal Battery of Evaluation of Amusia*, MBEA; Peretz, Champod, Hyde, 2003). MBEA składa się z sześciu zadań muzycznych, dotyczących poszczególnych modułów muzycznych – skala, kontur, interwał, rytm, metrum i pamięć. Pierwsze trzy kategorie dotyczą melicznych aspektów sygnału muzycznego, natomiast rytm i metrum odnoszą się do czasowych aspektów przetwarzania muzycznego. Jak widać, zadania w baterii MBEA są ściśle powiązane z modelem zaproponowanym przez Peretz i Colthearta (2003, zob. ryc. 1). Podczas stosowania MBEA osoba badana otrzymuje próbki dźwiękowe i odpowiada na zadane pytania (np. czy dwie melodie są identyczne, czy różne; czy mają metrum dwudzielne jak w marszu, czy trójdzielne jak w walcu). W zadaniach dotyczących pamięci muzycznej osoba badana ma za zadanie stwierdzić, czy próbka dźwiękowa była już wcześniej prezentowana w trakcie badania. Zestaw bodźców dźwiękowych (w standardzie MIDI) używany w MBEA jest dostępny na stronie Isabelle Peretz (zakładka *MBEA Stimuli*, <http://www.brams.umontreal.ca/plab/research>). MBEA jest wykorzystywana w różnych badaniach neurokognitywnych i odznacza się satysfakcjonującymi własnościami psychometrycznymi (por. Vignolo, 2003; Patel, Foxton, Griffiths, 2005; Schlaug, 2005; Särkämö i in., 2009; Thompson, 2007; Peretz, Champod, Hyde, 2003).

4. Amuzja wrodzona

Ten typ amuzji jest wynikiem nietypowego rozwoju mózgowia, skutkującym m.in. deficytem w zakresie precyzyjnego rozpoznawania zmian dźwiękowych w melodiach (stąd używany termin *gluchota na dźwięki*, ang. *tone deafness*). Zakres deficytów w ramach amuzji wrodzonej jest szeroki i przebiega od defektów prostego przetwarzania dźwiękowego aż do pamięci dźwiękowej oraz produkcji

dźwiękowej (por. Jiang i in., 2012; przegląd: Stewart, 2008). Przyjmuje się, że patomechanizm amuzji wrodzonej nie obejmuje modułu przetwarzania temporalnych aspektów muzyki (zob. ryc. 1; por. Hyde, Peretz, 2004; Sloboda, Wise, Peretz, 2005), chociaż może zakłócać zdolność synchronizacji motorycznej z przebiegiem muzycznym, np. podczas tańca czy gry klawiszowej (Dalla Bella, Peretz, 2003; przegląd: Peretz, 2008). Szacuje się, że amuzja wrodzona występuje u około 4% populacji (Kalmum, Fry, 1980; w Chinach ok. 3,4% – Nan, Sun, Peretz, 2010; bardziej szczegółowa analiza: Henry, McAuley, 2010).

Badania morfometryczne (Hyde i in., 2006) ujawniły interesujące różnice pomiędzy osobami z amuzją i osobami bez takiego deficytu. U pacjentów z amuzją zarejestrowano znaczną redukcję istoty białej w prawym dolnym zakręcie czołowym. Taka redukcja współwystępowała z deficytami na poziomie przetwarzania melodyczno-tonalnego. Co ciekawe, u pacjentów z amuzją zarejestrowano także w tym samym rejonie obszary z nadwyżką substancji szarej. Kolejne badania (Hyde i in., 2007) wykazały u pacjentów z amuzją zmniejszoną grubość płaszcza korowego w prawym dolnym zakręcie czołowym oraz w obszarach prawej kory słuchowej. Zdaniem badaczy taki wynik sugeruje występowanie malformacji korowych (np. patologiczne migracje neuronalne), które zakłócają rozwój połączeń czołowo-skroniowych i stanowią podstawę amuzji wrodzonej.

Inne badania w kontekście amuzji wrodzonej wskazują na redukcję substancji szarej w lewym dolnym zakręcie czołowym, redukcję strukturalną pęczka łukowatego w prawej półkuli i redukcję połączeń pomiędzy prawym dolnym zakrętem czołowym oraz obszarami prawej kory słuchowej. W powiązaniu z tym badania elektroencefalograficzne sugerują, że odmienna reakcja na zmiany dźwiękowe w mózgu pacjentów z amuzją (głównie – brak późnych reakcji typu P600) pozwala na następującą konstatację: względnie zachowanym wczesnym procesom przetwarzania informacji muzycznej nie towarzyszy integracja sygnału w formie świadomego perceptu muzycznego (por. Jiang i in., 2012).

