

**Pomiary aktywności mózgu
w badaniach
neuromarketingowych**

Anna Rutkowska

**Pomiary aktywności mózgu
w badaniach
neuromarketingowych**

Wydawnictwo
Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego
w Olsztynie

Kolegium Wydawnicze UWM
Przewodnicząca
Wiesława Lizińska
Przedstawiciel Dyscypliny
Marian Oliński

Recenzent
Ewa Jerzyk

Redaktor wydawniczy
Agnieszka Orłowska-Rachwał

Skład i łamanie
Marzanna Modzelewska

Projekt okładki
Dariusz Walasek

ISBN 978-83-8100-404-6 (PRINT)
ISBN 978-83-8100-430-5 (EPUB)

© Copyright by Wydawnictwo UWM • Olsztyn 2024

Wydawnictwo UWM
ul. Jana Heweliusza 14, 10-718 Olsztyn
tel. 89 523-36-61, fax 89 523-34-38
www.uwm.edu.pl/wydawnictwo/
e-mail: wydawca@uwm.edu.pl

Ark. wyd. 10; ark. druk. 8
Druk: Zakład Poligraficzny UWM w Olsztynie, zam. 708

Spis treści

Wprowadzenie	7
1. Pojęcie i specyfika neuromarketingu	16
2. Mózg jako przedmiot badań neuromarketingowych	25
3. Aktywność mózgu w procesie przetwarzania informacji	34
4. Metody pomiaru aktywności mózgu w badaniach neuromarketingowych	40
4.1. Specyfika i klasyfikacja pomiarów neurometrycznych	40
4.2. Elektroencefalografia (EEG, ang. <i>Electroencephalography</i>)	46
4.3. Magnetoencefalografia (MEG, ang. <i>Magnetoencephalography</i>)	55
4.4. Funkcjonalny rezonans magnetyczny (fMRI, ang. <i>Functional Magnetic Resonance Imaging</i>)	58
4.5. Funkcjonalna spektroskopia bliskiej podczerwieni (fNIRS, ang. <i>Functional Near Infrared Spectroscopy</i>)	64
4.6. Pozytonowa tomografia emisyjna (PET, ang. <i>Positron Emission Tomography</i>)	69
5. Ograniczenia badawcze neuroobrazowania	73
6. Użyteczność neuroobrazowania w marketingu	81
7. Etyka neuromarketingu	98
Zakończenie	103
Bibliografia	106
Streszczenie	121
Abstract	122
Spis rysunków	123
Spis tabel	124

Wprowadzenie

We współczesnych realiach społeczno-gospodarczych turbulentne i często nieprzewidywalne warunki rynkowe w istotny sposób determinują prowadzenie działalności gospodarczej. Duża dynamika zachodzących zmian, zaostrzona walka konkurencyjna oraz zmieniające się trendy konsumenckie implikują konieczność prowadzenia wieloaspektowych analiz zachowań konsumenckich. Podejmowanie trafnych decyzji biznesowych jest kluczową umiejętnością, istotną z adaptacyjnego punktu widzenia. Informacja z kolei współcześnie odgrywa coraz większą rolę w szeroko rozumianych procesach decyzyjnych. Jest kategorią o bardzo specyficznych cechach fenomenologicznych, ekonomicznych i użytkowych. Informacja rozumiana jest jako szczególnego rodzaju zasób przedsiębiorstwa, niezbędny do osiągania istotnej przewagi konkurencyjnej. Pragmatyczna teoria informacji bazuje na analizie i ocenie walorów poznawczych oraz użyteczności różnego rodzaju danych osób zarządzających organizacjami i ich wpływie na efektywność podejmowanych decyzji. Miarą wartości informacji jest stopień, w jakim optymalizuje ona proces podejmowania decyzji i realizacji celu.

Do dokonywania optymalnych wyborów konieczna jest zdolność integrowania informacji sensorycznych, osobistych motywacji oraz wiedzy dotyczącej potencjalnych konsekwencji wynikających z poszczególnych opcji działania. W literaturze psychologicznej podejmowanie decyzji rozumiane jest jako proces, w którym istotne znaczenie mają aspekty: poznawczy, emocjonalny i motywacyjny. Na gruncie nauk o zarządzaniu podejmowanie decyzji polega na wyborze jednej z co najmniej dwóch możliwości, rozwiązań lub kierunków postępowania, pożądaných z punktu widzenia potrzeb systemu, w ramach którego dokonywany jest dany wybór. Nowoczesne zarządzanie jest ciągiem decydowania i tworzenia warunków skutecznej realizacji decyzji, które dotyczą jak najlepszego wykorzystania posiadanych zasobów rzeczowych, kapitałowych i ludzkich.

Rozwój nowoczesnych technologii stworzył nowe możliwości pozyskiwania informacji oraz analizy i przetwarzania danych. Jest to szczególnie istotne w kontekście informacji dotyczących preferencji i zachowań rynkowych konsumentów. Marketing jest dziedziną zajmującą się badaniem, tworzeniem i oferowaniem z zyskiem produktów posiadających

wartość dla klienta w celu zaspokojenia potrzeb rynku docelowego. Badania marketingowe stanowią systematyczny proces zbierania, analizowania i interpretowania informacji, które mają na celu identyfikację i rozwiązanie problemów oraz wyzwań związanych z marketingiem. Zadaniem badań marketingowych jest dostarczanie informacji, które pozwolą na podejmowanie skutecznych i efektywnych decyzji dotyczących optymalizacji strategii marketingowej. Kluczową kwestią staje się pozyskanie wiarygodnych informacji i rzetelnych danych na temat działań konsumentów związanych z nabywaniem i użytkowaniem produktów z uwzględnieniem uwarunkowań ekonomicznych, społecznych i psychologicznych.

