

Uniwersytet Jagielloński

Collegium Medicum

Wydział Lekarski

Lilianna Podsiadło

Obrazowanie mózgowych ośrodków emocji przy pomocy
funkcjonalnego rezonansu magnetycznego

Praca doktorska

Promotor: dr hab. med. Andrzej Urbanik

Pracę wykonano w Katedrze Radiologii

Uniwersytetu Jagiellońskiego, Collegium Medicum

Kierownik: dr hab. med. Andrzej Urbanik

Kraków, 2007

*Dziękuję zespołowi lekarzy, psychologów i fizyków za życzliwą pomoc
w realizacji badań.*

*Szczególnie pragnę podziękować promotorowi dr hab. n. med. Andrzejowi Urbanikowi za
wsparcie i mobilizację, dzięki którym powstała niniejsza praca.*

Lilianna Podsiadło

SPIS TREŚCI

I. WSTĘP.....	8
1. Wyjaśnienie pojęcia „emocje”.....	8
2. Rola emocji oraz znaczenie badań nad emocjami.....	10
3. Badania emocji – rys historyczny.....	13
4. Mózgowe ośrodki emocji w świetle aktualnych poglądów.....	20
5. Metody badania emocji.....	27
5.1. Metody wzbudzania emocji pod wpływem wrażeń wzrokowych.....	27
5.1.1. Standaryzowane metody badawcze służące wizualnej ocenie ekspresji wyrazu mimicznego twarzy i związanych z nią emocji.....	28
5.1.2. International Affective Picture System - IAPS, NIMH Center for Emotion and Attention, University of Florida (Międzynarodowy zbiór obrazów afektywnych)	29
5.2. Metody służące ocenie prozodii emocji, czyli zdolności wyrażania emocji przy pomocy mowy.....	29
5.2.1. Voice Emotion Identification Test	30
5.2.2. The Aprosodia Battery	30
5.3. Metody, które badają emocje wywoływane w sposób złożony, służące ocenie percepcji emocji w modalności wzrokowej, prozodyjnej i leksykalnej.....	30
5.4. Badania wskaźników fizjologicznych wywołanych określonymi emocjami.....	31
5.4.1. Pomiar częstotliwości akcji serca	31
5.4.3. Pomiar reakcji galwanicznej - skórnej (GSR - Galvanic Skin Response).....	33
5.5. Obrazowe metody badania emocji.....	33
5.5.1. Pozytronowa tomografia emisyjna (PET).....	33
5.5.2. Tomografia emisyjna pojedynczego fotonu (SPECT).....	35
5.5.3. Techniki obrazowania przy pomocy rezonansu magnetycznego (MRI).....	35
II. CELE PRACY.....	41
III. MATERIAŁ I METODA.....	42
1. Materiał.....	42
2. Metoda.....	43
IV. STATYSTYCZNA ANALIZA DANYCH.....	52
V. Wyniki.....	55
1. Analiza efektów prostych.....	55
1.1. Ocena aktywacji ośrodków mózgowych w grupie kobiet i mężczyzn (łącznie) w warunkach pobudzenia bodźcami o charakterze pozytywnym.....	56

1.2. Ocena aktywacji ośrodków mózgowych u kobiet i mężczyzn (łącznie) w warunkach pobudzenia bodźcami o charakterze negatywnym.....	59
1.3. Ocena aktywacji ośrodków mózgowych u kobiet w warunkach pobudzenia bodźcami o charakterze pozytywnym.....	61
1.4. Ocena aktywacji ośrodków emocji u kobiet w warunkach pobudzenia bodźcami o charakterze negatywnym	63
1.5. Ocena aktywacji ośrodków emocji u mężczyzn w warunkach pobudzenia bodźcami o charakterze pozytywnym.....	65
1.6. Ocena aktywacji ośrodków emocji u mężczyzn w warunkach pobudzenia bodźcami o charakterze negatywnym.....	67
2. Wyniki badań przeprowadzonych w paradygmacie eksperymentalnego planu czynnika.....	69
2.1. Wyniki badań wpływu płci na wzorzec pobudzenia emocjonalnego.....	69
2.1.1 Ocena struktur, w obrębie których wartość aktywacji u kobiet przewyższała jej wartość u mężczyzn (K-M) dla warunku eksperymentalnego o charakterze pozytywnym	69
2.1.2. Ocena struktur, w obrębie których wartość aktywacji u mężczyzn przewyższała jej wartość u kobiet (M-K) dla warunku eksperymentalnego o charakterze pozytywnym	73
2.1.3. Ocena struktur, w obrębie których wartość aktywacji u kobiet przewyższała jej wartość u mężczyzn (K-M) dla warunku eksperymentalnego o charakterze negatywnym.....	76
2.1.4. Ocena struktur, w obrębie których wartość aktywacji u mężczyzn przewyższała jej wartość u kobiet (M-K) dla warunku eksperymentalnego o charakterze negatywnym.....	79
2.2. Wyniki badań wpływu rodzaju emocji (pozytywne, negatywne) na wzorzec pobudzenia emocjonalnego	83
2.2.1. Ocena ośrodków, których wartość aktywacji pod wpływem emocji o charakterze pozytywnym przewyższała jej wartość pod wpływem emocji negatywnych w grupie badanych kobiet (P-N).....	83
2.2.2. Ocena ośrodków, których wartość aktywacji pod wpływem emocji negatywnych przewyższała jej wartość pod wpływem emocji pozytywnych w grupie badanych kobiet (N-P)	86

2.2.3. Ocena ośrodków, których wartość aktywacji dla warunku eksperymentalnego o charakterze pozytywnym przewyższała jej wartość pod wpływem emocji negatywnych w grupie badanych mężczyzn (P-N).....	89
2.2.4. Ocena ośrodków, których wartość aktywacji pod wpływem emocji negatywnych przewyższała jej wartość pod wpływem emocji pozytywnych w grupie badanych mężczyzn (N-P)	92
VI. Omówienie wyników i dyskusja.....	96
1. Omówienie efektów prostych.....	96
2. Omówienie wyników badań przeprowadzonych w paradygmacie eksperymentalnego planu czynnikowego.....	97
2.1. Omówienie wyników badań wpływu płci na wzorzec pobudzenia emocjonalnego	97
2.2. Omówienie wyników badań wpływu rodzaju emocji (pozytywne, negatywne) na wzorzec pobudzenia emocjonalnego u kobiet i mężczyzn.....	101
VII. Wnioski.....	105
VIII. Piśmiennictwo.....	107
IX. STRESZCZENIE.....	116
X. SPIS TABEL I RYCIN.....	125

SPIS UŻYTYCH SKRÓTÓW

ACC – przednia część zakrętu obręczy
ACTH - hormon adrenokortykotropowy
AP – potencjał czynnościowy
BG – zwoje podstawy
BLA – jądro podstawno-boczne ciała migdałowatego
BOLD – kontrast zależny od stopnia utlenowania krwi
CRF – kortykotropina
DeoxyHB - deoxyhemoglobina
DS – grzbietowy system regulacyjny
EEG – elektroencefalografia
EMG – elektromiografia
EOG – elektrookulografia
EPI – obrazowanie echoplanarne
ERF – metoda wywołanego pola magnetycznego
ERP – metoda potencjałów wywołanych
FACS – system kodowania pracy poszczególnych mięśni twarzy
FDG – fluoro-dezoxy-glukoza
fMRI – czynnościowy rezonans magnetyczny
Gln - glutamina
Glu - glutaminiany
GSR – pomiar reakcji galwaniczno-skinnej
HRF – funkcja odpowiedzi hemodynamicznej
IAPS – międzynarodowy zbiór obrazów afektywnych
LP – potencjały lokalne
MDM – moment magnetyczny
MEG – magnetoencefalografia
MR – rezonans magnetyczny
MRI – obrazowanie przy pomocy rezonansu magnetycznego
OxyHB - oxyhemoglobina
PET – pozytonowa emisyjna tomografia
PFC – kora przedczołowa

PSD – zaburzenie będące wynikiem potraumatycznego stresu

RF – częstotliwość fal radiowych

SCC – kora zakrętu obręczy poniżej ciała modzelowatego

SLEA – kompleks ciała migdałowatego i struktur podsoczewkowych

SPGR – sekwencja gradientowa

T - tesla

T_1 – czas relaksacji podłużnej

T_2 – czas relaksacji poprzecznej

TE – czas echa

TMS – przezczaszkowa stymulacja magnetyczna

TR – czas powtórzeń

VS – brzuszny system regulacyjny

I. WSTĘP

1. Wyjaśnienie pojęcia „emocje”

Termin „emocje” wywodzi się od łacińskiego słowa „movere”, co oznacza „poruszyć” i sugeruje skłonność do działania zawierającą się w każdej emocji. W literaturze naukowej spotykamy różne definicje emocji, co wynika z trudności w jednoznacznym ich sformułowaniu. „Każdy wie czym jest emocja, dopóki nie poprosić go o definicję” [36]. Tradycyjna psychologia definiuje emocje jako silne odczucia o charakterze pobudzenia, pozytywnego (pod wpływem szczęścia, zachwyty, spełnienia) czy negatywnego (pod wpływem gniewu, odrazy, strachu). W szerszym znaczeniu emocje (procesy emocjonalne) to procesy psychiczne, które poznaniu i czynnościom podmiotu nadają jakość i określają znaczenie, jakie mają dla niego będące źródłem emocji przedmioty, zjawiska, inni ludzie, a także własna osoba. Procesy emocjonalne są ściśle związane z procesami neuroendokrynnymi i czynnością autonomicznego układu nerwowego.

E. Rolls definiuje emocje jako stan wywołany przez system kar i nagród, uwzględniając zmiany w tym systemie [99]. Nagrodą są wszystkie okoliczności, które jednostka chce osiągnąć i dąży do nich. Karą natomiast jest wszystko to, czego jednostka chce uniknąć lub od którego chce uciec [99]. Emocje negatywne mają za zadanie sprowokować osobę do przerwania aktywności, która była ich przyczyną lub do zaprzestania kontaktu z ich źródłem. Emocje negatywne mogą się utrzymywać przez pewien czas, pomimo usunięcia ich źródła, czego wyrazem są urazy psychiczne powstałe w wyniku traumatycznych wydarzeń życiowych.

Cechą charakterystyczną emocji pozytywnych jest fakt, że jednostka podtrzymuje daną aktywność lub określony kontakt. Długotrwałe działanie czynnika wywołującego pozytywne emocje może jednak prowadzić do ich stopniowego zaniku.

Procesy emocjonalne mogą być zainicjowane różnorodnymi sytuacjami. Czynniki odpowiedzialne za powstawanie i przetwarzanie procesów emocjonalnych można według Frijdy ująć następująco [42]:

- czynniki naturalne, wywołujące emocje na podstawie wrodzonych właściwości organizmu (należą tu bodźce zmysłowe oraz informacje pochodzące z narządów wewnętrznych),

- czynniki związane z daną emocją przez doświadczenie jednostki, bodźce pierwotnie neutralne w wyniku określonych zdarzeń w życiu człowieka wywołują wyuczoną reakcję emocjonalną,
- czynniki, które są wynikiem związku oczekiwań jednostki i informacji, z jakimi się styka, a zatem źródłem emocji może być rozbieżność pomiędzy oczekiwaniami a rzeczywistością.

Naturę emocji i całokształt związanych z nią zjawisk lepiej zrozumieć, gdy uzmysłowimy sobie ich funkcję. Według Edmunda Rolls'a podstawowe funkcje emocji można ująć w następujące punkty [99]:

1. Wywołanie odpowiedzi autonomicznej (zmiana częstości akcji serca) i odpowiedzi endokrynnej (uwolnienie adrenaliny). Te czynniki przygotowują organizm do działania.
2. Elastyczność odpowiedzi zachowania w celu umacniania lub osłabienia działania bodźca (działanie w celu otrzymania nagrody i uniknięcia kary).
3. Motywacja - np. strach wywołany pod wpływem danego impulsu jest źródłem motywacji do działania w celu jego uniknięcia.
4. Komunikacja - ten aspekt emocji był rozważany przez Darwina (1872), a jeszcze dogłębiej analizowany przez Ekmana [34]. Ekman twierdził, że wyraz twarzy można rozpatrywać w kategoriach szczęścia, smutku, strachu, złości, zdziwienia i wstrętu. Jego badania wyrazu twarzy wskazywały na ich uniwersalny, międzykulturowy charakter. Rola wyrazu twarzy począwszy od wczesnego dzieciństwa, poprzez wyuczone wzorce reakcji społecznych były analizowane przez Izarda [58] i Fridlunda [41]. Adolphs potwierdza istnienie systemów neuronalnych w ciele migdałowatym i w obszarach wzrokowych kory skroniowej, które są odpowiedzialne za procesy przetwarzania informacji związanych z wyrazem twarzy [1].
5. Przywiązanie społeczne. Przykładem tego są emocje przywiązujące rodziców do dzieci i dzieci do rodziców.
6. Aktualny stan emocji wpływa na ocenę wydarzeń lub wspomnień.
7. Emocje mogą ułatwiać zapamiętywanie wielu szczegółów związanych z sytuacją wzbudzającą silne emocje. Ta funkcja może być związana ze względnie niespecyficznymi systemami kory mózgowej i hipokampa, włączając szlaki układu cholinergicznego kory przedczołowej i przegrody środkowej oraz wstępujące szlaki adrenergiczne. Drugim sposobem, w jaki emocje ułatwiają zapamiętywanie

jest fakt, że aktualny stan emocjonalny zostaje zapamiętany w postaci epizodów pamięciowych, które są przywoływane pod wpływem określonego afektu.

8. Trwając kilka minut a nawet dłużej emocje dają możliwość wytworzenia lub kontynuacji motywacji oraz określenia kierunku działania w celu osiągnięcia zamierzonego celu.
9. Emocje mogą wyzwalać pamięć zgromadzoną w korze nowej. Projekcja zwrotna z ciała migdałowatego do kory może wywołać emocje analogicznie jak hipokamp, który pomaga wyzwolić z pamięci informacje zgromadzone w korze nowej, jako pamięć świeża, epizodyczna.

2. Rola emocji oraz znaczenie badań nad emocjami

O roli emocji świadczy fakt, że mają duże znaczenie dla wielu praktyk religijnych, rytuałów, literatury oraz praktyk psychoterapeutycznych.

Emocje stanowią niezbędny element psychiki człowieka, ukierunkowując jego działania zarówno w sposób bezpośredni, jak i pośrednio. Nie bez znaczenia jest fakt, że nasze nastawienie emocjonalne może mieć wpływ na ocenę zjawisk, nie mających bezpośredniego związku z rozpatrywanym problemem. Przedstawia to eksperyment przeprowadzony w 1987 roku przez Mackiego i Wortha [79]. W eksperymencie tym dwie grupy studentów miały oceniać, na początku i na końcu posiedzenia eksperymentalnego w jakim stopniu zgadzają się lub nie z propozycją uzyskania kontroli nad kwaśnymi deszczami. Po dokonaniu pierwszej oceny badani wzięli udział w procedurze pozornie nie związanej z tym eksperymentem, w której jednej grupie studentów kolejny eksperyment pozwalał wygrać dolara, drugiej grupie studentów - nie. Połowa studentów miała ocenić przemówienie, zawierające argumenty które poprzednio oceniono jako słabe, a druga połowa oceniała fragment przemówienia z argumentami, które poprzednio oceniano jako mocne. W wyniku dalszego podziału połowie studentów powiedziano, że autorem przemówienia które czytali był specjalista, a połowie że autorem był niespecjalista. Okazało się, że w grupie gdzie nie wywołano żadnego nastroju (w warunkach neutralnych), badani zmienili swoją postawę wobec propozycji dotyczącej kwaśnych deszczów o 1, 5 punktu (w 9-cio punktowej skali) po przeczytaniu mocnych argumentów, lecz tylko o 0, 5 punktu, kiedy zapoznali się ze słabymi argumentami. Studenci, którzy wygrali przed chwilą dolara i byli w dobrym nastroju, zmienili swoją postawę w tym

samym stopniu pod wpływem mocnych i słabych argumentów. To czy przemówienie zostało wygłoszone przez rzekomego specjalistę czy niespecjalistę nie miało wpływu na zmianę postawy u ludzi w nastroju neutralnym. Natomiast studenci będący w dobrym nastroju zostali bardziej przekonani przez specjalistę niż przez niespecjalistę. Ta właściwość emocji jest wykorzystywana powszechnie w reklamie, która ma za zadanie pozytywnie nastawić klienta do produktu poprzez wywołania przyjemnego nastroju bez względu na jego wartość i użyteczność. Jedną z najstarszych technik reklamowych jest wprowadzenie konsumentów w stan zamieszania emocjonalnego, by przenieśli na reklamowany produkt uczucia, które faktycznie wzbudziła w nich pociągająca modelka przedstawiająca ów obiekt. Mimo, iż nietrudno rozpracować powyższe strategie wpływu społecznego, pozostają one skuteczne i powszechne, ponieważ podejmując różne decyzje ludzie nawykowo traktują własne uczucia jako źródło informacji [39]. Forgas i Moylan przeprowadzili wywiady z około tysiącem osób wychodzących z kin po obejrzeniu filmu [38]. Wybrane filmy zostały zakwalifikowane pod względem zabarwienia emocjonalnego jako radosne, smutne i agresywne. Następnie opuszczających kina pytano o politykę, przyszłe wydarzenia, zadowolenie z życia. Ludzie odpowiadali zgodnie z zabarwieniem emocjonalnym filmu. Na podstawie tego eksperymentu można stwierdzić, że rodzaj doznawanej aktualnie emocji ma istotny wpływ na odbiór informacji zgodnej ze znakiem emocji, co może w nas wytworzyć ogólny sposób reagowania i myślenia zgodny z doznawaną emocją, np. radość skłania nas do współpracy. Ponadto istnieje tendencja do podtrzymywania pozytywnych emocji, stąd człowiek doznający pozytywnych emocji będzie starał się przypominać radosne wydarzenia. Wszechobecny jest wpływ emocji na to jak w danej chwili myślimy o sobie i innych, stąd emocje mają niemały wpływ na podejmowane przez nas decyzje [20]. Antonio Damasio ujmując to zagadnienie w sformułowaniu „W sposób nieunikniony emocje są związane z pojęciami dobra i zła”. Podejmując określoną decyzję rzadko rozważamy ją racjonalnie, gdyż automatycznie czujemy się dobrze z jednym rozstrzygnięciem i to rozstrzygnięcie najczęściej wybieramy, zaś logiczne uzasadnienie podjętej decyzji próbujemy wypracować później [48]. Powstaje pytanie: czy jest to korzystne dla jednostki czy też nie? Wydawałoby się, że korzystniej byłoby podejmować racjonalne, dogłębnie przemyślane decyzje, bez udziału emocji. Przeprowadzono eksperyment, w którym naukowcy przebadali dwóch młodych ludzi, u których do uszkodzenia płata czołowego doszło w okresie niemowlęcym [3]. Osobnicy ci podejmowali nierozsądne decyzje, a ponadto postępowali niezgodnie z prawem (kradli, kłamali, używali przemocy w stosunku do innych, nie przejawiając poczucia winy), nie

mieli przyjaciół i nie byli w stanie utrzymać pracy. Powyższe eksperymenty wskazują na fakt, że osoby które nie potrafią odczuwać nieprzyjemności związanej z prawdopodobnym rezultatem działania, mają tendencje do podejmowania niewłaściwych decyzji.

Współcześnie uważa się, że emocje, osobiste przeżycia i osobowość mają niemały wpływ na przebieg szeregu chorób [54]. Relacją między chorobami a emocjami zajmuje się dyscyplina zwana medycyną psychosomatyczną, oparta na ścisłym związku emocji z modulacją aktywności autonomicznego układu nerwowego oraz z aktywnością osi podwzgórzowo – przysadkowo - nadnerczowej. Do grupy chorób psychosomatycznych zaliczamy np. chorobę wrzodową, chorobę wieńcową, nadczynność tarczycy, dolegliwości bólowe kręgosłupa, zaburzenia połykania.

Przetwarzanie bodźców o charakterze emocjonalnym jest dla człowieka zdolnością o podstawowym znaczeniu. Umiejętność ta warunkuje poprawne funkcjonowanie w grupie społecznej takiej jak rodzina czy też miejsce pracy, a także pozwala uniknąć sytuacji traumatycznych. Umożliwia ona nawiązywanie prawidłowych interakcji z drugą osobą, czego przejawem są stany opisywane w potocznym języku jako “wczucie się w czyjąś sytuację”, czyli “empatia”.

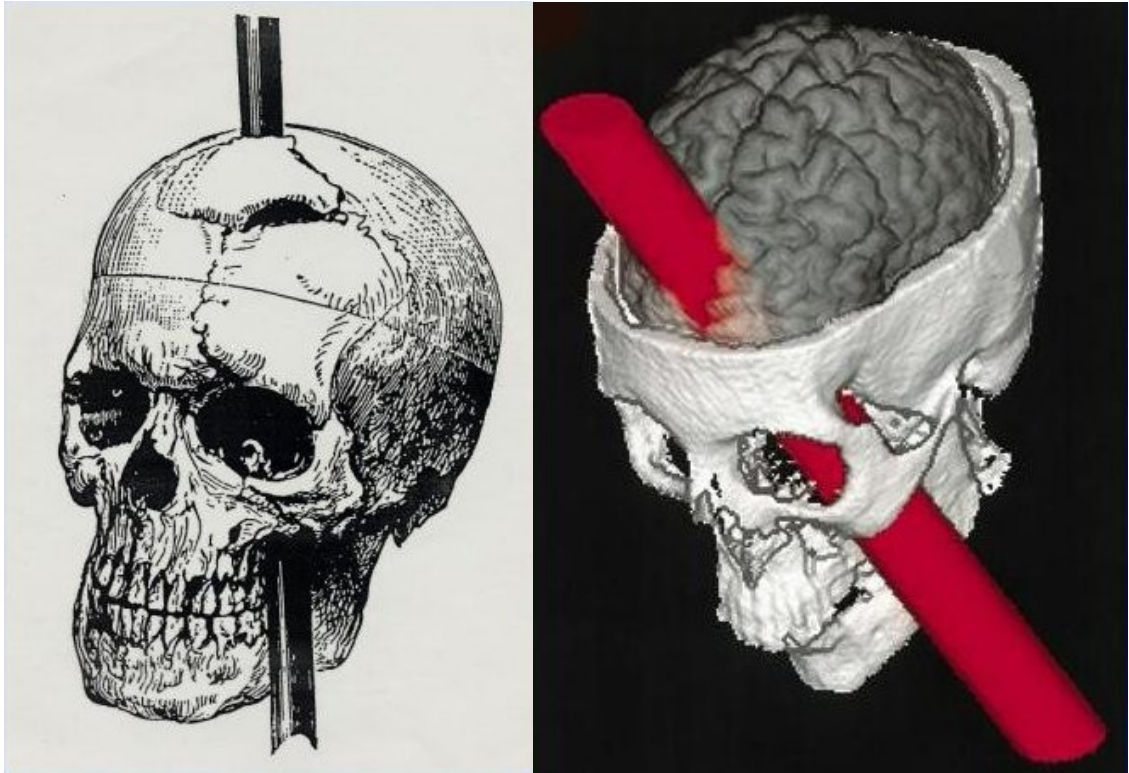
Nowoczesne narzędzia diagnostyki obrazowej, takie jak funkcjonalne obrazowanie MR (fMRI), umożliwia prezentację pobudzeń emocjonalnych u ludzi zdrowych, w formie obrazów mózgu, z widocznymi aktywnymi ośrodkami nerwowymi, które biorą udział w danym procesie przetwarzania emocji. Pozwala to na ocenę porównawczą w przypadku pacjentów z uszkodzonymi partiami mózgu, odpowiedzialnymi za emocje. Do zaburzenia odbioru i wyrażania emocji dochodzi w szeregu psychozach, takich jak np. schizofrenia, depresja, a stopień zaburzeń związany jest z fazą choroby oraz ze stadium jej zaawansowania. Porównanie ze wzorcami reakcji neuronalnych pozwala na dokładniejszą ocenę stopnia uszkodzenia tych ośrodków oraz sugestie i prognozowanie co do efektów terapeutycznych. Zlokalizowanie ośrodków emocji, zarówno dla emocji o charakterze pozytywnym jak i negatywnym, stwarza możliwość precyzyjnego zaplanowania zabiegów neurochirurgicznych oraz pozwala na dokładniejszą prognozę stanu klinicznego po zabiegu operacyjnym. Ma to istotne znaczenie w przypadku wszystkich operacji przeprowadzanych na tkance mózgowej, gdzie granice i zakres interwencji chirurgicznej ustalane są w aspekcie spodziewanego stanu klinicznego i jakości życia pacjenta po operacji.

3. Badania emocji – rys historyczny

Ostatnie 30 lat obfitowały w liczne badania naukowe z zakresu neurofizjologii afektywnej (affective neuroscience), a głównym problemem była próba znalezienia odpowiedzi na pytania:

- * Które systemy w mózgu odpowiedzialne są za emocje?
- * W jakim stosunku pozostają różnice w funkcjonowaniu poszczególnych systemów odpowiedzialnych za emocje odnośnie do indywidualnych doświadczeń emocjonalnych jednostki?
- * Jak procesy przetwarzania emocji w mózgu wpływają na reakcje organizmu?
- * Jak prezentują się interakcje pomiędzy emocjami a czynnościami poznawczymi, zachowaniem, mową i motywacją?

W 1868 roku Amerykanin, wiejski lekarz, John Harlow [52], opisał efekt uszkodzenia kory przedczołowej u 25 letniego robotnika kolei, Phineasa Gage'a, któremu wbił się w czaszkę żelazny pręt, przeszywając mózg. Gage upychał metalowym prętem proch strzelniczy w otworach, mającej być wysadzonej skały. Niespodziewana eksplozja spowodowała, że pręt o długości 105 cm i średnicy 33mm wbił się w czaszkę Gage'a, poniżej lewego łuku brwiowego, wychodząc przez otwór na sklepiści czaszki. Harlow przez lata obserwował efekt uszkodzenia kory przedczołowej, pod postacią niekorzystnej zmiany osobowości Gage'a, a w późniejszym okresie ataków padaczki i jego śmierci w stanie padaczkowym (Ryc. 1).



Ryc. 1 Rysunek i rekonstrukcja 3D czaszki Phineasa Gage'a po wypadku.

W 1872 roku Karol Darwin (angielski biolog; 1809-1882) opublikował swoją książkę „The Expression of the Emotions in Man and Animals”, która była owocem trzydziestu czterech lat pracy nad emocjami i odkrywała dwa ważne zjawiska. Po pierwsze, fakt, że emocje zwierzęce są homologiczne do ludzkich emocji, co było logiczną konsekwencją rozszerzenia teorii ewolucji Darwina.

Darwin porównywał i analizował różne sytuacje i fotografie zwierząt i ludzi w sytuacjach wzbudzających emocje i odkrył pewne międzygatunkowe podobieństwa.

Po drugie - zaproponował stwierdzenie, że podstawowe emocje są obecne niezależnie od gatunku i kultury (złość, strach, zdziwienie i smutek). Powyższe tezy miały znaczący wpływ na rozwój nauk afektywnych poprzez wykazanie możliwości wykorzystania badań na zwierzętach do zrozumienia ludzkich emocji oraz poprzez obalenie twierdzenia, że poszczególne emocje podstawowe mają oddzielne substraty neutralne. Zwrócił również uwagę na adaptacyjną rolę emocji jako sposobu komunikacji.

Ponad dziesięć lat później, w 1884 roku, amerykański psychofizjolog, William James (1842-1910) w swoim dziele zatytułowanym „What is an Emotion?” zaproponował fizjologiczną teorię emocji, według której emocje są zmianami fizjologicznymi, które pojawiają się w odpowiedzi na odpowiedni bodziec.

W 1885 roku Carl Lange (duński fizjolog; 1834-1900) niezależnie od James'a zaproponował podobną teorię.

James i Lange twierdzili, że percepcja zmian zachodzących w mięśniach i narządach wewnętrznych prowokuje odpowiednie uczucia subiektywne, które nazywamy emocjami, np. tachykardia może wyzwać emocję lęku. Według tej teorii poszczególne emocje charakteryzują się odmiennymi wzorcami pobudzenia fizjologicznego. Teoria ta zakłada, że pobudzenie fizjologiczne jest zarówno konieczne jak i wystarczające do wystąpienia emocji, co oznacza, że reakcja organizmu poprzedza emocje, jeśli zaś organizm nie zareaguje lub jeżeli mózg nie zauważy reakcji organizmu, to nie powstanie żadna emocja. Teoria Jamesa-Langa została podważona w latach dwudziestych ubiegłego wieku przez Waltera Cannona (amerykański fizjolog; 1871-1945) na kilku płaszczyznach:

- chirurgiczne odcięcie stymulacji z peryferii nie powoduje całkowitego zniesienia emocji,
- fizjologiczna lub automatyczna aktywność nie pozwala na zróżnicowanie poszczególnych emocji; zmiany fizjologiczne są zazwyczaj zbyt wolne by wywołać emocje,
- sztuczne, hormonalne pobudzenie aktywności fizjologicznej jest niedostateczne do wywołania reakcji emocjonalnej.

Jednak ostatnie badania poddają w wątpliwość twierdzenia Cannona, gdyż sztuczne pobudzenie danego narządu może wywołać emocje, jak na przykład dożylnie podanie cholecystokininy może spowodować atak paniki. Stąd teoria Jamesa-Langa ma duży wpływ na współczesne postrzeganie emocji, a w szczególności argument, że zmiany fizjologii organizmu towarzyszące emocjom mogą mieć wpływ na intensywność ich przeżywania. Współcześni naukowcy popierają zmodyfikowany pogląd Jamesa-Langa, w którym fizjologiczne sprzężenie zwrotne przekształca doświadczenie emocji [24]. Teorię Jamesa-Langego wspiera spostrzeżenie, że ludzie pozbawieni reakcji autonomicznych (pure autonomic failure) lub zdolności poruszania układem kostno-szkieletowym (locked-in-syndrome) mają osłabione emocje [63].

W 1931 roku Walter Cannon i Philip Bard (1898-1977) niezależnie opracowali teorię, według której bodziec emocjonalny wywołuje dwie współwystępujące reakcje – pobudzenie fizjologiczne i subiektywne doświadczenie emocji, z których żadna nie jest przyczyną drugiej. Naukowcy ci przeprowadzali doświadczenia na odkorowanych kotach. Zwierzęta były zdolne do ataków gniewu w nieadekwatnych sytuacjach. Na podstawie tej obserwacji, że usunięcie kory nie eliminuje emocji, uważali, że błędna jest teoria Jamesa i

Langa. Cannon i Bard zaproponowali pierwszą teorię mózgowych mechanizmów emocji, która została nazwana teorią emocji Cannona-Barda. Uważali, że podwzgórze jest zaangażowane w odpowiedź emocjonalną na bodźce, która to odpowiedź jest hamowana przez młodszy ewolucyjnie obszar kory nowej.

Usunięcie kory uwalnia podwzgórze spod jej kontroli, wyzwalając niekontrolowane okazywanie emocji. Cannon i Bard zastosowali dwie ważne metodologie badań emocji: wykorzystanie doświadczeń na zwierzętach, co już proponował Darwin oraz wykorzystanie chirurgicznych uszkodzeń mózgu do zrozumienia mechanizmu działania emocji, opartego na logicznej interpretacji, iż jakiegokolwiek zmiany pooperacyjne muszą mieć wpływ na procesy, za które odpowiadała uszkodzona część mózgu. Według założeń talamicznego modelu Cannona-Barda, siedliskiem emocji są ośrodki podkorowe, aktywacja których nadaje poznawczym ośrodkom kory komponent emocjonalny. Wzgórze natomiast stanowi ważną stację przekaźnikową z obwodu do kory mózgowej. Impulsy nerwowe wywołane przez bodziec emocjogeny docierają do wzgórza, następnie do kory mózgowej oraz do trzewno-mięśniowych narządów wykonawczych.

W 1937 roku James Papez (amerykański neuroanatom, 1883-1958) zaproponował schemat połączeń centralnego systemu neuronalnego emocji znany pod nazwą „kręgu Papeza”. Papez twierdził, że bodziec emocjonalny docierający do wzgórza rozchodzi się szlakiem wstępującym i zstępującym - jako osobnymi szlakami percepcji (uświadamiania) i pobudzenia. Strumień uświadamiania jest przesyłany ze wzgórza do kory czuciowej, zwłaszcza do zakrętu obręczy. Tą drogą impulsy są percepowane, zrozumiane i zapamiętane. Papez sugerował, że ten szlak ciągnie się poza korę obręczy poprzez szlaki połączeń do hipokampa i poprzez sklepienie do ciał suteczkowatych podwzgórza i powraca do przedniego wzgórza drogą połączeń suteczkowo-wzgórzowych.

Strumień pobudzenia jest transmitowany ze wzgórza pośrednio do ciał suteczkowatych, co pozwala na generację emocji poprzez zstępujący szlak do efektorów czynności fizjologicznych. Ponadto strumień ten jest przekazywany drogą przedniego wzgórza do zakrętu obręczy. Według Papeza doświadczanie emocji było funkcją aktywacji w zakręcie obręczy i mogły być generowane poprzez oba szlaki. Szlaki zstępujące z zakrętu obręczy do podwzgórza umożliwiają także korową regulację odpowiedzi emocjonalnej. Jego dzieło było dużym osiągnięciem. Współcześni naukowcy potwierdzili istnienie wielu szlaków neuronalnych zaproponowanych przez Papeza, ale jest mniej oczywiste czy wszystkie wymienione przez niego obszary są ośrodkami emocji [22, 15].

W roku 1939 Heinrich Kluver (amerykański neurofarmakolog i psycholog pochodzenia niemieckiego; 1897-1979) i amerykański neurochirurg Paul Bucy opublikowali swoją pracę o skroniowej lobektomii. Wykazali, że obustronne usunięcie płatów skroniowych u małp prowadzi do charakterystycznego zachowania, które polega na braku reakcji emocjonalnej, tendencji do badania obiektu przy pomocy ust, wzroście seksualności i zmianie sposobu odżywiania (koprofagia). Zjawisko to zostało określone mianem „Kluver-Bucy syndrom”. Ich badania wskazywały na kluczową rolę płatów skroniowych w procesach emocjonalnych.

W 1949 roku Paul MacLean (amerykański neurofizjolog, ur. 1913) zaproponował limbiczny model emocji. MacLean przedstawił mózg jako trzyczęściową strukturę. Pierwsza część jest ewolucyjnie stara (prążkowie i jądra podstawy), które uważał za odpowiedzialne ośrodki prymitywnych emocji takich jak strach i agresja. Drugą część stanowi „stary” mózg (nazywany mózgiem trzewnym), który odpowiada za prymitywne reakcje emocjonalne, ale również za emocje społeczne. W jego skład wchodzi: wzgórze, podwzgórze, hipokamp i zakręt obręczy, a także ciało migdałowate i kora przedczołowa. Trzecią część stanowi „nowy” mózg, który składa się głównie z kory nowej, łączącej emocje z poznaniem i sprawującej kontrolę nad odpowiedziami emocjonalnymi, które są przesyłane z innych systemów. Taka integracja wg MacLeana była funkcją mózgu trzewnego, w szczególności hipokampa. Trzy lata później wprowadził pojęcie „układ limbiczny” dla mózgu trzewnego. Koncepcja MacLeana, układu limbicznego przetrwała do dzisiaj, jako dominująca koncepcja mózgu emocjonalnego. Jednakże poglądy na temat układu limbicznego są ostatnio szeroko krytykowane w kontekście prac doświadczalnych i teoretycznych [18]. W świetle aktualnych badań wiele struktur układu limbicznego (hipokamp, ciała suteczkowate, przednie wzgórze) ma mniejsze znaczenie aniżeli MacLean uważał. W latach pięćdziesiątych Lawrence Weiskrantz (angielski psycholog, ur.1926), pracując na uniwersytecie w Oksfordzie, przeprowadzał doświadczenia na małpach i ludziach z uszkodzoną ogniskowo tkanką mózgową. W 1956 roku opisał efekt usunięcia ciała migdałowatego u małp [113]. Wyniki jego doświadczeń odgrywają kluczową rolę w rozumieniu zależności wizualnej percepcji i pamięci u małp i ludzi. Opisał zjawisko „blind sight” – zachowanie zdolności wizualnych po usunięciu obszarów korowych pierwotnej projekcji wizualnej.

W 1956 roku Schneirla (amerykański psycholog zwierzęcy; 1902-1968) zarysował model emocji typu zbliżanie-oddalanie (approach-withdrawal), który definiuje system zbliżania oraz ucieczki jako system nagrody i kary.

W 1962 roku amerykańscy psycholodzy, Stanley Schachter i Jerome Singer zwrócili uwagę na ważność czynników poznawczych w określaniu natury doświadczeń emocji. Stworzyli dwuczynnikową teorię emocji, która postuluje, że powstają one w wyniku dwóch niezależnych czynników poznawczych: oceny zdarzenia i oceny reakcji fizjologicznych. Intensywność emocji oraz ich znak uwarunkowane są przez indywidualną ocenę reakcji fizjologicznych i kontekst sytuacyjny. Intensywność reakcji emocjonalnej wzrasta, gdy jednostka nie potrafi wyjaśnić swoich reakcji fizjologicznych.

W 1970 roku Karl Pribram (neuroanatom pochodzenia austriackiego, ur.1919) i Walle Nauta (amerykański neurofizjolog i neuroanatom, 1916-1994) zaproponowali wczesną wersję hipotezy wyznaczników somatycznych emocji, która później została rozwinięta i dokładniej opisana przez Damasio [22, 24]. W 1975 roku amerykański uczony, pochodzenia austriackiego, George Mandler (ur.1924) opublikował „Mind and Emotion”, w którym to dziele opisał relacje emocji i procesów poznawczych.

W 1982 roku amerykański psycholog, Richard Lazarus poruszył problem poznawczego charakteru emocji, stojąc na stanowisku, że procesy poznawcze pośredniczą pomiędzy sytuacją a reakcją emocjonalną. Ujął on emocje z perspektywy pełnionych przez nie funkcji w procesie szeroko rozumianej adaptacji. Jednostka dokonuje stałej oceny napływających sygnałów jako znaczących z punktu widzenia jej własnych celów i interesów. Właśnie te poznawcze oceny poprzedzają pojawienie się reakcji emocjonalnej. Najpierw podmiot orientuje się czy zdarzenie ma związek czy też nie z jego celami i interesami. Jeżeli ma, to pojawia się emocja. W zależności od faktu czy zdarzenie zwiększa czy też zmniejsza szanse realizacji tych celów mamy do czynienia z emocją pozytywną lub negatywną. Następnie podmiot koncentruje się na możliwości poradzenia sobie z zaistniałą sytuacją. R. Lazarus twierdzi, że wspomniana powyżej ocena poznawcza danej sytuacji przesądza czy i jaka emocja się pojawi, jest także wystarczającym i koniecznym warunkiem jej wystąpienia.

W 1982 roku Jeremy Gray (amerykański psycholog) opublikował książkę „The Neuropsychology of anxiety”, w której koncentruje się na problemie reakcji typu zbliżanie/oddalanie (approach/withdrawal) oraz na procesach poznawczych i motywacyjnych.

W 1983 roku Paul Ekman (amerykański psycholog) zasugerował, że różne emocje podstawowe mogą być automatycznie odróżniane. Główne jego badania dotyczą pozawerbalnego rozpoznawania i wyrażania emocji na podstawie wyrazu twarzy [34].

W 1986 roku Joseph LeDoux (amerykański, neurolog, ur.1944r.) zaproponował kluczową rolę ciała migdałowatego i jego licznych połączeń w odczuwaniu strachu.

W 1991 roku Damasio (portugalski neurolog) zarysował swoją hipotezę wyznaczników somatycznych emocji [24]. Polega ona na zapamiętaniu przez organizm reakcji fizjologicznej na bodziec o znaczeniu emocjonalnym w kontekście kary lub nagrody.

Pojawienie się podobnej reakcji organizmu w przyszłości automatycznie klasyfikuje rodzaj doznawanej emocji i pozwala na szybkie podjęcie właściwej decyzji. Bechara i współpracownicy wykazali, że ludzie z uszkodzeniem mózgu, polegającym na selektywnym bilateralnym zniszczeniu jądra migdałowatego nie mogą być, podobnie jak szczury, uwarunkowani na bodźce emocjonalne [7]. Demonstruje się to w ten sposób, że ludzie ci nie wykazują typowej reakcji elektrodermalnej na bodźce emocyjne, powiązane z bodźcem bezwarunkowym typu CS+. Pomimo to osoby z uszkodzeniem jądra migdałowatego są w stanie bezbłędnie przypomnieć sobie i opisać rodzaje bodźców które im prezentowano. Eksperyment ten zwraca uwagę na zaangażowanie ciała migdałowatego w reakcje autonomiczne organizmu, takie jak częstość skurczów serca czy reakcja elektrodermalna. Wiadomo, że jądro centralne ciała migdałowatego posiada rozległe projekcje zarówno do podwzgórza jak i do układu autonomicznego pnia mózgu, a uszkodzenie tej struktury zarówno u ludzi jak i u zwierząt, powoduje wypadnięcie składnika autonomicznego reakcji lękowej. Z tego też powodu przypuszcza się, że ciało migdałowate pełni kluczową rolę także w schorzeniach o podłożu nerwicowo-lękowym takich jak fobie, nerwica-lękowa i stres potraumatyczny (Post Traumatic Stress Disorder - PTSD) [37, 60, 68].

W roku 1992 Jaak Panksepp (amerykański psychofizjolog pochodzenia estońskiego, ur. 1943r.) stworzył pojęcie nauk afektywnych (affective neuroscience), które stanowią dziedzinę nauki badającą mózgowo (neuralne) mechanizmy emocji. Stanowią interdyscyplinarną gałąź nauki, która łączy nauki neurologiczne z badaniami psychologicznymi osobowości, emocji i nastroju.