5. Amuzja nabyta

Ten typ deficytu przetwarzania muzycznego powstaje wskutek uszkodzenia mózgowia, np. udaru lub urazu. Badania zespołu Särkämö (2009) z wykorzystaniem MRI, przeprowadzone na pacjentach z uszkodzeniami lewo- i prawopółkulowymi

wskutek epizodu w tętnicy środkowej mózgu, wykazały, że u pacjentów z amuzją (diagnoza MBEA, zob. pkt 3 w artykule) zakres uszkodzeń obszarów skroniowych i czołowych był znacznie większy, niż w przypadku pacjentów bez amuzji. Dodatkowo, taki wynik nie był związany z lateralizacją półkulową.

Wcześniejsza metaanaliza wyników różnych studiów neuropsychologicznych (Steward i in., 2006) umożliwiła ustalenie struktur sieci neuronalnej, których uszkodzenie wiąże się z występowaniem amuzji nabytej (w zakresie słuchu muzycznego). Są to górne obszary skroniowe (typowo poza pierwotną korą słuchową), obszary skroniowo-ciemieniowe, obszary wyspy i obszary czołowe, z dominacją prawopółkulową. W szczególności analiza konsekwencji uszkodzeń mózgowia sugeruje następujące korelaty neuronalne dla poszczególnych aspektów przetwarzania muzycznego: (1) interwały wysokościowe – boczne obszary zakrętu Heschla (lateralizacja prawostronna w post-analizie skroniowej lobektomii), *planum temporale* (płaszczyzna skroniowa) i obszary styku ciemieniowo-skroniowego, (2) wzorzec dźwiękowy – *planum temporale*, styk ciemieniowo-skroniowy i przednie obszary górnego zakrętu skroniowego, typowo po leżach prawostronnych, (3) struktura tonalna – obszary zlokalizowane w prawej półkuli: obszary asocjacyjne kory słuchowej, styk ciemieniowo-skroniowy, obszary wyspy, przednie obszary górnego zakrętu skroniowego i obszary wieczka czołowego, (4) tembr – górne obszary w prawym płacie skroniowym, (5) struktura czasowa – obszary prawostronne za zakrętem Heschla (percepcja interwałów czasowych), obustronne obszary za zakrętem Heschla (percepcja rytmu), (6) pamięć muzyczna – przednie obszary górnego zakrętu skroniowego, prawej wyspy oraz lewostronnie obszary przyśrodkowe i dolne kory skroniowej, (7) emocje muzyczne – prawe tylne obszary płata skroniowego, obszary wyspy i ciała migdałowatego (Steward i in., 2006).

6. Amuzja postępująca

Jest to odmiana amuzji nabytej. Podobnie jak w przypadku afazji pierwotnie postępującej (por. Seeley i in., 2008) ma ona charakter dynamiczny i współwystępuje z demencją czołowo-skroniową (FTD). W literaturze przedmiotu opisany jest przypadek 63-letniej praworęcznej kobiety, która poprzednio była śpiewaczką w chórze. Zaobserwowano (przez okres 9 lat) powolnie postępującą

amuzję i aprozodię w powiązaniu z selektywną apraksją twarzą i wzrokową oraz z parafazjami fonemicznymi (trudność utrzymania prawidłowego wzorca brzmieniowego słowa). Poza tym nie stwierdzono innych deficytów poznawczych, w tym językowych. Neuroobrazowanie ujawniło ogniskowe obszary atrofii i hipoperfuzji w obszarach czołowych i skroniowych (w tym obszary wyspy) w prawej półkuli (Confavreux i in., 1992).