Zachowania konsumentów (ang. *consumer behavior*) są przedmiotem interdyscyplinarnych badań z zakresu ekonomii, zarządzania, socjologii, psychologii i antropologii. Problematyka zachowań, decyzji konsumencjki oraz różnych aspektów procesu zakupowego i konsumpcji stanowi współcześnie płaszczyznę współpracy przedstawicieli nauk humanistycznych, społecznych i ścisłych, co implikuje wieloaspektowość badań. Zrozumienie przebiegu procesu decyzyjnego wymaga bowiem poznania możliwości i ograniczeń umysłu oraz właściwości otoczenia, w którym są one podejmowane. Dynamicznie zmieniające się otoczenie i ograniczenia ludzkiej percepcji sprawiają, że procesy decyzyjne przebiegają często w warunkach niepewności i ryzyka. Teoretyczne ujęcie procesu decyzyjnego z uwzględnieniem zmiennych psychologicznych zawiera m.in. teoria perspektywy (ang. *prospect theory*). Zdaniem D. Kahnemana i A. Tversky'ego (1979), podejmowanie decyzji jest w dużej mierze uwarunkowane przez efekt obramowania (ang. *framing effect*), czyli sposób umysłowej reprezentacji problemu decyzyjnego. Efektem koewolucji badań empirycznych i teorii podejmowania decyzji jest powstanie neuronauki poznawczej (ang. *cognitive neuroscience*) łączącej dorobek naukowy kognitywistyki (psychologii procesów poznawczych) i neuronauki (wiedzy na temat funkcjonowania mózgu i przetwarzania informacji) oraz neuronauki konsumentckiej (ang. *consumer neuroscience*) wykorzystującej narzędzia i teorie neuronaukowe do lepszego zrozumienia procesu decyzyjnego.

Poruszona w monografii problematyka dotyczy nowoczesnych metod pomiaru aktywności mózgu stosowanych w badaniach neuromarketingowych. Za cel główny przyjęto określenie użyteczności i roli nowoczesnych

metod neurometrycznych, takich jak: elektroencefalografia (EEG), magnetoencefalografia (MEG), funkcjonalny rezonans magnetyczny (fMRI), funkcjonalna spektroskopia bliskiej podczerwieni (fNIRS) i pozytonowa tomografia emisyjna (PET) w rozwoju współczesnego neuromarketingu. W nawiązaniu do zamierzeń badawczych sformułowano także następujące cele szczegółowe:

- przedstawienie specyfiki neuromarketingu i badań neuromarketingowych;
- ukazanie fizycznych i neurobiologicznych podstaw neuroobrazowania;
- identyfikację neuronalnych korelatów decyzji i zachowań konsumenckich;
- określenie procesów mózgowych skorelowanych z percepcją bodźców marketingowych;
- zaprezentowanie nowych możliwości wykorzystania zaawansowanych metod obrazowania mózgu w obszarze badań nad procesem decyzyjnym i zachowaniami rynkowymi konsumentów;
- określenie użyteczności pomiarów neurometrycznych w aspekcie naukowym (poznawczym) i aplikacyjnym (biznesowym);
- przedstawienie ograniczeń badawczych i etycznych neuroobrazowania.

Prowadzenie interdyscyplinarnych badań naukowych wymaga znajomości metodyki i specyfiki stosowanych narzędzi i metod pomiarowych. W monografii zwrócono uwagę na zmieniającą się metodologię badań marketingowych oraz stosowanie coraz bardziej wyrafinowanych metod badawczych, w tym metod z zakresu diagnostyki obrazowej.

Monografia składa się z siedmiu rozdziałów. W rozdziale pierwszym (*Pojęcie i specyfika neuromarketingu*) przygotowano przegląd definicji i zaprezentowano różne sposoby rozumienia neuromarketingu. W rozdziale drugim (*Mózg jako przedmiot badań neuromarketingowych*) omówiono zagadnienia związane z neuroanatomią i neurofizjologią oraz zidentyfikowano kluczowe obszary mózgu odpowiedzialne za poznanie, odczuwanie i zachowanie oraz przebieg procesu decyzyjnego. W rozdziale trzecim (*Aktywność mózgu w procesie przetwarzania informacji*) przedstawiono charakterystykę systemów operacji umysłowych oraz porównanie koncepcji *homo oeconomicus*, *homo affectus* i *homo neuroeconomicus*. Rozdział czwarty (*Metody pomiaru aktywności mózgu w badaniach neuromarketingowych*) dotyczy zagadnień związanych z klasyfikacją pomiarów oraz specyfiką metod neurometrycznych. Przedstawiono w nim także fizyczne

podstawy i zasady obrazowania mózgu oraz szczegółową charakterystykę poszczególnych metod neurometrycznych: elektroencefalografii (EEG), magnetoencefalografii (MEG), funkcjonalnego rezonansu magnetycznego (fMRI), funkcjonalnej spektroskopii bliskiej podczerwieni (fNIRS) oraz pozytonowej tomografii emisyjnej (PET). W rozdziale piątym (*Ograniczenia badawcze neuroobrazowania*) ukazano ograniczenia związane ze stosowaniem poszczególnych metod oraz omówiono artefakty oraz niedoskonałości pomiarów neurometrycznych. Rozdział szósty (*Użyteczność neuroobrazowania w marketingu*) zawiera przegląd aktualnych badań neuromarketingowych. Przedstawiono w nim główne obszary badawcze, stosowane metody pomiaru oraz użyteczność poszczególnych metod obrazowania. W rozdziale siódmym (*Etyka neuromarketingu*) zwrócono uwagę na dylematy etyczne i kontrowersje związane z neuromarketingiem.

Wybór problematyki badawczej i podjęcie próby określenia roli nowoczesnych metod obrazowania mózgu w rozwoju współczesnego neuromarketingu inspirowane są nie tylko intelektualną i naukową ciekawością, lecz także poszukiwaniem pragmatycznych rozwiązań w obszarze praktyki biznesowej. Monografia jest próbą wypełnienia luki badawczej w nauce dotyczącej metodologii badań marketingowych i poznania zachowań konsumentów. Może stanowić także merytoryczne wzmocnienie obecności neuromarketingu w metodologii badań marketingowych. Pomimo rozwoju neuromarketingu nadal brakuje kompleksowych badań dotyczących roli neuronalnych korelatów zachowań konsumentów, procesów emocjonalnych i poznawczych w kształtowaniu marketingu mix i strategii marketingowych. Luka badawcza w tym obszarze uwidacznia się w systematycznych przeglądach literatury przedmiotu (Alsharif i in., 2023; Kant i in., 2023; Adula i in., 2022; Siddique i in., 2022; Goecking i in., 2021; Rawnaque i in., 2020; Karim i in., 2019; Yağci i in., 2018; Hsu, 2017). Można stwierdzić, iż międzynarodowy dorobek empiryczny dotyczący neuromarketingu jest bogaty i nacechowany różnorodnością. Badania empiryczne prowadzone są przede wszystkim przez badaczy z USA, Hiszpanii, Włoch, Wielkiej Brytanii i Chin (Siddique i in., 2022). W polskiej literaturze przedmiotu istnieje jednak relatywnie niewiele publikacji dotyczących problematyki neuromarketingu (m.in. Wąsikowska i Wawrzyniak). Na rynku wydawniczym brakuje także zwartych publikacji naukowych poświęconych kompleksowej charakterystyce