W 1994 roku Ralph Adolphs (amerykański neurobiolog) i współpracownicy opisali osłabienie rozpoznawania emocji na podstawie wyrazu twarzy w następstwie obustronnego uszkodzenia ciała migdałowatego u ludzi.

W 1995 roku amerykański naukowiec Bechara wraz z zespołem wykazał w doświadczeniach na szczurach, że ciało migdałowate jest konieczne do odczucia strachu, ale nie jest konieczne do wyraźnego zapamiętania doświadczanego stanu emocjonalnego

[7]. W 1996 roku angielski neurobiolog Cahill i współpracownicy odkryli rolę ciała migdałowatego w procesie konsolidacji pamięci emocjonalnej [22].

W 1997 roku Mary Phillips (angielski psychiatra) wraz z zespołem zaproponowali koncepcję, według której wyspa jest specyficznym mózgowym ośrodkiem odbierającym obraz twarzy wyrażającej wstręt.

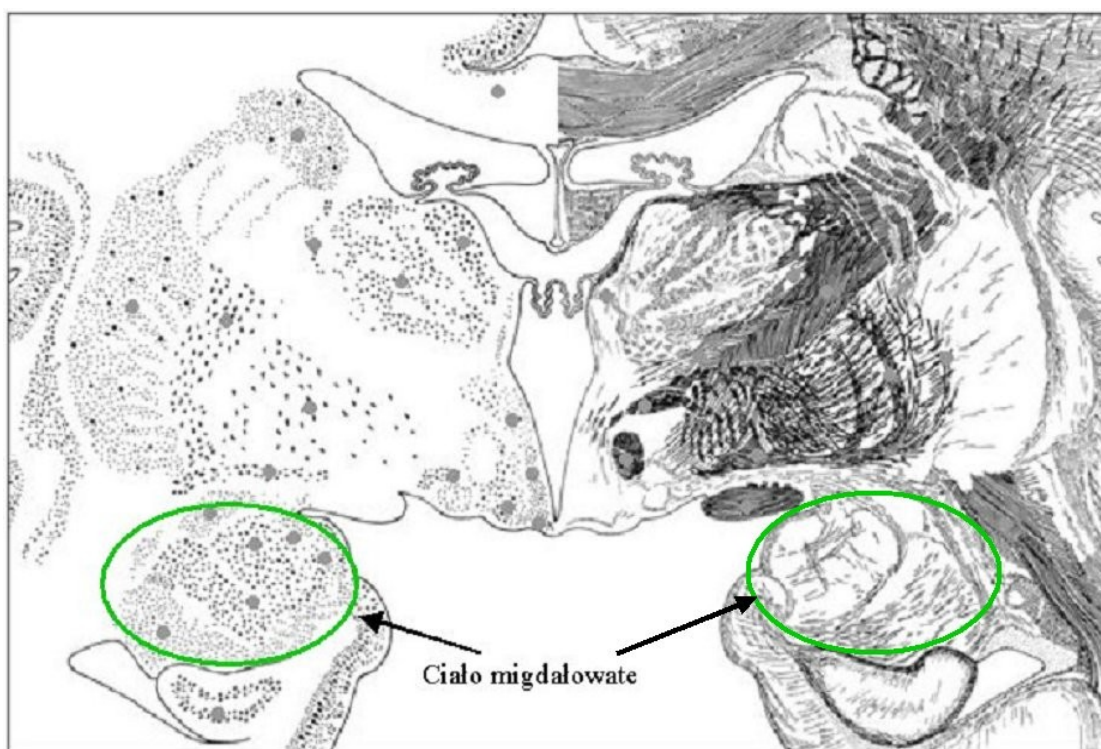
W 2000 roku Damasio i współpracownicy opublikowali dowody, że różne regiony mózgu odpowiadają za różne rodzaje emocji. W tym samym roku angielski neuropsycholog Andy Calder opisał przypadek pacjenta z uszkodzoną wyspą i zwojami podstawy, który wykazywał osłabione rozpoznawanie i odczuwanie wstrętu.

W roku 2002 amerykański neurofizjolog Hariri wykazał, że odpowiedź ciała migdałowatego na bodziec emocjonalny jest funkcją transportu serotoniny [51].

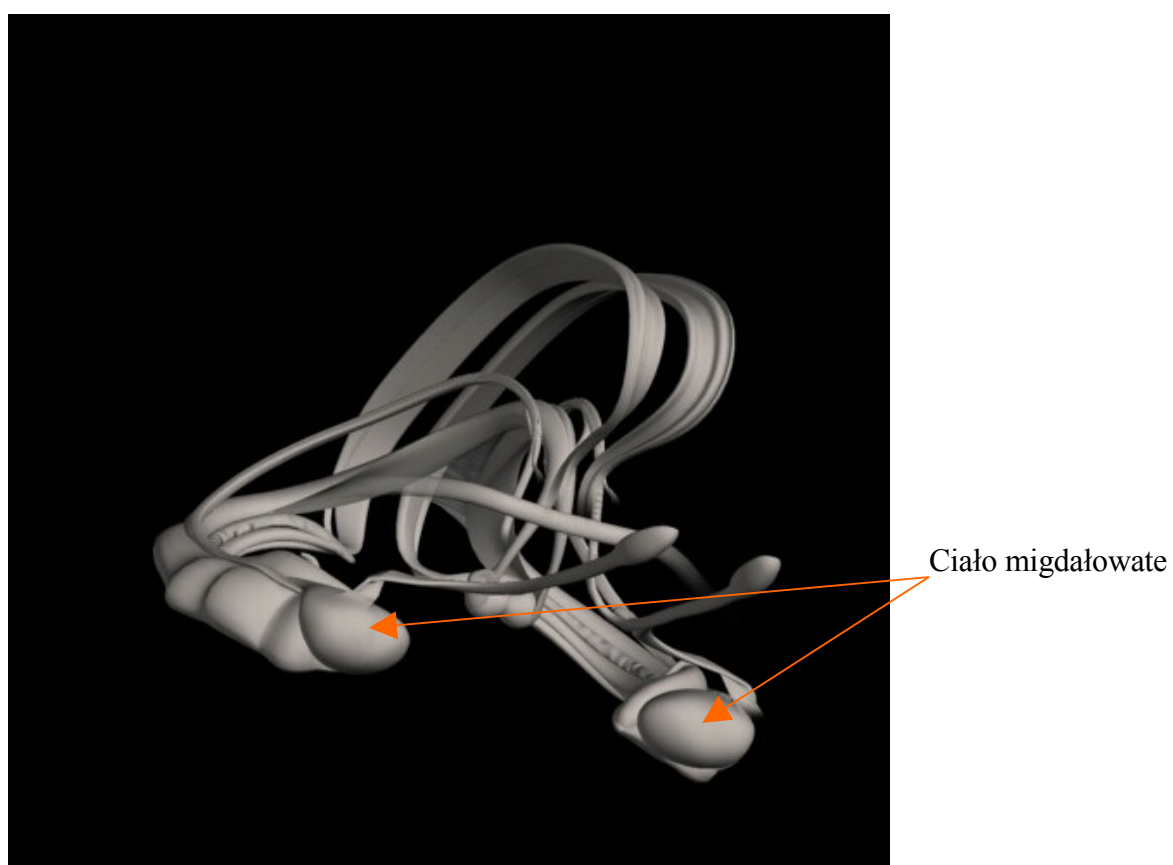
Przedstawione przykłady prezentują jedynie kamienie milowe w bogatej historii badań emocji, które coraz to bardziej ewoluują i zmieniają charakter wraz z postępem i rozwojem technik neuroobrazowania.

4. Mózgowe ośrodki emocji w świetle aktualnych poglądów

Ciało migdałowate jest największym ośrodkiem podkorowym układu limbicznego i uważane jest za centrum kontroli zachowania emocjonalnego. Jego kluczową rolę w funkcjonowaniu mózgu emocjonalnego odkrył Joseph LeDoux [73, 74, 75, 76].



Ryc. 2 Schemat przekroju czołowego obu półkul mózgu na poziomie ciała migdałowatego.



Ryc. 3 Obraz przestrzenny sklepienia z uwidocznieniem ciała migdałowatego obustronnie.

Po raz pierwszy tej nazwy użył w 1819 roku anatom Burdach, by opisać strukturę w kształcie migdała, zlokalizowaną głęboko w korze okolicy skroniowej. W ciele migdałowatym wyróżniono kilka różnych grup komórek. Wśród nich jądro boczne, podstawne i dodatkowe jądra podstawy, które nazwano wspólnie jako jądra podstawno-boczne (basolateral amygdala). Ciało migdałowe wraz ze strukturami podsoczewkowatymi takimi jak jądra podsoczewkowe i jądro półleżące (nucleus accumbens) tworzy kompleks nazywany w literaturze anglojęzycznej "extended amygdala" (sublenticular extended amygdala - SLEA) ze względu na ich podobieństwo architektoniczne, połączenia i neurotransmitery [77, 87].

Ciało migdałowe składa się z 12 różnych regionów, każdy z nich może być dalej podzielony na kilka podregionów. Rola poszczególnych podgrup komórek ciała migdałowatego do dzisiaj budzi wiele kontrowersji, jednak w wyniku prowadzonych badań ustalono, że obszarami najbardziej odpowiedzialnymi za odczucie strachu są obszary boczne, podstawne, dodatkowe jądra podstawne, jądra centralne oraz połączenia pomiędzy nimi. Ciało migdałowe uczestniczy w rozpoznawaniu bodźców emocjonalnych co najmniej dwoma drogami: podkorowym szlakiem poprzez wzgórek górny blaszki czworacznej i poduszkę wzgórza oraz korowym szlakiem poprzez nową korę wzrokową [1].

Jądro podstawno-boczne ciała migdałowatego (BLA) otrzymuje impulsy czuciowe ze wzgórza, hipokampa i kory, następnie aktywuje i moduluje transmisję synaptyczną w obszarach docelowych. Na przykład światło wraz z pożywieniem mogą stanowić pozytywne bodźce poprzez zmianę transmisji neuralnej w BLA, która wysyła sygnały do prądkowia, prowadząc do zbliżania behawioralnego (w literaturze określane jako approach behavior). Są jednak autorzy, którzy zwracają uwagę na rolę ciała migdałowatego w emocjach pozytywnych, zwłaszcza w procesie przetwarzania informacji związanych z nagrodą, w którym stwierdzono interakcje ciała migdałowatego ze strukturami korowymi i podkorowymi takimi jak: jądro półleżące (część prądkowia), dopaminergiczny system śródmózgowia (istota czarna, nakrywka), cholinergiczny system podstawy przodomózgowia i kora przedczołowa, zwłaszcza jej część oczodołowa i środkowa. Związek ciała migdałowatego z pobudzeniem o charakterze pozytywnym, pozwala na lepsze wytłumaczenie jego funkcji związanych z procesem uczenia się, zapamiętywania, przywiązania jak również mechanizmu leżącego u podłoża celnego działania [6, 97].

Według Davidsona kora przedczołowa (prefrontal cortex - PFC) stanowi ważną część układu implementującego zarówno pozytywny jak i negatywny afekt. PFC dzieli się na dwie części: lewą (obszar grzbietowo-boczny, brzuszno-przyśrodkowy, oczodołowo-czołowy) i prawą (obszar brzuszno-przyśrodkowy, oczodołowo-czołowy). Dotychczasowe badania wykazały aktywację w części przednio-lewobocznej PFC pod wpływem emocji pozytywnych oraz części przednio-prawobocznej pod wpływem negatywnego afektu [28].

W przypadku jądra półleżącego w większości współczesnych badań obserwowano wzrost jego aktywności pod wpływem emocji pozytywnych [77]. Istnieją również doniesienia o aktywacji tej struktury pod wpływem emocji o charakterze negatywnym [77].

Zakręt obręczy bierze udział w przetwarzaniu informacji związanych z czuciem, motoryką, procesami poznawczymi i emocjonalnymi. Ponadto integruje sygnały z różnych systemów (motywacji, oceny błędu, poznania i emocji) a dodatkowo moduluje odpowiedź układu endokrynnego i trzewnego. Przednia część zakrętu obręczy (anterior cingulate cortex - ACC) jest odpowiedzialna za funkcje wykonawcze, tylna część natomiast za funkcje związane z oceną [15].

Kora zakrętu obręczy poniżej ciała modzelowatego (Subcallosal cingulate cortex - SCC) – jest obszarem zlokalizowanym brzusnie do ACC, a wielu autorów wykazało jego aktywację w emocjach o charakterze negatywnym (smutek) [88].

W zwojach podstawy (basal ganglia - BG), do których włączono brzuszną część prążkowia (ventral striatum) i skorupę (putamen) większość autorów wykazała aktywację pod wpływem pobudzenia o charakterze pozytywnym. Świadczą o tym eksperymenty, w których badano reakcje na obserwowanie szczęśliwych twarzy [83, 93, 114], przyjemnych obrazków [28, 66, 67], przypominanie przyjemnych zdarzeń [23, 44]. Obserwowano jednak również pobudzenia BG pod wpływem negatywnych emocji, pokazując twarze wyrażające wstręt [88]. W przypadku wyspy badania funkcjonalne wykazały aktywację wyspy pod wpływem emocji negatywnych. Wyspa wraz z brzuszną częścią prążkowia i wzgórzem jest aktywowana podczas rozpoznawania twarzy wyrażających wstręt [94]. Przednia część wyspy aktywuje się pod wpływem percepcji bólu, podczas indukowanego smutku i strachu [91]. Ponadto jej aktywność stwierdzono podczas wywołanych cholecystokininą ataków strachu u pacjentów z atakami napadowego lęku. Opisano także rolę wyspy w wewnętrznie generowanych emocjach oraz w procesie poczucia winy [91].

Hipokamp jest jedną z głównych części pierwotnego wężomózgowia, z którego w procesie ewolucji rozwinęła się nowa kora mózgowa. Do głównych połączeń hipokampa należą drogi biegnące w sklepieniu, spoidle sklepienia i obręczy oraz bezpośrednie połączenia z korą zakrętu hipokampa.

Kompleks hipokampa, który zajmuje przyśrodkową część płata skroniowego, wpływa na odpowiedź ciała migdałowatego, co do interpretacji zdarzeń o zabarwieniu emocjonalnym, nadając sens schematom percepcyjnym. Dla przykładu, gdy widzimy znajomą osobę, hipokamp pozwala na identyfikację tej osoby, natomiast ciało migdałowe informuje nas o stosunku emocjonalnym do niej. Hipokamp jest odpowiedzialny za przetwarzanie informacji o możliwościach poradzenia sobie z konsekwencjami stresu zainicjowanego przez ciało migdałowe. Liczne badania wykazały obecność dwóch niezależnych systemów pamięci w obrębie przyśrodkowej części płata skroniowego. Pierwszy jest związany z ciałem migdałowatym i ten jest bardziej wyspecjalizowany w procesach emocjonalnych, drugi jest związany z kompleksem hipokampa i jest konieczny w procesach pamięci deklaratywnej i epizodycznej. Interakcja tych dwóch systemów (ciała migdałowatego i hipokampa) wpływa na wyraziste zapamiętywanie wydarzeń wywołujących emocje. Kompleks hipokampa jest odpowiedzialny za retencję i przechowywanie wiadomości. Badania neuroobrazowe wykazały, że również ciało migdałowe jest wciągnięte w procesy pamięci długotrwałej (long-term memory) dotyczącej wydarzeń wyzwalających emocje [89]. Wyniki licznych eksperymentów dowodzą, że istnieje interakcja pomiędzy ciałem migdałowatym a endogennymi hormonami stresu, uwalnianymi podczas lub po zdarzeniach emocjonalnie znaczących, co wpływa na procesy modulacji i gromadzenia pamięci zachodzące w innych regionach mózgu [16, 81, 82]. Proces przetwarzania informacji o zabarwieniu emocjonalnym oraz reakcja organizmu na bodźce emocjonalne może zostać ujęta w formie systemów regulacyjnych: brzuszego (ventral system-VS) i grzbietowego (dorsal system-DS).

VS obejmuje ciało migdałowe, wyspę, brzuszne prążkowie, brzuszną część ACC i PFC. VS jest odpowiedzialny przede wszystkim za identyfikację emocjonalnego znaczenia bodźca, za wytworzenie stanu afektywnego w odpowiedzi na działający bodziec i automatyczną regulację odpowiedzi emocjonalnej.

Brzuszne prążkowie (ventral striatum) odgrywa rolę w wyzwalaniu motywacji do działania. Ostatnio, przy pomocy fMRI wskazano na jego udział w procesach emocjonalnej i socjalnej oceny sytuacji [1].

DS obejmujący hipokamp, grzbietowy obszar ACC i PFC odgrywa ważną rolę w regulacji stanu afektywnego [91]. DS, gdzie są integrowane procesy poznawcze, jest ważnym ogniwem funkcji wykonawczych, takich jak selektywna uwaga, umiejętność planowania oraz świadoma, nieautomatyczna regulacja stanu afektywnego. Poszczególne funkcje emocjonalne są regulowane przez odrębne anatomiczne centra podkorowe. Regionami zawiadującymi najbardziej prostymi mechanizmami emocjonalnymi są pień mózgu i podwzgórze. Lokalizacje te odpowiadają za regulację układu endokrynnego, autonomicznego, motorycznego, które tworzą wyznaczniki somatyczne emocji, głównie dzięki zaangażowaniu systemów regulacyjnych takich jak zstępujące i wstępujące systemy efektorowe pnia mózgu.

- * Zstępujące systemy efektorowe pnia mózgu (dążące do określonych narządów wykonawczych), obejmują obwody regulacji endokrynną, autonomiczną i motoryczną.
 - Regulacja endokrynną uwarunkowana jest przez mechanizm, który kontroluje obwodową sekrecję hormonalną. Wydzielanie hormonów obwodowych (na przykład kortyzolu przez korę nadnerczy) regulowane jest przez hormony (czynniki uwalniające), podlegające regulacji podwzgórzowej. Podwzgórze stanowi ważne ogniwo systemu kontroli zachowań afektywnych. Reguluje aktywność autonomiczną i neurohormonalną, umożliwiając jednostce prawidłową reakcję na bodźce emocjonalne, pod wpływem których jest aktywowana oś podwzgórzowo-przysadkowo-nadnerczowa. Podwzgórze wydziela czynnik uwalniający kortykotropinę (CRF), który indukuje powstawanie i wydzielanie przez przysadkę hormonu adrenokortykotropowego (ACTH). Ta z kolei stymuluje sekrecję kortykoidów z kory nadnerczy, czego efektem jest wzrost częstości akcji serca, wzrost poziomu glukozy we krwi, reakcje skórno-dermalne, rozszerzenie źrenic. Efekty te mają wspomóc reakcje behawioralne.
 - W regulacji autonomicznej poszczególne układy takie jak układ krążenia, układ oddechowy i pokarmowy podlegają kontroli przywspółczulnych i współczulnych efektorów zlokalizowanych w rdzeniu kręgowym, w strukturach układu limbicznego, w korze (PFC, wyspa).
 - Regulacja motoryczna wynika ze ścisłego związku poszczególnych wzorców ekspresji emocji z funkcjonowaniem pnia mózgu kontrolującego aktywność somatomotoryczną. Pewne obwody regulacyjne ukierunkowane są na elementy ekspresji takie jak mimika twarzy, wokalizacja, gesty, regulacja ruchów gałek

ocznych, dystalnych części ciała i postawy. Regulacja motoryczna ma szczególne znaczenie w zachowaniu typu zbliżanie-unikanie.

* Wstępujące systemy regulacyjne sensorowe pnia mózgu.

Drogi wstępujące struktur układu limbicznego dochodzą do różnorodnych struktur międzymózgowia i kresomózgowia, także do kory mózgowej. Istotną rolę stanowią połączenia noradrenergiczne, biorące początek w jądrze miejsca sinawego oraz serotoninergetyczne, których komórki macierzyste leżą w śródmózgowiu. Systemy neuroprzekaznikowe odgrywają ważną rolę w regulacji zachowania emocjonalnego. Noradrenergiczne neurony biorą udział w reakcji na bodźce eksteroceptywne i interoceptywne jakimi są np. sytuacje nowe dla osobnika, poczucie zagrożenia, identyfikacja pokarmu. Pozostałe układy również bardzo szybko odpowiadają na bodźce. Ważną rolę w procesach percepcyjnych o znaczeniu socjalnym i emocjonalnym odgrywają bodźce wzrokowe. Kora wzrokowa obejmująca boczną część zakrętu potylicznego dolnego, zakręt wrzecionowaty i zakręt skroniowy górny odgrywa znaczącą rolę w procesach emocjonalnych związanych z wyrazem twarzy. Kora zakrętu wrzecionowatego jest aktywowana w przypadku oglądania twarzy, stąd została nazwana "wrzecionowatym obszarem twarzy" (fusiform face area) [1].

Pomimo przedstawionych powyżej poznanych funkcji poszczególnych ośrodków biorących udział w procesie przetwarzania zjawisk emocjonalnych, otwartą pozostaje sprawa lateralizacji ośrodków emocji oraz różnic w aktywacji tych ośrodków u kobiet i mężczyzn.

Niektórzy autorzy stoją na stanowisku lateralizacji walencji emocji. Według ich teorii lewa półkula mózgu jest odpowiedzialna za emocje pozytywne, prawa półkula dominuje zaś w przetwarzaniu emocji negatywnych [29, 47, 98]. Badania lateralizacji były przeprowadzane na pacjentach z uszkodzoną tkanką mózgową. Wyniki tych badań wykazały, że większość pacjentów, którzy doznali poważnego urazu lewego płata czołowego, zwłaszcza PFC i BG zachorowało na depresję [112]. Pacjenci z uszkodzonym prawym płatem czołowym wykazywali z kolei nieadekwatne reakcje zadowolenia i manii. Późniejsze badania z zastosowaniem EEG również wskazywały podobną lateralizację emocji negatywnych i pozytywnych, szczególnie w korze czołowej [27]. Jednakże część autorów jest przeciwna tej hipotezie, gdyż nie potwierdzili jej w swoich badaniach z wykorzystaniem EEG [21].

Kilka grup badawczych zarejestrowało lateralizację w przypadku aktywacji ciała migdałowatego prowadząc eksperymenty w badaniach czynnościowych oraz badając

pacjentów z uszkodzeniami tkanki mózgowej. Morris zaproponował teorię, że nieuświadomione procesy emocjonalne aktywują prawe ciało migdałowe, natomiast świadome przeżycia emocjonalne powodują pobudzenie lewego ciała migdałowego [83].

Analizy objętości ciała migdałowego sugerują, że jego objętość u mężczyzn jest większa niż u kobiet [45]. Różnice płciowe również zauważono w badaniach nad efektem uszkodzenia ciała migdałowego u innych naczelnych. Kling zaobserwował, że samice z uszkodzonym ciałem migdałowym stają się bardziej agresywne, podczas gdy samce tego samego gatunku wykazują zmniejszoną agresję [62]. Kilka ostatnich badań neuroobrazowych również sugeruje, że różnice płciowe wpływają na zakres i lateralizację aktywacji ciała migdałowego u ludzi. Przykładem są badania Cahila, z wykorzystaniem zarówno PET jak i fMRI, które wskazują na różnice międzypłciowe w zakresie obustronnej aktywacji ciała migdałowego, mającej związek z lepszym zapamiętywaniem emocjonalnie znaczących obrazów lub filmów. U mężczyzn wykazano zwiększoną aktywację prawego ciała migdałowego, u kobiet – lewego. Jednak zauważono, że bardziej ma to związek z pamięcią aniżeli z siłą pobudzenia emocjonalnego, co sugeruje, że zjawisko lateralizacji jest specyficzne dla procesów związanych z przetwarzaniem pamięci [17, 19]. Powyższe spostrzeżenia wskazują na konieczność dalszych badań, które pozwolą sprecyzować różnice w funkcjonowaniu „mózgu emocjonalnego” u obu płci.

5. Metody badania emocji

Wielokierunkowy aspekt zjawiska indukowania i przetwarzania emocji przez mózg powoduje mnogość metod badawczych, które dążą do coraz dokładniejszej interpretacji procesów związanych z emocjami. Emocje można badać stosując metody ich wzbudzania pod wpływem wrażeń wzrokowych i słuchowych, stosując wystandardyzowane testy i obrazy. Można także stosować metody pomiaru wskaźników fizjologicznych reakcji na określone bodźce emocjonalne przy pomocy metod elektrofizjologicznych. Najdokładniejszym i najnowocześniejszym narzędziem badawczym emocji są metody obrazowania funkcjonalnego mózgu.

5.1. Metody wzbudzania emocji pod wpływem wrażeń wzrokowych

5.1.1. Standaryzowane metody badawcze służące wizualnej ocenie ekspresji wyrazu mimicznego twarzy i związanych z nią emocji.

Ludzie są istotami społecznymi, a jedną z istotniejszych form pozawerbalnej komunikacji międzyludzkiej jest rozpoznawanie stanu emocjonalnego drugiego człowieka na podstawie wyrazu twarzy. Interpretacja wyrazu twarzy jest w stanie wywołać w nas określone emocje, stąd duży udział tego rodzaju badań w analizie procesów emocjonalnych.

a). Facial Recognition Test (Test rozpoznawania twarzy)

Celem opracowania tego testu było zapewnienie standaryzowanej, obiektywnej procedury służącej do oceny, u osoby badanej, umiejętności rozpoznawania twarzy emocjonalnie neutralnych u nieznanych osób. Pierwszy raz zastosowano go do badania pacjentów z uszkodzeniem ośrodków mózgowych, u których obserwowano związki między poprawnością rozpoznawania twarzy a lokalizacją, typem uszkodzenia, defektem pola widzenia i afazją.

b). Facial Affect Recognition Test (Test rozpoznawania wyrazu emocjonalnego twarzy) [33]

Jest to standaryzowane narzędzie badawcze służące do rozpoznawania sześciu wyrażonych na twarzy stanów emocjonalnych: szczęścia, smutku, strachu, złości, wstrętu, zdziwienia. Test ten obejmuje zestaw 110 fotografii twarzy o zróżnicowanej ekspresji i prezentowany jest osobom badanym za pomocą przeźroczy. Osoba badana dokonuje wyboru jednej z sześciu emocji, którą wyraża przedstawiana twarz.

c). Emotion Labeling Experiment (Eksperyment nazywania wyrazu emocjonalnego twarzy) i Emotion Recognition Experiment (Eksperyment rozpoznawania wyrazu emocjonalnego twarzy)

Są to standaryzowane metody do rozpoznawania, wyszczególnionych w 1971 roku przez Izarda, dziewięciu stanów emocjonalnych: szczęścia, smutku, strachu, złości, wstrętu, pogardy, zdziwienia, wstydu i zainteresowania. Podczas projekcji poszczególnych przeźroczy osoba badana ma opisać, jakie uczucia wyraża twarz osoby na fotografii [57].

d). The Facial Emotional Discrimination Task (Zadanie rozróżniania wyrazu emocjonalnego twarzy)

Metoda ta opiera się na prezentacji par zdjęć twarzy tej samej osoby bądź twarzy różnych osób, wyrażających jednakowe lub różne stany emocjonalne (sześć podstawowych emocji: radość, smutek, zdziwienie, strach, złość, i wstręt). Osoba badana ma za zadanie zdecydować, czy dwie przedstawione twarze wyrażają te same, czy też inne emocje [10].

- e). Happy-Sad Chimeric Face Drawings (Wesoło-smutne rysunki twarzy chimerycznych)

Test ma na celu ocenę tendencji badanych osób do postrzegania lewych połówek prezentowanych twarzy jako zawierających dominujący ładunek emocjonalny [26].

- f). Facial Action Coding System-FACS (System kodowania pracy poszczególnych mięśni twarzy)

Stanowi technikę pomiaru ruchów mięśni mimicznych twarzy. Pozwala ocenić jak skurcz mięśnia mimicznego bądź grup mięśniowych zmienia wyraz twarzy. Obejmuje 46 podstawowych elementów wyrazu ludzkiej twarzy (single action unit), np.: zmarszczenie brwi, zaciśnięcie warg, podniesienie wargi górnej, podnoszenie policzka, rozszerzenie nozdrzy. Rejestracja poszczególnych zmian w wyrazie twarzy i rozróżniania aktywności poszczególnych mięśni dokonywana jest przez przeszkolone w tym celu osoby kodujące [33].

5.1.2. International Affective Picture System - IAPS, NIMH Center for Emotion and Attention, University of Florida (Międzynarodowy zbiór obrazów afektywnych)

Jest to zbiór wystandaryzowanych obrazów, mających na celu wywołanie określonych bodźców emocjonalnych, które zakładają, że wywołanie emocji jest funkcją pobudzenia (arousal) i afektu (valence). Są to obrazy od wielu lat stosowane w różnych ośrodkach, w badaniach mających na celu wywołanie określonych emocji [71]. W przypadku obrazów mających wywołać negatywne emocje, te same obrazy są wystandaryzowane dla kobiet i mężczyzn. Obrazy indukujące emocje o charakterze pozytywnym są różne dla obu płci.

5.2. Metody służące ocenie prozodii emocji, czyli zdolności wyrażania emocji przy pomocy mowy

Mowa stanowi podstawowe narzędzie komunikacji międzyludzkiej, zarówno w swojej treści jak również w swojej formie, której wykładnikami są: melodyka, akcent, pauza. Odpowiednia intonacja głosu informuje nas o zabarwieniu emocjonalnym przekazywanych przez rozmówcę treści.

5.2.1. Voice Emotion Identification Test

Test ten polega na odtworzeniu z magnetofonu osobom badanym dwudziestu jeden semantycznie neutralnych zdań. Każde zdanie jest wypowiedziane w sposób wyrażający jedną z sześciu podstawowych emocji według Ekmana (radość, złość, smutek, zdziwienie, wstręt i strach). Osoby badane zakreślają na karcie odpowiedzi, którą z sześciu emocji najprecyzyjniej określa nagrany głos lektora [61].

5.2.2. The Aprosodia Battery

Procedura badawcza służąca ocenie percepcji (identyfikacji i rozróżnianiu) oraz ekspresji prozodii (dowolnej i mimowolnej) pięciu kategorii emocji tj. radości, zdziwienia, smutku, złości, bezinteresowności, a także stanu emocjonalnie obojętnego [100].

5.3. Metody, które badają emocje wywoływane w sposób złożony, służące ocenie percepcji emocji w modalności wzrokowej, prozodyjnej i leksykalnej

W większości sytuacji społecznych człowiek odbiera równocześnie kilka rodzajów bodźców (wzrokowych, słuchowych) i poddaje je sumarycznej analizie, którą mózg określa jako treść emocjonalnie znaczącą bądź neutralną. Metody te badają emocje, których źródłem są zarówno bodźce wzrokowe, jak i słuchowe, odnoszące się zarówno do emocjonalnej intonacji (prozodia), jak i do emocjonalnego znaczenia treści słyszanego tekstu. Poprzez leksykalną ekspresję emocji rozumie się treść emocjonalną wymawianych słów.

1. Perception of Emotion Test

Pozwala ocenić percepcję emocji w trzech kanałach informacyjnych (twarzowym, prozodyjnym i leksykalnym) [32].

2. The Floryda Affect Battery

Służy ocenie percepcji emocji twarzowej i prozodyjnej [11].

3. Victoria Emotion Perception Test

Test został skonstruowany w celu oceny percepcji emocji w modalności twarzowej i prozodyjnej [46].

5.4. Badania wskaźników fizjologicznych wywołanych określonymi emocjami

5.4.1. Pomiar częstotliwości akcji serca

Metody elektrofizjologiczne – umożliwiają pomiar zmian właściwości elektrycznych komórek, tkanek i narządów pod wpływem reakcji emocjonalnych.

a). Elektroencefalografia (EEG)

Spśród metod elektrofizjologicznych znalazła najszerze zastosowania zarówno w praktyce klinicznej jak i w badaniach naukowych. EEG rejestruje czynność bioelektryczną mózgu przez odprowadzenie, wzmocnienie i zapis bioproudów z użyciem elektrod przyłożonych do skóry głowy. Czynność bioelektryczną mózgu po raz pierwszy opisał w 1875 roku angielski fizjolog Caton, przeprowadzając doświadczenia na zwierzętach. Po raz pierwszy czynność bioelektryczną mózgu u człowieka badał w 1929 roku niemiecki psychiatra Berger, jednak do praktyki klinicznej EEG weszła dopiero w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku. Przeciętna amplituda potencjałów mózgowych nie przekracza 250 mikrovoltów, dlatego dla uzyskania czytelnego zapisu EEG potencjały elektryczne muszą zostać odpowiednio wzmocnione. Potencjały elektryczne mózgu człowieka odbiera się przy użyciu odprowadzeń jedno i dwubiegunowych. W odprowadzeniach jednobiegunowych elektrodę obojętną przymocowuje się do płatka ucha i uziemia, a elektrody czynne rozmieszcza się nad każdą półkulą mózgową oraz w linii środkowej głowy. Liczba rozmieszczonych elektrod zależy od zastosowanego systemu. Rejestruje się w ten sposób różnice potencjałów pomiędzy elektrodą obojętną a poszczególnymi czynnymi elektrodami w różnych okolicach mózgu. Odprowadzenia dwubiegunowe mogą być liczne i mogą dawać dowolną liczbę zapisów EEG. Czynność bioelektryczna mózgu rejestrowana w EEG pochodzi głównie z powierzchniowych warstw kory mózgowej i jest wynikiem kolejno po sobie postępującej depolaryzacji i repolaryzacji błony komórkowej dendrytów neuronów korowych. Potencjały elektryczne odbierane z powierzchni kory

powstają na skutek przesuwania się stanu czynnego wzdłuż dendrytów od ciała komórkowego neuronu w kierunku powierzchni mózgu i odwrotnie, co wywołuje zmianę biegunowości tej powierzchni. EEG pozwala śledzić podstawową aktywność mózgu w sytuacji relaksu lub gdy pacjent wykonuje pewne czynności umysłowe. Technika, która bada czynność elektryczną mózgu przy pomocy EEG, bezpośrednio po zadziałaniu bodźca na układ nerwowy jest metoda potencjałów wywołanych (ERP).

b). Magnetoencefalografia (MEG)

Jest metodą, która pozwala na pomiar pola magnetycznego na powierzchni głowy, indukowanego przez aktywność elektryczną mózgu.

Głównym źródłem sygnału jest pole magnetyczne wzbudzone pośrednio przez prądy neuralne, płynące w szczytach setek tysięcy dendrytów komórek piramidowych kory, skierowanych prostopadłe do jej powierzchni. Odbiór sygnału następuje przy pomocy magnetometrów, umieszczonych w pomieszczeniu szczelnie izolowanym od zewnętrznego pola magnetycznego. Po raz pierwszy metodę MEG do badania ludzi zastosował Cohen w 1972 roku. Technika, która bada aktywność elektromagnetyczną mózgu przy pomocy MEG, bezpośrednio po zadziałaniu bodźca na układ nerwowy jest metoda wywołanego pola magnetycznego (ERF- event related field).

EEG i MEG stanowią komplementarne metody badania czynności elektrofizjologicznej mózgu [25].

c).Przeznaczskowa stymulacja magnetyczna (TMS - transcranial magnetic stimulation)

Jest to metoda, w której stymulując korę szybkozmiennym, silnym polem magnetycznym uzyskujemy krótkotrwałą i nieinwazyjną aktywację i deaktywację specyficznych rejonów kory, a następnie obserwujemy określoną reakcję neuralną [1, 22].

d). Elektromiografia (EMG)

Rejestruje aktywność bioelektryczną mięśni szkieletowych. EMG w badaniu emocji wykorzystywana jest do pomiaru potencjałów kurczów mięśni mimicznych twarzy. Aktywność poszczególnego mięśnia może być monitorowana za pomocą igłowej końcówki elektrody umieszczonej w tkance, która jest połączona z systemem analizy i prezentacji danych w postaci graficznej.

e). Elektrookulografia (EOG)

Rejestruje aktywność bioelektryczną oczu. Rejestruje zmiany prądów czynnościowych powstających podczas ruchów gałki ocznej i po zadziałaniu błysków świetlnych. Zmiana potencjałów następuje pod wpływem pobudzenia emocjonalnego.

5.4.3. Pomiar reakcji galwaniczno - skórnej (GSR - Galvanic Skin Response)

Rejestruje reakcję galwaniczną skóry, czyli zmiany w przewodnictwie elektrodermalnym pod wpływem pobudzenia emocjonalnego [78]. Zmiany w przewodnictwie skóry związane są z aktywacją gruczołów potowych, pod wpływem pobudzenia psychicznego. Rejestracja reakcji elektrodermalnej jest jednym z podstawowych elementów „wykrywacza kłamstw”, gdyż jej wzrost, będący wynikiem wzrostu napięcia emocjonalnego, ma świadczyć o kłamstwie.

5.5. Obrazowe metody badania emocji

Funkcjonalne obrazowanie mózgu z wykorzystaniem PET i MRI stało się możliwe dzięki odkryciu zjawiska zwiększonego przepływu krwi w związku z aktywacją komórek nerwowych danego obszaru mózgu [80]. Idea opisanego zjawiska jest zadziwiająco stara, gdyż pochodzi z końca XIX wieku i została opisana przez Williama Jamesa w roku 1890, w jego dziele pt.: „The principles of psychology”. Autor dzieła powoływał się także na wcześniejsze badania włoskiego fizjologa, Angelo Mosso (1881rok), który obserwował pulsację na powierzchni mózgu, u ludzi po przebytym ciężkim urazie głowy.

5.5.1. Pozytronowa tomografia emisyjna (PET)

Jest narzędziem badawczym medycyny nuklearnej, która przy pomocy izotopów radioaktywnych, emitujących pozytony stwarza możliwość obrazowania zwiększonego metabolizmu w badanym obszarze. Lokalizacja miejsca, skąd został wyemitowany pozyton, odbywa się poprzez rejestrację kwantów gamma promieniowania anihilacyjnego

powstającego w miejscu spotkania pozytonu z elektronem. Substancje radioaktywne posiadają identyczne własności chemiczne, co ich nieradioaktywne odpowiedniki i podlegają w ustroju takiej samej dystrybucji i przemianom. Różnica polega na tym, że radioaktywne atomy rozpadając się sygnalizują swoje położenie w badanym narządzie. Promieniowanie pochodzące z danego woksela, skorygowane na fizyczny rozpad izotopu, jest proporcjonalne do sumarycznego stężenia znacznika oraz do tych metabolitów, w których znalazły się radioaktywne atomy. Przy pomocy tomografu PET otrzymujemy obrazy intensywności promieniowania w badanym narządzie po podaniu znacznika. Są one przedstawione jako wielobarwna mapa, gdzie poszczególnym barwom przyporządkowuje się rosnące stężenie wskaźnika i obrazuje się szybkość wychwytu substancji przez tkanki w poszczególnych obszarach. Ponieważ badania funkcjonalne mózgu PET są oparte albo na rejestracji regionalnego przepływu krwi albo na detekcji metabolizmu glukozy, największe zastosowanie znalazła w PET 2-fluoro-2-dezoksyglukoza znakowana fluorem - ^{18}F -FDG - do oceny miejscowego metabolizmu glukozy oraz woda znakowana $^{15}\text{O}_2$ (^{15}O -H₂O) – do oceny regionalnego przepływu krwi. ^{18}F -FDG podąża nierozgałęzionym szlakiem metabolicznym i ma stosunkowo długi czas połowicznego rozpadu. Związek ten, podobnie jak glukoza przechodzi przez barierę krew - mózg, jest pobierany przez komórki, gdzie dochodzi do etapu fosforylacji przez enzym fosfofruktokinazę. Na tym etapie przemiana związku ulega zatrzymaniu i jego radioaktywne cząstki 2-DG lub FDG pozostają zamknięte w komórce. Akumulacja FDG w danym obszarze (wokselu) jest miarą regionalnego tempa metabolizmu glukozy.

Zastosowanie wody znakowanej radioaktywnym ^{15}O stało się metodą z wyboru w badaniach funkcjonalnych związanych z obrazowaniem redystrybucji regionalnego przepływu krwi pod wpływem aktywacji danego obszaru mózgu. Woda znakowana ^{15}O jest łatwo dostępnym radiofarmaceutykiem, którego krótki okres połowicznego rozpadu (123 sekundy) umożliwia wielokrotne pomiary w krótkim okresie czasu. Istotną właściwością ^{15}O -H₂O jest jej regionalna akumulacja w mózgu wprost proporcjonalnie w stosunku do przepływu krwi, co ułatwia interpretację danych [40]. Liczne doświadczenia potwierdziły znaczącą rolę PET w obrazowaniu mózgowych ośrodków emocji [50, 67, 104, 119, 120]. Przykładem są doświadczenia Liberzon i współpracowników, którzy badali aktywację mózgowych ośrodków pod wpływem emocji negatywnych i

pozytywnych przy pomocy PET, podając dożylnie wodę zawierającą radioaktywny tlen ^{15}O [77].

5.5.2. Tomografia emisyjna pojedynczego fotonu (SPECT)

To również technika medycyny nuklearnej, w której stosuje się radioizotopy emitujące kwanty promieniowania gamma, najczęściej technet-99m. Badanie rozmieszczenia radioizotopu w mózgu w tej metodzie wykonuje się przy użyciu urządzeń zwanych gammakamerami. Metoda ta, obecnie rzadko stosowana w badaniach funkcjonalnych, została w dużej mierze wyparta przez PET.