Interesujący – w kontekście postępujących mózgowych procesów degeneracyjnych – jest przypadek wczesnej amuzji przed wystąpieniem pełnych objawów demencji (Barquero i in., 2010). Praworęczna kobieta z doświadczeniem gry na instrumencie i aktywna jako krytyk muzyczny, narzekająca na trudności przy ocenie jakości wykonań muzycznych, została poddana szczegółowym badaniom neuropsychologicznym, dotyczącym także przetwarzania muzycznego. Poza zachowanymi zdolnościami poznawczymi i muzycznymi (na poziomie melodycznym, rytmicznym oraz metrycznym) zaobserwowano deficyt różnicowania jakości wykonań muzycznych pomiędzy wersjami amatorskimi i profesjonalnymi. Neuroobrazowanie ujawniło zmiany atroficzne w obszarach skroniowych oraz czołowych, a późniejsza analiza neuropatologiczna wykazała obecność m.in. zaniku neuronów w tych obszarach, z poszerzeniem na płat ciemieniowy. Zespół Barquero (2010) próbuje wyjaśnić zaobserwowany deficyt różnicowania wykonań w odniesieniu do patologii skroniowej (zmiany w górnym zakręcie skroniowym mogą powodować defekt percepcji słuchowej niuansów w wykonawstwie muzycznym) lub czołowej (defekt funkcji wykonawczych w zakresie podejmowania decyzji). Niezależnie od tych spekulacji, z perspektywy neuropsychologicznej istotne jest to, że deficyt przetwarzania informacji muzycznej może być w niektórych przypadkach predyktorem procesów demencyjnych.

7. Amuzja czuciowa (recepcyjna), ekspresyjna (motoryczna) i inne typy amuzji

Wersja czuciowa amuzji, określana jako *muzyczna głuchota*, polega na deficycie rozpoznawania znajomych melodii lub na utracie zdolności czytania zapisu muzycznego (Bautista, Ciampetti, 2003). Amuzja recepcyjna ujawnia się zasadniczo po uszkodzeniach obszarów skroniowych w obu półkulach (Schuppert i in., 2000). Ten typ amuzji może także dotyczyć innych niż melodyczno-dźwiękowe

aspektów przetwarzania muzycznego. W tym kontekście zespół Di Pietro (2004) opisał interesujący przypadek zawodowego muzyka (śpiewak – baryton) po udarze w okolicach skroniowo ciemieniowych lewej półkuli (górny zakręt skroniowy, tylne obszary środkowego zakrętu skroniowego i dolne obszary płaciki ciemieniowego). Szczegółowe badanie wykazało, że pacjent zachował zdolności przetwarzania metrum oraz meliki, natomiast utracił zdolność rozróżniania i reprodukcji struktur rytmicznych wyłącznie w modalności słuchowej (arytmia). Dodatkowo stwierdzono u pacjenta umiarkowaną afazję przewodzeniową, nieznaczne postaci aleksji, agrafii i akalkulii oraz deficyt pamięci werbalnej (inny przypadek arytmii, tym razem po uszkodzeniach obszarów skroniowo-ciemieniowych prawej półkuli, zob. Wilson, Pressing, Wales, 2002).

Wersja motoryczna, czyli amuzja ekspresyjna, wiąże się z utratą zdolności śpiewania, zapisywania muzyki lub gry na instrumencie (Bautista, Ciampetti, 2003). Bautista i Ciampetti (2003) opisali przypadek 43-letniej kobiety z epilepsją, uczestniczącej w spotkaniach chóru kościelnego, której problem polegał na monotonnym śpiewie. Epizod ten trwał około miesiąca. Szczegółowe badanie potwierdziło obecność amuzji (przy zachowanym słuchu muzycznym oraz rozumieniu emocji muzycznych) i dodatkowo aprozodii ekspresyjnej. W badaniu MRI nie zauważono patologii, natomiast analiza EEG wskazała ogniska patogene z prawych obszarów skroniowo-potylicznych. Po włączeniu leczenia farmakologicznego objawy ustąpiły, a pacjentka odzyskała prozodię mowy i śpiewu. Przegląd badań (por. Bautista i Ciampetti, 2003) sugeruje, że uszkodzenia prawopółkulowe mogą spowodować wystąpienie amuzji ekspresyjnej bez afazji, ale ze współobecnością aprozodii ekspresyjnej. W niektórych przypadkach zauważono amuzję ekspresyjną wraz z afazją motoryczną typu Broca, co sugeruje związki półkuli dominującej i motoryczno-ekspresywnych elementów przetwarzania muzycznego.