metod neuromarketingowych. Ujawniający się na tym gruncie problem niedostatecznej wiedzy w zakresie pomiarów aktywności mózgu (neurometrycznych) stosowanych w badaniach neuromarketingowych stanowi zasadniczą przesłankę przemawiającą za podjęciem własnych badań literaturowych. Przegląd literatury wzbogacono także własnym doświadczeniem elektroradiologicznym wynikającym z uprawnień na świadczenia usług medycznych w zakresie diagnostyki obrazowej, elektromedycznej i radioterapii.

Wybór problemu badawczego wynika nie tylko z istnienia luki badawczej w zakresie neuromarketingu. Istotnym argumentem przemawiającym za przygotowaniem monografii jest także fakt, iż użyteczność metod neurometrycznych i biometrycznych w nauce jest coraz większa. Pozwalają bowiem one na uzyskanie obiektywnych informacji dotyczących sposobu funkcjonowania mózgu w określonych sytuacjach decyzyjnych i podczas ekspozycji na różne bodźce marketingowe. W kontekście dotychczasowych rozważań teoretycznych i obserwacji aktualnych trendów naukowych i rynkowych można stwierdzić, że interdyscyplinarne podejście badawcze i wykorzystanie metod neuronaukowych w badaniach rynkowych będzie przybierało na znaczeniu (Rutkowska, 2024).

Problematyka badań neuroekonomicznych koncentruje się wokół kwestii związanych z dokonywaniem wyborów w warunkach ryzyka i niepewności, w warunkach odroczonego wzmocnienia, podejmowania decyzji moralnych w kontekście wyborów ekonomicznych oraz podejmowania działań ekonomicznych zarówno w ujęciu indywidualnym (jednostkowym, konsumenckim), jak i społecznym (kolektywnym, grupowym). Głównym celem badań jest opracowanie tzw. ekonomicznej mapy mózgu (ang. *economic brain map*), czyli zobrazowania poszczególnych obszarów mózgu, które aktywują się najsilniej podczas podejmowania różnych decyzji ekonomicznych (Camerer, 2005).

Neuromarketing jest natomiast definiowany jest jako narzędzie łączące neuronaukę i metody medyczne do uzyskania wglądu w zachowania konsumentów i skutecznego przewidywania ich preferencji w procesie decyzyjnym. Neurozarządzanie jest natomiast konglomeratem wiedzy z zakresu psychologii stosowanej, ekonomii behawioralnej i neurofizjologii. Prowadzone badania dotyczą przede wszystkim zarządzania zespołem, strategią w organizacji, sprzedażą i komunikacją z wykorzystaniem

najnowszej wiedzy z zakresu neuronauki. Neurozarządzanie obejmuje różne subdyscypliny bazujące na podejściu behawioralnym, do których zalicza się przede wszystkim neuromarketing, neuroprzywództwo i neuropsychologię pracy kierowniczej.

Neuroekonomia, neurozarządzanie i neuromarketing stanowią multidyscyplinarną dziedzinę wiedzy, celem której jest wyjaśnienie funkcjonowania afektywnego, poznawczego, behawioralnego i społecznego człowieka na podstawie prawidłowości funkcjonowania mózgu. W badaniach neuronaukowych wykorzystywane są informacje kliniczne dotyczące procesów mózgowych. W interdyscyplinarnych zespołach badawczych rolą ekonomistów i psychologów jest obserwacja zachowań i konstrukcja modeli wyjaśniających postępowanie konsumenta na rynku, natomiast rolą neurobiologów i elektroradiologów – zastosowanie odpowiednich narzędzi naukowych pozwalających na wyjaśnienie mechanizmów biologicznych odpowiadających za identyfikację przyczyn zjawisk dotyczących decyzji konsumenckich. Nieinwazyjne badania medyczne umożliwiają wnikliwą i holistyczną ocenę aktywności ludzkiego mózgu na każdym etapie procesu decyzyjnego w każdych warunkach badawczych. Dzięki temu możliwe jest opracowanie tzw. ekonomicznej mapy mózgu konsumenta, ilustrującej aktywność poszczególnych obszarów tego organu, skorelowanej z podejmowanymi przez niego decyzjami rynkowymi.

Fundamentem współczesnej neuroekonomii, neurozarządzania i neuromarketingu jest interdyscyplinarne podejście badawcze. Rozwój neuro nauk wymaga zatem aktualizacji założeń metodologii badań naukowych. Stosowanie odpowiednich procedur badawczych w każdej dziedzinie nauki odgrywa kluczową rolę w jakości prezentowanej informacji. Metodologia jest dyscypliną wiedzy zajmującą się empirycznymi metodami nauki. Jej celem jest opis, ocena i określenie wytycznych działalności naukowej. Metody naukowe ewoluują wraz z postępem technologicznym. Współczesna metodologia obejmuje zarówno metody naukowe, jak i rezultaty ich stosowania (Stachak, 2006, s. 14, 15). Kryteria naukowości odnoszą się do metodologii i przedmiotu badań. Zgodnie z założeniami filozofii nauki (metodologii ogólnej) wiedza musi spełniać fundamentalne kryteria naukowości, a zatem musi bazować na zasadzie mocnej racjonalności, wysokiej mocy eksplanacyjnej (wyjaśniającej), prognostycznej, heurystycznej, wysokim stopniu teoretyczności, a także intersubiektywnej

sprawdzalności i komunikatywności (Frankfort-Nachmias i Nachmias, 2001). Nauka nie polega na gromadzeniu danych, lecz na rozwiązywaniu problemów badawczych (Popper, 2005). Metodologia badań ekonomicznych dotyczy podstaw poznania ekonomicznego (Dow, 2002). Zasady tworzenia wiedzy wyjaśniającej są podporządkowane wymogowi falsyfikowalności, przez który rozumie się tworzenie teorii nadającej się do sprawdzenia poprzez konfrontację ze świadectwem faktów empirycznych (Blaug, 1995). Metodologię badań w naukach o zarządzaniu stanowią natomiast interdyscyplinarne reguły formułowania teoretycznych twierdzeń i praktycznych dyrektyw w zakresie sprawnej i perspektywnej organizacji zespołów ludzkich. Interdyscyplinarny charakter nauk o zarządzaniu polega na tworzeniu teorii i praktycznych rozwiązań w oparciu o logiczną kompilację wiedzy ekonomicznej, prakseologicznej, socjologicznej, psychologicznej i prawnej.