5.5.3. Techniki obrazowania przy pomocy rezonansu magnetycznego (MRI)

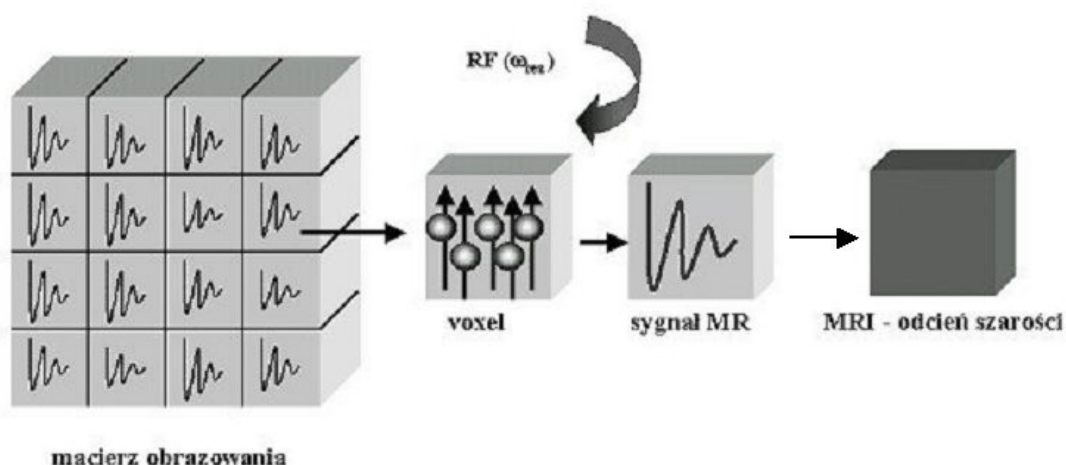
MRI to metoda oparta na odkrytym przez F.Blocha i E.Purcella zjawisku rezonansu magnetycznego (Nagroda Nobla w 1952 roku). Wykorzystuje zarówno efekt wzbudzenia protonów wodoru, jak i zanik tego wzbudzenia.

Trzy podstawowe kroki umożliwiają otrzymanie obrazu MR:

- umieszczenie mózgu w polu magnetycznym,
- zadziaływanie impulsami o krótkiej częstotliwości (częstotliwość radiowa-RF),
- pomiar relaksacji.

Protony wodoru, mające masę, ładunek i moment obrotowy, zachowują się jak małe magnesy i poddają się działaniu silnego pola magnetycznego (zakres pól w obecnie stosowanych systemach MR do zastosowań klinicznych wynosi 0,3-3T). Wykazując precesję, czyli wirując wokół własnej osi, umieszczone w silnym polu magnetycznym, protony wodoru układają się w sposób uporządkowany, a wektory ich momentów magnetycznych ustawiają się w tym samym kierunku. Gdy na taki układ protonów, znajdujących się w stałym zewnętrznym polu magnetycznym, zadziała impuls promieniowania elektromagnetycznego o częstotliwości radiowej (RF) równej częstotliwości precesji protonów, to dochodzi do rezonansowego pochłonięcia energii przez te protony. Doprowadza to do odwrócenia kierunku magnetyzacji protonów. Po ustaniu działania impulsu radiowego wzbudzone protony tracą stopniowo pochłoniętą energię w procesie zwanym relaksacją. Sygnał otrzymany bezpośrednio po zadziaływaniu impulsu jest proporcjonalny do liczby wzbudzonych protonów, czyli zależy od ich gęstości. Zanikanie sygnału spowodowane jest zarówno powrotem protonów do stanu

wyjściowego w relaksacji podłużnej, której trwanie mierzy się czasem relaksacji T_1 oraz utratą fazowości, czyli jednakowego momentu obrotowego protonów, której trwanie wyraża się czasem relaksacji T_2 . Rejestrację sygnałów pochodzących z wybranej warstwy ciała człowieka osiąga się wskutek zastosowania gradientowego pola magnetycznego, którego źródłem są cewki gradientowe. Zastosowanie 90 stopniowego impulsu RF i pomiar energii uwolnionej podczas relaksacji odbywa się wiele razy podczas badania MR. Różne tkanki budujące mózg mają różne czasy relaksacji T_1 i T_2 . To oznacza, że amplituda momentu magnetycznego (Magnetic Dipole Moment - MDM) protonów wodoru w osi z i amplituda MDM w płaszczyźnie x-y są różne dla różnych tkanek. Początkowo precesja MDM jest rozfazowana. Kiedy zostanie zastosowany impuls 90 stopni MDM zostają zmuszone do precesji w fazie. Po ustaniu działania impulsu 90 stopni, precesje MDM ponownie zostają rozfazowane z powodu niejednorodności pola magnetycznego oraz interakcji spin-spin. Czas tego rozfazowania momentów magnetycznych w płaszczyźnie x-y jest bardziej precyzyjnie określony jako T_2^* [55]. Prawdziwy czas relaksacji T_2 jest o wiele wolniejszy niż rozfazowanie momentów magnetycznych w płaszczyźnie x-y po ustaniu działania impulsu 90 stopni, gdyż po odchyleniu MDM do płaszczyzny x-y są one zmuszone do precesji w fazie (krótki sygnał odchyła równocześnie wszystkie MDM). Badana przestrzeń jest podzielona na voxele.



Ryc. 4 Schemat powstawania obrazu MR.

Sygnał MR dla danego voxela przedstawiany jest w odpowiedniej skali szarości, co sumarycznie daje obraz strukturalny wybranej warstwy badanego narządu (Ryc. 4).

Jednak nowoczesne techniki obrazowania MR umożliwiły nie tylko wgląd w strukturę mózgowia, lecz także badanie jego aktywności.

Technika fMRI wykorzystuje dwa podstawowe zjawiska. Pierwsze opiera się na znanej od XIX wieku zasadzie, że lokalnemu pobudzeniu mózgu towarzyszy lokalne zwiększenie przepływu krwi w regionach poddanych aktywacji. Drugie natomiast wykorzystuje magnetyczne właściwości hemoglobiny, która pod wpływem przemian biochemicznych w aktywowanych obszarach, głównie związanych ze wzrostem stężenia tlenu, staje się naturalnym środkiem kontrastowym i jest głównym źródłem sygnału fMRI (BOLD - blood oxygenation level dependent contrast).

Czynnościowe obrazowanie mózgu (fMRI) stało się możliwe dzięki zastosowaniu ultraszybkich technik akwizycji danych. Najszybsze parametry czasowe akwizycji danych zapewnia obecnie technika obrazowania echoplanarnego (EPI - Echo Planar Imaging), która została wykorzystana w metodzie fMRI.

Już w 1936 roku Linus Pauling i jego współpracownik Coryell odkryli magnetyczne właściwości deoxyhemoglobiny, sugerując się pierwszymi wzmiankami o tych właściwościach, które wysunął Michael Faraday w 1845 roku. Zjawisko opisane przez Paulinga miało kluczowe znaczenie dla rozwoju techniki BOLD fMRI.

W 1990 roku Ogawa (Uniwersytet w Stanford) przeprowadzał doświadczenia na szczurach badając magnetyczne właściwości hemoglobiny przy użyciu MR o natężeniu 7 T [85]. Badane przez niego szczury oddychając 100% tlenem miały w badaniu MR wyraźnie widoczne naczynia na tle ciemnego mózgu. Było to spowodowane wzrostem sygnału MRI w rejonach o obniżonym poziomie deoxyhemoglobiny. Ogawa oznaczył opisywane zjawisko jako BOLD. Wcześniejsze prace opisywały zależności pomiędzy przepływem krwi a lokalnym stężeniem deoxyhemoglobiny w oparciu o PET, które wykazywały wzrost poziomu utlenowanej krwi w aktywowanych rejonach [40].

Nawiązując do fizycznych podstaw rezonansu magnetycznego w kontekście zrozumienia techniki BOLD, należy wyjaśnić, że prędkość opisanego wcześniej zjawiska rozfazowania MDM jest różna dla różnych tkanek i na tej podstawie można poszczególne tkanki rozróżnić. Jedną z przyczyn rozfazowania sygnału fMRI jest rozfazowanie precesji MDM protonów wodoru z powodu niejednorodności pola magnetycznego. Im większa jest niejednorodność pola magnetycznego, tym szybciej MDM ulegają rozfazowaniu i tym szybciej sygnał fMRI zanika. Stąd wniosek, że im większa niejednorodność pola magnetycznego, tym mniejszy sygnał fMRI w czasie pomiaru. Zwykle ta niejednorodność pola magnetycznego traktowana jest jako artefakt i próbuje się ją ujednolicić poprzez proces znany pod nazwą „shimming”. Pomimo to spotykamy drobne lokalne niejednorodności pola magnetycznego. W technice BOLD te drobne

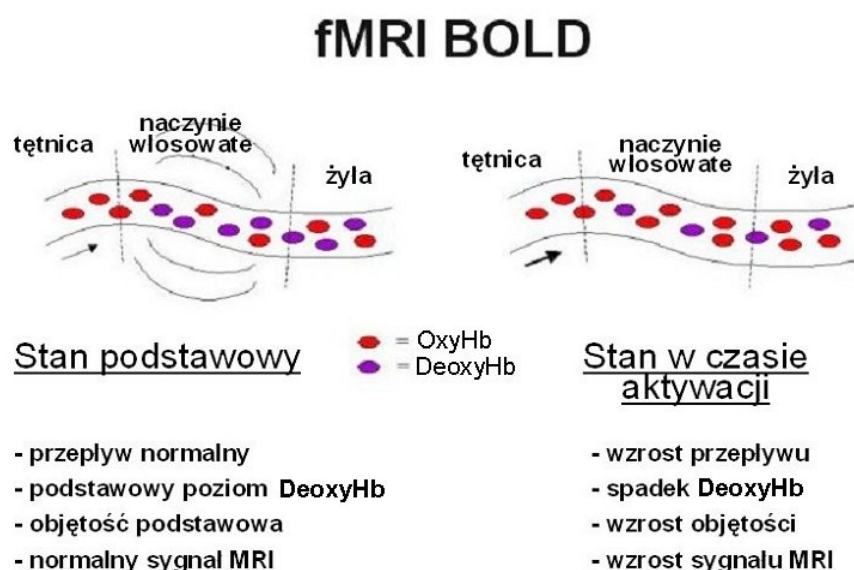
niejednorodności są wykorzystywane do bezpośredniego pomiaru aktywności neuronalnej, stąd sygnałem najczęściej mierzonym w BOLD fMRI jest T_2^* (zwykły sygnał T_2 jest otrzymywany poprzez efekt skorygowania niejednorodności pola magnetycznego). Podstawową funkcją techniki BOLD jest pomiar zmian zawartości tlenu we krwi. Mózg ludzki zużywa ponad 20% zapotrzebowania organizmu w tlen, choć stanowi zaledwie 2% masy ciała. Tlen jest zużywany do rozkładu glukozy, by zaopatrzyć mózg w energię. Nieoczekiwanie okazało się, że krótkiemu wzrostowi aktywności (i zapotrzebowania na energię) towarzyszy zwiększony przepływ krwi i zużycia glukozy, które przewyższają wzrost zużycia tlenu. Dzieje się tak, dzięki beztlenowemu procesowi rozkładu glukozy w szybkim procesie glikolizy, w celu dostarczenia energii. W rezultacie lokalnie wzrasta ilość tlenu we krwi, gdyż jego podaż przewyższa zapotrzebowanie. Deoxyhemoglobina (produkt przemiany hemoglobiny pozbawiony tlenu), która jest silnym paramagnetykiem (ma właściwości magnetyczne), powoduje niejednorodność otaczającego pola magnetycznego. Oxyhemoglobina (hemoglobina zawierająca tlen) ma bardzo słabe własności magnetyczne, stąd ma mały wpływ na otaczające pole magnetyczne. W rejonach aktywowanych, gdzie następuje zwiększenie lokalnego przepływu krwi, dochodzi do spadku poziomu silnie paramagnetycznej deoxyhemoglobiny, co powoduje wzrost sygnału fMRI.

Natomiast podwyższony poziom deoxyhemoglobiny we krwi zwiększa niejednorodność pola, co w następstwie wywołuje spadek sygnału fMRI. Funkcja sygnału fMRI oraz czasu, w jakim następuje wzrost aktywności neuronów jest określana jako funkcja odpowiedzi hemodynamicznej (Haemodynamic Response Function-HRF). Możemy wyróżnić trzy etapy HRF. Początkowo sygnał fMRI słabnie, ponieważ aktywne neurony zużywają tlen i następuje wzrost względnego poziomu deoxyhemoglobiny we krwi. Jednakże opisywany spadek sygnału jest dyskretny i nie zawsze występuje.

Następnie stwierdza się znaczny wzrost sygnału fMRI, który osiąga maximum po sześciu sekundach. Wzrost ten jest spowodowany napływem utlenowanej krwi. Dwie główne hipotezy tłumaczą przyczynę zwiększonego przepływu krwi w aktywowanym rejonie.

Pierwsza teoria mówi, że wzrost przepływu wyrównuje poziom tlenu zużytego przez aktywne neurony. Jednakże zaopatrzenie w tlen poprzez wzrost lokalnego przepływu krwi jest o wiele większe niż zużycie tlenu przez aktywne komórki. Wzrost przepływu krwi jest natomiast proporcjonalny do ilości glukozy zużytej przez aktywne neurony. Dlatego druga teoria opiera się na wzroście przepływu w celu wyrównania poziomu glukozy zużytej przez neurony [53]. W każdym przypadku konsekwencją zwiększonego

przepływu, a w następstwie znacznego zaopatrzenia w tlen, jest znaczny spadek poziomu deoxyhemoglobiny, co wywołuje wzrost sygnału fMRI (Ryc. 5).



Ryc. 5 Schemat powstawania sygnału BOLD.

Ostatnim etapem HRF jest powolny powrót normalnego poziomu deoxyhemoglobiny i zanikanie (rozfazowanie) sygnału fMRI aż do osiągnięcia poziomu podstawowego po około 24 sekundach [53].

Wiele kontrowersji budzi aktywność neuronów związana z sygnałem BOLD, co ma związek z próbą odpowiedzi na pytanie dlaczego pod wpływem impulsu nerwowego dochodzi do zwiększonego przepływu krwi?

Logothetis i współpracownicy potwierdzili ten związek w doświadczeniach na małpach, które miały się wpatrywać w wybrane obrazki podczas badania MR. Wyniki badań wykazały wzrost sygnału fMRI w korze wzrokowej, co pośrednio wskazuje na wzmożoną aktywność neuronalną. Logothetis analizował kilka aspektów aktywności neuronalnej i wyróżnił potencjał akcji – czynnościowy (AP) i potencjały lokalne (LP) [96].

AP - pojawiają się natychmiast po stymulacji, dają odpowiedź typu wszystko albo nic i odzwierciedlają wyrzut neuronów (neuronal output).

LP - są wolniej narastającymi potencjałami elektrycznymi, które są związane z wychwytem neurotransmitterów i procesami zachodzącymi wewnątrz neuronu.

Głównym czynnikiem warunkującym sygnał fMRI są LP. Komunikacja pomiędzy neuronami zachodzi poprzez synapsy i wymaga uwolnienia neurotransmitera z zakończenia presynaptycznego. Glutaminiany (Glu) są uwalniane do synapsy. Następnie

są wychwytywane przez komórki gleju, astrocyty, w których pod wpływem energii otrzymanej w procesie glikolizy beztlenowej, powstaje glutamina (Gln).

Gln jest ponownie wyłapywana przez neurony, gdzie w zakończeniach presynaptycznych rozkłada się do Glu z uwolnieniem energii [96]. Glu pobudza syntezę tlenku azotu, który poszerza naczynia i powoduje wzrost lokalnego przepływu krwi.

II. CELE PRACY

Różnorodność podziałów emocji, trudność w lokalizacji ośrodka emocji w zależności od jej charakteru, jak również nie do końca jasne różnice w aktywowanych ośrodkach u kobiet i mężczyzn prowadzą do wniosku, że wskazane są dalsze badania nad czynnikami wpływającymi na wzorce reakcji emocjonalnych u kobiet oraz mężczyzn.

Podstawowe pytania, jakie należy zadać, to:

- Czy istnieją wyraźne różnice w aktywacji ośrodków emocji pod wpływem bodźców negatywnych i pozytywnych?
- Jakie ośrodki zostają aktywowane pod wpływem emocji o charakterze pozytywnym u kobiet, a jakie u mężczyzn?
- Jakie ośrodki zostają aktywowane pod wpływem emocji o charakterze negatywnym u kobiet, a jakie u mężczyzn?

Biorąc to pod uwagę sformułowano następujące cele pracy:

1. Określenie różnic w lokalizacji ośrodków emocji u kobiet i mężczyzn.
2. Określenie wpływu rodzaju emocji (pozytywne, negatywne) na wzorzec pobudzenia emocjonalnego u kobiet.
3. Określenie wpływu rodzaju emocji (pozytywne, negatywne) na wzorzec pobudzenia emocjonalnego u mężczyzn.

III. MATERIAŁ I METODA

1. Materiał

Uzyskując zgodę Komisji Bioetycznej UJ (nr KBET/347/B/2003) przeprowadzono badania na grupie 40 dorosłych ochotników w wieku od 18 do 36 lat (średnia wieku 23 lata): 21 mężczyzn (średnia wieku 24 lata) i 19 kobiet (średnia wieku 22 lata). U każdego z uczestników wykonano dwukrotnie badanie rezonansu magnetycznego w technice funkcjonalnego obrazowania (fMRI) w odstępie tygodniowym.

Kryteria włączenia do badania:

1. Ochotnik musiał podpisać pisemną zgodę na przeprowadzone badania, po zapoznaniu się z procedurą badawczą oraz przeciwwskazaniami do badania.
2. Osoba badana nie mogła mieć wady wzroku, a w przypadku jej posiadania mogła brać udział w badaniu pod warunkiem korekcji wady soczewkami kontaktowymi.
3. Osoba badana nie mogła być pod wpływem alkoholu, środków odurzających ani też nie mogła zażywać jakichkolwiek leków.
4. U badanych wyłączono przebyte urazy czaszkowo-mózgowe, uzależnienie od leków, alkoholu, zatrucia, a także leczenie neurologiczne lub psychiatryczne.

Przeciwwskazaniem do badania były:

- posiadanie rozrusznika serca,
- obecność metalowych wszczepów (śruby, płytki, gwoździe),
- obecność klipsów naczyniowych (klipsy na tętniaku) lub innych elementów pooperacyjnych,
- protezy z elementami metalowymi (proteza zębowa, klamry zębowe),
- proteza oczna, ciała obce w gałce ocznej (np. opilki metalu),
- pierwszy trymestr ciąży,
- spirala antykoncepcyjna,
- spirala embolizująca,
- pompa insulinowa lub inne urządzenie podające leki,
- neurostymulator lub inne biostymulatory,
- klamry stymulujące wzrost kości,
- wewnętrzny aparat słuchowy lub plastyka kosteczek słuchowych,

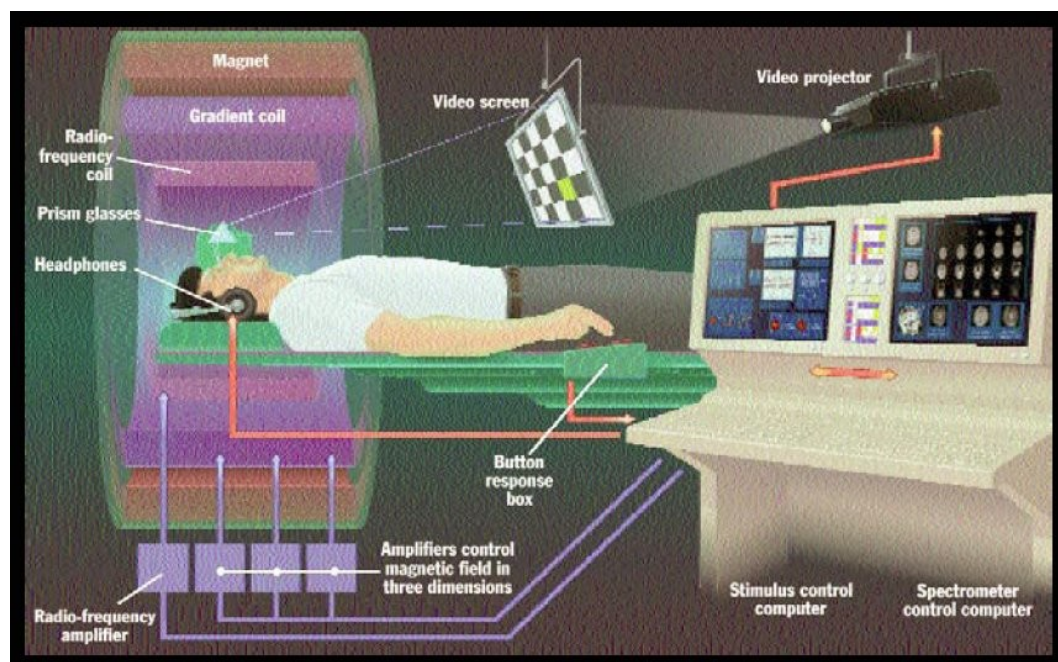
- wszczep ślimaka,
- sztuczna zastawka(zastawka komorowo - żylna lub komorowo - otrzewnowa),
- Filtr żyły głównej,
- Odłamki metalowe, szwy metalowe,
- Klaustrofobia.

2. Metoda

Badania zostały przeprowadzone przy użyciu systemu rezonansu magnetycznego, systemu Signa Horizon 1.5T (GEMS - General Electric Medical Systems).

W skład systemu wchodzi:

- magnes nadprzewodzący wytwarzający stałe, jednorodne pole magnetyczne B_0 o indukcji 1.5 T,
- tor nadawczy generujący impulsy (RF) o częstotliwości radiowej w zakresie 65 MHz pobudzający spiny jądrowe do rezonansu,
- odbiornik sygnałów – głowice pomiarowe różnych typów odpowiadające badanym organom,
- cewki gradientowe – trzy pary cewek umieszczonych prostopadłe do siebie,
- układ akwizycji danych i ich przetwarzania.



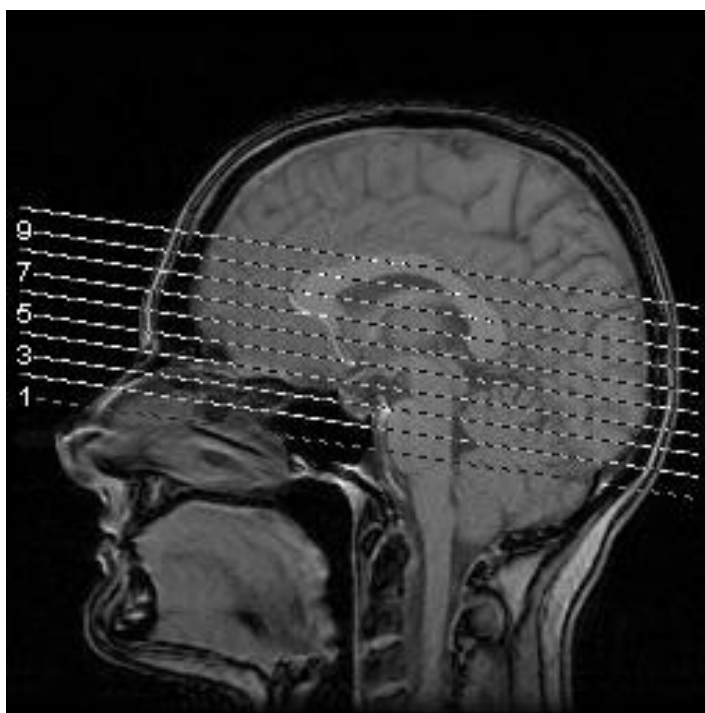
Ryc. 6 Schemat przedstawiający ochotnika podczas przeprowadzania eksperymentu.

Podczas badania wolontariusz leżał na plecach, z głową skierowaną do światła magnesu. Do badania wykorzystano cewkę głowową, która standardowo posiada wbudowane lustro (Ryc. 6). Podczas rutynowych badań MR ma to zwiększyć komfort badania, poczucie bezpieczeństwa pacjenta oraz zminimalizować uczucie klaustrofobii poprzez umożliwienie wzrokowego kontaktu z personelem. W badaniach przeprowadzonych na potrzeby niniejszej pracy, w lustrze, badany oglądał obrazy wyświetlane z wideoprojektora na ekran własnej konstrukcji, który umieszczony był przed skanerem MR. W celu wyeliminowania artefaktów ruchowych, mogących być przyczyną zafałszowania wyników badania, głowę pacjenta unieruchamiano. Ponadto pacjent miał do dyspozycji przycisk alarmowy, którym mógł w każdej chwili zasygnalizować ewentualny dyskomfort podczas procedury badawczej.

Badania wykonano według stałego protokołu:

1. Badanie obrazowe lokalizacyjne (*lokalizer*) w płaszczyźnie strzałkowej; obrazy T1 – zależne, które pozwalały na wybranie odpowiednich warstw. Wybierano 10 warstw o grubości 7mm w płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny spoidła, obejmujących pobudzone ośrodki.

Powierzchnia skanowania była ustawiona tak, aby uchwycić jądro migdałowe oraz rejony 18 i 19 wg Brodmana, gdzie można było się spodziewać najbardziej istotnych różnic [13, 70, 83, 110].



Ryc. 7 Obraz MR T1-zależny w płaszczyźnie strzałkowej.
Patient Position Area:

Parametry badania

Patient Position	[Supine]
<i>Pozycja pacjenta</i>	<i>Na plecach</i>
Patient Entry	[Head First]
<i>Wprowadzenie pacjenta</i>	<i>Głową do przodu</i>
Landmark	[Nasion]
<i>Znacznik wskazujący centrum</i>	<i>Nasada nosa</i>
<i>badanego obszaru</i>	
Coil	[head]
<i>Cewka</i>	<i>Głowowa</i>
Series Description	Loc SAG SE T1
<i>Nazwa (opis) serii</i>	<i>Strzałkowa SE T1</i>

Imaging Parameters Area:

Parametry obrazowania

Plane	[Sag]
<i>Płaszczyzna</i>	<i>Strzałkowa</i>
Mode	[2D]
<i>Tryb obrazowania</i>	<i>Dwuwymiarowo</i>
Pulse Seq	[Spin Echo]
<i>Sekwencja impulsów</i>	<i>Sekwencja gradientowa</i>

Scan Timing Screen:

Parametry czasu obrazowania

Number of echoes	1
<i>Liczba ech</i>	<i>1</i>
TE	[14ms]
<i>Czas echa</i>	<i>14ms</i>
TR	[400ms]
<i>Czas powtórzenia</i>	<i>400ms</i>

Scan set-up

Ustawienia skanowania

Prescan options	Autoshim
<i>Skanowanie wstępne</i>	<i>Autoszymowanie</i>
Auto CF	Water
<i>Automatyczne ustawienie</i>	<i>Woda</i>

Scanning Range Screen

Parametry zakresu skanowania

FOV Size	[24cm]
<i>Wielkość pola widzenia</i>	<i>24cm</i>
Slice Thickness	[5mm]
<i>Grubość warstwy</i>	<i>5mm</i>
Spacing	[2.5mm]
<i>Odstęp między warstwami</i>	<i>2.5mm</i>

Start	R 60
<i>Początek</i>	<i>R 60</i>
End	L 60
<i>Koniec</i>	<i>L 60</i>
# Slices	17
<i>Warstwy</i>	<i>17</i>

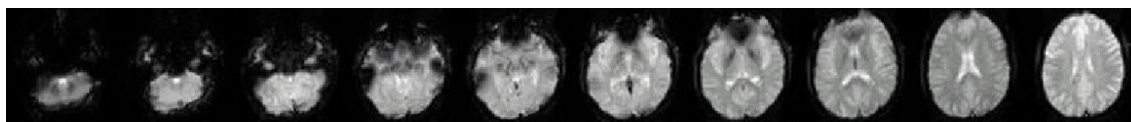
Acquisition Timing Screen

Parametry czasu akwizycji

Freq	[256]
<i>Częstotliwość</i>	<i>256</i>
Phase	[192]
<i>Faza</i>	<i>192</i>
NEX	[1.5]
<i>Liczba powtórzeń</i>	<i>1.5</i>
Freq DIR	[S/I]
<i>Kierunek kodowania częstotliwości</i>	<i>S/I</i>
Total time	2.02 min
<i>Całkowity czas</i>	<i>2.02 min</i>

2. Sekwencja EPI trwająca 2min i 30s, w czasie której generowano warunek eksperymentalny, w celu pobudzenia badanego ośrodka (Ryc. 8). Eksperyment składał się z dwóch osobnych sesji. Każda sesja eksperymentalna składała się z pięciu naprzemiennych bloków, z których każdy trwał 30 sek. W każdym 30 - sekundowym bloku badanemu pokazywano trzy przezrocza (3x10sek). Dwu i pół minutowy czas badania składał się z 2 bloków zadaniowych (drugi i czwarty) i 3 spoczynkowych (pierwszy, trzeci i piąty). W czasie bloku zadaniowego podczas pierwszej wizyty w pracowni MR ochotnicy płci żeńskiej i męskiej oglądali obrazy, mające wywołać emocje negatywne, przedstawiające zdjęcia z kronik policyjnych. Podczas drugiej wizyty w pracowni MR ochotnicy oglądali obrazy przedstawiające ładne, uśmiechnięte, bawiące się dzieci, szczęśliwe pary oraz romantyczne scenerie. Obrazy zmieniały się co 10 sekund. Częsta zmiana bodźców jest podyktowana szybką habituacją jądra migdałowatego [13, 14, 110]. Podczas bloku spoczynkowego wolontariusze wpatrywali się w kolorową szachownicę. W trakcie trwania sesji eksperymentalnej prowadzono pomiar metodą fMRI. Wszystkie prezentowane w bloku zadaniowym obrazy zaczerpnięte zostały z wystandaryzowanego zbioru bodźców emocjonalnych, szeroko stosowanego w tego typu badaniach, o nazwie International Affective Picture System (IAPS, NIMH Center for Emotion and Attention, University of Florida). Jest to zbiór wystandaryzowanych obrazów, mających na celu wywołanie określonych emocji, który oparto na założeniu, że ich indukcja jest funkcją pobudzenia (arousal) i afektu (valence) [68, 71]. Każdemu

obrazowi jest przyporządkowany określony numer, który umieszczony jest na osi współrzędnych: oś rzędnych wyznacza rodzaj afektu (valence), natomiast oś odciętych wskazuje na siłę (wartość) pobudzenia (arousal) w opisywanym systemie. W opisywanym eksperymencie do indukcji emocji negatywnych u mężczyzn wybrano przezrocza testu IAPS o numerach 3000, 3053, 3064, 3080, 3102, 3170. W celu wywołania emocji pozytywnych u badanych mężczyzn zastosowano obrazy o numerach 4180, 4210, 4220, 4250, 4652, 4664. W grupie badanych kobiet zastosowano obrazy o numerach 3053, 3064, 3000, 3063, 3170, 3102 – do indukcji emocji negatywnych oraz przezrocza o numerach 2057, 2080, 2070, 2260, 2050, 2040 – dla warunku pozytywnego.



Ryc. 8 Obrazy przekrojów poprzecznych mózgu w sekwencji EPI obejmujące skanowany obszar.

Patient Position Area:

Parametry ułożenia pacjenta

Patient Position	[Supine]
Pozycja pacjenta	<i>Na plecach</i>
Patient Entry	[Head First]
Wprowadzenie pacjenta	<i>Głową do przodu</i>
Landmark	[Nasion]
<i>Znacznik wskazujący centrum</i>	<i>Nasada nosa</i>
<i>badanego obszaru</i>	
Coil	[Head]
<i>Cewka</i>	<i>Głowowa</i>
Scan Plane	[Oblique]
<i>Płaszczyzna planowania</i>	<i>Skośna</i>
Series Description	[AX EPI]
<i>Nazwa (opis) serii</i>	<i>Poprzeczna EPI</i>

Imaging Parameters Area:

Parametry obrazowania

<i>Mode</i>	[2D]
Tryb obrazowania	<i>Dwuwymiarowo</i>
Pulse Seq	[Spin Echo]
Sekwencja impulsów	Echo spinowe

Imaging Options	[EPI, Graphic RX]
Opcje obrazowania	<i>EPI z możliwością graficznego planowania przekrojów</i>
Fast Options	[Multi Phase]
<i>Szybkie opcje</i>	<i>Obrazowanie wielofazowe</i>
Multi Phase	
Parametry opcji wielofazowej	
Phases/Location	[other 50]
<i>Liczba faz/położenie</i>	<i>50</i>
Acquisition Order	[Interleaved]
Porządek (kolejność) akwizycji	<i>Przeplatane</i>
Delay After Acq	[Minimum]
<i>Opóźnienie akwizycji</i>	<i>Minimalne</i>
Scan Timing Screen:	
Parametry czasu obrazowania	
Flip Angle	90
Kąt odchylenia	90
Number of Shots	[1]
Liczba wzbudzeń	1
TE	[60ms]
Czas echa	60ms
TR	[3000ms]
<i>Czas powtórzenia</i>	<i>3000ms</i>
Scan set-up	
Ustawienia skanowania	
Prescan options	Autoshim, Phase Correct
Skanowanie wstępne	<i>Autoskimowanie, korekcja fazy</i>
Auto CF	water
<i>Automatyczne ustawienie</i>	<i>woda</i>
<i>częstotliwości centralnej</i>	
Receiver bandwidth (+, -)	20.83 kHz
Szerokość pasma odbioru	20.83 kHz

Scanning Range Screen

Parametry zakresu skanowania

FOV Size	[28cm]
Wielkość pola widzenia	28cm
Slice Thickness	[7mm]
Grubość warstwy	7mm
Spacing	[0mm]
<i>Odstęp między warstwami</i>	0mm

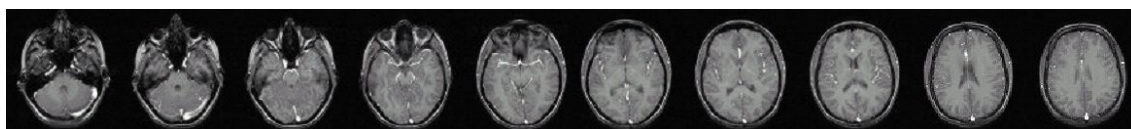
Acquisition Timing Screen

Parametry czasu akwizycji

Acq. Matrix Freq	[96]
<i>Matryca akwizycji w kierunku częst.</i>	96
Acq. Matrix Phase	[96]
<i>Matryca akwizycji w kierunku fazy</i>	96
NEX	[1]
Liczba powtórzeń	1
Phase FOV	[0.75]
<i>Pole widzenia w kierunku fazy</i>	0.75 (skala)
Freq DIR	[Not Swapped]
<i>Kierunek kodowania częstotliwości</i>	Niezamieniony
Total time	2.30 min
Całkowity czas	2.30 min

W czasie tej sekwencji rejestrowano sygnały fMRI (BOLD).

3. Sekwencja SPoiled GRAdient-echo (SPGR). Celem wykonania sekwencji referencyjnej SPGR o wysokiej rozdzielczości było otrzymanie dokładnego obrazu strukturalnego mózgowia.



Ryc. 9 Obrazy przekrojów poprzecznych mózgu w sekwencji SPGR obejmujące skanowany obszar.

Patient Position Area:

Parametry ułożenia pacjenta

Patient Position	[Head First]
<i>Pozycja pacjenta</i>	<i>Głową do przodu</i>
Patient Entry	[Supine]
<i>Wprowadzenie pacjenta</i>	<i>Na plecach</i>

Landmark	[Nasion]
<i>Znacznik wskazujący centrum</i>	<i>Nasada nosa</i>
<i>badanego obszaru</i>	
Coil	[Head]
<i>Cewka</i>	<i>Głowowa</i>
Scan Plane	[Oblique]
<i>Płaszczyzna planowania</i>	<i>Skośna</i>
Series Description	[AX REF, IMAGES]
<i>Nazwa (opis) serii</i>	<i>Poprzeczna</i>
Imaging Parameters Area:	
<i>Parametry obrazowania</i>	
Mode	[2D]
<i>Tryb obrazowania</i>	<i>Dwuwymiarowo</i>
Pulse Seq	[SPGR]
<i>Sekwencja impulsów</i>	<i>Sekwencja gradientowa</i>
Imaging Options	[FlowComp, Sequent, Graphic RX]
<i>Opcje obrazowania</i>	<i>Kompensacja przepływów,</i>
	<i>sekwencja z możliwością graficznego</i>
	<i>planowania</i>
Scan Timing Screen:	
<i>Parametry czasu obrazowania</i>	
Flip Angle	60
<i>Kąt odchylenia</i>	<i>60</i>
Number of echoes	[1]
<i>Liczba ech</i>	<i>1</i>
TE	[Minimum 6ms]
<i>Czas echa</i>	<i>Minimum 6ms</i>
TR	[50ms]
<i>Czas powtórzenia</i>	<i>50ms</i>
Scan set-up	
<i>Ustawienia skanowania</i>	
Auto CF	water
<i>Automatyczne ustawienie</i>	<i>Woda</i>
<i>częstotliwości centralnej</i>	
Scanning Range Screen	
<i>Parametry zakresu skanowania</i>	
FOV Size	[28cm]
<i>Wielkość pola widzenia</i>	<i>28cm</i>
Slice Thickness	[7mm]
<i>Grubość warstwy</i>	<i>7mm</i>
Spacing	[0mm]
<i>Odstęp między warstwami</i>	<i>0mm</i>
Acquisition Timing Screen:	
<i>Parametry czasu akwizycji</i>	

Acq. Matrix Freq	[256]
<i>Matryca akwizycji w kierunku częst.</i>	256
Acq. Matrix Phase	[256]
<i>Matryca akwizycji w kierunku fazy</i>	256
Freq DIR	[Not Swapped]
<i>Kierunek kodowania częstotliwości</i>	Niezamieniony
NEX	[2]
<i>Liczba powtórzeń</i>	2
Contrast	No
<i>Kontrast</i>	Nie
Phase FOV	[0.75]
<i>Pole widzenia w kierunku fazy</i>	0.75 (skala)
FOV	28x21
<i>Pole widzenia</i>	28x21

Użycie zarówno sekwencji EPI jak i SPGR jest podyktowane ich różnym przeznaczeniem.

Obrazowanie EPI pozwala na uzyskanie obrazów niskiej rozdzielczości, co sprawia, że są mniej wyraźne i nie pozwalają na precyzyjne uwidocznienie drobnych struktur anatomicznych mózgowia. Wyższość tej sekwencji polega jednak na jej wysokiej czułości i szybkości, które to cechy są niezbędne do rejestracji sygnału BOLD.

Celem wykonania sekwencji referencyjnej SPGR o wysokiej rozdzielczości jest otrzymanie dokładnego obrazu anatomicznego mózgowia. Poprzez statystyczne opracowanie (powstaje mapa statystycznie istotnych różnic poziomu sygnału), otrzymanych w wyniku sekwencji EPI danych, uzyskuje się obrazy aktywowanych obszarów, które nanosi się na obrazy mózgu z sekwencji SPGR.