Poza wymienionymi typami amuzji badacze wymieniają jeszcze inne. Jest to zrozumiałe w kontekście wielomodulowości lub wielofazowości przetwarzania informacji muzycznej (por. ryc. 1 i 2 w artykule). Przykładowo, Thompson (2007) wyróżnia zaburzenie w zakresie percepcji rytmu (*Rhythm Impairment Disorder, RID*) oraz brak wrażliwości intonacyjnej (*Intonation Insensitivity, II*). Deficyt przetwarzania rytmu odnosi się do trudności wyekstrahowania pulsu muzycznego z wielopoziomowej struktury muzycznej. Natomiast niewrażliwość intonacyjna sprowadza się do utraty zdolności kodowania i interpretacji warstwy prozodycznej mowy. W ten sposób Thompson (2007) poszerza zakres amuzji wprowadzonej, typowo sprowadzanej do warstw przetwarzania dźwięków (por. pkt 4

w artykule), o elementy rytmiczne i intonacyjne. Jeszcze inną typologię sugeruje zespół Stewart (2006), wyróżniając – *per analogiam* do typów agnozji – amuzję percepcyjną (defekt na poziomie percepcyjnej reprezentacji utworu muzycznego; brak identyfikacji znanych melodii) oraz amuzję asocjacyjną (zachowane reprezentacje muzyczne, brak skojarzeń muzycznych; identyfikacja znanych melodii bez wskazania np. tego, że jest to hymn państwowy).

8. Modularność muzyczna

Czy przetwarzanie informacji muzycznej ma charakter modularny, tzn. specyficzny kognitywnie i neuronalnie, czy też niemodularny – strukturalnie i funkcjonalnie związany z innymi procesami neurokognitywnymi? Przedstawiane wyżej w tekście zagadnienia wskazują wyraźnie na rozbieżności w tym zakresie. Część badaczy przyjmuje opcję modularną, przynajmniej dla wybranych poziomów analizy muzycznej. Przykładem może być model Peretz i Colthearta (2003, zob. ryc. 1 w artykule), w którym organizacja meliczno-tonalna jest specyficzna dla przetwarzania muzycznego. Z kolei w modelu Koelscha (2011, ryc. 2 w artykule) żaden z komponentów percepcji muzycznej nie jest muzycznie specyficzny, za wyjątkiem reakcji N5 (ERP), związanej przypuszczalnie z budowaniem znaczenia wewnątrzmuzycznego (zob. pkt 2 w artykule).

Argumenty na rzecz modularności przetwarzania muzycznego opierają się zasadniczo na warunkach dysocjacji neuropsychologicznej. Taka dysocjacja może mieć charakter pojedynczy lub podwójny. Wersja pierwsza dysocjacji polega na tym, że osoba badana wykonuje poprawnie zadanie Z1, które reprezentuje określoną funkcję poznawczą i jednocześnie nie wykonuje poprawnie zadania Z2 reprezentującego odmienną funkcję kognitywną. Z kolei podwójna dysocjacja występuje wówczas, gdy osoba badana A wykonuje poprawnie zadanie Z1 i niepoprawnie zadanie Z2, natomiast osoba badana B wykonuje oba zadania z odwrotnym profilem wykonalności. Zakłada się przy tym, że u podstaw obu warunków tkwią odrębne funkcje umysłowe i odrębne mechanizmy neuronalne (Dunn, Kirsner, 2003). W ten sposób spełnienie warunków dysocjacji (najlepiej podwójnej) pozwala na wnioskowanie o odrębnych kognitywnie oraz neuronalnie modułach przetwarzania informacji określonego typu (przegląd i analiza krytyczna por. Daniluk, Markiewicz, 2007).

W dziedzinie przetwarzania muzycznego zanotowano, poza licznymi przypadkami pojedynczej dysocjacji, także przypadki podwójnej dysocjacji pomiędzy analizą rytmiczną i meliczną (Liégeois-Chauvel i in., 1998; Ayotte i in., 2000), co potwierdza założenia modelu Peretz i Colthearta (2003, zob. ryc. 1) w zakresie odrębnych modułów melicznych oraz czasowych (por. Peretz i in., 1994; Griffith i in., 1997). Ponadto dysocjacje zostały stwierdzone pomiędzy przetwarzaniem interwałów muzycznych i konturu melodycznego (Liégeois-Chauvel i in., 1998; Peretz, 1990) oraz pomiędzy rytmem i metrum (Di Pietro i in., 2004; Wilson i in., 2002). Poza wewnątrzmuzycznymi dysocjacjami ideę modularności muzycznej potwierdzają dysocjacje kognitywne. Tak jest w przypadku występowania przypadków amuzji bez afazji i odwrotnie (Peretz, Coltheart, 2003) oraz przypadków agnozji muzycznej bez agnozji słuchowej (Vignolo, 2003).