W badaniach rynkowych z wykorzystaniem tradycyjnych metod badawczych pozyskiwane są dane deklaratywne i opinie respondentów, analizowane są statystyki zakupów oraz stopień dopasowania produktu lub usługi do grupy docelowej. Pomijane są natomiast kwestie stanów afektywnych, emocji, doznań, doświadczeń sensorycznych, sygnałów niewerbalnych, nieuświadomionych potrzeb, utajonych postaw, kompulsywnych lub impulsywnych zachowań zakupowych konsumentów. Subiektywizm udzielanych przez respondentów odpowiedzi powoduje, że metody te nie zawsze pozwalają w trafny sposób wnioskować o rzeczywistych mechanizmach zachowań konsumentów. Dane deklaratywne są oparte na języku, co z neurologicznego punktu widzenia oznacza zdominowanie badania przez reakcje doświadczane w lewej półkuli mózgu, gdzie zlokalizowana jest większość ośrodków odpowiadających za zdolności mowy, z równoczesnym minimalizowaniem zachowań powodowanych reakcjami innych obszarów mózgu (Zaltman, 2008). Zawodność i niewystarczalność tradycyjnego podejścia przejawiają się w uzyskiwaniu informacji subiektywnych i informacji deklaracyjnych. Postawy konsumentów są często utajone i nieświadome, dlatego pozyskiwane dane dotyczą postracjonalizacji postaw utajonych, co uzasadnia konieczność sięgania po narzędzia pozwalające na wyjście poza pomiar deklaracji (Szymusiak, 2015). Mózg człowieka zaczyna przygotowania do wykonania czynności nawet na kilka sekund przed jej faktycznym (świadomym)

zainicjowaniem. Cały proces decyzyjny odbywa się na poziomie neuronalnym, niedostępnym dla świadomości, natomiast świadome jest jedynie uzasadnienie (racjonalizacja) podjętej decyzji. Wykorzystanie metod neurometrycznych w ocenie procesu decyzyjnego w czasie rzeczywistym umożliwia monitorowanie aktywności mózgu w wybranych obszarach i pomiar reakcji na stymulatory marketingowe i inne bodźce.

Dynamiczny rozwój nowoczesnych technologii medycznych umożliwia postęp w obrazowaniu aktywności ludzkiego mózgu. Badania nad neurobiologicznym podłożem procesów decyzyjnych pozwalają na pełniejsze zrozumienie ograniczonej racjonalności człowieka. Umożliwiają również lepsze poznanie przebiegu procesów decyzyjnych i ich adaptacyjnego znaczenia. W podejmowanie decyzji zaangażowanych jest wiele procesów niższego rzędu, związanych z funkcjonowaniem różnych obszarów mózgu. Główną rolę w ich przebiegu i koordynacji odgrywa kora przedczołowa. Na podstawie dotychczasowych badań dotyczących funkcjonowania mózgu i reakcji neurofizjologicznych człowieka w różnych sytuacjach ekonomicznych można stwierdzić, że do kluczowych obszarów odpowiedzialnych za przebieg procesu decyzyjnego zalicza się korę okołoczołową (ang. *Orbitofrontal Cortex* – OFC), grzbietowo-boczną korę przedczołową (ang. *Dorsolateral Prefrontal Cortex* – DLPFC) oraz przednią korę zakrętu obręczy (ang. *Anterior Cingulate Cortex* – ACC).

Wiedza dotycząca neuronalnych korelatów procesu decyzyjnego staje się szczególnie użyteczna na gruncie marketingu. Termin „korelaty neuronalne” odnosi się do procesów fizjologicznych i neurologicznych związanych z określonym stanem psychicznym. Korelaty neuronalne dotyczą zmian w aktywności mózgu, które są związane z konkretnym doświadczeniem psychologicznym lub behawioralnym (American Psychological Association, 2023). Badanie zmian zachodzących w mózgu pozwala na uzyskanie wglądu w podstawowe procesy elektrochemiczne związane z powstawaniem określonych myśli, emocji, doznań lub wrażeń. Fundamentem współczesnej neuronauki jest teoria neuronalnych korelatów świadomości (ang. *Neural Correlates of Consciousness* – NCC) wyjaśniająca związek między świadomym doświadczeniem a aktywnością mózgu. Neuronalne korelaty świadomości są to swoiste struktury neuronowe odpowiedzialne za powstanie świadomości, jak również określony stan fragmentu układu nerwowego, którego zaistnienie jest warunkiem

wystarczającym do wystąpienia odpowiadających mu treści świadomych. Różnym neuronowym korelatom świadomości mogą odpowiadać różne stany świadome. Stałość zakładanej korelacji ma charakter rodzajowy, a zatem określonym rodzajom stanów świadomych odpowiadają określone rodzaje neuronowych korelatów. Świadome doświadczenia wynikają z określonych wzorców aktywności w mózgu. Zgodnie z założeniem teorii poprzez badanie aktywności mózgu, która występuje, gdy dana osoba doświadcza określonego stanu świadomości, można zidentyfikować neuronalne podstawy tego doświadczenia.