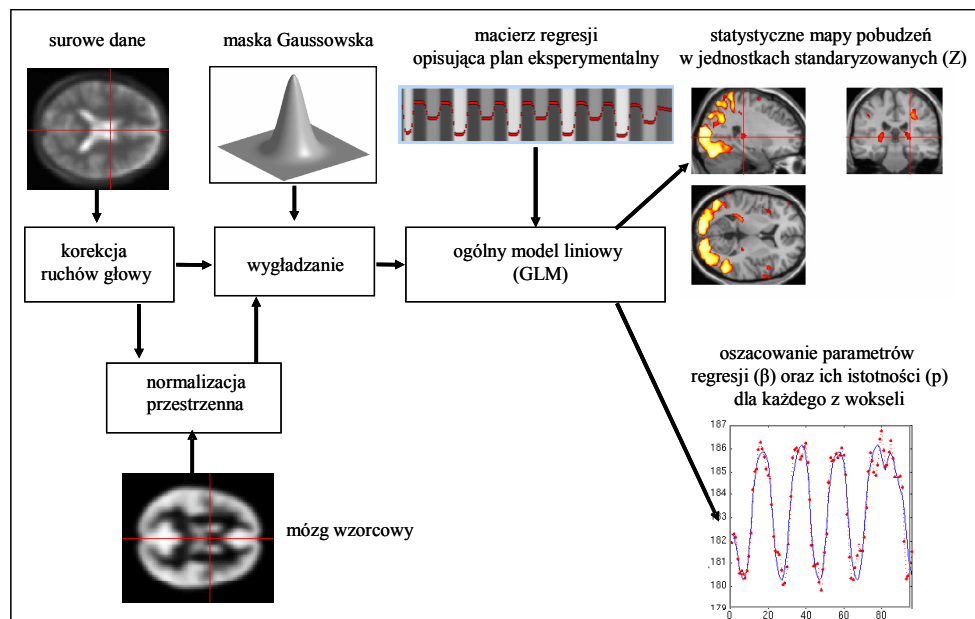
IV. STATYSTYCZNA ANALIZA DANYCH

Analizę danych funkcjonalnych przeprowadzono na komputerze klasy PC za pomocą oprogramowania FSL3.2 udostępnianego przez Oxford Centre for Functional Magnetic Resonance Imaging of the Brain z Wielkiej Brytanii. Obróbka wstępna danych składała się z korekcji ruchów głowy, normalizacji przestrzennej oraz wygładzania. Po odrzuceniu pierwszych dwóch wolumenów z każdej serii (w celu wyeliminowania efektów T₁-zależnych) obrazy funkcjonalne zostały poddane korekcji ruchów głowy z wykorzystaniem podprocedury MCFLIRT [59] oraz usunięciu części obrazu nie reprezentującego tkanki mózgowej za pomocą podprocedury BET [106]. Po zakończeniu tego etapu obróbki obrazy zostały wygładzone przestrzennie za pomocą maski Gaussowskiej o szerokości połówkowej (FWHM, ang. *full-width half-maximum*) wynoszącej 5 mm. Podczas analizy obrazy zostały również przefiltrowane czasowo. Następnie, wszystkie skorygowane obrazy zostały znormalizowane do mózgu wzorcowego MNI (opracowanego przez Montreal Neurological Institute, Kanada) za pomocą algorytmu implementowanego w programie FLIRT [59]. Algorytm ten jest oparty na wartościach intensywności wokseli i jego celem jest minimalizacja różnic pomiędzy obrazami funkcjonalnymi za pomocą przekształceń liniowych (przesunięcia, obroty, powiększenia oraz ścinania) oraz nieliniowych (seria bazowych, dyskretnych funkcji cosinus). Przebiegi reakcji hemodynamicznych dla każdego typu stymulacji eksperymentalnej były modelowane za pomocą regresorów (typu *box-car*, splecionych z funkcją hemodynamiczną) reprezentujących kolejność bloków zadaniowych i spoczynkowych. Ogólny model analizy danych przedstawiono na ryc. 10. Wnioskowanie statystyczne przebiegało w dwóch etapach. Początkowo obliczono efekty bloku eksperymentalnego dla każdej osoby w modelu czynników stałych za pomocą procedury FILM (*FMRIB's Improved Linear Model*) [116]. Analiza ta jest implementacją ogólnego modelu liniowego (ang. GLM – General Linear Model). Zakłada on istnienie liniowej zależności pomiędzy zmienną niezależną czyli krzywą opisującą przebieg eksperymentu (krzywa *box-car*) splecioną z funkcją hemodynamiczną a mierzoną zmienną zależną, czyli aktywacją poszczególnych wokseli. (Ryc. 11). W efekcie zastosowania tej procedury obliczeniowej otrzymuje się oszacowania współczynników β dla każdego z wokseli tworzących obraz wejściowy. Powstaje więc trójwymiarowa macierz wokseli, której wymiary są tożsame z parametrami skanowania, natomiast poszczególne wartości

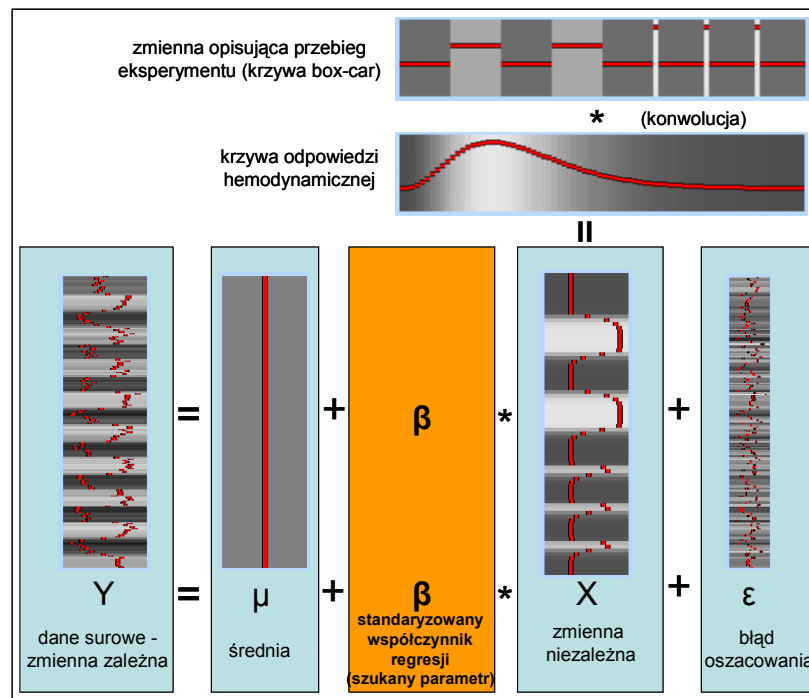
macierzy są standaryzowanymi współczynnikami β dla danego woksela. Współczynniki standaryzowane wyrażone są na tzw. skali, z której rozkład jest normalny, średnia wynosi 0 a jednostką jest odchylenie standardowe. Jest to rozwiązanie korzystne ze względu na to, że odchylenia standardowe można wprost przeliczyć na prawdopodobieństwa. A zatem aby ustalić, aktywacja których wokseli jest istotnie związana z przebiegiem procedury eksperymentalnej, wystarczy w otrzymanej macierzy wyników znaleźć wartości powyżej ustalonego poziomu istotności np. $Z = 3, 1$ (odpowiadające poziomowi prawdopodobieństwa $p = 0, 0001$). Drugim etapem wnioskowania statystycznego było obliczenie, w modelu czynników losowych ANOVA, zarówno efektów głównych, prostych jak i wszystkich kontrastów z wykorzystaniem narzędzia obliczeniowego FLAME (*FMRIB's Local Analysis of Mixed Effects*) [8, 115]. Dla wszystkich efektów prostych jak i dla kontrastów zastosowano próg istotności $\alpha = 0, 0001$. W przypadku efektów głównych i prostych, ze względu na bardzo rozległe aktywacje, zdecydowano się na zaprezentowanie wyników w formie wykresów słupkowych ukazujących jaki procent określonej struktury uległ aktywacji w wyniku zastosowania procedury eksperymentalnej. Do identyfikacji nazw anatomicznych pobudzonych obszarów wykorzystano oprogramowanie MRICro. Na wykresach ujęto jedynie te struktury w których aktywacji uległo więcej niż 50% tworzących je wokseli. Obliczenie kontrastów polegało, w dość daleko idącym uproszczeniu, na oszacowaniu różnic pomiędzy macierzami pobudzeń wygenerowanych w analizie pierwszego poziomu. W rezultacie uzyskano nowe macierze wynikowe, których wartości Z informują o istotności różnic pomiędzy wartościami pobudzeń w odejmowanych warunkach eksperymentalnych. Wyniki tych analiz przedstawiono w standardowych tabelach których kolejne kolumny zawierają informacje o:

- 1) Nazwie struktury w obrębie której pojawiła się aktywacja.
- 2) Liczbie aktywowanych wokseli tworzących klaster (skupiska pobudzeń).
- 3) Maksymalnej wartości statystyki Z leżącej w obrębie klastra.
- 4) Półkuli w której znajduje się aktywowany klaster.
- 5) Polu Brodmana w obrębie którego znajduje się aktywowany klaster.
- 6) Współrzędnych stereotatycznych woksela o maksymalnej wartości Z należącego do danego klastra. Współrzędne te podane są w standardowej przestrzeni Talairach i Tournoux [109]. Przedmiotem opisu są tylko te woksele, dla których wartość statystyk wypadła powyżej przedstawionych progów ($Z \geq 0.0001$). W analizie wyników brano pod uwagę tylko te skupiska (klastry) pobudzeń, których objętość

przekraczała 8 wokseli. Ponieważ FSL podaje współrzędne wokseli w przestrzeni stereotaktycznej MNI, współrzędne te zostały przekształcone do współrzędnych atlasu stereotaktycznego Talairach i Tournoux z wykorzystaniem publicznie dostępnego algorytmu autorstwa Matthew Bretta. Do identyfikacji nazw anatomicznych pobudzonych obszarów wykorzystano oprogramowanie MRIcro.



Ryc. 10 Ogólny schemat analizy danych fMRI.



Ryc. 11 Ogólny Model Liniowy w odniesieniu do analizy danych fMRI.

V. WYNIKI

1. Analiza efektów prostych

Analizowano wyniki pobudzenia w czasie warunku pozytywnego dla całej badanej grupy, a także z podziałem na płeć, w porównaniu do obrazu neutralnego. Następnie analogiczną analizę powtórzono dla warunku negatywnego.

Rezultaty, tzw. efekty proste wyrażono procentem aktywacji liczby voxelów pod wpływem danego rodzaju pobudzenia w stosunku do całkowitej liczby voxelów w badanym obszarze.

W tym celu najpierw zdefiniowano aktywowane struktury anatomiczne. Następnie obliczono liczbę voxelów dla każdej z nich, a następnie obliczono ilość voxelów aktywnych w danej strukturze. Poszczególne struktury mózgowia oznaczono następująco:

Anterior Cingulate – przednia część zakrętu obręczy

Amygdala – ciało migdałowate

Calcarine – bruzda ostrogowa

Caudate nucleus – jądro ogoniaste

Cerebellum – mózdzek, który dodatkowo podzielono na sektory oznaczone odpowiednimi cyframi

Cingulate gyrus – zakręt obręczy

Frontal operculum – wieczko czołowe

Frontal superior orbital gyrus – zakręt oczodołowy górny

Fusiform gyrus – zakręt wrzecionowaty

Heschl gyrus – zakręt Heschla

Hippocampus – hipokamp

Inferior orb/interior frontal gyrus – triangular part – część trójkątna zakrętu oczodołowego dolnego i czołowego dolnego

Insula – wyspa

Lingual gyrus – zakręt językowy

Occipital interior gyrus – zakręt potyliczny dolny

Occipital middle gyrus – zakręt potyliczny środkowy

Orbital gyrus – zakręt oczodołowy

Pallidum – gałka biała

Parahippocampal gyrus – zakręt przyhipokampowy

Precuneus - przedklinek

Putamen – skorupa

Thalamus – wzgórze

Temporal middle gyrus – zakręt skroniowy środkowy

Temporal superior gyrus – zakręt skroniowy górny

Temporal pole bordering amygdala – część płata skroniowego graniczącego z ciałem migdałowatym

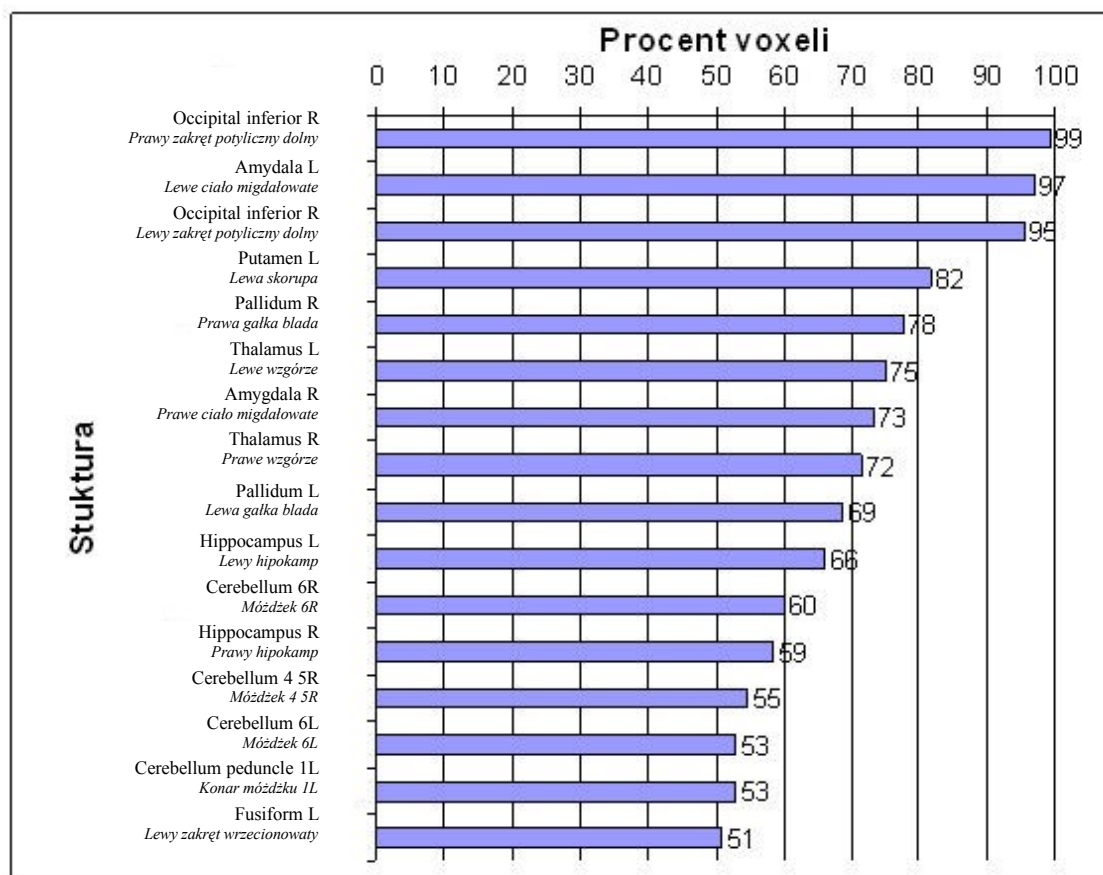
Vermis – robak mózdzku

White matter – istota biała

Za istotne statystycznie uznano te obszary mózgowia, które zostały zaktywowane w ponad 50% ich objętości. Analizę przeprowadzono osobno u kobiet, u mężczyzn oraz sumarycznie u kobiet i mężczyzn w warunkach pobudzenia bodźcami o charakterze pozytywnym i negatywnym.

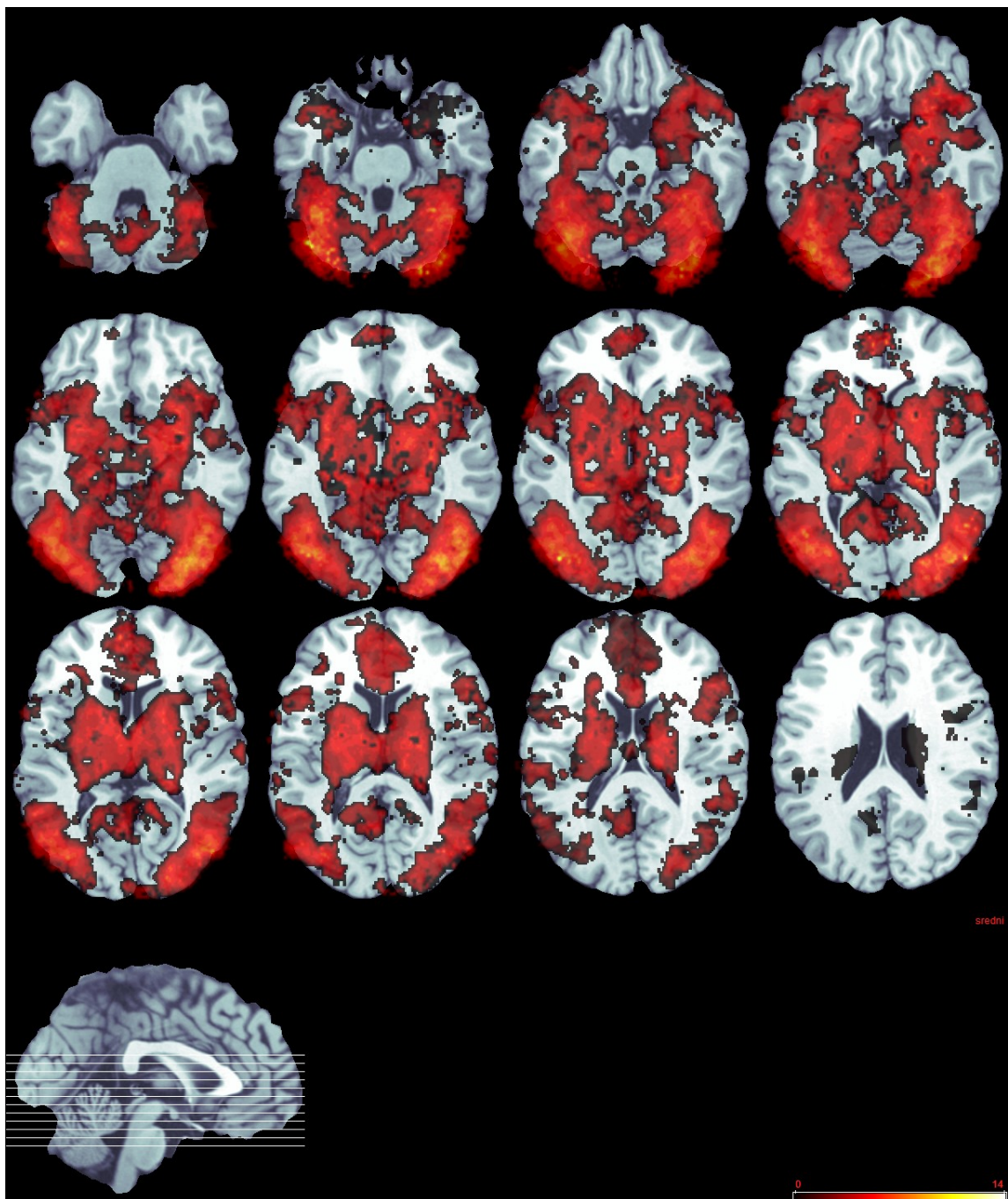
1.1. Ocena aktywacji ośrodków mózgowych w grupie kobiet i mężczyzn (łącznie) w warunkach pobudzenia bodźcami o charakterze pozytywnym

Stopień aktywacji poszczególnych struktur anatomicznych przedstawiono na ryc. 12, zaś sumaryczne pobudzenia w grupie badanych kobiet jak i mężczyzn (K+M) dla warunku pozytywnego objęły struktury przedstawione na rycinie 13.



Ryc. 12 Stopień aktywacji struktur anatomicznych – kobiety i mężczyźni łącznie w warunku pozytywnym.

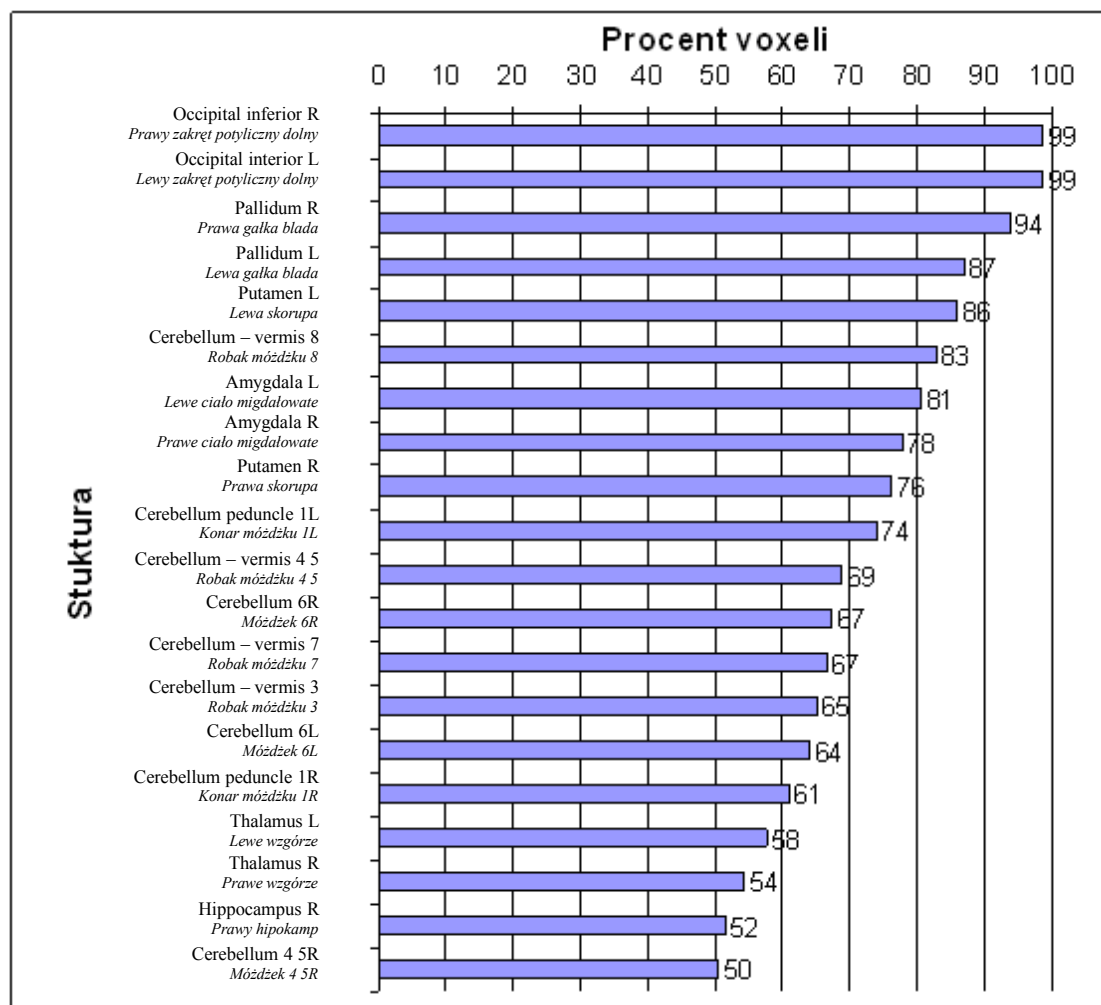
Największą aktywację stwierdzono w obrębie zakrętu potylicznego dolnego prawego (99%), w zakresie lewego ciała migdałowego (97%) oraz w obrębie zakrętu potylicznego dolnego lewego (95%). Nieco mniejsza aktywacja wystąpiła w zakresie skorupy po stronie lewej (82%), gałki bladej po stronie prawej (78%), wzgórza lewego i prawego (75% i 72%), prawego ciała migdałowego (73%), gałki bladej prawej i lewej (78% i 69%), hipokampa lewego i prawego (66% i 59%), mózdku (60%). Najmniejsza statystycznie znacząca aktywacja pojawiła się w obszarze mózdku (53- 55%) oraz lewego zakrętu wrzecionowatego (51%).



Ryc. 13 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu przedstawiające obszary aktywne dla grupy K+M w warunku pozytywnym.

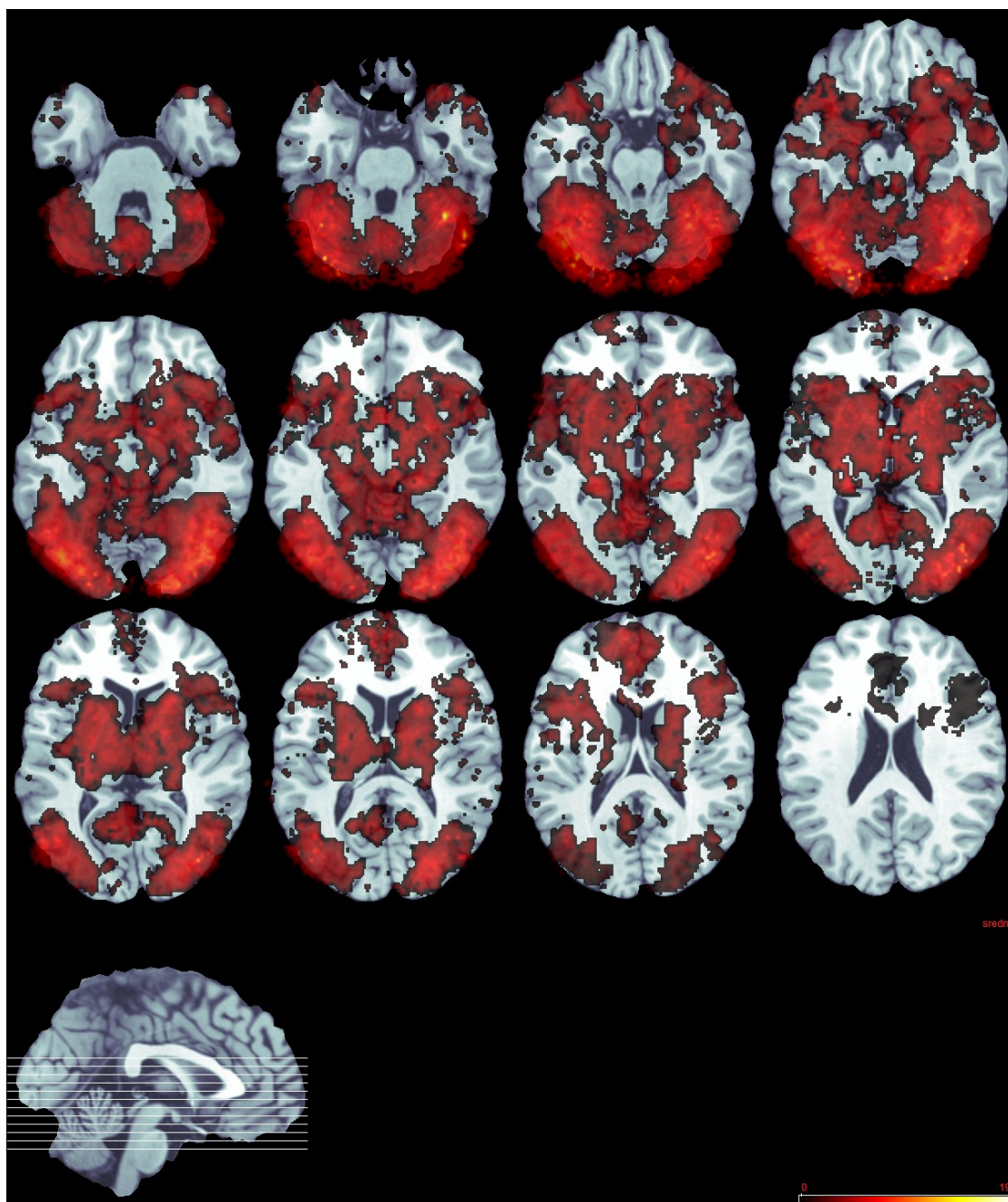
1.2. Ocena aktywacji ośrodków mózgowych u kobiet i mężczyzn (łącznie) w warunkach pobudzenia bodźcami o charakterze negatywnym

Stopień aktywacji poszczególnych struktur anatomicznych przedstawiono na ryc. 14, zaś sumaryczne pobudzenia w grupie badanych kobiet jak i mężczyzn (K+M) dla warunku negatywnego objęły struktury przedstawione na rycinie 15.



Ryc. 14 Stopień aktywacji struktur anatomicznych – kobiety i mężczyźni łącznie w warunku negatywnym.

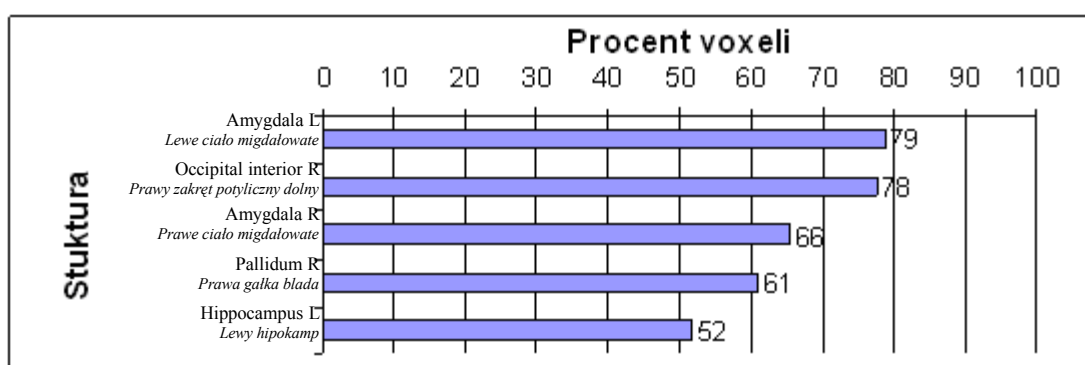
Największą aktywację uzyskano w obrębie obu zakrętów potylicznych dolnych, bo aż 99%. Niewiele mniejszą aktywację w gaćkach białych obustronnie (94% i 87%), w skorupie lewej (86%), robaku mózdzku (69%) oraz obustronnie w ciele migdałowatym (81% i 78%). Nieco mniejsze pobudzenia, ale również statystycznie znamienne uzyskano w prawej skorupie (76%), w mózdzku (64%), obustronnie we wzgórzu (58% i 54%) oraz w prawym hipokampie (52%).



Ryc. 15 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu przedstawiające obszary aktywne dla grupy K+M w warunkach negatywnych.

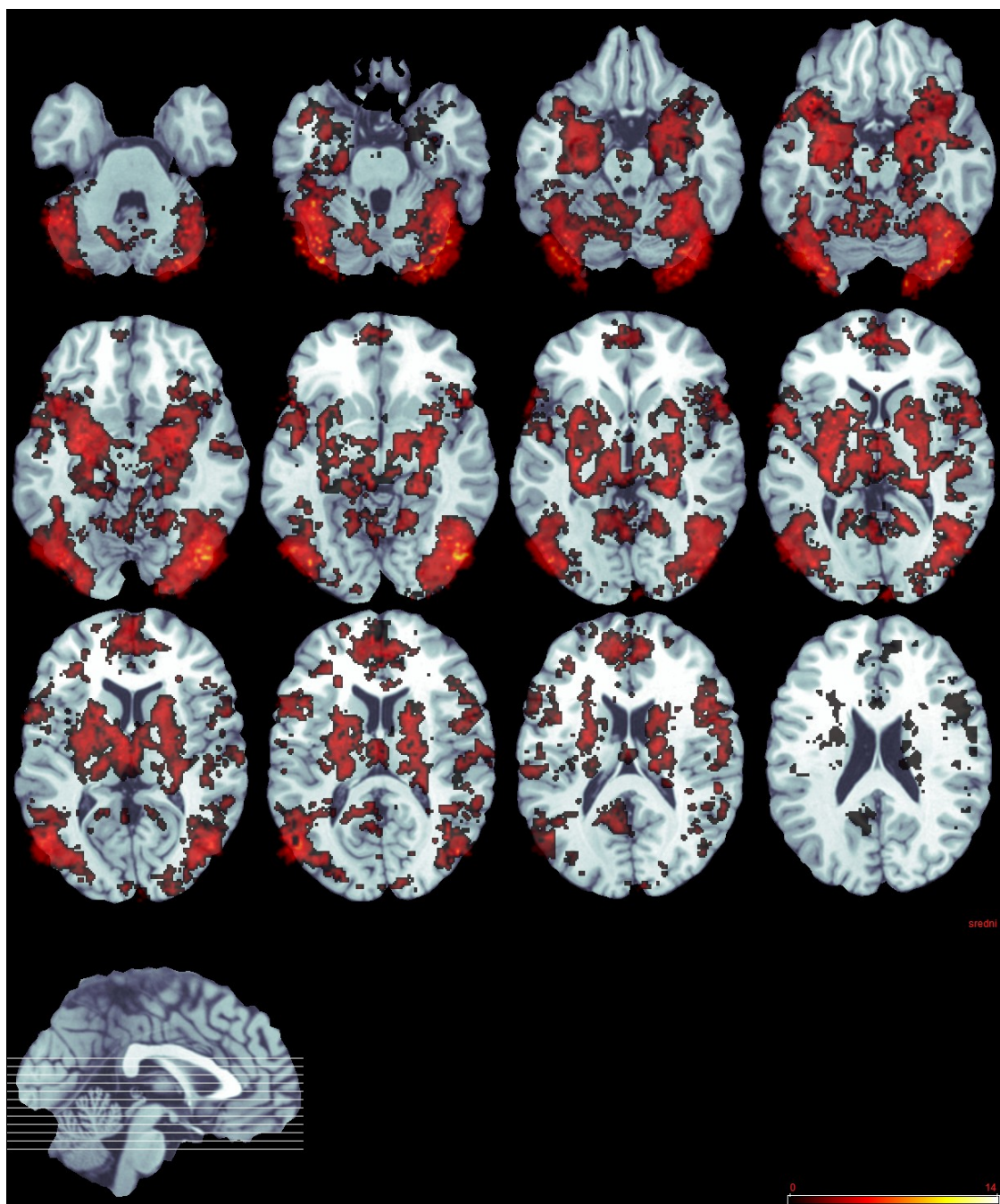
1.3. Ocena aktywacji ośrodków mózgowych u kobiet w warunkach pobudzenia bodźcami o charakterze pozytywnym

Stopień aktywacji poszczególnych struktur anatomicznych zestawiono na ryc. 16, zaś pobudzenia dla tej grupy objęły obszary przedstawione na ryc. 17.



Ryc. 16 Stopień aktywacji struktur anatomicznych – kobiety w warunku pozytywnym.

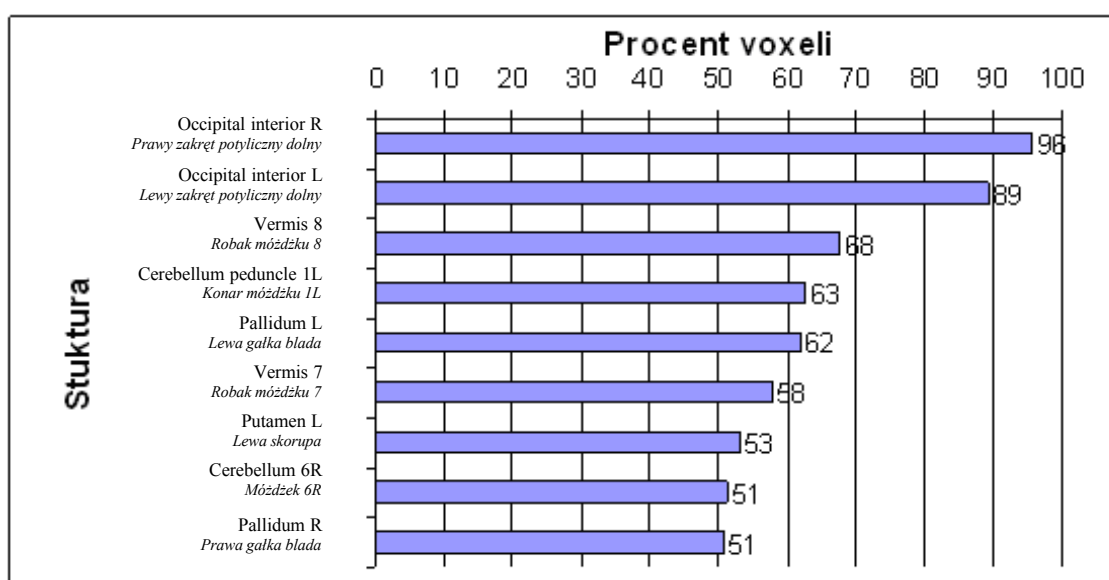
Największą aktywację stwierdzono w lewym ciele migdałowym (79%) oraz w prawym zakręć potylicznym dolnym (78%). Nieco mniejszą aktywację, ale również powyżej 50% stwierdzono w prawym ciele migdałowym, w prawej gałce bladej oraz w lewym hipokampie – odpowiednio 66, 61 i 52%.



Ryc. 17 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu przedstawiające obszary aktywne dla grupy K w warunku pozytywnym.

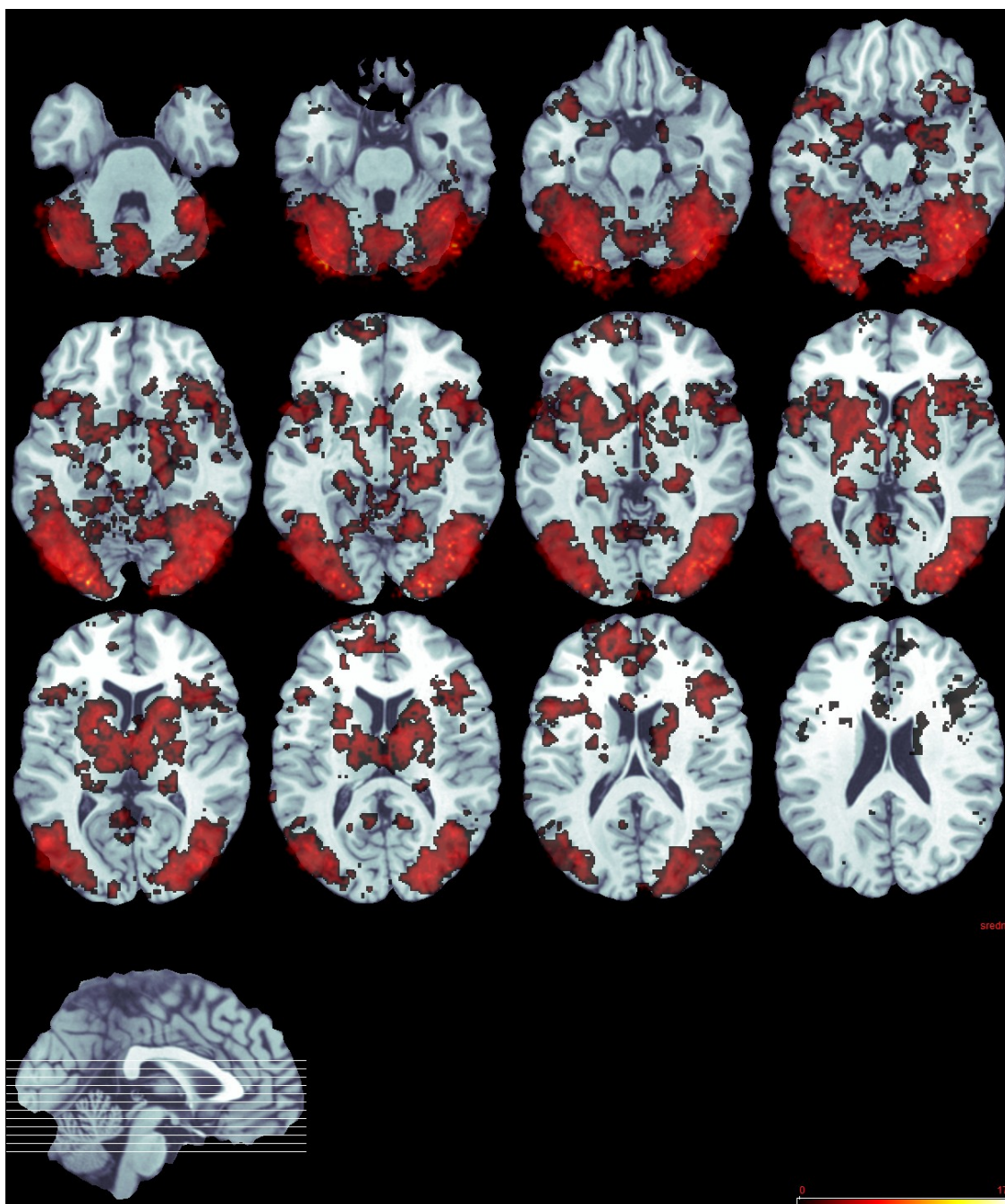
1.4. Ocena aktywacji ośrodków emocji u kobiet w warunkach pobudzenia bodźcami o charakterze negatywnym

Stopień aktywacji ośrodków mózgowych przedstawiono na ryc. 18, natomiast obszary pobudzeń dla tej grupy zostały przedstawione na ryc. 19.



Ryc. 18 Stopień aktywacji struktur anatomicznych – kobiety w warunku negatywnym.

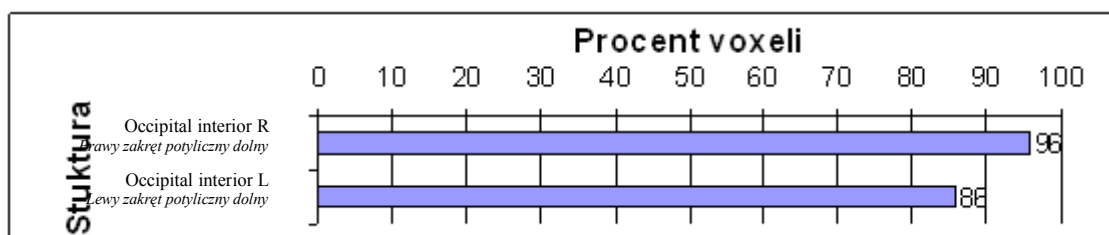
Największy obszar aktywacji stwierdzono w obu zakrętach potylicznych dolnych (96% w prawym, 89% w lewym). Nieco mniejszą aktywację, stwierdzono w robaku mózdzku (68% i 58%), w mózdzku po stronie lewej (63%), w lewej gałce białej (62%). Najmniejszą aktywację, ale również powyżej 50% obserwowano w lewej skorupie (53%), w mózdzku po stronie prawej (51%) oraz w prawej gałce białej (51%).



Ryc. 19 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu przedstawiające obszary aktywne dla grupy K w warunku negatywnym.

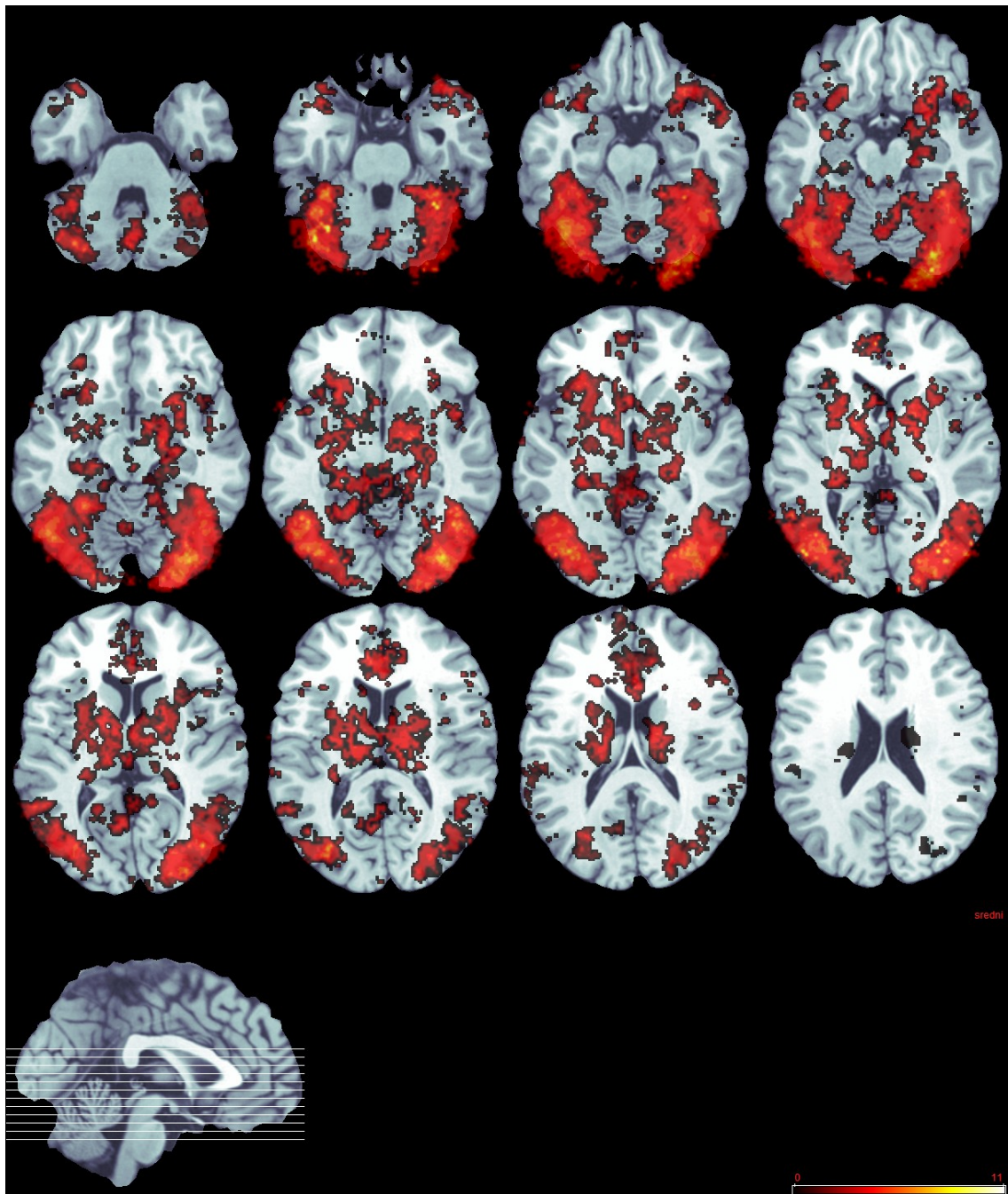
1.5. Ocena aktywacji ośrodków emocji u mężczyzn w warunkach pobudzenia bodźcami o charakterze pozytywnym

Stopień aktywacji poszczególnych struktur anatomicznych obrazuje ryc. 20, zaś pobudzenia w grupie badanych mężczyzn dla warunku pozytywnego objęły struktury przedstawione na ryc. 21.