Przeciw opcji modularnej przetwarzania informacji muzycznej świadczą jednak liczne dane empiryczne. Przede wszystkim warto zauważyć, że natura studiów neuropsychologicznych w oparciu o uszkodzenia mózgowia nie pozwalała zazwyczaj na przyjęcie opcji modularnej. Defekty mózgu wskutek np. udaru leżyci pooperacyjnej czy urazu nie są zjawiskami zaplanowanymi z perspektywy pomiaru naukowego i rzadko dostarczają „czystych” przypadków zaburzeń słuchu muzycznego. W jednej z metaanaliz okazało się, że ponad połowa pacjentów ujawnia zaburzenia percepcji mowy, a trzecia część – zaburzenia percepcji dźwięków środowiskowych (Stewart i in., 2006). Dodatkowym utrudnieniem dla opcji modularnej jest brak weryfikacji tezy o odrębnych formach przetwarzania informacji muzycznej w badaniach z wykorzystaniem neuroobrazowania (por. Koelsch, 2011).

Liczne wyniki badań sugerują ponadto, że przetwarzanie muzyczne i inne formy kognitywne (np. percepcja mowy i analiza przestrzenna) mogą bazować na dokładnie tych samych sieciach neuronalnych (przy możliwym odmiennym typie ich wykorzystywania). Taka sugestia opiera się m.in. na obserwacji zachowań pacjentów z nabytą amuzją, którzy – w przeciwieństwie do pacjentów bez amuzji – ujawniają poważne deficyty pamięci operacyjnej, uczenia się, flucencji semantycznej, funkcji wykouawczych, funkcji wzrokowo-przestrzennych, rozumienia werbalnego i płynności umysłowej. Jednocześnie powrót utraconej zdolności percepcji muzycznej współwystępuje z remisją uczenia się na materiale werbalnym, percepcji wzrokowo-przestrzennej oraz uwagi (Särkämö i in., 2009; Särkämö i in., 2010; związki amuzji z analizą przestrzenną w zadaniach rotacji umysłowych, zob. Douglas, Bilkey, 2007). Dodatkowym potwierdzeniem

koncepcji wspólnych sieci neuronalnych są badania neurofizjologiczne, wskazujące na silne interakcje pomiędzy syntaktyką językową i syntaktyką muzyczną oraz interakcje pomiędzy prozodią językową i percepcją melodii muzycznej (przegląd: Koelsch, 2011). Takie obserwacje są zgodne z opisami neuropsychologicznymi, w których pacjenci z amuzją ujawniają m.in. problemy z identyfikacją leksykalną, intonacją i prozodią emocjonalną (Jiang i in., 2012). Dlatego też skrajnie modularystyczna opcja przetwarzania informacji muzycznej wydaje się nieadekwatna w świetle licznych badań wskazujących na interaktywną naturę procesów neurokognitywnych, w tym muzycznych.

9. Podsumowanie

Materiał przedstawiony i analizowany w artykule można streścić następująco:

1. Przetwarzanie informacji muzycznej ma charakter wielopoziomowy i wielofazowy. W analizie informacji muzycznej uczestniczą liczne obszary mózgowia. Wśród nich kluczowe znajdują się w obszarach skroniowych oraz przedczołowych.
2. Uszkodzenie lub defekt obszarów mózgu związanych z przetwarzaniem informacji muzycznej mogą prowadzić do wystąpienia symptomów amuzji – defektu odbioru, rozumienia, przeżywania lub wykonywania muzyki.
3. Stosownie do złożonych form przetwarzania muzycznego i rozwoju muzycznego istnieją różne typy amuzji (np. wrodzona, nabyta, postępująca, receptywna, motoryczna, apercypcyjna, asocjacyjna).
4. Amuzja może być przedmiotem argumentacji na temat modularnej organizacji architektury muzycznej. Podstawą takiej argumentacji jest zjawisko dysocjacji neuropsychologicznej, np. pomiędzy strukturami dźwiękowymi i czasowymi przetwarzania muzycznego lub fakt występowania przypadków amuzji bez np. afazji. Jednak liczne wyniki empiryczne wskazują, że amuzja współwystępuje z innymi deficytami kognitywnymi, m.in. w zakresie percepcji mowy, analizy przestrzennej czy pamięci operacyjnej.
5. Zakres zjawiska amuzji jest otwarty i stosownie do wielopoziomowej architektury przetwarzania muzycznego można spodziewać się w przyszłości analiz nowych typów amuzji (np. wyobrazeniowej – por. artykuł Włodzisława Dutcha w tym tomie).