Współczesną filozofię neuronauk charakteryzuje odchodzenie od dedukcyjno-nomologicznego modelu wyjaśniania opartego na prawach w kierunku modelu mechanistycznego. Wyjaśnienia świadomości nie odwołują się tutaj do ściśle ogólnych praw, lecz do neurobiologicznych i obliczeniowych mechanizmów działających na różnych poziomach złożoności układu nerwowego. Paradygmat ten obowiązuje również we współczesnym neuromarketingu. Interdyscyplinarne podejście badawcze implikuje nowy paradygmat metodologii badań, a tym samym konieczność wypracowania nowych metod badawczych. Rozwój neuronauk determinowany jest w dużej mierze możliwością wykorzystania nowoczesnych metod badawczych stwarzających możliwość wiarygodnej oceny przebiegu procesu decyzyjnego. Wykorzystanie metod neurometrycznych odgrywa istotną rolę w uwiarygodnianiu wyników badań empirycznych i tworzeniu realistycznych modeli ekonomicznych czy prognostycznych.

1. Pojęcie i specyfika neuromarketingu

We współczesnej gospodarce rynkowej marketing postrzegany jest jako proces, w którym potrzeby konsumenta są rozpoznawane i zaspokajane w wyniku interakcji zachodzących na rynku (Klincewicz, 2016, s. 322). Marketing rozumiany jest także jako proces społeczny i proces zarządzania pozwalający ludziom i organizacjom identyfikować oraz spełniać potrzeby i pragnienia poprzez tworzenie i wymianę produktów i wartości z innymi. Zgodnie z aktualnie obowiązującą definicją *American Marketing Association* (AMA) przez marketing należy rozumieć „zorganizowane działanie, zbiór instytucji i procesów tworzenia, komunikowania, dostarczania oraz wymiany ofert posiadających wartość dla klientów, odbiorców, partnerów oraz społeczeństwa jako całości” (AMA, 2017).

Diagnoza potrzeb konsumenta we współczesnych realiach społeczno-gospodarczych nabiera szczególnego znaczenia. Badania marketingowe obejmują specjalistyczny zestaw narzędzi, metod ilościowych i jakościowych oraz działań mających na celu dostarczenie organizacji niezbędnych informacji użytecznych w procesie tworzenia i doboru optymalnej strategii działania na rynku, a także zebranie informacji na temat potencjalnych grup docelowych i preferencji konsumenckich. Badania marketingowe są podstawowym elementem kształtowania kompozycji marketingowej (ang. *mix marketing*), czyli zespołu instrumentów, za pomocą których organizacja może oddziaływać na konsumentów i wywierać wpływ na rynek (Rzemieniak, 2012). Istotą badań marketingowych jest minimalizacja ryzyka związanego z podejmowaniem decyzji w turbulentnym otoczeniu rynkowym.

Marketingowe metody ilościowe mają na celu pomiar danego zjawiska, natomiast metody jakościowe prowadzone są w celu zebrania informacji, na podstawie których możliwe jest jego wyjaśnienie (Düsel, 2009). Najczęściej stosowanymi metodami badania zachowań i decyzji konsumenckich są ankiety, panele, sondy i wywiady. Podejście to bazuje na klasycznym modelu EKB będącym jednym ze strukturalnych modeli zachowań konsumenta (Engel i in., 1968, s. 3). Zgodnie z jego założeniami konsument kolejno przetwarza informacje i przechodzi przez poszczególne etapy procesu decyzyjnego, którymi są: rozpoznanie problemu (potrzeby), poszukiwanie informacji, ocena wariantów wyboru,

wybór (decyzja zakupu), skutki wyboru. Z założenia podejmowana przez konsumentów decyzja zakupowa jest zatem logiczną konsekwencją konkretnych i kolejnych etapów. W modelu EKB, pomimo dużej użyteczności, nie sprecyzowano jednak i nie wyjaśniono roli emocji w dokonywaniu wyborów rynkowych. Emocje to złożony wzór zmian cielesnych i psychicznych, obejmujący pobudzenie fizjologiczne, uczucia, procesy poznawcze, ekspresję (mimikę twarzy i postawę ciała) oraz specyficzne reakcje behawioralne pojawiające się w odpowiedzi na sytuację ważną dla danej osoby (Gerrig i Zimbardo, 2008, s. 510). Współcześnie powszechnie wiadomo, że decyzje zakupowe nie są oparte wyłącznie na racjonalnych przesłankach. Istotną rolę w kształtowaniu preferencji i zachowań zakupowych konsumentów odgrywają komponenty multisensoryczne (wizualne, dźwiękowe, zapachowe, dotykowe) oraz towarzyszące im emocje i doznania sensoryczne. Potencjalni klienci są w dużej mierze nieświadomi tych czynników, w związku z czym tradycyjne badania marketingowe (ankiety, wywiady) nie są wystarczające do ich identyfikacji. Potrzeba rozszerzenia badań marketingowych o wiarygodniejszą, praktyczniejszą i precyzyjniejszą wiedzę, która byłaby użyteczna w podejmowaniu lepszych i bardziej optymalnych decyzji biznesowych, przyczyniła się do powstania neuromarketingu.

W związku z ograniczeniami badawczymi i aplikacyjnymi dotychczasowego podejścia marketingowego w ostatnich latach obserwować można dynamiczny rozwój nowego spojrzenia na marketing – bazującego na dorobku neuronauki. Neuromarketing jest relatywnie nowym podejściem badawczym i biznesowym. Termin „neuromarketing” po raz pierwszy wprowadził w 2002 roku Ale Smidts, profesor teorii organizacji z Uniwersytetu Erazma w Rotterdamie. Zgodnie z zaproponowaną przez niego definicją, neuromarketing to „identyfikowanie mechanizmów zachodzących w mózgu w celu zrozumienia zachowań konsumenta i tym samym ulepszenia strategii marketingowej” (Smidts, 2002, s. 29). Nowatorskie potraktowanie analizy zachowań zakupowych konsumentów i oceny działań marketingowych szybko zyskało na znaczeniu i już w 2005 roku pojęcie neuromarketingu wpisano oficjalnie do renomowanego słownika *Collins English Dictionary*. Neuromarketing rozumiany jest jako „proces badania wzorców mózgowych konsumentów w celu ujawnienia ich reakcji na określone reklamy i produkty przed opracowaniem nowych kampanii

reklamowych i technik brandingowych” (*Collins English Dictionary*, 2005). To także „zastosowanie metod neuronaukowych do analizy i zrozumienia ludzkich zachowań w odniesieniu do rynków i wymiany marketingowej” (Lee i in., 2007). Neuromarketing jest podejściem, w którym wykorzystywane są neuronaukowe metody badawcze pozwalające wnioskować na podstawie zmieniającej się aktywności mózgu i parametrów fizjologicznych konsumenta o skuteczności działań marketingowych.