Ryc. 20 Stopień aktywacji struktur anatomicznych – mężczyźni w warunku pozytywnym.

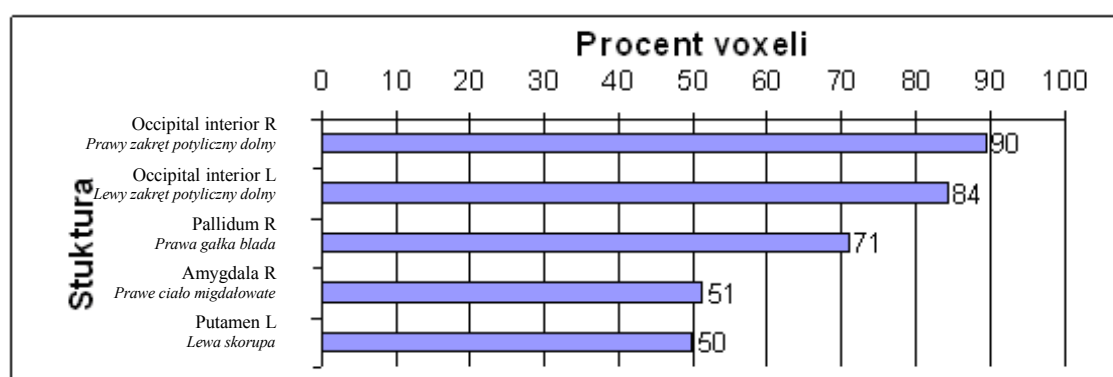
Zdecydowanie największą aktywację stwierdzono w prawym i lewym zakręcie potylicznym dolnym (96% i 86%). Procent aktywacji pozostałych regionów mózgu osiągał wartości poniżej 50%.



Ryc. 21 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu przedstawiające obszary aktywne dla grupy M w warunku pozytywnym.

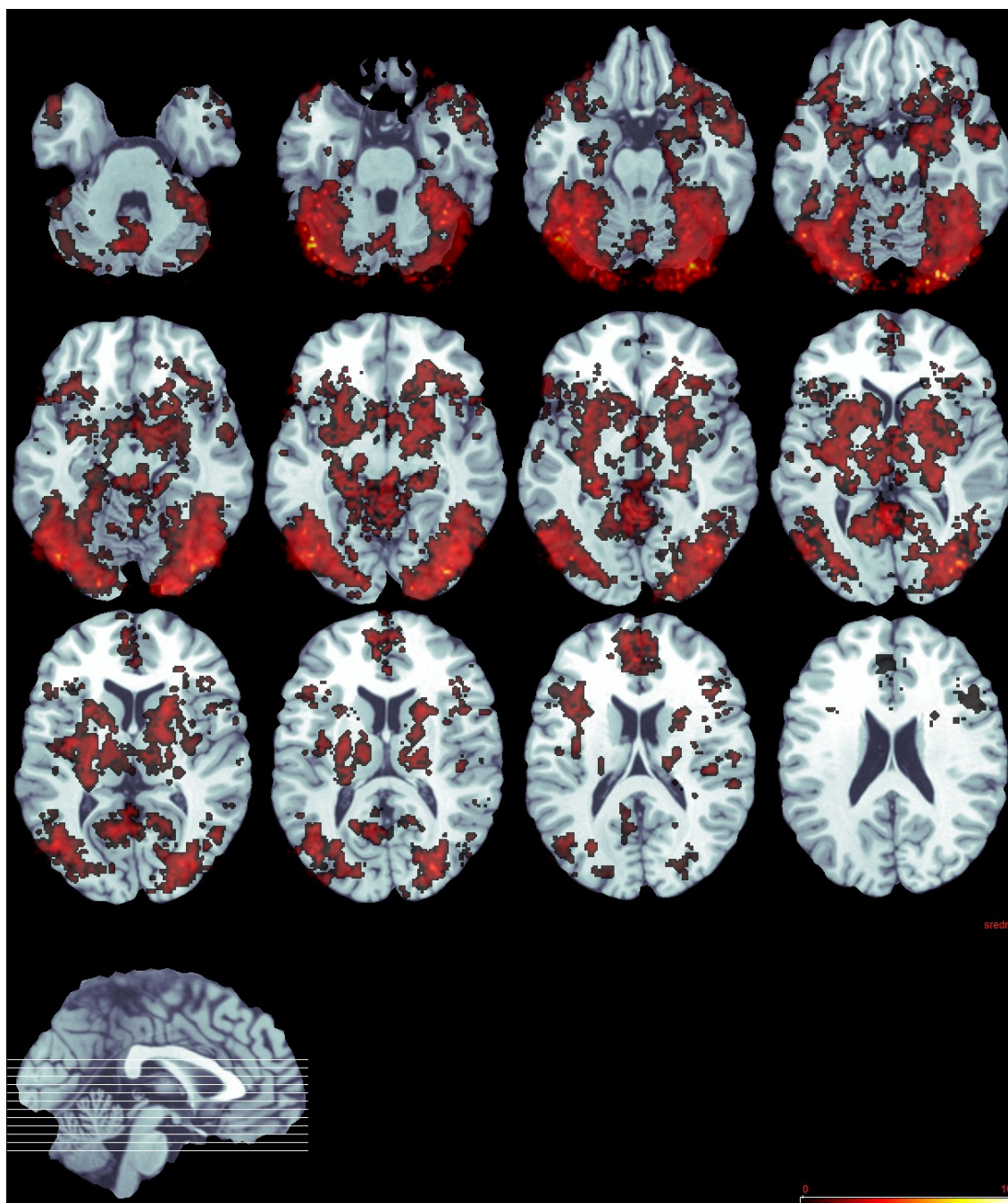
1.6. Ocena aktywacji ośrodków emocji u mężczyzn w warunkach pobudzenia bodźcami o charakterze negatywnym

Pobudzenia w grupie badanych mężczyzn dla warunku negatywnego objęły struktury przedstawione na rycinie 22 i 23.



Ryc. 22 Stopień aktywacji struktur anatomicznych – mężczyźni w warunku negatywnym.

Zdecydowanie największą aktywację stwierdzono w prawym i lewym zakręcie potylicznym dolnym (90% i 84%). Nieco mniejsza aktywacja wystąpiła w obszarze prawej gałki białej (71%) i prawego ciała migdałowego (51%). Procent aktywacji pozostałych regionów mózgu nie przekraczał wartości 50%.



Ryc. 23 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu przedstawiające obszary aktywne dla grupy M w warunku negatywnym.

2. Wyniki badań przeprowadzonych w paradygmacie eksperymentalnego planu czynnikowego

W tej części dokonano analiz porównawczych dotyczących wpływu płci i wpływu rodzaju emocji na wzorzec pobudzenia emocjonalnego ośrodków mózgowych.

Jak już wspomniano w rozdziale dotyczącym metod analizy danych, obliczenie kontrastów polegało na oszacowaniu różnic pomiędzy macierzami pobudzeń wygenerowanych w analizie pierwszego poziomu, w efekcie czego uzyskano nowe macierze wynikowe, których wartości Z informują o istotności różnic pomiędzy wartościami pobudzeń w odejmowanych warunkach eksperymentalnych.

Wyniki tych analiz przedstawiono w standardowych tabelach których kolejne kolumny zawierają informację o:

- nazwie struktury, w obrębie której pojawiła się aktywacja,
- liczbie aktywowanych vokseli tworzących klaster,
- maksymalnej wartości statystyki Z dla danego klastra,
- polu Brodmana, w obrębie którego znajduje się aktywowany klaster,
- współrzędnych stereotaktycznych voxela o maksymalnej wartości Z należącego do danego klastra, które podane są w standardowej przestrzeni Talairach & Tournoux.

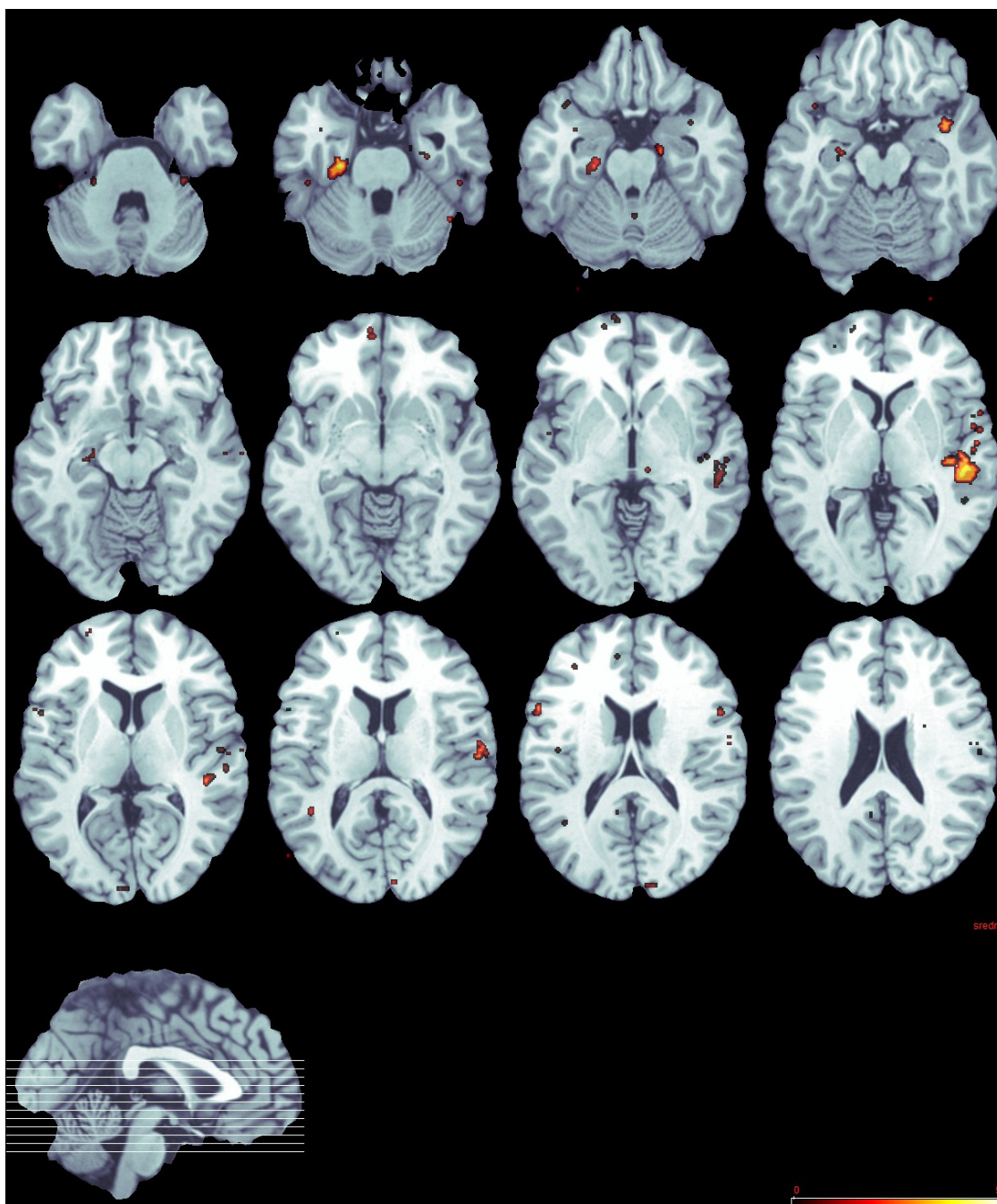
2.1. Wyniki badań wpływu płci na wzorzec pobudzenia emocjonalnego

2.1.1 Ocena struktur, w obrębie których wartość aktywacji u kobiet przewyższała jej wartość u mężczyzn (K-M) dla warunku eksperymentalnego o charakterze pozytywnym

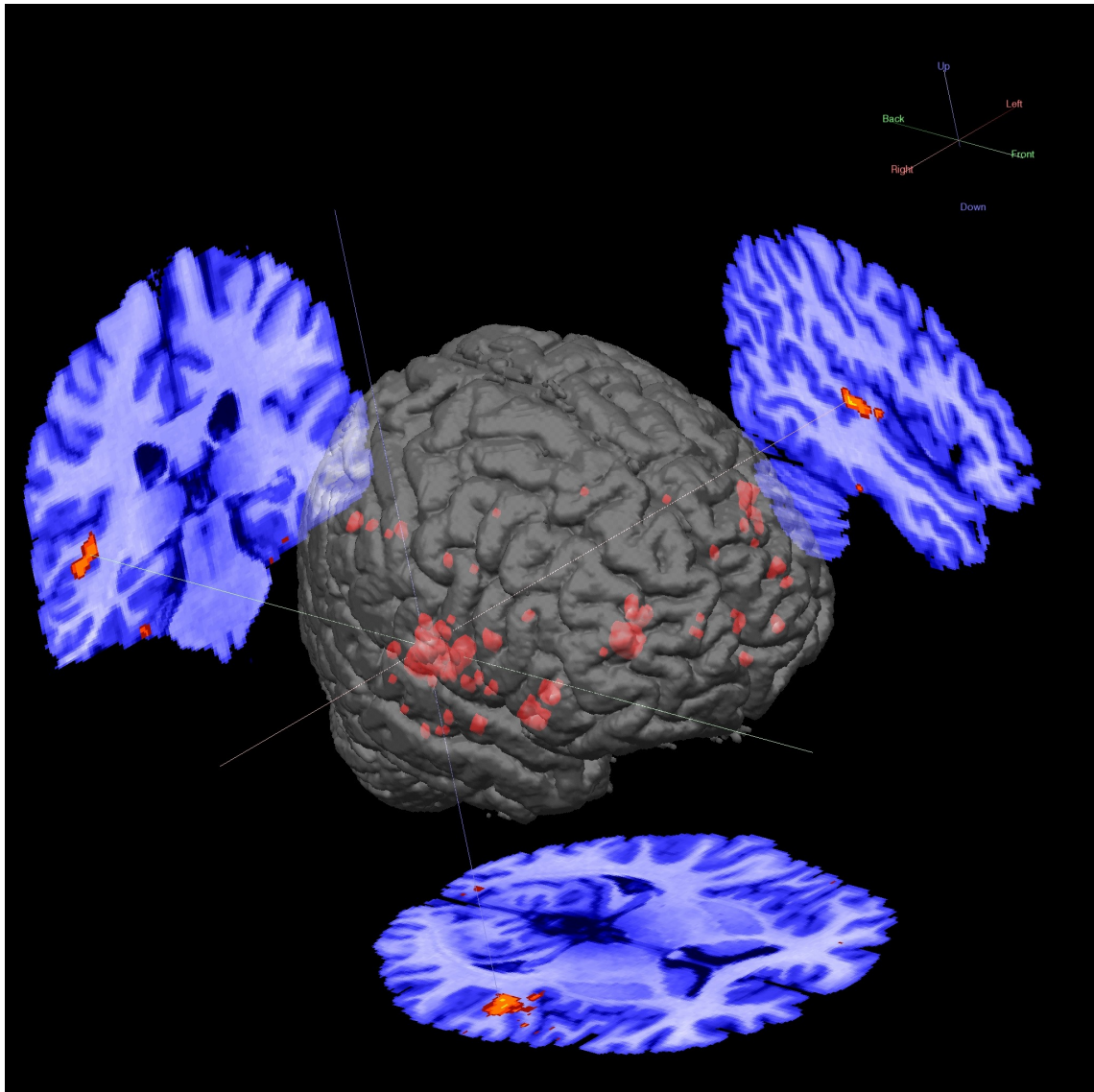
W wyniku odjęcia wartości aktywacji struktur mózgowych w grupie badanych mężczyzn od wartości wyrażającej aktywację w grupie badanych kobiet dla warunku eksperymentalnego pobudzeń o charakterze pozytywnym uzyskano statystycznie istotne kontrasty. Następnie analizowano tylko te voxele, dla których wartość statystyk wypadła powyżej przedstawionych progów ($Z >$ lub równe 0, 0001). W analizie wyników brano pod uwagę tylko te skupiska pobudzeń (klastry), których objętość przekraczała 8 vokseli. Wyniki przedstawiono na ryc. 24 i 25 oraz w tabeli 1.

Tab. 1 Różnice w aktywacji struktur anatomicznych – kontrasty K-M w warunku pozytywnym.

Struktura	Liczba voxeli	Max Z	Półkula	Pole Brodmanna	Talairach		
					X	Y	Z
Right superior temporal gyrus <i>Prawy zakręt skroniowy górny</i>	135	4, 69	P	21/22	52	-28	1
Left parahippocampal gyrus/fusiform gyrus <i>Lewy zakręt przyhipokampowy</i>	61	5, 38	L	30	-21	-21	-21
Right temporal pole bordering amygdala <i>Część prawego płata skroniowego graniczącego z ciałem migdałowatym</i>	20	3, 89	P	38	40	1	-16
Right superior temporal gyrus/operculum <i>Prawy zakręt skroniowy górny/ wieczko</i>	18	4, 64	P	--	60	-12	9
Left hippocampus <i>Lewy hipokamp</i>	12	3, 73	L	20	-25	-19	-13
Right parahippocampal gyrus <i>Prawy zakręt przyhipokampowy</i>	9	4, 34	P	35	18	-13	-18
Left frontal operculum <i>Lewe wieczko czołowe</i>	7	4, 87	L	44	-57	10	14



Ryc. 24 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu. Obszary, których aktywacja dla grupy kobiet przewyższała aktywację u mężczyzn (K-M) w warunku pozytywnym.



Ryc. 25 Rekonstrukcja 3 D mózgu z widocznymi obszarami przedstawiającymi kontrasty K-M dla warunku pozytywnego. Największa różnica w aktywacji widoczna jest w zakresie prawego zakrętu skroniowego górnego.

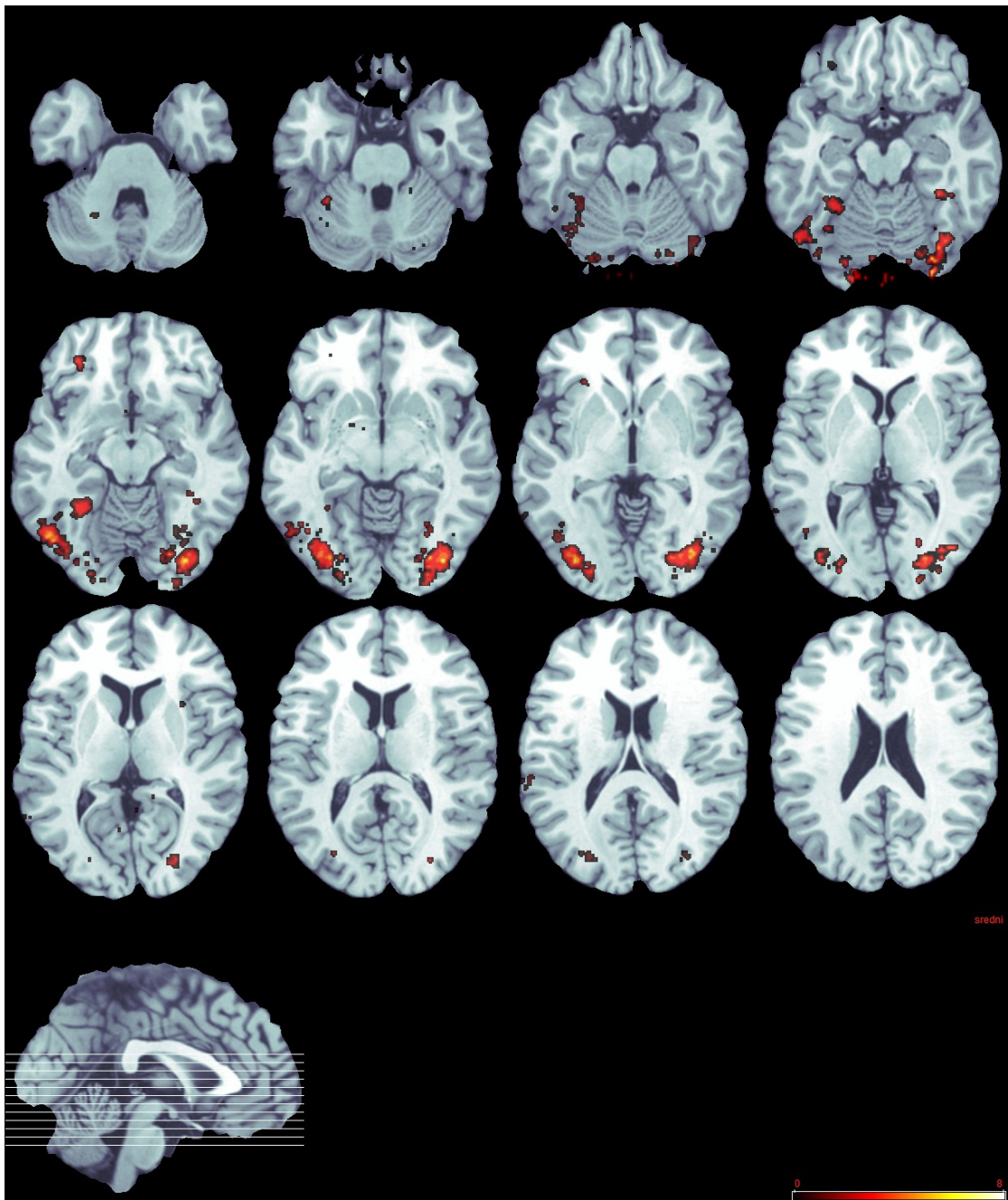
Strukturą, w obrębie której nastąpiła największa przewaga w aktywacji u kobiet jest prawy zakręt skroniowy górny (pole Brodmana 21/22). Nieco mniejszą różnicę w aktywacji stwierdzono w obszarze lewego zakrętu przyhipokampowego i zakrętu wrzecionowatego. Dużo mniejsze różnice aktywacji, ale nadal istotne statystycznie stwierdzono w obrębie prawego pola skroniowego graniczącego z ciałem migdałowatym (pole Brodmana 38/34), prawego zakrętu skroniowego górnego – pole Brodmana 48 i lewego hipokampa. Najmniejsze statystycznie znaczące różnice wykazano w zakresie prawego zakrętu okołohipokampowego oraz w zakresie lewego wieczka czołowego – pole Brodmana 44.

2.1.2. Ocena struktur, w obrębie których wartość aktywacji u mężczyzn przewyższała jej wartość u kobiet (M-K) dla warunku eksperymentalnego o charakterze pozytywnym

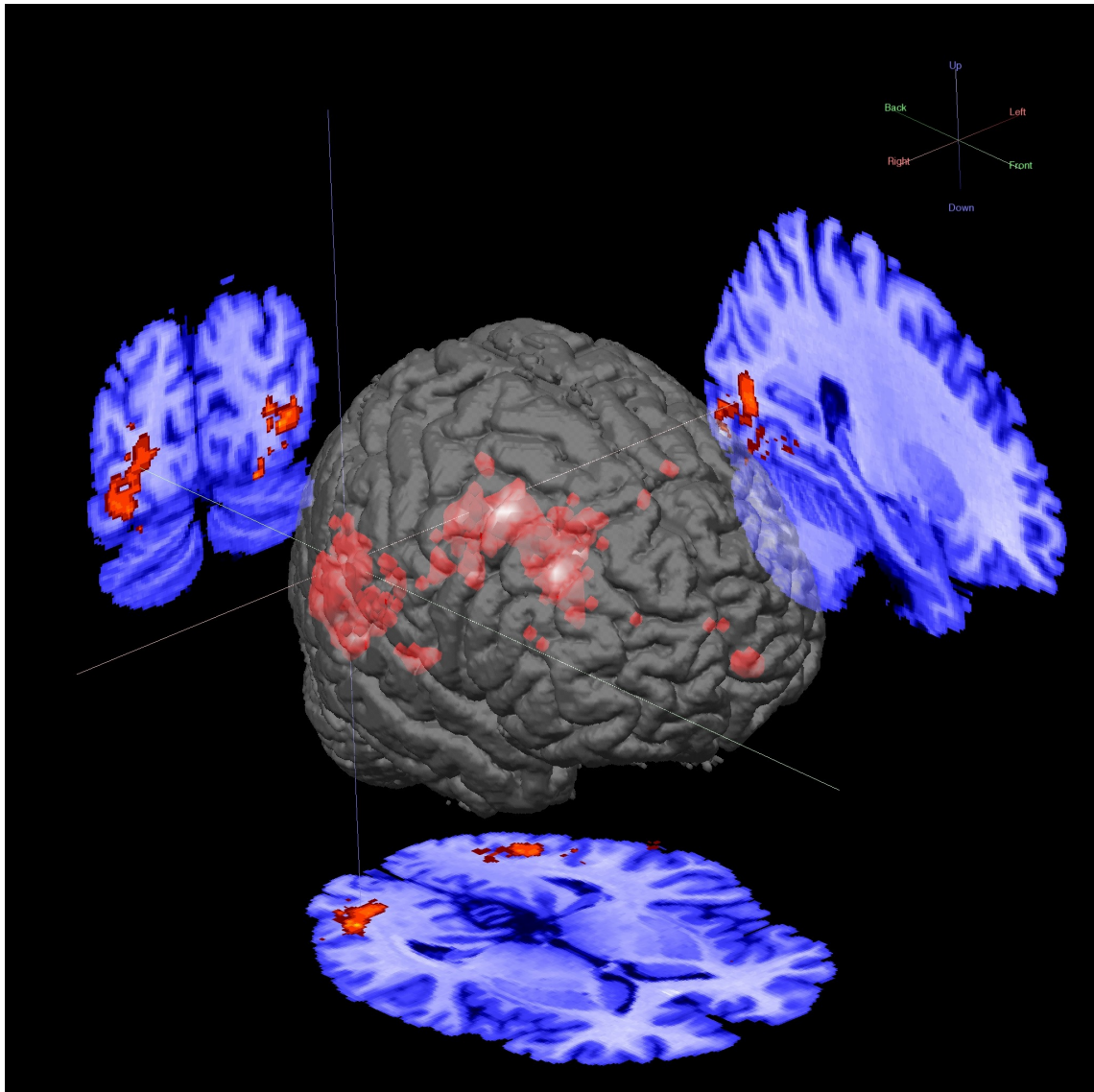
W wyniku odjęcia wartości aktywacji struktur mózgowych w grupie badanych kobiet od wartości wyrażającej aktywację w grupie badanych mężczyzn dla warunku eksperymentalnego pobudzeń o charakterze pozytywnym uzyskano statystycznie istotne kontrasty. Następnie analizowano tylko te voxele, dla których wartość statystyk wypadła powyżej przedstawionych progów ($Z >$ lub równe 0, 0001). W analizie wyników brano pod uwagę tylko te skupiska pobudzeń, których objętość przekraczała 8 wokseli. Wyniki przedstawiono na ryc. 26 i 27 oraz w tabeli 2.

Tab. 2 Różnice w aktywacji struktur anatomicznych – kontrasty M-K w warunku pozytywnym.

Struktura	Liczba voxeli	Max Z	Półkula	Pole Brodmana	Talairach		
					X	Y	Z
Right occipital gyrus <i>Prawy zakręt potyliczny</i>	545	10,4	P	19	36	-74	2
Left occipital gyrus <i>Lewy zakręt potyliczny</i>	434	9,7	L	19	-45	-69	-9
Left fusiform gyrus <i>Lewy zakręt wrzecionowaty</i>	112	5,56	L	37	-31	-50	-11
Right cerebellum <i>Mózdek po stronie prawej</i>	44	7,19	P		-19	-83	-13
Left inferior orbital gyrus <i>Lewy zakręt oczodołowy dolny</i>	22	3,94	L	47	-29	36	-14
Right fusiform gyrus <i>Prawy zakręt wrzecionowaty</i>	21	5,5	P	37	40	-46	-10
Right fusiform gyrus <i>Prawy zakręt wrzecionowaty</i>	11	4,96	P	19	30	-59	-6
Artefakt w okolicy mózdzku	11	4,44			6	-90	-11
Middle occipital gyrus <i>Zakręt potyliczny środkowy</i>	8	4,46	L	19	-25	-77	18



Ryc. 26 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu. Obszary, których aktywacja dla grupy mężczyzn przewyższała aktywację u kobiet (M-K) w warunku pozytywnym.



Ryc. 27 Rekonstrukcja 3 D mózgu z widocznymi obszarami przedstawiającymi kontrasty M-K dla warunku pozytywnego. Największa różnica w aktywacji widoczna jest w zakresie obu pól potylicznych.

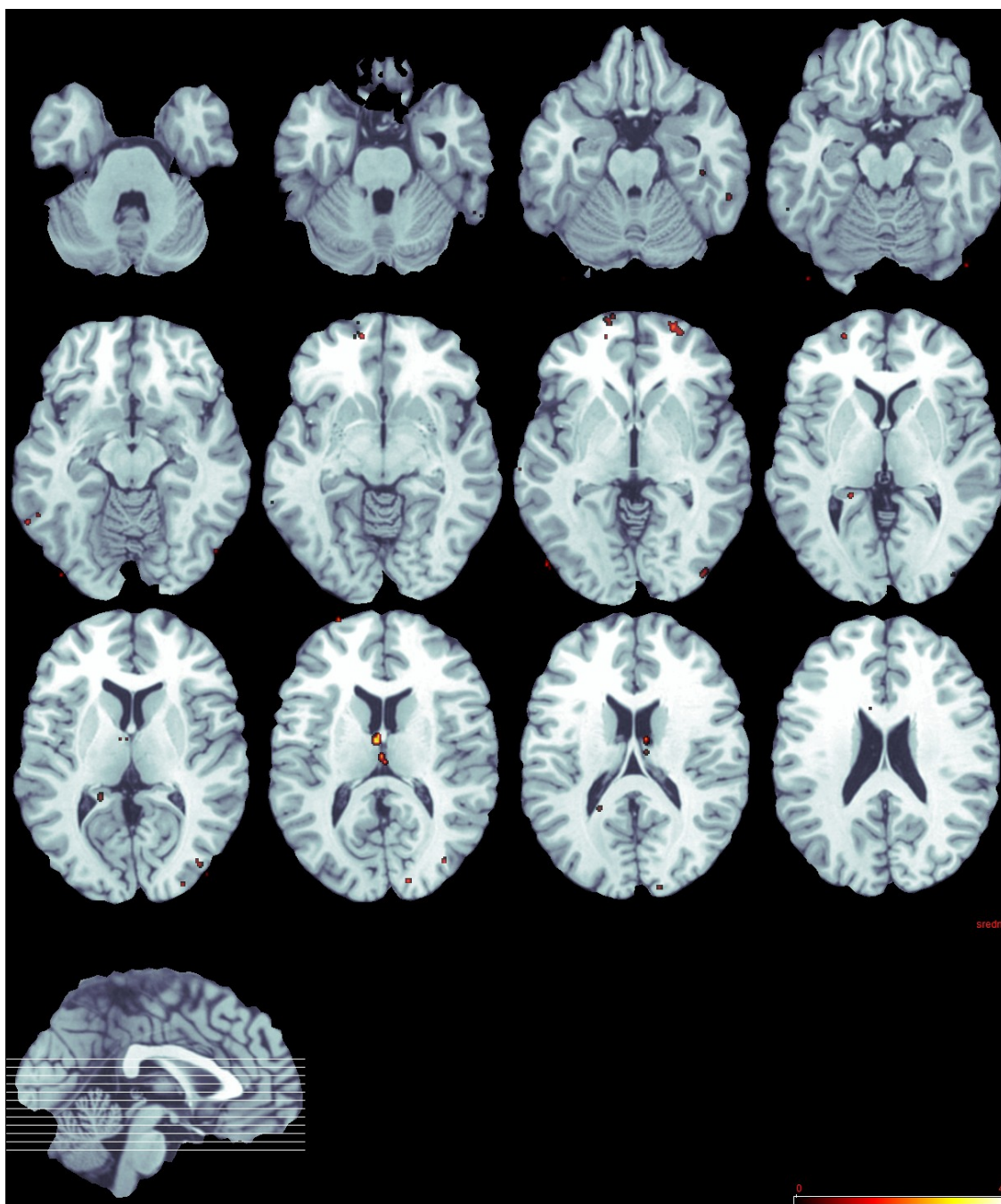
Oba płaty potyliczne - pole Brodmana 19 stanowią struktury, których wartość pobudzeń u mężczyzn zdecydowanie przeważała nad wartością pobudzeń u kobiet dla warunku eksperymentalnego pobudzeń o charakterze pozytywnym. Mniejszą różnicę w aktywacji stwierdzono w obszarze lewego zakrętu wrzecionowatego. Znacznie mniejsze różnice aktywacji, ale nadal istotne statystycznie stwierdzono w obrębie mózdzku po stronie prawej, lewego zakrętu oczodołowego dolnego, prawego zakrętu wrzecionowatego. Najmniejsza statystycznie znacząca przewaga aktywacji u mężczyzn została zarejestrowana w zakresie zakrętu potylicznego środkowego.

2.1.3. Ocena struktur, w obrębie których wartość aktywacji u kobiet przewyższała jej wartość u mężczyzn (K-M) dla warunku eksperymentalnego o charakterze negatywnym

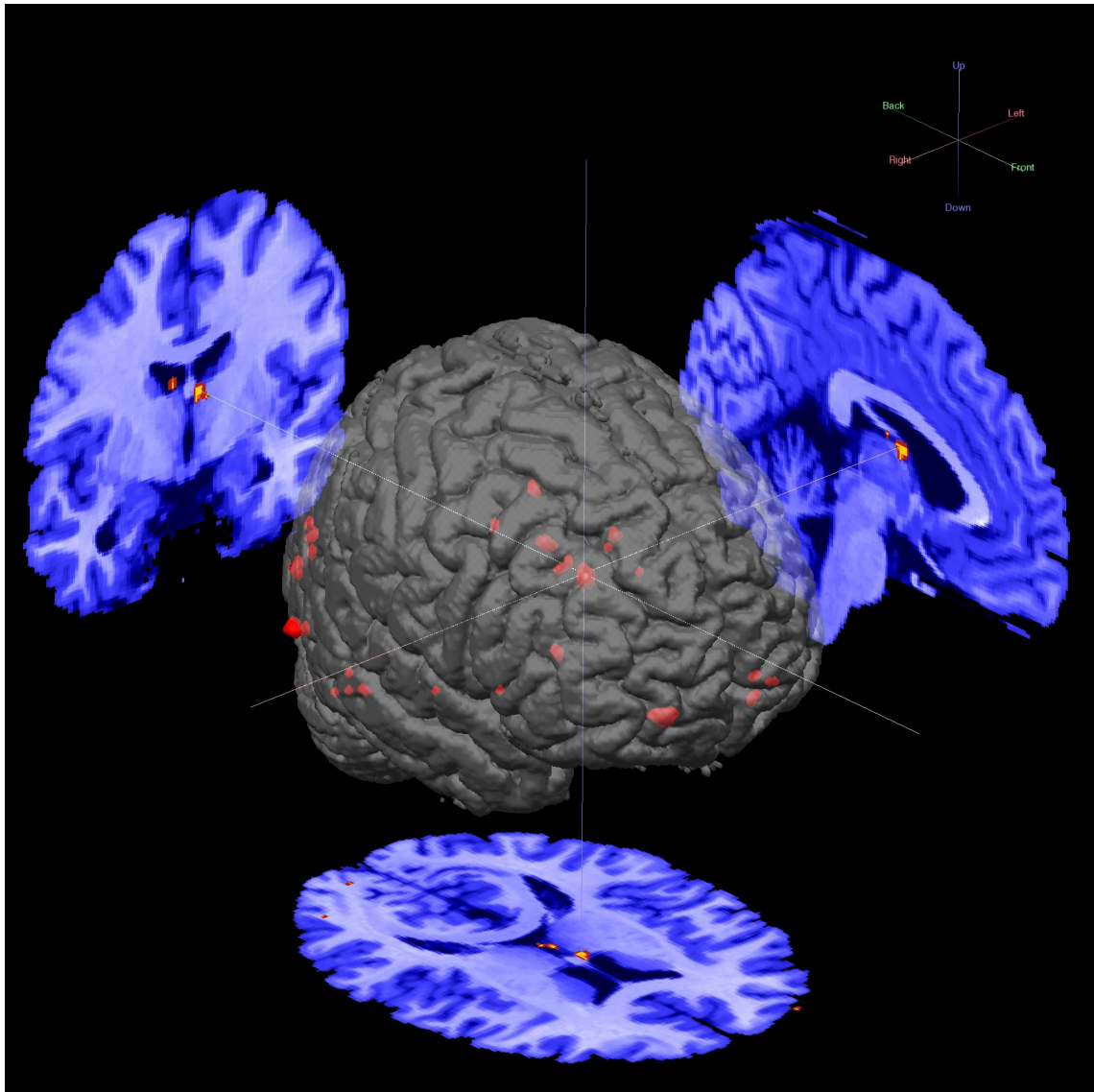
W wyniku odjęcia wartości aktywacji struktur mózgowych w grupie badanych mężczyzn od wartości wyrażającej aktywację w grupie badanych kobiet dla warunku eksperymentalnego pobudzeń o charakterze negatywnym uzyskano statystycznie istotne kontrasty. Następnie analizowano tylko te voxele, dla których wartość statystyk wypadła powyżej przedstawionych progów ($Z >$ lub równe 0, 0001). W analizie wyników brano pod uwagę tylko te skupiska pobudzeń (klastry), których objętość przekraczała 8 wokseli. Wyniki przedstawiono na ryc. 28 i 29 oraz w tabeli 3.

Tab. 3 Różnice w aktywacji struktur anatomicznych – kontrasty K-M w warunku negatywnym.

Struktura	Liczba voxeli	Max Z	Półkula	Pole Brodmanna	Talairach		
					X	Y	Z
Left thalamus <i>Wzgórze po stronie lewej</i>	11	3,6	L		-3	-6	11
Right frontal superior orbital gyrus <i>Prawy zakręt oczodołowy górny</i>	10	4,11	P	11	22	61	-7
Left precuneus <i>Przedklinek po stronie lewej</i>	7	3,69	L	27	-17	-41	5
Left frontal superior orbital gyrus <i>Lewy zakręt oczodołowy górny</i>	5	4,64	L	11	-11	65	-5



Ryc. 28 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu. Obszary, których aktywacja dla grupy kobiet przewyższała aktywację u mężczyzn (K-M) w warunkach negatywnym.



Ryc. 29 Rekonstrukcja 3 D mózgu z widocznymi obszarami przedstawiającymi kontrasty K-M dla warunku negatywnego. Największa różnica w aktywacji widoczna jest w zakresie wzgórza po stronie lewej.

Wzgórze po stronie lewej uległo znacznie większej aktywacji u kobiet w stosunku do mężczyzn, podczas pobudzeń o charakterze negatywnym. Nieco mniejszą różnicę w aktywacji dla opisywanego warunku stwierdzono w obszarze prawej okolicy oczodołowo-czołowej górnej - pole Brodmana 11.