Obecnie neuromarketing postrzegany jest jako dziedzina neuronauki (Plassmann i in., 2015, s. 427–435), podejście naukowe (Senior i Lee, 2008, s. 263–271), subdyscyplina neuroekonomii (Hubert i Kenning, 2008, s. 272–292; Wrona, 2014, s. 5–9), odrębna dyscyplina (Garcia, Saad, 2008, s. 397–414), ale także jako część marketingu (Fisher i in., 2010, s. 230–237). Neuromarketing jest również opisywany jako narzędzie badawcze, które zapewnia bezpośrednią obserwację reakcji mózgu na bodźce marketingowe. Syntetyczny przegląd definicji i sposobów rozumienia neuromarketingu przedstawiono w tabeli 1.

W teoretycznym ujęciu neuromarketing oznacza sposób prowadzenia badań naukowych z zastosowaniem metod neuronaukowych do weryfikacji hipotez badawczych i odkrywania prawidłowości w procesie podejmowania decyzji przez decydentów, w reakcjach konsumenta na określone bodźce marketingowe. W aspekcie praktycznym neuromarketing postrzegany jest natomiast jako działalność o charakterze biznesowym, w której wykorzystywane są neuronaukowe metody badawcze do celów komercyjnych, takich jak opracowywanie strategii marketingu mix, branding, projektowanie reklam i opakowań produktów, badanie wewnątrzsklepowych zachowań nabywców (Pierański, 2020). Neuromarketing ma na celu zwiększenie efektywności działań marketingowych poprzez badanie reakcji mózgu (Smidts, 2002) oraz kierowanie, inspirowanie i prowadzenie firm i organizacji do lepszego i głębszego zrozumienia potrzeb, oczekiwań i pragnień ludzi, zachęcania do ciągłego doskonalenia ich strategii marketingowych (produktów i usług), komunikacji, zarządzania i wartości marki (Garofalo i in., 2021). Głównym zadaniem neuromarketingu jest badanie neuronalnych podstaw decyzji konsumenckich za pomocą specjalnych urządzeń pomiarowych.

Tabela 1

Przegląd definicji neuromarketingu

Autor definicji	Definicja neuromarketingu
1	2
Sutherland (2007)	neuromarketing jest stosowanym rozszerzeniem neuronauki
Fisher i in. (2010)	jednym z przejawów nowej neurokultury jest neuromarketing, który można wstępnie zdefiniować jako marketing zaprojektowany na podstawie badań neuronaukowych
Babiloni (2012)	w literaturze naukowej najbardziej akceptowaną definicją neuronauki konsumenckiej lub neuromarketingu jest to, że jest to dziedzina badań dotycząca zastosowania metod neuronauki do analizy i zrozumienia ludzkich zachowań związanych z rynkami i wymianami marketingowymi
Kong i in. (2013)	neuromarketing jest to nowatorskie zastosowanie neuronauki w psychologii konsumenta, zwłaszcza w reklamie, które ostatnio zyskało duże zainteresowanie zarówno w badaniach akademickich, jak i w praktyce biznesowej
Yoon i in. (2006)	Neuromarketing jest interdyscyplinarną i szeroką dziedziną badań. Definiowany jest jako narzędzie łączące neuronaukę i techniki fizjologiczne do uzyskania wglądu w zachowania klientów i skutecznego przewidywania ich preferencji w procesie decyzyjnym
Morin (2011)	neuromarketing to wschodząca dziedzina, która łączy badanie zachowań konsumentów z neuronauką
Lee i in. (2007)	Neuromarketing jest to rewolucyjna idea w ekonomii, która łączy w sobie kilka dyscyplin, takich jak psychologia, ekonomia, zwłaszcza marketing i neuronauka. Można go zdefiniować jako dziedzinę badań, w której zastosowano metody neuronaukowe do analizy i zrozumienia ludzkich zachowań w odniesieniu do rynków i giełd marketingowych
Fugate (2007)	neuromarketing i jego prekursora (neuroekonomia) wykorzystują informacje kliniczne o funkcjach i mechanizmach mózgu, aby pomóc wyjaśnić zachowania konsumentów (tzw. czarna skrzynka)
Vecchiato (2011)	neuromarketing wykorzystuje nieinwazyjną rejestrację sygnałów mózgowych i techniki bezpośredniego pomiaru reakcji mózgu klienta na bodźce marketingowe, zastępując tradycyjne metody ankietowania
Braidot (2011)	neuromarketing można zdefiniować jako zaawansowaną dyscyplinę, która bada procesy mózgowe wyjaśniające zachowanie i podejmowanie decyzji przez ludzi w obszarach działania tradycyjnego marketingu: analizy rynku, projektowania produktów i usług, komunikacji, ceny, brandingu, pozycjonowania, targetowania, kanałów i sprzedaży
Orzan i in. (2012)	neuromarketing jest to nowa dyscyplina marketingowa, która wykorzystuje techniki medyczne, aby zrozumieć, w jaki sposób ośrodkowy układ nerwowy człowieka reaguje na bodźce marketingowe