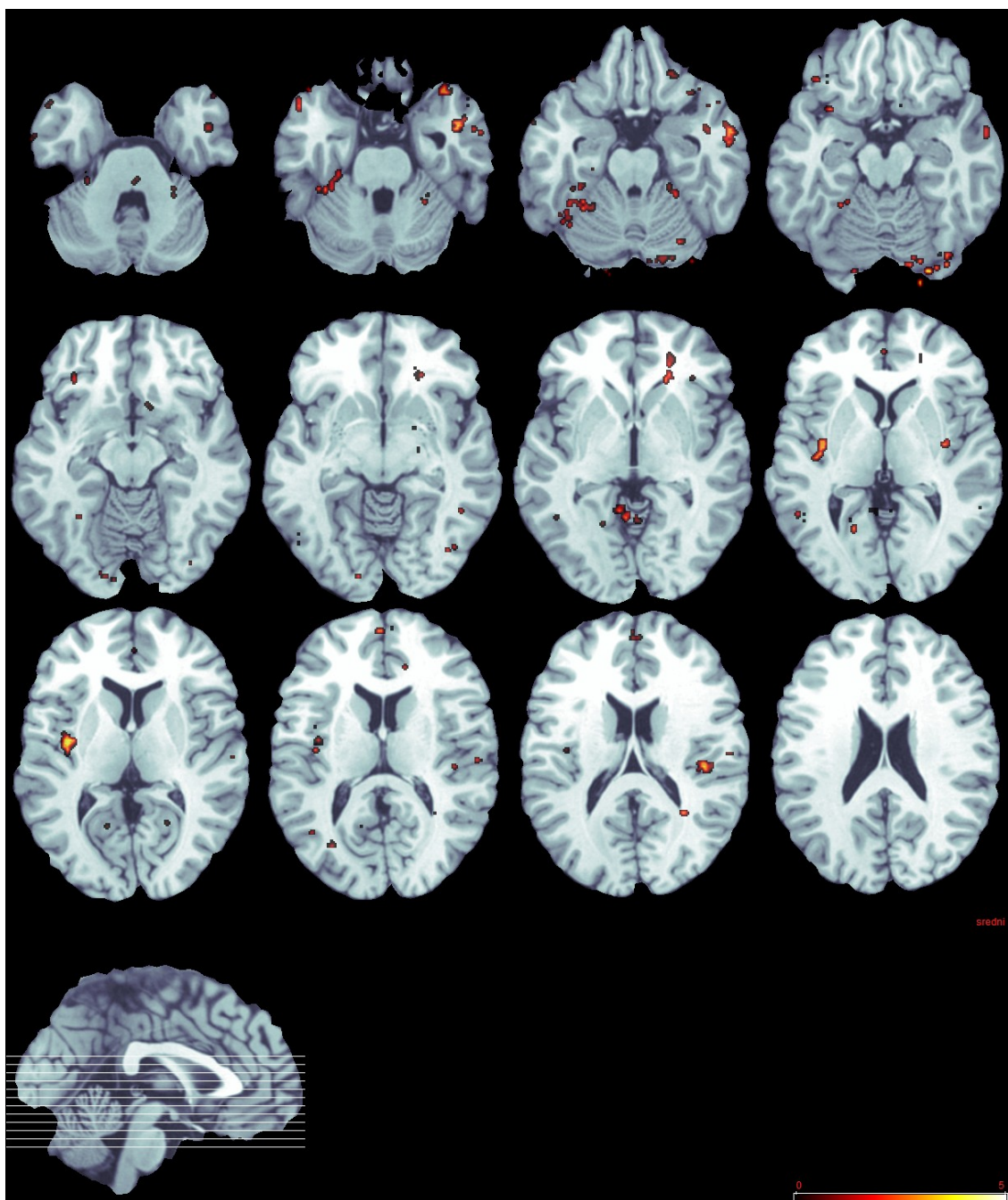
Najmniejsze statystycznie znaczące różnice wykazano w zakresie przedklinka po stronie lewej oraz lewej okolicy oczodołowo-czołowej górnej.

2.1.4. Ocena struktur, w obrębie których wartość aktywacji u mężczyzn przewyższała jej wartość u kobiet (M-K) dla warunku eksperymentalnego o charakterze negatywnym

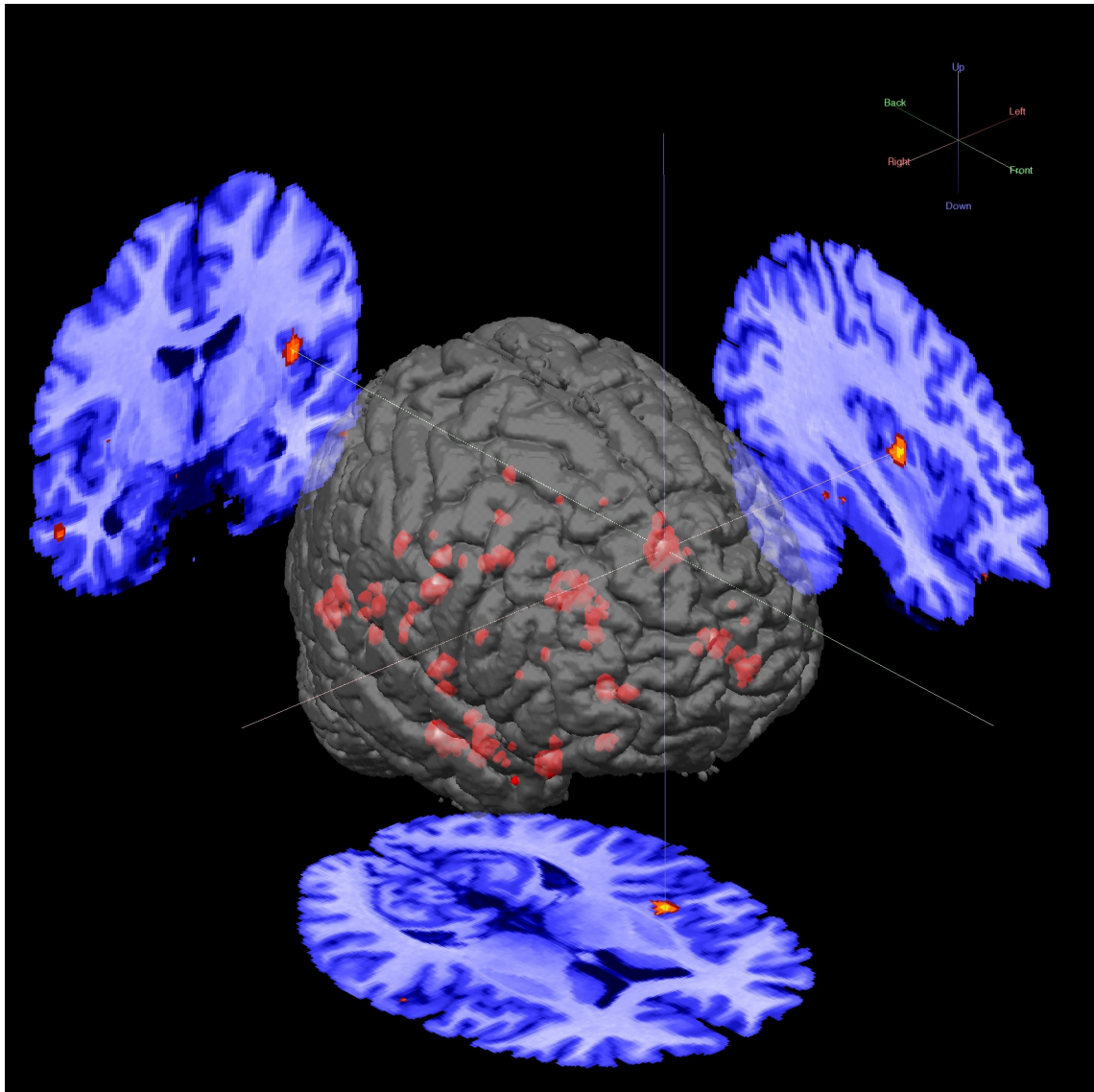
W wyniku odjęcia wartości aktywacji struktur mózgowych w grupie badanych kobiet od wartości wyrażającej aktywację w grupie badanych mężczyzn dla warunku eksperymentalnego pobudzeń o charakterze negatywnym uzyskano statystycznie istotne kontrasty. Następnie analizowano tylko te voxele, dla których wartość statystyk wypadła powyżej przedstawionych progów ($Z >$ lub równe 0, 0001). W analizie wyników brano pod uwagę tylko te skupiska pobudzeń, których objętość przekraczała 8 wokseli. Wyniki przedstawiono na ryc. 30 i 31 oraz w tabeli 4.

Tab. 4 Różnice w aktywacji struktur anatomicznych – kontrasty M-K w warunku negatywnym.

Struktura	Liczba voxeli	Max Z	Półkula	Pole Brodmanna	Talairach		
					X	Y	Z
Left insula <i>Lewa wyspa</i>	69	5,04	L	48	-37	-8	5
Right middle temporal gyrus <i>Prawy zakręt skroniowy środkowy</i>	33	3,93	P	21	58	-3	-21
Right inferior temporal gyrus <i>Prawy zakręt skroniowy dolny</i>	26	4,32	P	20	46	0	-24
Caudate/white matter <i>Istota biała okolicy jądra ogoniastego</i>	24	4,46	P		22	36	-6
Right Heschl gyrus/operculum <i>Prawy zakręt Heschla/wieczko</i>	21	4,37	P	48	44	-23	17
Left fusiform gyrus <i>Lewy zakręt wrzecionowaty</i>	20	4,51	L	20/30/37	-31	-36	-19
Right temporal pole <i>Prawe pole skroniowe</i>	20	4,77	P	38	40	21	-27
Cerebellum – vermis <i>Mózdzek - robak</i>	17	4,07			-3	-51	-1
Cerebellum <i>Mózdzek</i>	14	5,09	L		-37	-46	-18
Superior medial frontal gyrus/anterior cingulate gyrus <i>Zakręt czołowy środkowy/przedni zakręt obróczy</i>	11	4,84	L	10	-1	52	10
Cerebellum <i>Mózdzek</i>	10	4,36	L		-15	-85	-15
Cerebellum <i>Mózdzek</i>	10	4,99	P		28	-40	-20



Ryc. 30 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu. Obszary, których aktywacja dla grupy mężczyzn przewyższała aktywację u kobiet (M-K) w warunkach negatywnych.



Ryc. 31 Rekonstrukcja 3 D mózgu z widocznymi obszarami przedstawiającymi kontrasty M-K dla warunku negatywnego. Największa różnica w aktywacji widoczna jest w zakresie lewej wyspy.

Do struktur, których wartość aktywacji w największym stopniu przewyższała wartość pobudzeń u mężczyzn w stosunku do kobiet, dla warunku eksperymentalnego pobudzeń o charakterze negatywnym, należy lewa wyspa. Mniejszą przewagę w aktywacji u mężczyzn dla opisywanego warunku stwierdzono w obszarze prawego zakrętu skroniowego środkowego i dolnego. Dużo mniejsze różnice aktywacji, ale nadal istotne statystycznie stwierdzono w obrębie prawego jądra ogoniastego, prawego zakrętu Heschla, lewego zakrętu wrzecionowatego, prawego pola skroniowego-pole Brodmana 38, robaka mózdzku oraz lewego zakrętu obręczy.

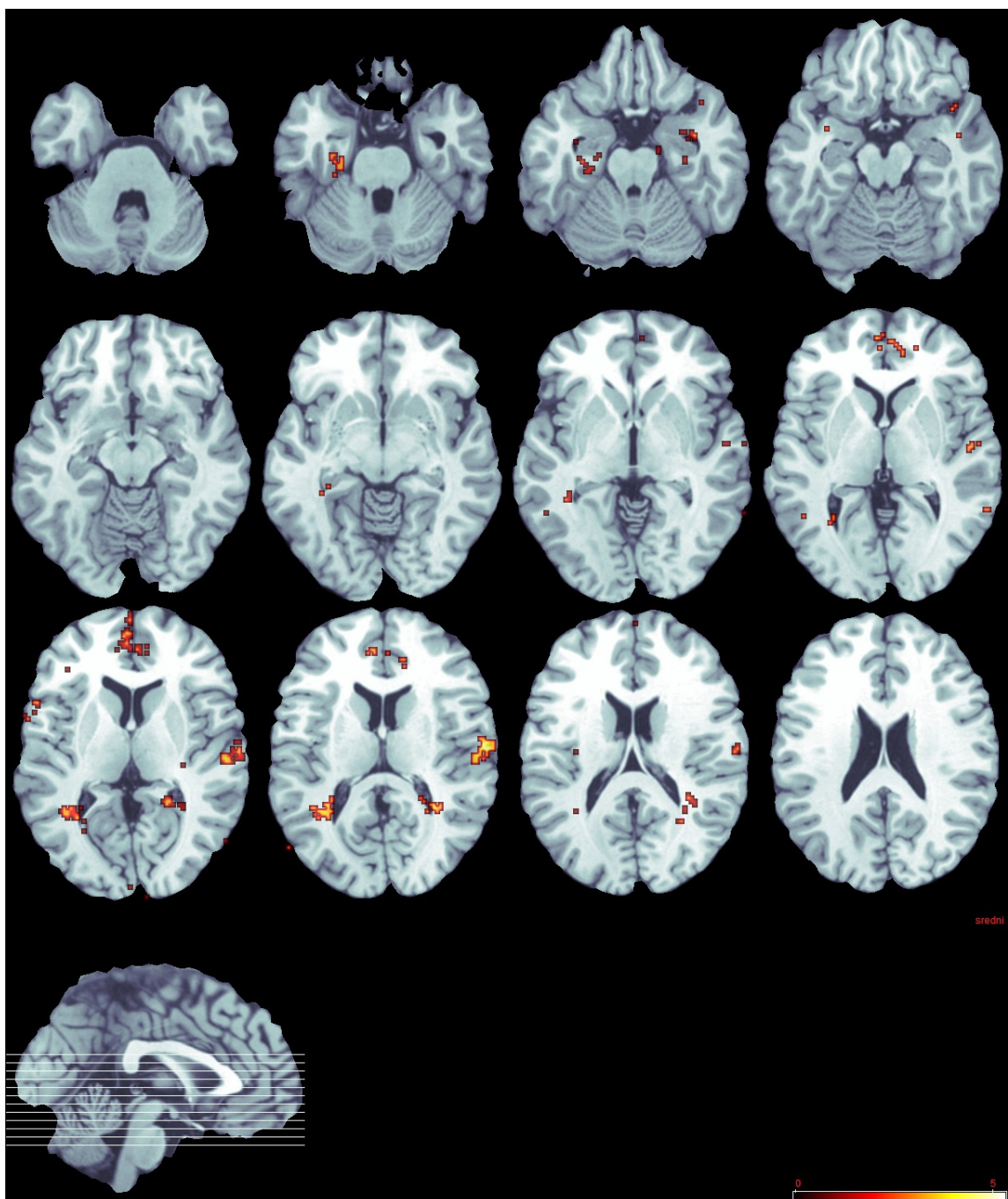
2.2. Wyniki badań wpływu rodzaju emocji (pozytywne, negatywne) na wzorzec pobudzenia emocjonalnego

2.2.1. Ocena ośrodków, których wartość aktywacji pod wpływem emocji o charakterze pozytywnym przewyższała jej wartość pod wpływem emocji negatywnych w grupie badanych kobiet (P-N)

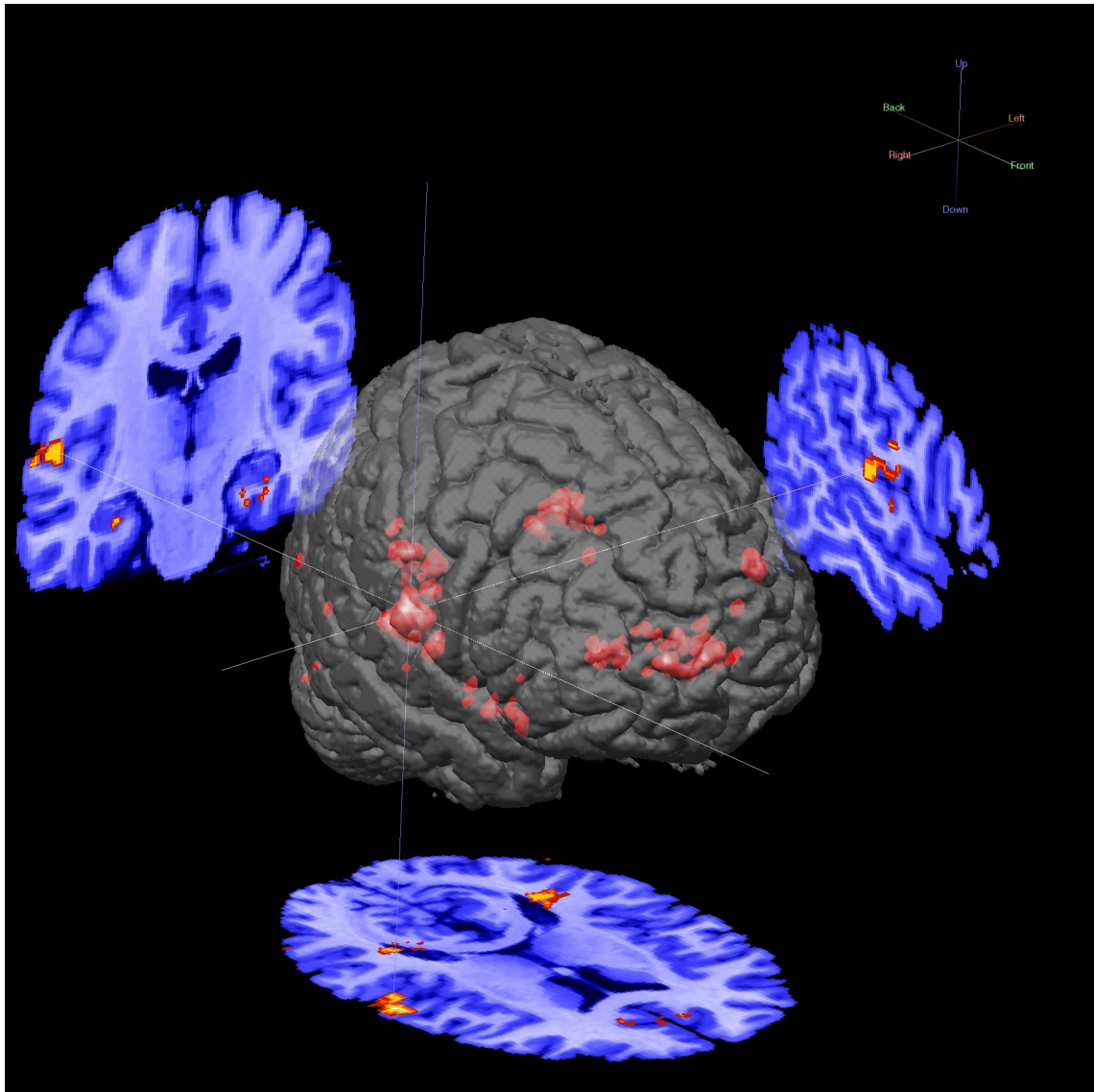
W wyniku odjęcia wartości aktywacji struktur mózgowych pod wpływem pobudzenia o charakterze negatywnym od wartości wyrażającej pobudzenia o charakterze pozytywnym w grupie badanych kobiet uzyskano statystycznie istotne kontrasty. Analizowano tylko te voxele, dla których wartość statystyk wypadła powyżej przedstawionych progów ($Z >$ lub równe 0, 0001). W analizie wyników brano pod uwagę tylko te skupiska pobudzeń, których objętość przekraczała 8 wokseli. Wyniki przedstawiono na ryc. 32 i 33 oraz w tabeli 5.

Tab.5 Różnice w aktywacji struktur anatomicznych u kobiet dla warunku pozytywnego i negatywnego (P-N).

Struktura	Liczba voxeli	Max Z	Półkula	Pole Brodmanna	Talairach		
					X	Y	Z
Right superior temporal gyrus <i>Prawy zakręt skroniowy górny</i>	119	5,29	P	22	64	-14	11
White matter <i>Istota biała</i>	80	4,92	L		-31	-52	9
Left anterior cingulate gyrus <i>Przednia część lewego zakrętu obróczy</i>	65	4,28	L	10	-3	50	-3
White matter <i>Istota biała</i>	35	4,5	P		32	-48	13
Left parahippocampal gyrus <i>Lewy zakręt przyhipokampowy</i>	30	3,97	L	30	-27	-27	-19
Calcarine <i>bruzda ostrogowa</i>	17	4,31	P	19	22	-47	9
Right superior temporal gyrus <i>Prawy zakręt skroniowy górny</i>	10	3,43	P	22	60	-10	0



Ryc. 32 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu. Obszary, których aktywacja dla warunku pozytywnego przewyższała aktywację dla warunku negatywnego w grupie badanych kobiet.



Ryc. 33 Rekonstrukcja 3 D mózgu z widocznymi obszarami przedstawiającymi kontrasty dla warunku pozytywnego i negatywnego (P-N) u kobiet. Największa różnica w aktywacji widoczna jest w zakresie prawego zakrętu skroniowego górnego.

Prawy zakręt skroniowy górny - pole Brodmana 22 jest obszarem, którego wartość aktywacji dla warunku pozytywnego w grupie badanych kobiet najbardziej przewyższała pobudzenie pod wpływem emocji negatywnych. Mniejszą przewagę w aktywacji dla warunku pozytywnych pobudzeń stwierdzono w zakresie istoty białej okolic lewej bruzdy ostrogowej oraz w przedniej części lewego zakrętu obręczy - pole Brodmana 10.

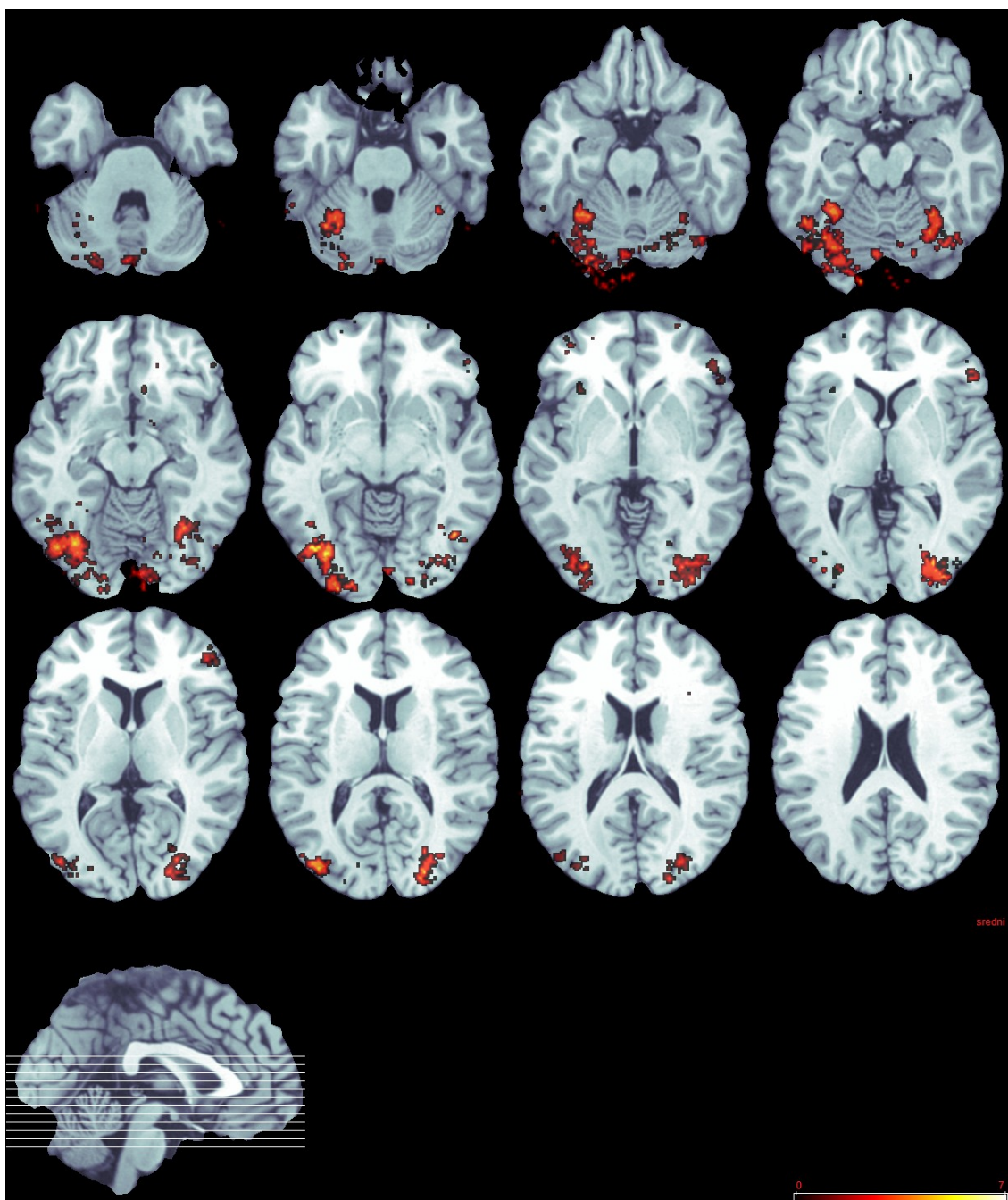
Najmniejszą statystycznie znaczącą przewagę pobudzeń pozytywnych wykazano w zakresie istoty białej okolic prawej bruzdy ostrogowej, lewego zakrętu przyhipokampowego, prawej bruzdy ostrygowej oraz prawego zakrętu skroniowego górnego obejmującego pole Brodmana 48/22.

2.2.2. Ocena ośrodków, których wartość aktywacji pod wpływem emocji negatywnych przewyższała jej wartość pod wpływem emocji pozytywnych w grupie badanych kobiet (N-P)

W wyniku odjęcia wartości aktywacji struktur mózgowych pod wpływem pobudzenia o charakterze pozytywnym od wartości wyrażającej pobudzenia o charakterze negatywnym w grupie badanych kobiet uzyskano statystycznie istotne kontrasty. Przedmiotem analizy były te voxele, dla których wartość statystyk wypadła powyżej przedstawionych progów ($Z >$ lub równe 0, 0001). W analizie wyników brano pod uwagę tylko te skupiska pobudzeń, których objętość przekraczała 8 wokseli. Wyniki przedstawiono na ryc. 34 i 35 oraz w tabeli 6.

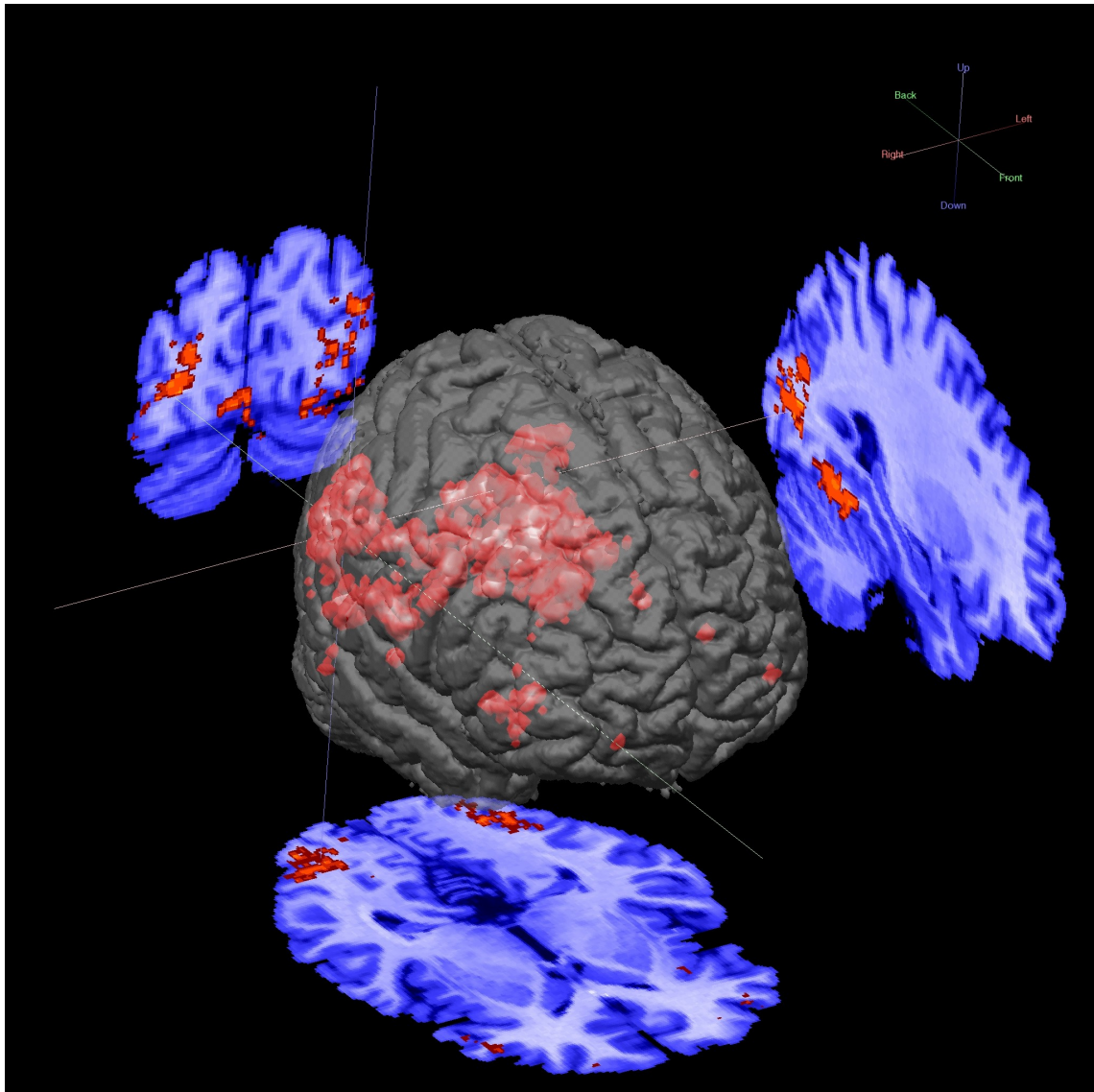
Tab. 6 Różnice w aktywacji struktur anatomicznych u kobiet dla warunku negatywnego i pozytywnego (N-P).

Struktura	Liczba voxeli	Max Z	Półkula	Pole Brodmanna	Talairach		
					X	Y	Z
Left fusiform gyrus <i>Lewy zakręt wrzecionowaty</i>	1152	8,39	L	19	-21	-81	-17
Right inferior occipital gyrus <i>Prawy zakręt potyliczny dolny</i>	354	7,83	P	18/19	28	-78	9
Cerebellum <i>Móżdżek</i>	197	7,54	P		40	-65	-14
Cerebellum <i>Móżdżek</i>	63	4,4	L		-1	-79	-22
Right frontal inferior orbital gyrus <i>Prawy zakręt oczodołowy dolny</i>	33	3,76	P	45/47	48	36	-6
Frontal inferior gyrus - triangular part <i>część trójkątna zakrętu oczodołowego dolnego</i>	20	3,82	P	45	52	39	3



Ryc. 34 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu.

Obszary, których aktywacja dla warunku negatywnego przewyższała aktywację dla warunku pozytywnego w grupie badanych kobiet.



Ryc. 35 Rekonstrukcja 3 D mózgu z widocznymi obszarami przedstawiającymi kontrasty dla warunku negatywnego oraz pozytywnego (N-P) w grupie badanych kobiet. Największa różnica w aktywacji widoczna jest w zakresie lewego zakrętu wrzecionowatego.

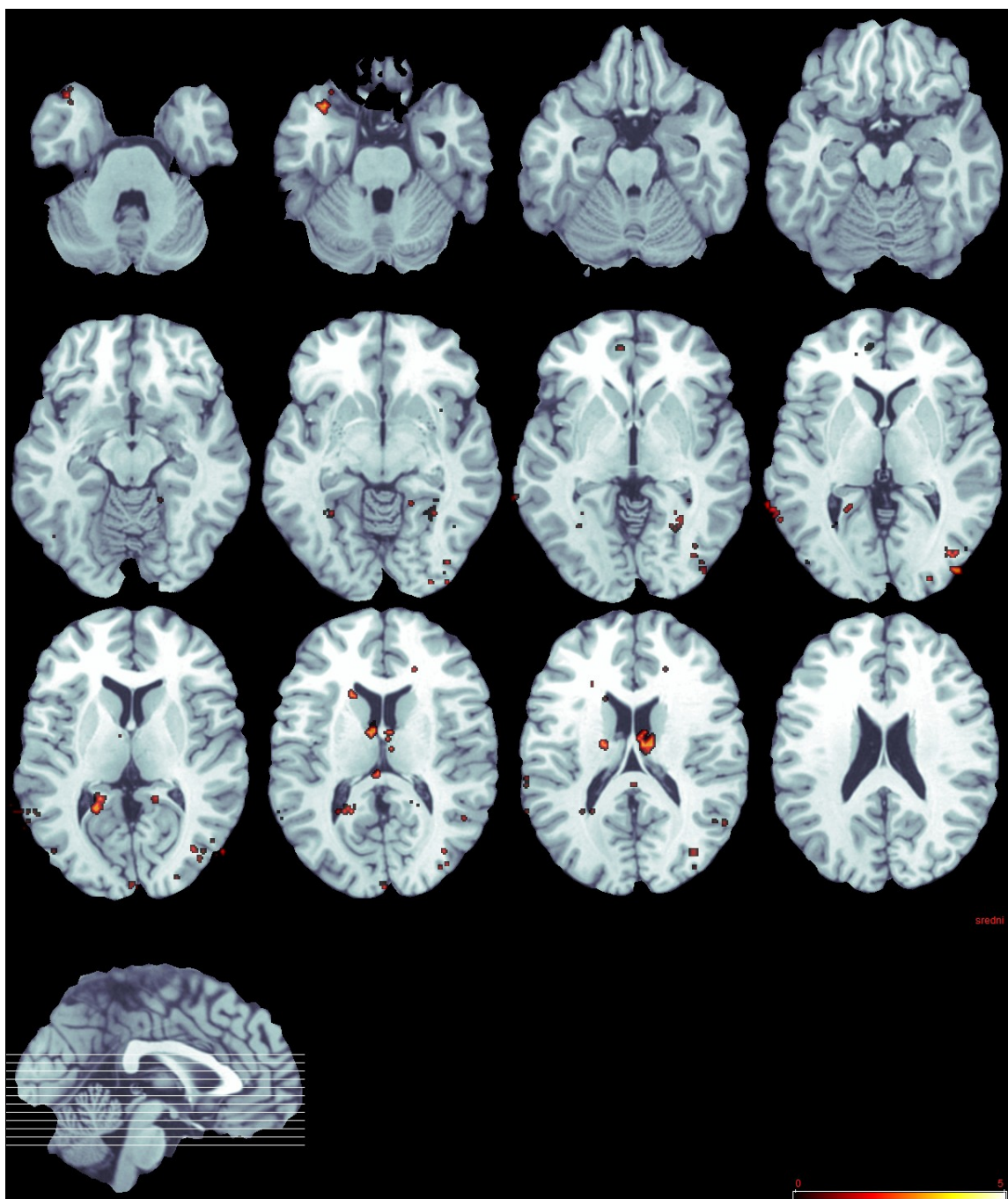
Do struktur, których aktywacja dla warunku eksperymentalnego pobudzeń o charakterze negatywnym w największym stopniu przewyższała aktywację pod wpływem bodźców pozytywnych w grupie badanych kobiet należy lewy zakręt wrzecionowaty. Mniejszą przewagę aktywacji dla warunku negatywnego stwierdzono w dolnej części prawego płata potylicznego - pole Brodmana 18/19. Najmniejszą statystycznie znaczącą przewagę pobudzeń negatywnych wykazano w zakresie mózdzku po stronie lewej, prawej kory oczodołowo-czołowej dolnej - pole Brodmana 45/47 oraz prawego zakrętu czołowego dolnego.

2.2.3. Ocena ośrodków, których wartość aktywacji dla warunku eksperymentalnego o charakterze pozytywnym przewyższała jej wartość pod wpływem emocji negatywnych w grupie badanych mężczyzn (P-N)

W wyniku odjęcia wartości aktywacji struktur mózgowych pod wpływem pobudzenia o charakterze negatywnym od wartości wyrażającej pobudzenia o charakterze pozytywnym w grupie badanych mężczyzn uzyskano statystycznie istotne kontrasty. Analizowano tylko te voxele, dla których wartość statystyk wypadła powyżej przedstawionych progów ($Z >$ lub równe 0, 0001). W analizie wyników brano pod uwagę tylko te skupiska pobudzeń, których objętość przekraczała 8 vokseli. Wyniki przedstawiono na ryc. 36 i 37 oraz w tabeli 7.

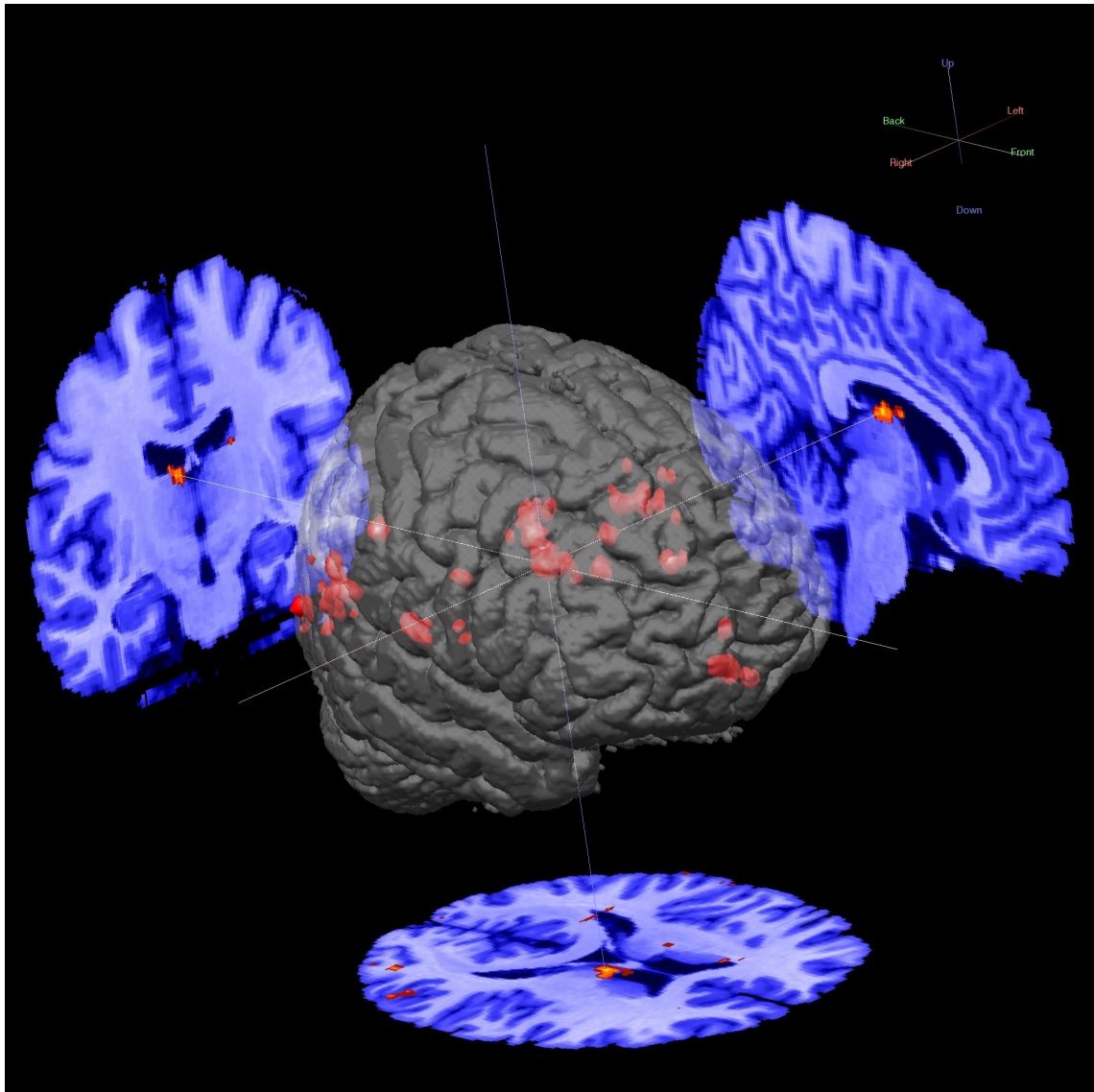
Tab. 7 Różnice w aktywacji struktur anatomicznych u mężczyzn dla warunku pozytywnego i negatywnego (P-N).

Struktura	Liczba voxeli	Max Z	Półkula	Pole Brodmana	Talairach		
					X	Y	Z
Right thalamus <i>Wzgórze po stronie prawej</i>	46	4,58	P		8	-11	15
Left calcarine <i>Bruzda ostrogowa o stronie lewej</i>	44	5,24	L	19	-19	-48	11
Left middle temporal gyrus <i>Lewy zakręt skroniowy środkowy</i>	27	4,16	L	37/21	-61	-53	6
Right middle occipital gyrus <i>Prawy zakręt potyliczny środkowy</i>	25	4,94	P	19	44	-74	7
Right fusiform gyrus <i>Prawy zakręt wrzecionowaty</i>	17	5,12	P	37	28	-55	-1
Right middle temporal gyrus <i>Prawy zakręt skroniowy środkowy</i>	15	4,21	P	37/21	52	-54	15
Left thalamus <i>Wzgórze po stronie lewej</i>	14	3,91	L		-5	-6	9
Left temporal pole <i>Lewe pole skroniowe</i>	13	4,3	L	38	-33	12	-25
Right inferior occipital gyrus <i>Prawy zakręt potyliczny dolny</i>	11	4,24	P	19	44	-84	4
Left caudate nucleus <i>Lewe jądro ogoniaste</i>	9	3,89	L		-15	17	10



Ryc. 36 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu.

Obszary, których aktywacja dla warunku pozytywnego przewyższa aktywację dla warunku negatywnego w grupie badanych mężczyzn.



Ryc. 37 Rekonstrukcja 3 D mózgu z widocznymi obszarami przedstawiającymi kontrasty dla warunku pozytywnego i negatywnego (P-N) u mężczyzn. Największa różnica w aktywacji widoczna jest w zakresie wzgórza po stronie prawej.

W wyniku odjęcia wartości aktywacji pod wpływem bodźców negatywnych od wartości pobudzeń pod wpływem emocji pozytywnych, w grupie badanych mężczyzn, największą różnicę stwierdzono w zakresie wzgórza po stronie prawej oraz w obrębie lewej bruzdy ostrogowej. Nieco mniejszą przewagę aktywacji dla warunku pozytywnego stwierdzono w zakresie lewego zakrętu skroniowego środkowego, prawego zakrętu potylicznego środkowego. Najmniejszą statystycznie znaczącą przewagę pobudzeń pozytywnych wykazano w obrębie prawego zakrętu wrzecionowatego, prawego zakrętu skroniowego środkowego, lewego wzgórza, ponadto lewego pola skroniowego - pole Brodmana 38, prawego zakrętu potylicznego dolnego oraz lewego jądra ogoniastego.