1	2
Touhami i in. (2011)	Neuromarketing jest nową dziedziną, w której spotykają się marketing i neuronauka. Marketerzy i reklamodawcy wykorzystali wyniki wielu badań obrazowania mózgu do rozwiązywania problemów marketingowych, do dowiedzenia się, co może kierować zachowaniem konsumentów
Ariely i Berns (2010)	neuromarketing jest to zastosowanie metod neuroobrazowania w marketingu produktów
Eser i in. (2011)	neuromarketing wykorzystuje najnowsze osiągnięcia w skanowaniu mózgu, aby dowiedzieć się więcej o procesach umysłowych stojących za decyzjami zakupowymi klientów
Neuromarketing Science & Business Association (NMSBA)	Neuromarketing wykorzystuje neuronaukę do ujawniania podświadomych procesów decyzyjnych konsumentów. Neuromarketerzy badają reakcje mózgu i reakcje biometryczne, a także zachowanie, aby zrozumieć i kształtować sposób, w jaki konsumenci czują, myślą i działają
Häusel (2006)	Neuromarketing oznacza wykorzystywanie i stosowanie metod i wiedzy z badań podstawowych w praktyce marketingowej. Zajmuje się tym, jak w ludzkim mózgu odbywają się decyzje o zakupie i wyborze, ale przede wszystkim tym, jak można na nie wpływać. W węższej definicji neuromarketing utożsamiany jest z użyciem aparaturowych metod badania mózgu do celów badania rynku. Z kolei w rozszerzonej definicji jest postrzegany bardziej kompleksowo i rozumiany jako wykorzystanie różnorodnych wyników badań mózgu w celach marketingowych
Plakhin i in. (2018)	Neuromarketing to nowy kierunek w marketingu, który wykorzystuje badania mózgu, neuroobrazowanie, do badania zachowań kupującego. W rzeczywistości jest to jedno z narzędzi zarządzania relacjami z klientem (CRM), zbudowane w oparciu o zrozumienie podstawowych mechanizmów funkcjonalnych układu nerwowego
Garofalo i in. (2021)	Neuromarketing jest jednym z kierunków rozwoju marketingu. Wynika z potrzeby pogłębiania przez firmy, marki, organizacje oraz ośrodki naukowe i uniwersyteckie wiedzy o ludziach, ich zachowaniach i sposobie decydowania w odniesieniu do przemian kulturowych, społecznych i gospodarczych. Neuromarketing definiuje nową dziedzinę badań, oceny strategiczne i zastosowania operacyjne wynikające z integracji neuronauki, neuroekonomii i psychologii poznawczej z tradycyjnym marketingiem, marketingiem internetowym i cyfrowym oraz komunikacją, a także asymiluje wkład naukowy z wielu innych dyscyplin, które badają osobę i jej mózg, takich jak np. semiotyka, projektowanie, antropologia kulturowa, filozofia języka, socjologia, językoznawstwo i teorie uczenia się

1	2
Wawrzyniak i Wąsikowska (2016)	Neuromarketing jest to wykorzystanie narzędzi pomiarowych stosowanych w naukowych badaniach psychofizjologicznych oraz wiedzy o zachowaniach człowieka w procesie optymalizacji bodźców marketingowych. Termin ten oznacza marketing oparty na badaniach neuronaukowych. Neuromarketing zawiera się w trzech obszarach: rozwija klasyczne badania marketingowe, wspiera tworzenie przekazu komunikacyjnego zgodnie z wiedzą neuronaukową oraz stosuje techniki neuronauki poznawczej do wspierania sprzedaży. Wykorzystuje techniki neuronauki poznawczej do analizy podejmowania decyzji w procesie kształtowania komunikacji z rynkiem i odnosi się do wszystkich narzędzi marketingowych (marketing mix). Wynika to ze świadomości konieczności stosowania w procesie planowania i realizowania koncepcji polityki produktu, cen, promocji, dystrybucji podejścia neuropsychologicznego i neuropoznawczego. Środkiem ciężkości neuromarketingu jest polityka komunikacji, ponieważ reakcje mózgu są mierzone w odniesieniu do określonych bodźców zewnętrznych
Wąsikowska (2016)	Istotą marketingu jako nauki jest prowadzenie badań procesów zachodzących w sferze wymiany, czyli dostosowywania oferty przedsiębiorstwa do stwierdzonych oraz uświadamianych konsumentowi potrzeb. Włączając techniki neuronauki poznawczej do swoich badań, specjaliści od marketingu próbują uzyskać pełniejszy obraz tego, co dzieje się w głowach konsumentów
Wala i in. (2019)	Koncepcja neuromarketingu wiąże się z zastosowaniem narzędzi pomiarowych używanych w analizie zachowań psychoemocjonalnych ludzi do procesu optymalizacji bodźców marketingowych. Neuromarketing opiera się na wiedzy o mózgu wykorzystywanej przez ludzi do podejmowania decyzji. Główną hipotezą w założeniach neuromarketingu jest to, że ludzie podejmują decyzje zakupowe, kierując się emocjami, a nie racjonalnym myśleniem
Sznajder (2008)	Neuromarketing jest gałęzią nauki, w której bada się reakcje poznawcze, emocjonalne i sensomotoryczne na bodźce marketingowe
Mruk i Sznajder (red., 2008)	Ogół sposobów pomiaru aktywności mózgu człowieka związanych z bodźcami marketingowymi, takimi jak produkt, marka, opakowanie, cena, dystrybucja i promocja

Źródło: opracowanie własne na podstawie przeglądu literatury przedmiotu

Firmom łatwo jest śledzić, co kupują konsumenci, ale trudniej jest zrozumieć, dlaczego kupują (Ghorpade, 2017, s. 96–99). Neuromarketing umożliwia tworzenie przekazu komunikacyjnego zgodnie z wiedzą neuronaukową. Wykorzystuje także wyniki diagnostyki neurologicznej do wspierania sprzedaży (McClure i in. 2004, s. 379; Vecchiato i in., 2011).

Za pomocą zaawansowanych metod badawczych i technik neurologicznych stosowanych w obszarze zachowań konsumenckich możliwe jest lepsze zrozumienie procesu decyzyjnego i spojrzenie na konsumenta przez pryzmat „czarnej skrzynki” (Solomon i in., 2008, s. 20–35). Mózg postrzegany jest jako „czarna skrzynka” ukrywająca emocje i preferencje konsumentów, a neuromarketing działa jak okno, które odsłania i daje dostęp do tych emocji (Javor i in., 2013). Metody neuroobrazowania i techniki biometryczne wykorzystywane na gruncie marketingowym stanowią podstawę badań szeroko rozumianego zachowania konsumentów i procesu decyzyjnego. Neuromarketing wykorzystuje najnowocześniejszą i innowacyjną technologię do bezpośredniego badania reakcji organizmu na określone bodźce. Nowoczesna technologia skanowania mózgu umożliwia lepsze zrozumienie procesów psychologicznych (świadomych i nieświadomych) leżących u podstaw decyzji zakupowych konsumentów (Glimcher i in., 2009). Mózg traktuje własne preferencje jako potencjalną korzyść, a cenę jako koszt, a co za tym idzie – kupowanie jest bardziej reakcją emocjonalną niż racjonalną, wykalkulowaną decyzją (Maciejasz-Świątkiewicz i Musiał, 2014; Drenda, 2016, s. 172, 173).