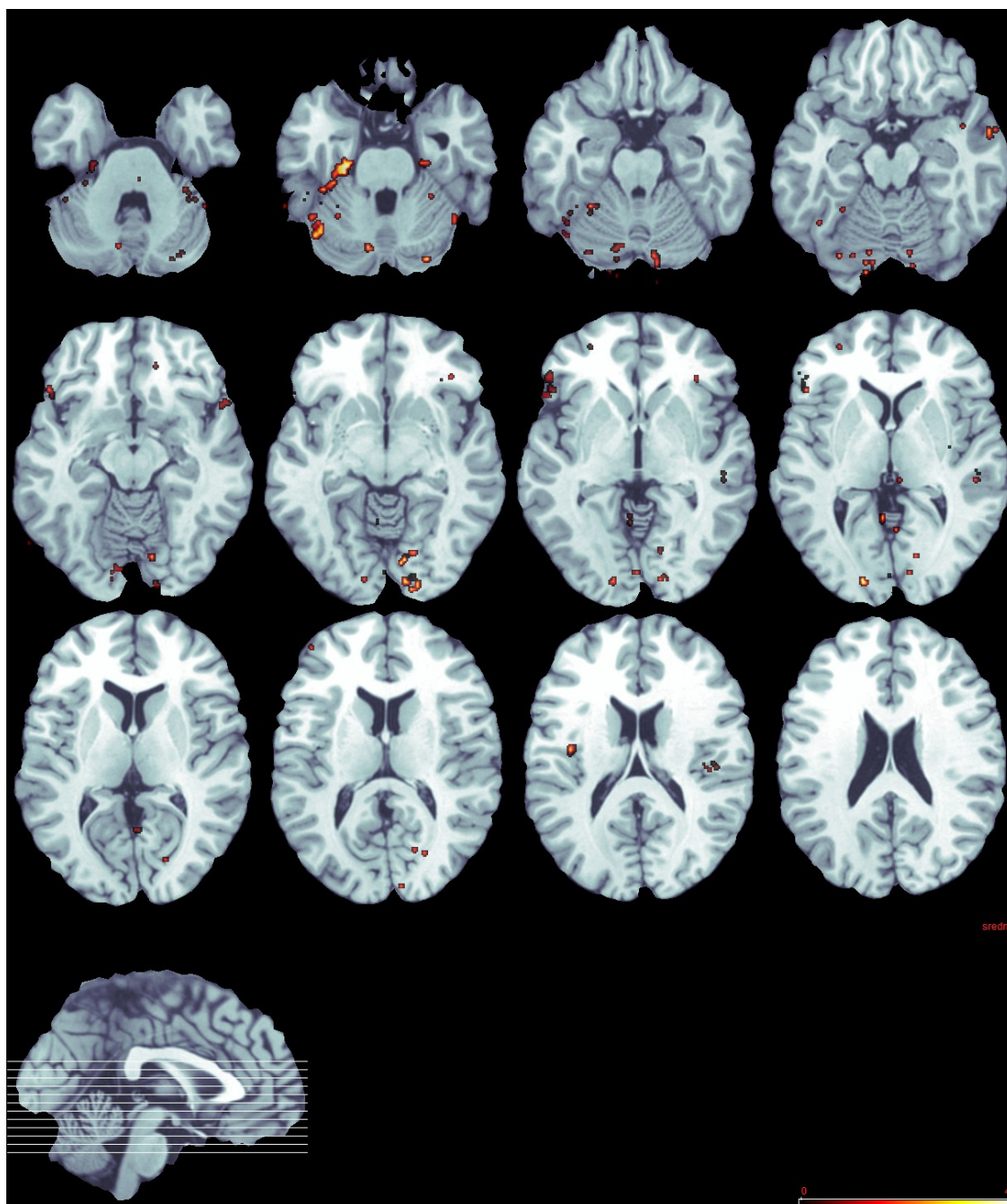
2.2.4. Ocena ośrodków, których wartość aktywacji pod wpływem emocji negatywnych przewyższała jej wartość pod wpływem emocji pozytywnych w grupie badanych mężczyzn (N-P)

W wyniku odjęcia wartości aktywacji struktur mózgowych pod wpływem pobudzenia o charakterze pozytywnym od wartości wyrażającej pobudzenia o charakterze negatywnym w grupie badanych mężczyzn uzyskano statystycznie istotne kontrasty. Przedmiotem analizy były te voxele, dla których wartość statystyk wypadła powyżej przedstawionych progów ($Z >$ lub równe 0, 0001). W analizie wyników brano pod uwagę tylko te skupiska pobudzeń, których objętość przekraczała 8 wokseli.

Wyniki przedstawiono na ryc. 38 i 39 oraz w tabeli 8.

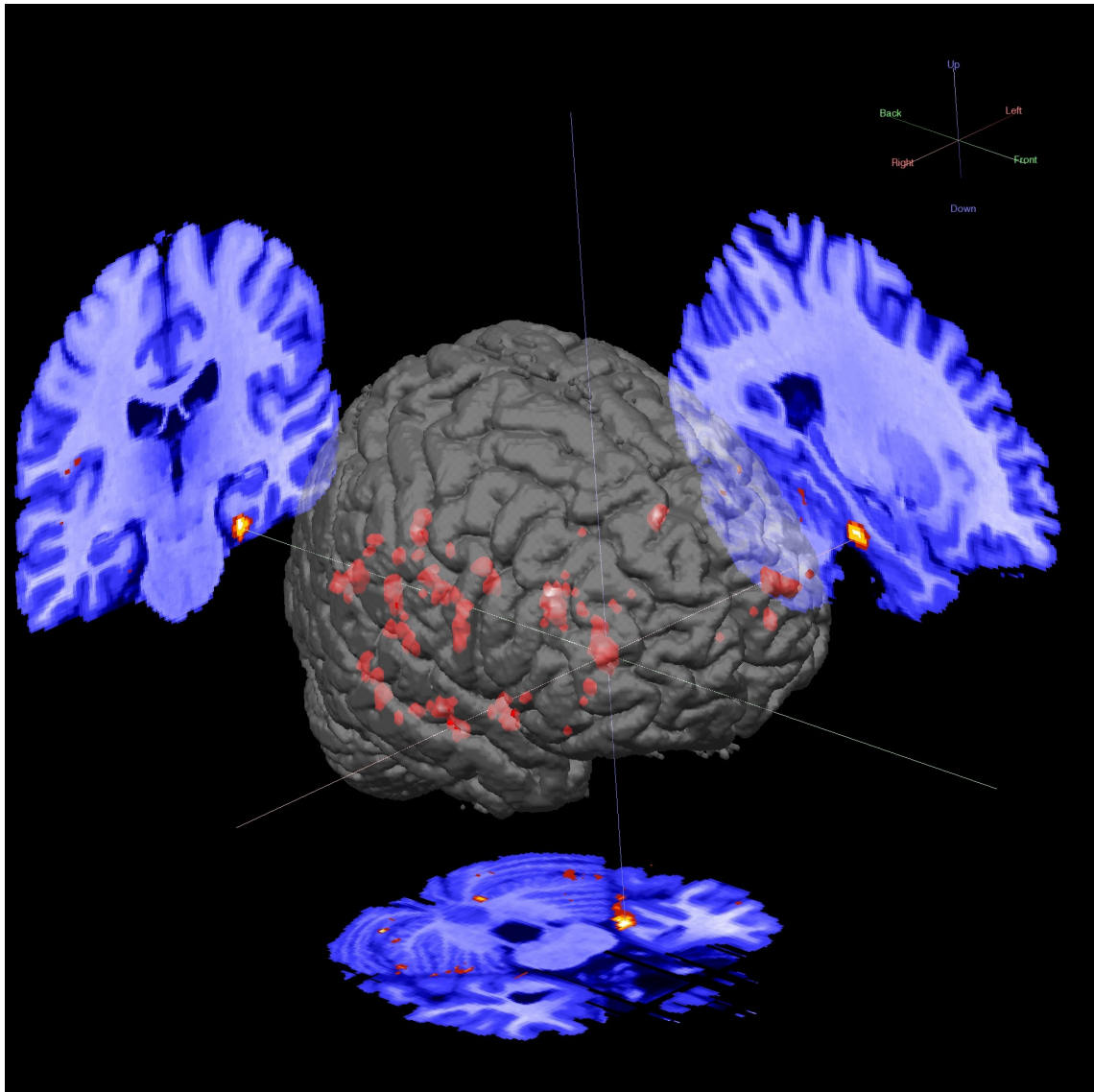
Tab. 8 Różnice w aktywacji struktur anatomicznych u mężczyzn dla warunku negatywnego i pozytywnego (N-P).

Struktura	Liczba voxeli	Max Z	Półkula	Pole Brodmanna	Talairach		
					X	Y	Z
Left fusiform gyrus <i>Lewy zakręt wrzecionowaty</i>	58	4,66	L	30/36	-23	-27	-23
Right lingual gyrus <i>Prawy zakręt językowy</i>	29	4,89	P	18	18	-88	-1
Inferior orbital/inferior frontal gyrus - triangular part <i>Część trójkątna zakrętu oczodołowego dolnego i czołowego dolnego</i>	23	3,85	L	45	-49	31	-2
Right lingual gyrus <i>Prawy zakręt językowy</i>	19	5,27	P	18	12	-76	-3
Cerebellum <i>Móżdżek</i>	18	5,63	L		-13	-86	-10
Cerebellum <i>Móżdżek</i>	18	4,94	L		-11	-73	-14
Cerebellum <i>Móżdżek</i>	13	4,89	L		-41	-64	-18
Cerebellum <i>Móżdżek</i>	11	3,8	L		-27	-46	-18
Cerebellum <i>Móżdżek</i>	11	5,5	P		32	-37	-26
Left insula <i>Lewa wyspa</i>	8	3,61	L		-37	-9	15



Ryc. 38 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu.

Obszary, których aktywacja dla warunku negatywnego przewyższa aktywację dla warunku pozytywnego w grupie badanych mężczyzn.



Ryc. 39 Rekonstrukcja 3 D mózgu z widocznymi obszarami przedstawiającymi kontrasty dla warunku negatywnego i pozytywnego (N-P) u mężczyzn. Największa różnica w aktywacji widoczna jest w zakresie lewego zakrętu wrzecionowatego.

Odejmując wartości pobudzeń dla warunku pozytywnego pobudzenia od wartości pobudzeń pod wpływem emocji negatywnych, w grupie badanych mężczyzn, stwierdzono największą przewagę pobudzeń o charakterze negatywnym w zakresie lewego zakrętu wrzecionowatego. Nieco mniejszą przewagę aktywacji zaobserwowano w obszarze zakrętu językowego obustronnie (lingual gyrus), lewego zakrętu oczodołowego dolnego i mózdzku obustronnie. Najmniejszą statystycznie znaczącą przewagę pobudzeń negatywnych wykazano u mężczyzn w obrębie lewej wyspy.

VI. OMÓWIENIE WYNIKÓW I DYSKUSJA

1. Omówienie efektów prostych

Podobnie jak w pracach autorów badających zjawiska emocji, dla wszystkich otrzymanych efektów prostych największą aktywację ośrodków emocji u kobiet i mężczyzn, zarówno dla warunku pozytywnego jak i negatywnego pobudzenia, stwierdzono w obszarze kory wzrokowej (zakręty potyliczne, zakręty wrzecionowate i zakręty językowe) [1, 71, 101] oraz w obrębie ciała migdałowatego. Zwiększona aktywacja w obszarze kory wzrokowej w grupie kobiet i mężczyzn (łącznie) oraz osobno w każdej z wymienionych grup, w przypadku pobudzeń o charakterze pozytywnym jak i negatywnym wywoływanych oglądaniem obrazów emocjonalnie znaczących, potwierdza teorię Langa o zwiększeniu procesów uwagowych, związanych w tym przypadku z patrzeniem w sytuacji oglądania treści emocjonalnie znaczących, co w literaturze anglojęzycznej określane jest jako procesy typu top down [71]. Ma to związek ze szlakami połączeń ciała migdałowatego i kory wzrokowej. Szczególną uwagę należy zwrócić na rolę zakrętu wrzecionowatego, który uznano za strukturę biorącą udział w analizie obrazu twarzy, a ponadto w złożonej analizie przypominania czy wyobrażania sobie danego obrazu, w którym twarz może stanowić jeden z elementów [1].

Wyniki takie jak uzyskano w niniejszej pracy otrzymało szereg badaczy, którzy wykazali aktywację ciała migdałowatego w procesach związanych zarówno z pozytywnym jak i negatywnym afektem [31, 43, 50, 67, 97]. Wynika z nich bezsporna rola ciała migdałowatego w przetwarzaniu emocji negatywnych. Zostało to potwierdzone zarówno w badaniach na zwierzętach [30, 69, 73], w badaniach ludzi z uszkodzonymi płacami skroniowymi [72, 108] jak i nieinwazyjnymi metodami neuroobrazowania, takimi jak PET [49, 67, 77, 111, 118] i fMRI [13, 14, 19, 56, 65, 88, 94, 114]. Rola ciała migdałowatego w przetwarzaniu emocji pozytywnych nie jest tak jednoznacznie udowodniona. Paradiso wręcz neguje udział ciała migdałowatego w emocjach pozytywnych [86]. Należy podkreślić, że w niniejszej pracy w grupie badanych kobiet i mężczyzn (łącznie) zarówno dla warunku negatywnego jak i pozytywnego uzyskano znamiennej obustronną aktywację ciała migdałowatego.

Trwają dyskusje dotyczące lateralizacji ośrodków emocji, jednak różnorodność hipotez wskazuje na złożoność tego problemu i konieczność kontynuacji badań w tym kierunku

[4]. Wyniki naszych badań wskazują na obustronną aktywację ciała migdałowatego, co jest zgodne z opinią większości autorów [13, 14, 43, 56, 65, 77, 92, 114]. Zdecydowana mniejszość stoi na stanowisku lateralizacji emocji, a wśród nich można wyodrębnić dwa główne stanowiska. Pierwsze stanowisko wskazuje na dominację prawej półkuli w percepcji zarówno pozytywnych jak i negatywnych emocji, lewej półkuli przypisując głównie funkcje poznawcze. Jest to jeden z najstarszych sposobów ujmowania zagadnienia emocji, oparty na badaniach behawioralnych, które wskazywały, że lewa połowa twarzy wykazuje większą ekspresję emocjonalną [102]. Ponadto wykazano, że emocjonalna intonacja głosu (prozodia) jest lepiej rozpoznawana, gdy jest odbierana przez lewe ucho [35] oraz że obrazy prezentowane w lewym polu wzrokowym (czyli odbierane najpierw przez prawą półkulę), wywołują większą odpowiedź układu autonomicznego niż strona przeciwna [9, 107]. Zgodnie z drugim stanowiskiem lewa półkula bierze udział w przetwarzaniu emocji o charakterze pozytywnym, prawa – emocji o charakterze negatywnym [27, 47, 98, 102].

Porównując wyniki wielu badań (meta-analiza) należy zwrócić uwagę na możliwość modyfikacji teorii lateralizacji, która dotyczy określonych struktur mózgowia aktywowanych pod wpływem emocji, w której należałoby również uwzględnić kryterium płci.

Szczegółowe różnice dotyczące kobiet i mężczyzn w aktywacji określonego rodzaju emocji zostaną przeanalizowane (także pod kątem lateralizacji) w drugiej części dyskusji.

2. Omówienie wyników badań przeprowadzonych w paradygmacie eksperymentalnego planu czynnikowego

2.1. Omówienie wyników badań wpływu płci na wzorzec pobudzenia emocjonalnego

Należy podkreślić, że niewielu autorów przeprowadzało eksperymenty z zastosowaniem współczesnych technik neuroobrazowania, w których uwzględniano różnice w pobudzeniu ośrodków emocji u kobiet i mężczyzn [19, 101, 117], przy czym według wiedzy autora w podobnym jak nasz paradygmacie przeprowadzony został eksperyment Wrase'a. Autorzy wspomnianego eksperymentu również wykorzystali technikę fMRI i prezentując obrazy zaczerpnięte z zestawu IAPS badali różnice w funkcjonowaniu ośrodków emocji u kobiet i mężczyzn. Badania przeprowadzono na znacznie mniejszej

grupie, która obejmowała dziesięć kobiet (średnia wieku 43 lata) i dziesięciu mężczyzn (średnia wieku 40 lat). Wyniki tego eksperymentu zwróciły uwagę na konieczność rozważania różnic międzypłciowych podczas badań zjawiska emocji przy pomocy fMRI. W przypadku reakcji na bodźce o charakterze pozytywnym największą przewagę u kobiet w stosunku do mężczyzn stwierdzono w obrębie prawego zakrętu skroniowego górnego, co potwierdzałoby psychologiczne teorie rozbudowanej analizy odbieranych bodźców emocjonalnych przez kobiety (w tym przypadku wzrokowych) w aspekcie doświadczeń socjologicznych [112]. Ponadto może to przemawiać za dokładniejszym od mężczyzn rozpoznawaniem dynamiki wyrazu twarzy, związanego z wyrażaną przez twarz emocją oraz kierunkiem patrzenia. Należy zwrócić uwagę, że przewaga pobudzenia w obrębie lewego zakrętu przyhipokampowego i lewego hipokampa może potwierdzać badania Cahilla, co do lewostronnej aktywacji u kobiet struktur biorących udział zarówno w procesach przetwarzania emocji jak i danych pamięciowych, za które głównie jest odpowiedzialny hipokamp [17]. Należy przypomnieć, że w warunkach pozytywnych kobietom pokazywano obrazy przedstawiające uśmiechnięte dzieci, co mogło wywołać przypominanie własnych doświadczeń. Ponadto przewaga aktywacji w zakresie hipokampa wskazuje na lepsze zapamiętywanie przez kobiety treści emocjonalnie znaczących o wydźwięku pozytywnym.

Należy nadmienić, że meta-analiza Wagera, również potwierdziła wyniki niniejszej pracy, wykazując większą aktywację w obszarze przyhipokampowym u kobiet niż u mężczyzn, co pozwoliło na zwrócenie uwagi na różnice płciowe w aktywacji pamięci emocjonalnej w zakresie układu limbicznego oraz zasugerowało potrzebę kontynuacji badań w tym kierunku [112].

Analizując ośrodki, które uległy większej aktywacji u mężczyzn niż u kobiet pod wpływem emocji pozytywnych, należy zwrócić uwagę na zdecydowaną przewagę pobudzeń w obszarze kory wzrokowej obejmującej obustronnie zakręty potyliczne i zakręty wrzecionowate. Efekt tego eksperymentu przemawia za większym skupieniem się mężczyzn na percepcji i analizie emocjonalnie znaczącego bodźca, czyli za zwiększeniem procesów uwagowych pod wpływem silnego pobudzenia (w tym przypadku pozytywnego), co potwierdzają wyniki meta-analizy przeprowadzonej na podstawie 65 badań nad emocjami, która uwzględniała walencję emocji, płeć i lateralizację [112]. Podobne wyniki uzyskali również D.Sabatinelli z zespołem, którzy wykazali zwiększoną aktywację u mężczyzn w obszarze kory wzrokowej pod wpływem bodźców pozytywnych o zabarwieniu erotycznym. Nie wykazali oni natomiast różnic płciowych w aktywacji

kory wzrokowej pod wpływem treści neutralnych przedstawiających sceny z życia rodzinnego [101]. Jane Wrase, przeprowadzając podobny eksperyment jak w niniejszej pracy, uwzględniający zarówno czynnik płci jak i rodzaj pobudzenia, potwierdził dla opisywanego warunku uzyskaną w naszym eksperymencie przewagę aktywacji u mężczyzn w płacie czołowym (zakręt czołowy dolny lewy) oraz w zakrętach wrzecionowatych [117]. Z kolei Lang opisał zjawisko zwiększonej aktywacji kory wzrokowej u uczestników eksperymentu, którzy, podobnie jak włączeni do niniejszej pracy ochotnicy, oglądali obrazy zaczerpnięte z IAPS, zarówno dla emocji pozytywnych jak i negatywnych, nie różnicując grupy według płci (w eksperymencie wzięło udział 12 mężczyzn i 6 kobiet) [71]. Podobne wyniki w eksperymencie z PET uzyskał Lane [67].

Dla warunku negatywnego w analizie różnic pobudzenia u kobiet w stosunku do mężczyzn, zwraca uwagę zdecydowanie większa aktywacja w obrębie wzgórza po stronie lewej oraz w obu okolicach oczodołowo-czołowych - pole Brodmana 11, będących komponentą drogi odpowiedzialnej za świadomą identyfikację bodźca wywołującego emocje. Wynika to z dróg projekcyjnych z grzbietowo-przyśrodkowego jądra wzgórza do kory oczodołowo- czołowej.

Ośrodki zlokalizowane w płatach czołowych dokonują oceny działającego bodźca, w tym przypadku opartego na informacji otrzymanej z kory wzrokowej oraz z ciała migdałowatego. Przewagę aktywacji w obrębie lewego wzgórza u kobiet potwierdzają wyniki meta-analizy przeprowadzonej na podstawie 65 badań nad emocjami [112]. Wager, który do zwojów podstawy zaliczył wzgórze, przytacza argumentację, że jedną z podstawowych funkcji zwojów podstawy w emocjach jest zaprogramowanie i zapoczątkowanie zmiany zachowania pod wpływem działającego bodźca [2]. W przypadku negatywnego afektu zwoje podstawy mogą odpowiadać za szybkie opracowanie planu działania, w celu pokonania niebezpieczeństwa, prowadząc do ogniskowej aktywacji układu implementującego bardziej stereotypowy model odpowiedzi. Również w badaniach na zwierzętach potwierdzono rolę wzgórza w autonomicznej odpowiedzi na bodźce wywołujące emocje, w postaci zmiany częstości akcji serca [60, 75]. Aktywację wzgórza w procesie przetwarzania emocji uzyskali również inni badacze [64, 67].

Lane, który przeprowadzał eksperyment z udziałem kobiet, wykazał aktywację wzgórza zarówno pod wpływem pozytywnych, jak i negatywnych emocji [67]. Eksperyment polskich autorów wykorzystujący fMRI, z udziałem mężczyzn, wykazał aktywację

wzgórza podczas oglądania obrazów z zestawu IAPS, mających wywołać emocje pozytywne (badanie przeprowadzone na mniejszej grupie – 16 mężczyzn) [64].

Jane Wrase wykazała przewagę aktywacji u kobiet prawego zakrętu czołowego dolnego, podczas gdy eksperyment opisywany w niniejszej pracy wywołał większą aktywację obu zakrętów czołowych górnych. Należy zaznaczyć, że różnice wyników mogą wynikać z dwukrotnie mniejszej liczby przebadanych kobiet i mężczyzn przez wspomnianych autorów [117].

Zdecydowanie bardziej uległa aktywacji lewa wyspa u mężczyzn w stosunku do kobiet pod wpływem emocji o charakterze negatywnym. Jest to zgodne ze spostrzeżeniami innych badaczy. Większą aktywację lewej wyspy i prążkowie u mężczyzn potwierdziła meta-analiza przeprowadzona przez Wagera. Stwierdzono także, że wyspa wraz z brzuszną częścią prążkowie jest aktywowana podczas rozpoznawania twarzy wyrażających wstręt, który z pewnością mógł być indukowany oglądanymi obrazkami przedstawiającymi zdjęcia z kronik policyjnych mające wywołać negatywne emocje [90, 93, 94]. W wynikach własnych również stwierdza się przewagę aktywacji prążkowie (prawe jądro ogoniaste). Według niektórych autorów przednia część wyspy aktywuje się pod wpływem percepcji bólu, podczas indukowanego smutku i strachu, jak również jej pobudzenie może przemawiać za wewnętrznymi generowanymi emocjami oraz w procesie poczucia winy [91].

Ponadto w opisywanym, w prezentowanej pracy, warunku pobudzenia u mężczyzn (bodźce negatywne) przeważa aktywacja zakrętów skroniowych środkowego i dolnego oraz zakrętu wrzecionowatego, wchodzących w obszar kory wzrokowej, co znowu przemawia za przewagą procesów uwagowych u mężczyzn w porównaniu z kobietami w sytuacjach emocji negatywnych. Większa aktywacja lewego zakrętu czołowego środkowego oraz przedniej części zakrętu obręczy, świadczy o większym przetwarzaniu informacji związanych z procesami poznawczymi i emocjonalnymi u mężczyzn, związanych z przekierowaniem uwagi na analizę wrażeń wzrokowych pod kątem wewnętrznego generowanej, moralnej oceny sytuacji [15]. Przedstawione wyniki częściowo potwierdzają rezultaty eksperymentu M. Phillips przeprowadzanego przy pomocy fMRI w grupie mężczyzn, którym pokazywano twarze wyrażające strach oraz twarze wyrażające wstręt. W pierwszej sytuacji przeważała aktywacja w obszarze zakrętu obręczy, w drugim przypadku w obszarze wyspy [90].

Grupa niemieckich uczonych pod kierunkiem A. Schienle przeprowadziła eksperyment z udziałem dość dużej grupy kobiet i mężczyzn (41 kobiet i 51 mężczyzn), w którym

badano przy pomocy fMRI, wykorzystując obrazy zaczerpnięte z zestawu IAPS, międzyplciowe różnice w odczuwaniu emocji negatywnych, takich jak wstręt i strach [103]. Wyniki powyższego eksperymentu wykazały większe zaangażowanie u mężczyzn (w porównaniu z kobietami) lewego zakrętu wrzecionowatego podczas odczuwania emocji strachu, co potwierdza wyniki niniejszej pracy. Praca niemieckich autorów nie wykazała natomiast istotnych różnic u kobiet i u mężczyzn w aktywacji ośrodków emocji pod wpływem uczucia wstrętu (do jego wywołania wybrano obrazy, które nie wyrażały agresji).

Ponadto niektórzy autorzy wskazują na dużą rolę orientacji seksualnej, jeżeli chodzi o ostateczny efekt pobudzenia emocjonalnego mózgu. Interesujące są badania Quazi Rahman, które wskazują na fakt, że heteroseksualne kobiety znacznie lepiej rozpoznają emocjonalny wyraz twarzy niż heteroseksualni mężczyźni [95]. Jednocześnie sugerują, że homoseksualni mężczyźni podobnie rozpoznają emocjonalny wyraz twarzy jak heteroseksualne kobiety oraz że homoseksualne kobiety nie wykazują w tym aspekcie różnic od kobiet heteroseksualnych.

2.2. Omówienie wyników badań wpływu rodzaju emocji (pozytywne, negatywne) na wzorzec pobudzenia emocjonalnego u kobiet i mężczyzn

Omawiając wyniki badań wpływu rodzaju emocji (pozytywne, negatywne) na wzorzec pobudzenia emocjonalnego osobno u mężczyzn i osobno u kobiet należy podkreślić, że do tej pory przeprowadzono znikomą liczbę badań w tym paradygmacie, jednak według wiedzy autora dotychczas nie ukazały się publikacje opisujące kontrasty pobudzeń o charakterze pozytywnym i negatywnym oraz negatywnym i pozytywnym. Dostępna literatura wskazuje na kontrasty emocji o charakterze pozytywnym i neutralnym oraz negatywnym i neutralnym osobno u mężczyzn i u kobiet [117].

Badając przewagę aktywacji ośrodków emocji pod wpływem pobudzenia pozytywnego nad negatywnym u kobiet, stwierdziliśmy zdecydowanie większe pobudzenie prawego zakrętu skroniowego górnego, przedniej części lewego zakrętu obręczy, lewego zakrętu przyhipokampowego oraz prawej bruzdy ostrogowej. Może to przemawiać za intensywniejszymi procesami przypominania sobie przez kobiety zdarzeń wywołujących pozytywny afekt (lewy zakręt przyhipokampowy), jak również za lepszym rozpoznawaniem przyjemnego wyrazu twarzy na podstawie odbieranych wzrokowo scen (zakręt skroniowy górny). Ciekawym wynikiem okazała się większa aktywacja przedniej

części zakrętu obręczy (ACC) u kobiet w emocjach pozytywnych, gdyż wielu autorów wykazało jej aktywację w emocjach negatywnych, jednak nie dokonali oni podziału na płeć, stąd prawdopodobnie ta różnica [15]. Sugeruje to potrzebę rozpatrywania rodzaju aktywowanej struktury w zależności od płci. Potwierdzeniem dla aktywacji ACC w emocjach pozytywnych u kobiet są badania Bartelsa i Zeki, którzy wykazali jej zwiększoną aktywację u kobiet, w najdonioślejszych pozytywnych emocjach, którymi są miłość macierzyńska (brzuszną część ACC) oraz miłość romantyczna (grzbietową część ACC) [5]. Interesujący jest efekt ich eksperymentu, który wykazał przewagę aktywacji kompleksu hipokampa dla miłości romantycznej, zaś substancji szarej okółowodociągowej dla miłości macierzyńskiej. Powyższe wyniki potwierdzają rolę zakrętu obręczy zarówno w procesach związanych z aspektami socjologicznymi jak i emocjonalnymi. Na podstawie tych wyników nasuwa się twierdzenie, że nie tylko płeć i rodzaj afektu implementującego jego pozytywny czy też negatywny charakter, ale bardziej szczegółowe cechy każdego z nich determinują aktywację określonych struktur anatomicznych.

Przewaga aktywacji u kobiet w warunku pobudzenia negatywnego obszarów kory wzrokowej (lewego zakrętu wrzecionowatego oraz prawego zakrętu potylicznego dolnego) przemawia za zwiększoną analizą percepcji wzrokowej w sytuacjach działania bodźca negatywnego.

Wynik ten pozostaje w zgodzie z rezultatem eksperymentu A. Smitha, który badał zależność pomiędzy rodzajem emocji, odzyskiwaniem danych z pamięci a pobudzeniem i potwierdził większą aktywację lewego zakrętu wrzecionowatego pod wpływem przypominania treści negatywnych niż w przypadku wspomnień treści pozytywnych. W pracy tej nie brano jednak pod uwagę czynnika płci [105].

Większa aktywacja ośrodków emocji w obszarze kory czołowej dla warunku negatywnego nie została potwierdzona w metaanalizie Wagera, jednak autorzy nie brali pod uwagę podziału według płci, tylko rozpatrywali sumaryczną reakcję kobiet i mężczyzn na efekt pobudzenia negatywnego [112]. Powyżej wymieniona metaanaliza potwierdziła natomiast większą aktywację ośrodków w zakresie mózdzku dla warunku negatywnego pobudzenia. G. Northoff z zespołem w swojej pracy pt. „Functional Dissociation between Medial and Lateral Prefrontal Cortical Spatiotemporal Activation in Negative and Positive Emotions” opisują zwiększoną aktywację w korze oczodołowo-czołowej podczas stymulacji bodźcami negatywnymi, stwierdzoną w badaniach przy

pomocy MEG oraz fMRI [84]. Badacze ci jednak, podobnie jak Wager, nie dokonali podziału ze względu na płeć.

Porównując ośrodki, które u mężczyzn uległy zdecydowanie większej aktywacji pod wpływem emocji pozytywnych aniżeli negatywnych, należy wymienić przede wszystkim wzgórze, co może przemawiać za jego większym udziałem w regulacji autonomicznej odpowiedzi na bodziec pozytywny. To spostrzeżenie jest zgodne z wynikami eksperymentu polskich autorów, którzy badali wpływ rodzaju działającej emocji (pozytywna, negatywna) u mężczyzn w kontekście pobudzenia układu autonomicznego, poprzez rejestrację zmiany częstości akcji serca [64].

Ciekawym wynikiem jest przewaga pobudzenia prawego zakrętu wrzecionowatego pod wpływem emocji pozytywnych, zaś lewego zakrętu wrzecionowatego pod wpływem emocji negatywnych u mężczyzn, co potwierdza wyniki Breitera, który wykazał aktywację zakrętów wrzecionowatych u mężczyzn zarówno podczas oglądania twarzy radosnych jak i przestraszonych [13]. Porównując różnice w aktywacji ośrodków emocji u mężczyzn (pozytywne - negatywne, negatywne - pozytywne) stwierdza się zarówno w jednym jak i w drugim przypadku pobudzenie kory wzrokowej, zaś precyzyjne różnice wskazują na pobudzenie nieco innych obszarów kory wzrokowej w przypadku emocji pozytywnych i negatywnych. W pierwszym przypadku zauważono przewagę w aktywacji lewego zakrętu skroniowego środkowego oraz prawego zakrętu potylicznego dolnego i środkowego, w drugim natomiast przeważała aktywacja lewego zakrętu wrzecionowatego oraz zakrętu językowego. Mogłoby to sugerować większą aktywację struktur odpowiedzialnych za rozpoznawanie twarzy u mężczyzn w przypadku emocji negatywnych oraz struktur związanych z oceną wrażeń wizualnych w kontekście socjologicznym - w przypadku emocji pozytywnych. Przewaga aktywacji lewej wyspy w przypadku emocji negatywnych została potwierdzona przez innych badaczy, co może wskazywać na wzbudzenie wstępu pod wpływem oglądania obrazów o treściach negatywnych [94, 112]. Ciekawym wynikiem jest przewaga aktywacji mózdku dla pobudzenia negatywnego zarówno w grupie badanych kobiet jak i mężczyzn. Biorąc pod uwagę funkcje mózdku i jego liczne szlaki połączeń z korą, wzgórzem i pniem mózgu, wyniki powyższe sugerują zwiększoną kontrolę mózdku nad napięciem mięśniowym w przypadku zadziałania emocji o charakterze negatywnym. Ma to na celu zwiększoną modulację aktywności ruchowej (zainicjowaną przez korę), poprzez odpowiednie rozłożenie siły skurczu mięśni i nadanie odpowiedniej koordynacji ruchom, co w

sytuacjach zagrożenia może mieć kluczowe znaczenie dla przetrwania. Podobne wyniki wykazał Wager [112].

VII. WNIOSKI

1. Wyniki opisanego eksperymentu wyraźnie pokazały, że aktywacja określonego ośrodka strukturalnego emocji zależy zarówno od płci jak i od rodzaju pobudzenia. Wykazaliśmy różnice w lokalizacji ośrodków emocji u kobiet i mężczyzn w procedurze uwzględniającej zarówno czynnik płci jak i rodzaj pobudzenia.
 - Dla warunku eksperymentalnego o charakterze pozytywnym największa różnica w aktywacji u kobiet w stosunku do mężczyzn występuje w obrębie prawego zakrętu skroniowego górnego.
 - Dla warunku eksperymentalnego o charakterze pozytywnym największa przewaga w aktywacji u mężczyzn w stosunku do kobiet występuje w obrębie obu płatów potylicznych.
 - Dla warunku eksperymentalnego o charakterze negatywnym największa przewaga w aktywacji u kobiet w stosunku do mężczyzn występuje w zakresie wzgórza po stronie lewej.
 - Dla warunku eksperymentalnego o charakterze negatywnym największa przewaga w aktywacji u mężczyzn w stosunku do kobiet występuje w zakresie lewej wyspy.
2. Aktywacja poszczególnych ośrodków emocji zależy od walencji emocji i jest różna dla emocji o charakterze pozytywnym i negatywnym u kobiet.
 - W grupie badanych kobiet największa przewaga dla pobudzeń o charakterze pozytywnym w stosunku do pobudzeń o charakterze negatywnym występuje w obszarze prawego zakrętu skroniowego górnego.
 - W grupie badanych kobiet największa przewaga dla pobudzeń o charakterze negatywnym w stosunku do pobudzeń o charakterze pozytywnym występuje w obrębie lewego zakrętu wrzecionowatego.
3. Aktywacja poszczególnych ośrodków emocji zależy od walencji emocji i jest różna dla emocji o charakterze pozytywnym i negatywnym u mężczyzn.
 - W grupie badanych mężczyzn największa przewaga dla pobudzeń o charakterze pozytywnym w stosunku do pobudzeń o charakterze negatywnym występuje w obszarze wzgórza po stronie prawej.

- W grupie badanych mężczyzn największa przewaga dla pobudzeń o charakterze negatywnym w stosunku do pobudzeń o charakterze pozytywnym występuje w obrębie lewego zakrętu wrzecionowatego.
4. Brak zdecydowanych różnic w aktywacji ciała migdałowatego dla wyżej opisanych warunków potwierdza jego kluczową rolę w procesie przetwarzania emocji, w naszym przypadku zarówno pozytywnych jak i negatywnych u obu płci. Dodatkowym potwierdzeniem powyższego stwierdzenia są wyniki otrzymanych w niniejszej pracy efektów prostych, które wykazały znamiennej obustronnej aktywację ciała migdałowatego dla łącznej grupy kobiet i mężczyzn zarówno dla warunku negatywnego jak i pozytywnego pobudzenia.

VIII. PIŚMIENNICTWO

1. Adolphs R: Neural systems for recognizing emotion. *Curr Opin Neurobiol*, 2002; 12: 169-177
2. Aldridge JW, Thompson JF, Gilman JF: Unilateral striatal lesions in the cat disrupt well-learned motor plans in a GO/NO-GO reaching task. *Exp Brain Res*, 1997; 113: 379-393
3. Anderson SW, Bechara A, Damasio H, Tranel D, Damasio AR: Impairment of social and moral behavior related to early damage of human prefrontal cortex. *Nat Neurosci*, 1999; 2: 1032-1037
4. Baas D, Aleman A, Kahn RS: Lateralization of amygdale activation: a systematic review of functional neuroimaging studies. *Brain Res Rev*, 2004; 45: 96-103
5. Bartels A, Zeki S: The neural correlates of maternal and romantic love. *NeuroImage*, 2004; 21: 1155-1166
6. Baxter M, Murray E: The amygdale and reward. *Nat Rev Neurosci*, 2002; 3: 563-573
7. Bechara A, Tranel D, Damasio H, Adolphs R: Double dissociation of conditioning and declarative knowledge relative to the amygdala and hippocampus in humans. *Science*, 1995; 269: 1115-1118
8. Beckmann CF, Jenkinson M, Smith SM: General multi-level linear modelling for group analysis in fMRI. *NeuroImage*, 2003; 20: 1052-1063
9. Borod JC, Koff E, Yecker S, Santschi C, Schmidt JM: Facial asymmetry during emotional expression: gender, valence, and measurement technique. *Neuropsychologia*, 1998; 36: 1209-1215
10. Borod JC, Welkowitz J, Alpert M, Brozgold AZ, Martin C, Peselow E, Diller L: Parameters of emotional processing in neuropsychiatric disorders: conceptual issues and a battery tests. *J Commun Disord*, 1990; 23: 147-271
11. Bowers D, Blonder LX, Heilman KM: The Florida Affect Battery, Experimental Edition, Gainesville FL: University of Florida 1991
12. Bradley MM, Cuthbert BN, Lang PJ: Picture media and emotion: Effects of a sustained affective content. *Psychophysiology*, 1996; 33: 662-670

13. Breiter HC, Etscoff NL, Whalen PJ, Kennedy WA, Rauch SI, Buckner RI: Response and habituation of the human amygdale during visual processing of facial expression. *Neuron*, 1996; 17: 875-887
14. Buchel C, Morris J, Dolan RJ, Friston KJ: Brain systems mediating aversive conditioning: an event-related fMRI study. *Neuron*, 1998; 20: 947-957
15. Bush G, Luu P, Posner MI: Cognitive and emotional influences in anterior cingulated cortex. *Trends Cognit Sci*, 2000; 4:215-222
16. Cahill L, Gorski L, Le K: Enhanced human memory consolidation with post-learning stress: interaction with degree of arousal at encoding. *Learn Mem*, 2003; 10: 270-274
17. Cahill L, Haier RJ, White NS, Fallon J, Kilpatrick L, Lawrence C, Potkin SG, Alkire MT: Sex-related difference in amygdale activity during emotionally influenced memory storage. *Neurobiol Learn Mem*, 2001; 75: 1-9
18. Calder A, Lawrence AD, Young AW: Neuropsychology of fear and loathing. *Nat Rev Neurosci*, 2001; 2: 352-363
19. Canli T, Desmond JE, Zhao Z, Gabrieli JDE: Sex differences in the neural basis of emotional memories. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2002: 10789-10794
20. Clark MS, Williamson GM: Moods and social judgements. In: Wagner H, Manstead A(eds): *Handbook of social psychophysiology*, Chichester, Wiley, 1989, pp. 347-370
21. Collet L, Duclaux R: Hemispheric lateralization of emotions: absence of electrophysiological arguments. *Physiol Behav*, 1987; 40: 215-220
22. Dalgleish T: The emotional brain. *Nat Rev Neurosci*, 2004; 5: 582-589
23. Damasio AR, Grabowski TJ, Bechara A, Damasio H, Ponto LL, ParviziJ, Hichwa RD: Subcortical et cortical brain activity during the feeling of self-generated emotions. *Nat Neurosci*, 2000; 3: 1049-1056
24. Damasio AR: The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Phil Trans R Soc Lond B*, 1996; 351: 1413-1420
25. Darvas F, Pantasis D, Kucukaltun-Yildirim E, Leahy RM: Mapping human brain function with MEG and EEG: methods and validation. *NeuroImage*, 2004; 23:289-299
26. David AS: Perceptual asymmetry for happy-sad chimeric faces: effects of mood. *Neuropsychologia*, 1989; 27: 1289-1300
27. Davidson RJ, Fox NA: Asymmetrical brain activity discriminates between positive and negative affective stimuli in human infants. *Science*, 1982; 218: 1235-1237

28. Davidson RJ, Irwin W: The functional neuroanatomy of emotion and affective style. *Trends Cognit Sci*, 1999; 1: 11-21
29. Davidson RJ: Anterior cerebral asymmetry and the nature of emotion. *Brain Cogn*, 1992; 20: 125-151
30. Davis M., Whalen P.: The amygdale: vigilance and emotion. *Mol Psychiatry*, 2001; 6: 13-34
31. Davis M: Neurobiology of fear responses: the role of the amygdala. *J Neuropsychiatr Clin Neurosci*, 1997; 9: 382-402
32. Egan G, Morris R, Stringer A, Ewert J, Collins L: Assessment of emotional perception in right and left hemisphere stroke patients: a validation study. *J Clin Exp Neuropsychol*, 1990; 12: 51
33. Ekman P, Friesen WV: Measuring facial movement. *J Environ Psychol*, 1976; 1: 56-75
34. Ekman P: Facial expression and emotion. *Am Psychol*, 1993; 48: 384-392
35. Erhan H, Borod JC, Tenke CE, Bruder GE: Identification of emotion in a dichotic listening task: event-related brain potential and behavioral findings. *Brain Cogn*, 1998; 37: 286-307
36. Fehr B, Russell JA: Concept of emotion viewed from a prototype perspective, *J Exp Psychol: General*, 1984; 113, s. 464-486
37. Fendt M, Fanselow MS: The neuroanatomical and neurochemical basis of conditioned fear. *Neurosci Biobehav Rev*, 1999; 23: 743-760
38. Forgas JP, Moylan S: After the movies: The effect of mood on social judgments. *Pers Soc Psychol Bull*, 1987; 13: 465-477
39. Forgas JP: Mood and judgment: The affect infusion model(AIM). *Psychol Rev*, 1995; 117: 39-66
40. Fox PT, Mintun MA, Raichle ME, Herscovitch P: A noninvasive approach to quantitative functional brain mapping with H₂ (O¹⁵)O and positron emission tomography. *J Cereb Blood Flow Metab*, 1984; 4: 329-333
41. Fridlund AJ: *Human Facial Expression: an evolutionary view*. Academic Press, San Diego, CA, 1994
42. Frijda NH: Emotion, cognitive structure, and action tendency. *Cogn Emot*, 1987; 1: 115-143

43. Garavan JC, Pendergrass JC, Ross TJ, Stein EA, Risinger RC: Amygdala response to both positively and negatively valenced stimuli. *Neuroreport*, 2001; 12: 2779-2783
44. George MS, Ketter TA, Parekh PI, Herscovitch P, Post RM: Gender differences in regional cerebral blood flow during transient self-induced sadness or happiness. *Biol Psych*, 1996; 40: 859-871
45. Goldstein JM, Seidman LJ, Horton NJ, Makris N, Kennedy DN, Caviness Jr, Faraone SV, Tsuang MT: Normal sexual dimorphism of the adult human brain assessed in vivo by magnetic resonance imaging. *Cereb Cortex*, 2001; 11: 490-497
46. Grunwald IS, Borod JC, Loraine KO, Hulya ME, Pick LH, Welkowitz J, Madigan NK, Sliwiński M, Whalen J: The effects of age and gender on the perception of lexical emotion. *Appl Neuropsychol*; 6: 226-238
47. Gur RC, Skolnick BE, Gur RE: Effects of emotional discrimination tasks on cerebral blood flow: regional activation and its relation to performance. *Brain Cogn*, 1994; 25: 271-286
48. Haidt J: The emotional dog and its rational tail: A social intuitionits approach the moral judgments. *Psychol Rev*, 2001; 108: 814-834
49. Hamann SB, Ely TD, Hoffman JM, Kilts CD: Ecstasy and agony: Activation of the human amygdale in positive and negative emotion. *Psychol Sci*, 2002; 13: 135-141
50. Hamann SB, Mao H: Positive and negative emotional verbal stimuli elicit activity in the left amygdala. *Neuroreport*, 2002; 13: 15-19
51. Hariri AR: Serotonin transporter genetic variation and the response of the human amygdale. *Science*, 2002; 297: 400-403
52. Harlow JM: Recovery from the passage of an iron bar through the head. *Hist Psychiatry* (reprint z 1868), 1993; 4: 274-281
53. Heeger DJ, Ress D: What does fMRI tell us about neuronal activity? *Nat Rev Neurosci*, 2002; 3: 142-151
54. Holmes TH, Rahe RH: The social readjustment rating scale. *J Psychosom Res*, 1967; 11: 213-218
55. Horwitz B, Friston KJ, Taylor JG: Neural modelling and functional brain imaging: An overview. *Neural netw*, 2000; 13: 829-846

56. Irwin W, Davidson RJ, Lowe MJ, Mock BJ, Sorenson JA, Turski PA: Human amygdale activation detected with echo-planar functional magnetic resonance imaging. *Neuroreport*, 1996; 7: 1765-1769
57. Izard C: *The face of emotion*. Appleton-Century-Crofts, New York 1971
58. Izard CE: Basic emotions, relations among emotions, and emotion-cognition relations. *Psychol Rev*, 1992; 100 (1): 561-565
59. Jenkinson M, Bannister P, Brady M, Smith S: Improved optimisation for the robust and accurate linear registration and motion correction of brain images. *NeuroImage*, 2002; 2: 825-841
60. Kapp BS, Whalen PJ, Supple WF, Pascoe JP: Amygdaloid contributions to conditioned arousal and sensory information processing. In Aggleton JP: *The amygdale: Neurobiological Aspects of Emotion, Memory, and Mental Dysfunction*. Wiley-Liss, New York, 1992, pp. 229-254
61. Kerr SL, Neale JM: Emotion perception in schizophrenia: specific deficit or further evidence of generalized poor performance? *J Abnorm Psychol*, 1993; 102: 312-318
62. Kling A: Differential effects of amygdectomy in male and female nonhuman primates. *Arch Sexual Behav*, 1974; 3: 129-134
63. Kubler A, Kotchoubey B, Kaiser J, Wolpaw J, Birbauer N: Brain-computer communication: Unlocking the locked-in. *Psychol Bull*, 2001; 127: 358-375
64. Kuniecki M, Urbanik A, Sobiecka B, Kozub J, Binder M: Central control of heart rate changes during visual affective processing as revealed by fMRI. *Acta Neurobiol Exp*, 2003; 63: 39-48
65. LaBar KS, Gatenby CJ, Gore J, LeDoux JE, Phelps EA: human amygdale activation during conditioned fear acquisition and extinction: A mixed-trial fMRI study. *Neuron*, 1998; 20: 937-945
66. Lane RD, Chua PL, Dolan RJ: Common effects of emotional valence, arousal and attention on neural activation during visual processing of pictures. *Neuropsychologia*, 1999; 37: 989-997
67. Lane RD, Reiman EM, Bradley MM, Lang PJ, Ahern GL, Davidson RJ, Schwartz GE: Neuroanatomical correlates of pleasant and unpleasant emotion. *Neuropsychologia*, 1997; 35: 1437-1444
68. Lang P, Bradley MM, Cuthbert BN: Emotion, attention, and the startle reflex. *Psychol Rev*, 1990; 97: 377-395

69. Lang P, Davis M, Ohman A: Fear and anxiety: animal models and human cognitive psychophysiology. *J Affect Disord*, 2000; 61: 137-159
70. Lang PJ, Bradley MM, Cuthbert BN: Emotion, motivation, and anxiety: Brain mechanisms and psychophysiology. *Biol Psychiatry*, 1998; 44: 1248-1263
71. Lang PJ, Bradley MM, Fitzsimmons JR, Cuthbert BN, Scott JD, Moulder B, Nangia V: Emotional arousal and activation of the visual cortex: An fMRI analysis. *Psychophysiology*, 1998; 35: 199-210
72. LeBar KS, LeDoux JE, Spencer DD, Phelps EA: Impaired fear conditioning following unilateral temporal lobectomy in humans. *J Neurosci*, 1995; 15: 6846-6855
73. LeDoux JE: Brain mechanisms of emotion and emotional learning. *Curr Opin Neurobiol*, 1992; 2: 191-197
74. LeDoux JE: Emotion circuits in the brain. *Annu Rev Neurosci*, 2000; 23: 155-184
75. LeDoux JE: Emotion: Clues from the brain. *Annu Rev Psychol*, 1995; 46: 209-235
76. LeDoux JE: Sensory systems and emotion: a model of affective processing. *Integr Psychiatry*, 1986; 4: 237-248
77. Liberzon I, Phan KL, Decker L, Taylor S: Extended amygdala and emotional salience: a PET activation study of positive and negative affect. *Neuropsychopharmacology*, 2003; 28: 726-733
78. Lyyken DT, Venables PH: Direct measurement of skin conductance: A proposal for standardization. *Psychophysiology*, 1971; 8: 656-672
79. Mackie DM, Worth LT: Processing deficits and the mediation of positive affect in persuasion. *J Personal Soc Psychol*, 1989; 57: 27-40
80. Malonek D, Dirnagl U, Lindauer U, Yamada K, Kanno I, Grinvald A: Vascular imprints of neuronal activity: relationships between the dynamics of cortical blood flow, oxygenation, and volume changes following sensory stimulation. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1997; 94: 14826-14831
81. McGaugh JL: Memory-a century of consolidation. *Science*, 2000; 287: 248-251
82. McGaugh JL, Roozendaal B: Role of adrenal stress hormones in the forming of lasting memories in the brain. *Curr Opin Neurobiol*, 2002; 287: 248-251
83. Morris J, Ohman A, Dolan R: Conscious and unconscious emotional learning in the human amygdale. *Nature*, 1998; 393: 467-470

84. Northoff G, Richter A, Gessner M: Functional dissociation between medial and lateral prefrontal cortical spatiotemporal activation in negative and positive emotions: a combined fMRI/MEG study. *Cereb Cortex*, 2000; 10: 93-107
85. Ogawa S, Lee TM: Magnetic resonance imaging of blood vessels at high fields: in vivo and in vitro measurements and image simulation. *Magn Reson Med.*, 1990; 16: 9-18
86. Paradiso S, Jihson DL, Andreasen NC, O'Leary DS, Watkins GL, Ponto LB, Hichwa RD: Cerebral blood flow changes associated with attribution of emotional valence to pleasant, unpleasant and neutral visual stimuli in a PET. *Am J Psychiatry*, 1999; 156: 1618-1629
87. Phan KL, Taylor SF, Welsh RC, Decker LR, Noll DC, Nichols TE, Britton JC, Liberzon I: Activation of the medial prefrontal cortex and extended amygdala by individual ratings of emotional arousal: A fMRI study. *Biol Psychiatry*, 2003; 53: 211-215
88. Phan KL, Wager T, Taylor SF, Liberzon I: Functional neuroanatomy of emotion: a meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. *NeuroImage*, 2002; 16: 331-348
89. Phelps EA: Human emotion and memory: interactions of the amygdale and hippocampal complex. *Curr Opin Neurobiol*, 2004; 14: 198-202
90. Phillips ML, Williams LM, Heining M, Herba CM, Russell T, Andrew C, Bullmore T, Brammer MJ, Williams S, Morgan M, Young AW, Gray JA: Differential neural responses to overt and covert presentations of facial expressions of fear and disgust. *NeuroImage*, 2004; 21: 1484-1496
91. Phillips ML, Drevets WC, Rauch SL, Lane R: Neurobiology of emotion perception I: the neural basis of normal emotion perception. *Biol Psychiatry*, 2003; 54: 504-514
92. Phillips ML, Medford N, Young AW, Williams L, Williams SC, Bullmore ET, Gray JA, Brammer MJ: Time courses of left and right amygdalar responses to fearful facial expressions. *Hum Brain Mapp*, 2001; 12: 193-202
93. Phillips ML, Young AW, Scott SK, Calder AJ, Andrew C, Giampietro V, Williams SR, Bullmore ET, Brammer M, Gray JA: neural responses to facial and vocal expressions of fear and disgust. *Proc R Soc Lond B*, 1998; 265: 1809-1817
94. Phillips ML, Young AW, Senior C, Brammer M, Andrew C, Calder AJ, Bullmore ET, Perret DI, Rowland D, Williams SCR, Gray JA, David AS:

- A specific neural substrate for perceiving facial expressions of disgust. *Nature*, 1997; 389: 495-498
95. Rahman Q, Wilson GD, Abrahams S: Sex, sexual orientation and identification of positive and negative facial affect. *Brain Cogn*, 2004; 54: 179-185
 96. Raichle M: BOLD insights. *Nature*, 2001; 412: 128-130
 97. Rasia-Filho AA, Londero RG, Achaval M: Functional activities of the amygdala: an overview. *J Psychiatry Neurosci*, 2000; 25: 14-23
 98. Robinson RG, Starkstein SE: Mood disorders following stroke: new findings and future directions. *J Geriatr Psychiatry*, 1989; 22: 1-15
 99. Rolls TE: Precise of the brain and emotion. *Behav Brain Sci*, 2000; 23: 177-234
 100. Ross ED, Thompson RD, Yenkosky J: Lateralization of affective prosody in brain and the callosal integration of hemispheric language functions. *Brain Lang*, 1997; 56: 27-54
 101. Sabatinelli D, Flaisch T, Bradley MM, Fitzsimmons JR, Lang PJ: Affective picture perception: gender differences in visual cortex? *Neuroreport*, 2004; 15: 1109-1112
 102. Sackeim HA, Gur RC, Saucy MC: Emotions are expressed more intensely on the left side of the face. *Science*, 1978; 202: 434-436
 103. Schienle A, Schafer A, Stark R, Walter B, Vaitl D: Gender differences in the processing of disgust-and fear-inducing pictures: an fMRI study. *NeuroReport*, 2005; 16: 277-280
 104. Small DM, Jones-Gotman M, Zatorre RJ, Petrides G, Evans AC: Flavor processing: More than the sum of its parts. *Neuroreport*, 1997; 8: 3913-3917
 105. Smith AP, Henson RN, Dolan RJ, Rugg MD: fMRI correlates of the episodic retrieval of emotional contexts. *NeuroImage*, 2004; 22: 868-878
 106. Smith SM: Fast robust automated brain extraction. *Hum Brain Mapp*, 2002; 17: 143-155
 107. Spence S, Shapiro D, Zaidel E: The role of the right hemisphere in the physiological and cognitive components of emotional processing. *Psychophysiology*, 1996; 33: 112-122
 108. Sprengelmeyer R, Young AW, Schroeder U, Grossenbacher PG, Federlein J, Buttner T, Przuntek H: Knowing no fear. *Proc R Soc Lond B Biol Sci*, 1999; 266: 2451-2456

- 109.Talairach J, Tournoux P: Co-planar stereotaxic atlas of the human brain. Thieme Medical, Stuttgart, 1988
- 110.Taylor SF, Liberzon I, Fig LM, Decker L, Minoshima S, Koeppe RA: The effects of emotional content on visual recognition memory: a PET activation study. *NeuroImage*, 1998; 8: 188-197
- 111.Taylor SF, Liberzon I, Koeppe RA: The effect of graded aversive stimuli on limbic and visual activation. *Neuropsychologia*, 2000; 38: 1415-1425
- 112.Wager TD, Phan L, Liberzon I, Taylor S: Valence, gender, and lateralization of functional brain anatomy in emotion: a meta-analysis of findings from neuroimaging. *NeuroImage*, 2002; 19: 513-531
- 113.Weiskrantz L: Behavioral changes associated with ablation of the amygdaloid complex in monkeys. *J Comp Physiol Psychol*, 1956; 49: 381-391
- 114.Whalen PJ, Rauch SL, Etscoff NL, McInerney SC, Lee MB, Jenike MA: Masked presentations of emotional facial expressions modulate amygdale activity without explicit knowledge. *J Neurosci*, 1998; 18: 411-418
- 115.Woolrich MW, Behrens TEJ, Beckmann CF, Jenkinson M, Smith SM: Multi-level linear modelling for fMRI group analysis using Bayesian inference. *NeuroImage*, 2004; 21: 1732-1747
- 116.Woolrich MW, Ripley BD, Brady JM, Smith SM: Temporal autocorrelation in Univariate Linear Modelling of fMRI data. *NeuroImage*, 2001; 14: 1370-1386
- 117.Wrase J, Sabine K, Gruesser SM, Hermann D, Flor H, Mann K, Braus DF, Heinz A: Gender differences in the processing of standardized emotional visual stimuli in humans: a functional magnetic resonance imaging study. *Neurosci Lett*, 2003; 348: 41-45
- 118.Zald DH, Hagen M, Pardo JV: Neural correlates of tasting concentrated quinine and sugar solutions. *J Neurophysiol*, 2002; 87: 1068-1075
- 119.Zald DH, Pardo JV: The neural correlates of aversive auditory stimulation. *NeuroImage*, 2002; 16: 746-753
- 120.Zald DH: The human amygdala and the emotional evaluation of sensory stimuli. *Brain Res Rev*, 2003; 41: 88-123

IX. STRESZCZENIE

Obrazowanie mózgowych ośrodków emocji przy pomocy funkcjonalnego rezonansu magnetycznego

Przetwarzanie bodźców emocjonalnych należy do kluczowych umiejętności człowieka. Umiejętność ta umożliwia prawidłowe funkcjonowanie w grupie społecznej, jaką jest rodzina i środowisko pracy. Mechanizmy leżące u podłoża centralnej analizy bodźców o znaczeniu emocjonalnym były szeroko badane zarówno u zwierząt jak i u ludzi. Pomimo faktu, że znane są podstawowe mózgowo mechanizmy przetwarzania emocji, pozostało jeszcze szereg szczegółowych pytań, na które ciągle poszukuje się odpowiedzi. W opisywanym eksperymencie, wykorzystując technikę czynnościowego rezonansu magnetycznego, badano różnice płciowe w procesie przetwarzania treści emocjonalnych o charakterze pozytywnym jak i negatywnym, w paradygmacie pasywnej percepcji.

Głównym celem pracy było:

Określenie różnic w lokalizacji ośrodków emocji u kobiet i mężczyzn.

Określenie wpływu rodzaju emocji (pozytywne, negatywne) na wzorzec pobudzenia emocjonalnego u kobiet.

Określenie wpływu rodzaju emocji (pozytywne, negatywne) na wzorzec pobudzenia emocjonalnego u mężczyzn.

Materiał stanowiła grupa 40 dorosłych ochotników w wieku od 18 do 36 lat (średnia wieku 23 lata): 21 mężczyzn (średnia wieku 24 lata) i 19 kobiet (średnia wieku 22 lata). Na przeprowadzenie eksperymentu uzyskano zgodę Komisji Etycznej Uniwersytetu Jagiellońskiego.

Badania zostały przeprowadzone metodą czynnościowego rezonansu magnetycznego, systemu Signa Horizon 1.5T (GEMS- General Electric Medical Systems), przy użyciu cewki głowowej. Warunek eksperymentalny generowano podczas sekwencji EPI, której wysoka czułość i szybkość umożliwiają rejestrację sygnału BOLD, przy następujących parametrach badania:

TR = 3000 ms, TE = 60 ms, FOV = 28x21 cm, matrix 96x96, 1NEX.

Eksperyment składał się z dwóch osobnych sesji, wykonanych w odstępie tygodniowym. We wszystkich sesjach badanemu pokazywano na przemian obrazy o znaczeniu emocjonalnym wybrane z International Affective Picture System (IAPS) oraz obrazy

neutralne którymi były kolorowe szachownice. Każda sesja eksperymentalna składała się z pięciu naprzemiennych bloków z których każdy trwał 30 sek. W każdym 30 - sekundowym bloku badanemu pokazywano trzy przezrocza (3x10sek). W pierwszym, trzecim i piątym bloku badanemu pokazywano obrazy neutralne (tj. szachownice) natomiast w drugim i czwartym bloku badanemu pokazywano obrazy o znaczeniu emocjonalnym: w pierwszej sesji negatywnym natomiast w drugiej sesji pozytywnym.

Wyniki eksperymentu wykazały w grupie kobiet i mężczyzn (łącznie) w warunkach pobudzenia bodźcami o charakterze pozytywnym największą aktywację w obrębie zakrętu potylicznego dolnego prawego (99%), w zakresie lewego ciała migdałowatego (97%) oraz w obrębie zakrętu potylicznego dolnego lewego (95%). Nieco mniejsza aktywacja wystąpiła w zakresie skorupy po stronie lewej (82%), gałki bladej po stronie prawej (78%), wzgórza lewego i prawego (75% i 72%), prawego ciała migdałowatego (73%), gałki bladej prawej i lewej (78% i 69%), hipokampa lewego i prawego (66% i 59%), mózdzku (60%). Najmniejsza statystycznie znacząca aktywacja pojawiła się w obszarze mózdzku (53 - 55%) oraz lewego zakrętu wrzecionowatego (51%).

W grupie badanych kobiet i mężczyzn (łącznie) w warunkach pobudzenia bodźcami o charakterze negatywnym największą aktywację uzyskano w obrębie obu zakrętów potylicznych dolnych, bo aż 99%. Niewiele mniejszą aktywację w gałkach białych obustronnie (94% i 87%), w skorupie lewej (86%), robaku mózdzku (69%) oraz obustronnie w ciele migdałowatym (81% i 78%). Nieco mniejsze pobudzenia, ale również statystycznie znamienne uzyskano w prawej skorupie (76%), w mózdzku (64%), obustronnie we wzgórzu (58% i 54%) oraz w prawym hipokampie (52%).

W grupie badanych kobiet w warunkach pobudzenia bodźcami o charakterze pozytywnym największą aktywację stwierdzono w lewym ciele migdałowatym (79%) oraz w prawym zakręcie potylicznym dolnym (78%). Nieco mniejszą aktywację, ale również powyżej 50% stwierdzono w prawym ciele migdałowatym, w prawej gałce bladej oraz w lewym hipokampie – odpowiednio 66, 61 i 52%.

W warunkach pobudzenia bodźcami o charakterze negatywnym u kobiet największy obszar aktywacji stwierdzono w obu zakrętach potylicznych dolnych (96% w prawym, 89% w lewym). Nieco mniejszą aktywację, stwierdzono w robaku mózdzku (68% i 58%), w mózdzku po stronie lewej (63%), w lewej gałce bladej (62%). Najmniejszą aktywację, ale również powyżej 50%, obserwowano w lewej skorupie (53%), w mózdzku po stronie prawej (51%) oraz w prawej gałce bladej (51%).

W warunkach pobudzenia bodźcami o charakterze pozytywnym u mężczyzn zdecydowanie największą aktywację stwierdzono w prawym i lewym zakręcie potylicznym dolnym (96% i 86%). Procent aktywacji pozostałych regionów mózgu osiągał wartości poniżej 50%.

W warunkach pobudzenia bodźcami o charakterze negatywnym w grupie badanych mężczyzn zdecydowanie największą aktywację stwierdzono w prawym i lewym zakręcie potylicznym dolnym (90% i 84%). Nieco mniejsza aktywacja wystąpiła w obszarze prawej gałki błędej (71%) i prawego ciała migdałowatego (51%). Procent aktywacji pozostałych regionów mózgu nie przekraczał wartości 50%.

Wyniki badań wpływu płci na wzorzec pobudzenia emocjonalnego wykazały, że wartość aktywacji u kobiet przewyższała wartość aktywacji u mężczyzn (K-M) dla warunku eksperymentalnego o charakterze pozytywnym najbardziej w zakresie prawego zakrętu skroniowego górnego. Nieco mniejszą różnicę w wartości aktywacji stwierdzono w obszarze lewego zakrętu przyhipokampowego i zakrętu wrzecionowatego. Dużo mniejsze różnice wartości aktywacji, ale nadal istotne statystycznie stwierdzono w obrębie prawego pola skroniowego graniczącego z ciałem migdałowatym, prawego zakrętu skroniowego górnego i lewego hipokampa. Najmniejsze statystycznie znaczące różnice wykazano w zakresie prawego zakrętu przyhipokampowego oraz w zakresie lewego wieczka czołowego.

Wartość aktywacji u mężczyzn przewyższała jej wartość u kobiet (M-K) dla warunku eksperymentalnego o charakterze pozytywnym najbardziej w zakresie obu płatów potylicznych. Mniejszą różnicę w wartości aktywacji stwierdzono w obszarze lewego zakrętu wrzecionowatego. Znacznie mniejsze różnice, ale nadal istotne statystycznie stwierdzono w obrębie mózdzku po stronie prawej, lewego zakrętu oczodołowego dolnego, prawego zakrętu wrzecionowatego. Najmniejsza statystycznie znacząca przewaga aktywacji u mężczyzn została zarejestrowana w zakresie lewego zakrętu potylicznego środkowego.

Wartość aktywacji u kobiet przewyższała jej wartość u mężczyzn (K-M) dla warunku eksperymentalnego o charakterze negatywnym w największym stopniu w obrębie wzgórza po stronie lewej. Nieco mniejszą różnicę w wartości aktywacji dla opisywanego warunku stwierdzono w obszarze prawej okolicy oczodołowo-czołowej górnej - pole Brodmana 11

Najmniejsze statystycznie znaczące różnice wykazano w zakresie przedklinka po stronie lewej oraz lewej okolicy oczodołowo-czołowej górnej.

Wartość aktywacji u mężczyzn przewyższała wartość aktywacji u kobiet (M-K) dla warunku eksperymentalnego o charakterze negatywnym w największym stopniu w obrębie lewej wyspy. Mniejszą przewagę wartości aktywacji u mężczyzn dla opisywanego warunku stwierdzono w obszarze prawego zakrętu skroniowego środkowego i dolnego. Dużo mniejsze różnice, ale nadal istotne statystycznie stwierdzono w obrębie prawego jądra ogoniastego, prawego zakrętu Heschla, lewego zakrętu wrzecionowatego, prawego pola skroniowego-pole Brodmana 38, robaka mózdzku oraz lewego zakrętu obręczy.

Wartość aktywacji pod wpływem emocji o charakterze pozytywnym przewyższała wartość aktywacji pod wpływem emocji negatywnych w grupie badanych kobiet (P-N) głównie w obrębie prawego zakrętu skroniowego górnego - pole Brodmana 22. Mniejszą przewagę w aktywacji dla warunku pozytywnych pobudzeń stwierdzono w okolicy lewej bruzdy ostrogowej oraz w przedniej części lewego zakrętu obręczy - pole Brodmana 10.

Najmniejszą statystycznie znaczącą przewagę aktywacji pod wpływem pobudzeń pozytywnych wykazano w zakresie okolic prawej bruzdy ostrogowej, lewego zakrętu przyhipokampowego oraz prawego zakrętu skroniowego górnego obejmującego pole Brodmana 48/22.

Wartość aktywacji pod wpływem emocji negatywnych przewyższała wartość aktywacji pod wpływem emocji pozytywnych w grupie badanych kobiet (N-P) najbardziej w zakresie lewego zakrętu wrzecionowatego. Mniejszą przewagę aktywacji dla warunku negatywnego stwierdzono w dolnej części prawego płata potylicznego - pole Brodmana 18/19. Najmniejszą statystycznie znaczącą przewagę aktywacji pod wpływem pobudzeń negatywnych wykazano w zakresie mózdzku po stronie lewej, prawej kory oczodołowo-czołowej dolnej - pole Brodmana 45/47 oraz prawego zakrętu czołowego dolnego.

Wartość aktywacji dla warunku eksperymentalnego o charakterze pozytywnym przewyższała jej wartość pod wpływem emocji negatywnych w grupie badanych mężczyzn (P-N) najbardziej w zakresie wzgórza po stronie prawej oraz w obrębie lewej bruzdy ostrogowej. Nieco mniejszą przewagę aktywacji dla warunku pozytywnego stwierdzono w zakresie lewego zakrętu skroniowego środkowego, prawego zakrętu potylicznego środkowego. Najmniejszą statystycznie znaczącą przewagę aktywacji pod wpływem pobudzeń pozytywnych wykazano w obrębie prawego zakrętu wrzecionowatego, prawego zakrętu skroniowego środkowego, lewego wzgórza, ponadto lewego pola skroniowego - pole Brodmana 38, prawego zakrętu potylicznego dolnego oraz lewego jądra ogoniastego.

Wartość aktywacji pod wpływem emocji negatywnych przewyższała wartość aktywacji pod wpływem emocji pozytywnych w grupie badanych mężczyzn (N-P) w największym stopniu w zakresie lewego zakrętu wrzecionowatego. Nieco mniejszą przewagę aktywacji zaobserwowano w obszarze zakrętu językowego obustronnie, lewego zakrętu oczodołowego dolnego i mózdzku obustronnie. Najmniejszą statystycznie znaczącą przewagę aktywacji pod wpływem pobudzeń negatywnych wykazano u mężczyzn w obrębie lewej wyspy.

Wyniki opisanego eksperymentu wyraźnie pokazały, że wartość aktywacji określonego ośrodka strukturalnego emocji zależy zarówno od płci jak i od rodzaju pobudzenia. Wykazano różnice w lokalizacji ośrodków emocji u kobiet i mężczyzn w procedurze uwzględniającej zarówno czynnik płci jak i rodzaj pobudzenia.

Aktywacja poszczególnych ośrodków emocji zależy od walencji emocji i jest różna dla emocji o charakterze pozytywnym i negatywnym zarówno u kobiet jak i u mężczyzn.

Brak zdecydowanych różnic w aktywacji ciała migdałowatego dla wyżej opisanych warunków potwierdza jego kluczową rolę w procesie przetwarzania emocji, w naszym przypadku zarówno pozytywnych jak i negatywnych u obu płci. Dodatkowym potwierdzeniem powyższego stwierdzenia są wyniki otrzymanych w niniejszej pracy efektów prostych, które wykazały znamiennej obustronną aktywację ciała migdałowatego dla łącznej grupy kobiet i mężczyzn zarówno dla warunku negatywnego jak i pozytywnego pobudzenia.

SUMMARY

Functional Magnetic Resonance Imaging of the brain emotional centres

Adequate judgment of emotionally relevant information is the key ability to the human being. This skill makes it possible to act satisfactorily in the social group like family or work environment. The central mechanisms underlying emotional evaluation of incoming stimuli has been extensively studied both in animal and human subjects. Despite the fact that understanding of basics of this mechanism is clearly emerging some specific questions remain to be answered. In the following study, using fMRI technique we examined the gender differences in the brain processing of negative and positive information in the passive perception paradigm.

The main aim of this study was:

Revealing the gender differences in the localization of the brain emotional centres. Proving the influence of the emotional condition (positive, negative) on the emotional brain activity in females. Proving the influence of the emotional condition (positive, negative) on the emotional brain activity in males.

Forty right-handed young volunteers (age range 18-36years), 21 men and 19 women saved as subjects. All were in good health with no history of neurological or psychiatric illness. The Ethics Committee of the Jagiellonian University approved the study.

Volunteers were examined in the Signa 1.5T MR system, using head coil. Functional images were acquired using a spin-echo echoplanar sequence sensitive to blood oxygenation level dependent (BOLD) contrast, with following parameters: TR = 3000 ms, TE = 60 ms, FOV = 28 x 21 cm, matrix 96 x 96, 1 NEX. During each functional scanning run 50 sets of 10 contiguous, 7-mm-thick axial images were acquired parallel to the anterior-posterior commissure plane. High-resolution anatomical images were acquired in the same locations as the functional images, using SPOiled GRAdient-echo (SPGR) sequence with following parameters: TR = 50 ms, TE = 6ms, flip angle 60°, FOV 28 x 21 cm, matrix 256 x 256, 2 NEX. Each experimental session consisted of five activation periods, three of which constituted baseline and two experimental condition. In experimental condition subjects were shown affectively negative and positive pictures taken from the IAPS (International Affective Picture System). In the baseline condition custom prepared color checkerboards were presented. There were two runs (one week interval). In the first run subjects saw only negatively valenced pictures, during the second run only positive pictures were shown.

The results of this study showed that in the examined group of females and males (together) for the positive stimuli the greatest activity was in the right inferior occipital

gyrus (99%), in the left amygdala (97%) and in the left inferior occipital gyrus (95%). Minor activity was in the left putamen (82%), right pallidum (78%), left and right thalamus (75% and 72%), right amygdala (73%), right and left pallidum (78% and 69%), left and right hippocampus (66% and 59%), cerebellum (60%). The least activity was detected in the cerebellum (53 - 55%) and in the left fusiform gyrus (51%). In the examined group of females and males (together) for the negative stimuli the greatest activity was in both occipital inferior gyrus (99%). Slight minor activity was in pallidum bilaterally (94% and 87%), in the left putamen (86%), vermis cerebellum (69%) and bilaterally in the amygdala (81% and 78%). Minor activity, but still statistically significant was in the right putamen (76%), in cerebellum (64%), in thalamus bilaterally (58% and 54%) and in the right hippocampus (52%). In examined females for the positive stimuli the greatest activity was in the left amygdala (79%) and in the right inferior occipital gyrus (78%). Minor activity, but still up 50% was in the right amygdala, in the right pallidum and in the left hippocampus - 66, 61 and 52%. For the negative stimuli in females the greatest activity was in occipital inferior gyrus bilaterally (96% in right, 89% in left). Slight minor activity was in the vermis of cerebellum (68% and 58%), in the right part of cerebellum (63%), in left pallidum (62%). The least activity but still up 50% was in left putamen (53%), in the right part of cerebellum (51%) and in the right pallidum (51%). For the positive stimuli in males the greatest activity was in the right and left inferior occipital gyrus (96% and 86%). Percentage of activity of the remaining brain area was below 50%. For the negative stimuli in males the greatest activity was in the right and left inferior occipital gyrus (90% and 84%). Minor activity was in the area of right pallidum (71%) and right amygdala (51%). Percentage of activity of the remaining brain area was below 50%.

The results of the study of the influence of the sex on the emotional brain activity showed that for the positive stimuli in women we detected significant and greater compared to men activity in the right superior temporal gyrus, as well as left parahippocampal gyrus, fusiform gyrus. Minor differences were detected in the right temporal pole bordering amygdala, right superior temporal gyrus, left hippocampus, right parahippocampal gyrus as well as left frontal operculum.

For the positive stimuli in males we detected significant and greater compared to females activation in bilateral occipital lobes. Minor activity was in the left fusiform gyrus, in the right part of cerebellum, left inferior orbital gyrus, right fusiform gyrus. The least

statistically significant advantage in activation have males in the left middle occipital gyrus.

For the negative stimuli in females we detected significant and greater compared to men activation in the left thalamus. Minor difference for negative condition was in the right fronto-orbital superior cortex – Brodman area 11. The least statistical advantage was in the left precuneus and left fronto-orbital superior cortex.

For the negative stimuli in males we detected significant and greater compared to females activation in left insula. Minor statistical advantage was detected in the right middle and inferior temporal gyrus. Minor, but still statistical differences were detected in the right nucleus caudate, right Heschl gyrus, left fusiform gyrus, right temporal pole (Brodman area 38), vermis cerebellum and left anterior cingulate gyrus.

For the positive stimuli in women we detected significant and greater compared to negative stimuli activation in the right superior temporal gyrus. Minor advantage in activity for positive condition was detected in the left calcarine and left anterior cingulate cortex. The least statistical significant differences were detected in the right calcarine, in the left parahippocampal gyrus and in the right superior temporal gyrus-Brodman area 48/22.

For the negative stimuli in females we detected significant and greater compared to positive stimuli activation in the left fusiform gyrus. Minor differences were detected in the right inferior occipital gyrus (Brodman area 18/19). The least statistical advantage for the negative condition were in the left part of cerebellum as well as right orbito-frontal inferior cortex (Brodman area 45/47) and right frontal inferior gyrus.

For the positive stimuli in males we detected significant and greater compared to negative stimuli activation in the right thalamus, in the left calcarine. Minor differences were detected in the left middle temporal gyrus and right middle occipital gyrus. The least statistical advantage was detected in the right fusiform gyrus, right middle temporal gyrus, left thalamus, left temporal pole, right inferior occipital gyrus and left caudal nucleus.

For the negative stimuli in men we detected significant and greater compared to positive stimuli activation in the left fusiform gyrus. Minor differences were detected in the lingual gyrus bilateral, left inferior orbital gyrus and cerebellum. The least statistical advantage for the negative condition was in males in left insula.

The results of his study clearly showed, that activity of the brain emotional centres depends on the gender and type of stimuli. This study revealed the differences in

localization of brain emotional centres in females and males according such factors as gender and kind of stimuli.

Activation of the brain emotional centers depends on the valence of emotion and differs according positive and negative emotion in males and females. Lack of decisive differences in the amygdale activity for described conditions, confirms the crucial role of amygdala in the emotional processing of positive and negative emotion in both genders. Additional confirmation of this conclusion are the results of the simple effects, proving significant bilateral activity of the amygdala in the females and males, for the negative as well as positive condition.

X. SPIS TABEL I RYCIN

Ryciny

Ryc. 1 Rysunek i rekonstrukcja 3D czaszki Phineasa Gage'a po wypadku.....	14
Ryc. 2 Schemat przekroju czołowego obu półkul mózgu na poziomie ciała migdałowatego.....	21
Ryc. 3 Obraz przestrzenny sklepienia z uwidocznieniem ciała migdałowatego obustronnie.....	21
Ryc. 4 Schemat powstawania obrazu MR.....	36
Ryc. 5 Schemat powstawania sygnału BOLD.....	39
Ryc. 6 Schemat przedstawiający ochotnika podczas przeprowadzania eksperymentu.....	43
Ryc. 7 Obraz MR T1-zależny w płaszczyźnie strzałkowej.....	44
Ryc. 8 Obrazy przekrojów poprzecznych mózgu w sekwencji EPI obejmujące skanowany obszar.....	47
Ryc. 9 Obrazy przekrojów poprzecznych mózgu w sekwencji SPGR obejmujące skanowany obszar.....	49
Ryc. 10 Ogólny schemat analizy danych fMRI.....	54
Ryc. 11 Ogólny Model Liniowy w odniesieniu do analizy danych fMRI.....	54
Ryc. 12 Stopień aktywacji struktur anatomicznych – kobiety i mężczyźni łącznie w warunku pozytywnym.....	57
Ryc. 13 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu przedstawiające obszary aktywne dla grupy K+M w warunku pozytywnym.....	58
Ryc. 14 Stopień aktywacji struktur anatomicznych – kobiety i mężczyźni łącznie w warunku negatywnym.....	59
Ryc. 15 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu przedstawiające obszary aktywne dla grupy K+M w warunku negatywnym.....	60
Ryc. 16 Stopień aktywacji struktur anatomicznych – kobiety w warunku pozytywnym..	61
Ryc. 17 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu przedstawiające obszary aktywne dla grupy K w warunku pozytywnym.....	62
Ryc. 18 Stopień aktywacji struktur anatomicznych – kobiety w warunku negatywnym..	63
Ryc. 19 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu przedstawiające obszary aktywne dla grupy K w warunku negatywnym.....	64
Ryc. 20 Stopień aktywacji struktur anatomicznych – mężczyźni w warunku pozytywnym.....	65
Ryc. 21 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu przedstawiające obszary aktywne dla grupy M w warunku pozytywnym.....	66
Ryc. 22 Stopień aktywacji struktur anatomicznych – mężczyźni w warunku negatywnym.....	67
Ryc. 23 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu przedstawiające obszary aktywne dla grupy M w warunku negatywnym.....	68
Ryc. 24 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu. Obszary, których aktywacja dla grupy kobiet przewyższała aktywację u mężczyzn (K-M) w warunku pozytywnym.....	71
Ryc. 25 Rekonstrukcja 3 D mózgu z widocznymi obszarami przedstawiającymi kontrasty K-M dla warunku pozytywnego. Największa różnica w aktywacji widoczna jest w zakresie prawego zakrętu skroniowego górnego.	72

Ryc. 26 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu. Obszary, których aktywacja dla grupy mężczyzn przewyższała aktywację u kobiet (M-K) w warunku pozytywnym.....	74
Ryc. 27 Rekonstrukcja 3 D mózgu z widocznymi obszarami przedstawiającymi kontrasty M-K dla warunku pozytywnego. Największa różnica w aktywacji widoczna jest w zakresie obu płatów potylicznych.....	75
Ryc. 28 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu. Obszary, których aktywacja dla grupy kobiet przewyższała aktywację u mężczyzn (K-M) w warunku negatywnym.....	77
Ryc. 29 Rekonstrukcja 3 D mózgu z widocznymi obszarami przedstawiającymi kontrasty K-M dla warunku negatywnego. Największa różnica w aktywacji widoczna jest w zakresie wzgórza po stronie lewej.....	78
Ryc. 30 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu. Obszary, których aktywacja dla grupy mężczyzn przewyższała aktywację u kobiet (M-K) w warunku negatywnym.....	81
Ryc. 31 Rekonstrukcja 3 D mózgu z widocznymi obszarami przedstawiającymi kontrasty M-K dla warunku negatywnego. Największa różnica w aktywacji widoczna jest w zakresie lewej wyspy.....	82
Ryc. 32 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu. Obszary, których aktywacja dla warunku pozytywnego przewyższała aktywację dla warunku negatywnego w grupie badanych kobiet.....	84
Ryc. 33 Rekonstrukcja 3 D mózgu z widocznymi obszarami przedstawiającymi kontrasty dla warunku pozytywnego i negatywnego (P-N) u kobiet. Największa różnica w aktywacji widoczna jest w zakresie prawego zakrętu skroniowego górnego.....	85
Ryc. 34 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu.	87
Obszary, których aktywacja dla warunku negatywnego przewyższała aktywację dla warunku pozytywnego w grupie badanych kobiet.....	87
Ryc. 35 Rekonstrukcja 3 D mózgu z widocznymi obszarami przedstawiającymi kontrasty dla warunku negatywnego oraz pozytywnego (N-P) w grupie badanych kobiet. Największa różnica w aktywacji widoczna jest w zakresie lewego zakrętu wrzecionowatego.....	88
Ryc. 36 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu.	90
Obszary, których aktywacja dla warunku pozytywnego przewyższała aktywację dla warunku negatywnego w grupie badanych mężczyzn.....	90
Ryc. 37 Rekonstrukcja 3 D mózgu z widocznymi obszarami przedstawiającymi kontrasty dla warunku pozytywnego i negatywnego (P-N) u mężczyzn. Największa różnica w aktywacji widoczna jest w zakresie wzgórza po stronie prawej.....	91
Ryc. 38 Badanie fMRI – obrazy przekrojów poprzecznych mózgu.....	94
Obszary, których aktywacja dla warunku negatywnego przewyższała aktywację dla warunku pozytywnego w grupie badanych mężczyzn.....	94
Ryc. 39 Rekonstrukcja 3 D mózgu z widocznymi obszarami przedstawiającymi kontrasty dla warunku negatywnego i pozytywnego (N-P) u mężczyzn. Największa różnica w aktywacji widoczna jest w zakresie lewego zakrętu wrzecionowatego.....	95