W przeciwieństwie do tradycyjnych technik badań marketingowych, neuromarketing pozwala uchwycić poznawczą i emocjonalną reakcję konsumentów na różne bodźce marketingowe, dzięki czemu możliwe jest prognozowanie i przewidywanie ich zachowań i decyzji zakupowych. Neuromarketing wykorzystuje nieinwazyjne techniki rejestracji sygnałów mózgowych do bezpośredniego pomiaru reakcji mózgu na bodźce marketingowe, zastępując tradycyjne metody ankietowe. Podobnie jak w przypadku marketingu i badań marketingowych należy odróżnić neuromarketing, czyli marketing skierowany „do mózgu”, od badań neuromarketingowych, czyli badań zorientowanych na określenie „odpowiedzi mózgu” na bodźce marketingowe. Badania neuromarketingowe mają głównie na celu zrozumienie reakcji emocjonalnych na bodźce i pozwalają na ocenę niektórych działań marketingowych *ex ante*, czyli przed ich podjęciem, poprzez ocenę reakcji mózgu respondenta na bodźce (Gregor i Wdowiak, 2016, s. 52–53). Wykorzystanie metod neurometrycznych (neuroobrazowanie) i biometrycznych (reakcje fizjologiczne) do oceny reakcji konsumentów, w czasie rzeczywistym, daje wyniki obiektywne oraz pokazuje mechanizmy powstawania emocji i zachowań zakupowych

konsumentów. Do najczęstszych metod neuroobrazowania zalicza się elektroencefalografię (EEG), magnetoencefalografię (MEG), funkcjonalny rezonans magnetyczny (fMRI), funkcjonalną spektroskopię w bliskiej podczerwieni (fNIRS) i pozytonową tomografię emisyjną (PET). Oprócz technik rejestrowania sygnałów mózgowych w neuromarketingu rejestrowane są także sygnały fizjologiczne, takie jak śledzenie ruchu gałek ocznych (E-T), analiza rytmu serca (EKG), pomiary tętna (HR) i analiza przewodnictwa skóry (GSC) w celu uzyskania wglądu w reakcje fizjologiczne odbiorców na bodźce (Rutkowska, 2024). Te neurofizjologiczne sygnały z zaawansowaną analizą spektralną i algorytmami uczenia maszynowego mogą również dostarczać niemal dokładnego obrazu preferencji konsumentów i ich upodobań bądź antypatii (Rawnaque i in., 2020).

Badania neuromarketingowe pozwalają na uchwycenie emocji istotnych w procesie podejmowania decyzji i określenie psychologicznych determinantów ostatecznych decyzji nabywczych. Neuromarketing jest dyscypliną komercyjnej komunikacji marketingowej, która wzbogaca badania rynku o neuropsychologię. Uwzględnienie wyników neuroobrazowania w działalności biznesowej ma na celu poprawę efektywności marketingu, projektowanie produktów adekwatne do potrzeb konsumentów, poprawę skuteczności promocji i reklamy, ustalanie optymalnego poziomu cen, a nawet projektowanie sklepów. Neuromarketing można postrzegać jako formalne i systematyczne badanie reakcji mózgu na reklamę i branding oraz dostosowywanie tych reakcji do wiadomości w oparciu o opinie, aby uzyskać jeszcze lepsze odpowiedzi (Verma, 2020, s. 282, 283). Rolą badań neuromarketingowych jest dotarcie do nieuświadomionych procesów przetwarzania informacji i ujawnienie procesów zachodzących między percepcją a działaniem poprzez analizę mechanizmów neurobiologicznych, za pomocą których zachodzi podejmowanie decyzji (Mohsen i Mostafa, 2020, s. 2007). Neuromarketing obejmuje badanie mentalnych, emocjonalnych i sensorycznych reakcji konsumentów na bodźce związane z marketingiem.

Najnowsze osiągnięcia neuronauki dotyczące struktury mózgu i jego funkcjonowania doprowadziły do powstania nowych sposobów rozumienia konsumenta i neuromarketingu. Zastosowanie diagnostyki medycznej w badaniach zachowań konsumentów pozwala na uzyskanie efektu synergii. Skojarzenie metod stosowanych w tradycyjnych badaniach

z diagnostyką obrazową pozwala nie tylko na poznanie opinii deklarowanych przez konsumentów, ale również na uzyskanie informacji na poziomie podświadomości. Zastosowanie diagnostyki medycznej może być pomocne w wielu obszarach marketingu. Niewątpliwie informacje zebrane za pomocą wielu metod diagnostycznych mogą być przydatne na etapie projektowania produktu, a także w trakcie trwania kampanii reklamowej. Pozwala to na pełną optymalizację i modernizację przed etapem wdrożenia (Turek i Smyczek, 2011, s. 72, 73).

Podejmowanie decyzji stanowi we współczesnej firmie najważniejszy element procesów zarządzania zasobami ludzkimi i materialnymi, pozwalający na osiągnięcie celów organizacyjnych. W naukach społecznych, w tym w nauce o zarządzaniu, powszechnie stosowane są badania korelacyjne pozwalające na stwierdzenie współwystępowania badanych zjawisk. Badania eksperymentalne zasługują na szczególną uwagę, ponieważ pozwalają wnioskować o przyczynowo-skutkowej relacji między badanymi zjawiskami. W podejściu poznawczym w centrum zainteresowania umieszczone jest to, co w behawioryzmie odrzucano jako niepodlegające naukowemu poznaniu, czyli procesy poznawcze – procesy percepcji, uwagi, myślenia i pamięci (Klincewicz, 2016, s. 371). Neuromarketing ma potencjał do integracji z innymi dziedzinami, takimi jak psychologia ekonomiczna, ekonomia behawioralna, biologia behawioralna czy sztuczna inteligencja. Mimo dużej użyteczności należy także uwzględnić kwestie związane z etyką badań i zastosowania wyników. Rozwój neuromarketingu będzie zależał od regulacji prawnych i akceptacji społecznej. Jest to dziedzina badawcza, która wymaga specjalistycznej wiedzy, zasobów technologicznych i finansowych.

2. Mózg jako przedmiot badań neuromarketingowych

Ścisłość i rygoryzm badań naukowych implikują konieczność przyjmowania pewnych aksjomatów wyjściowych i założeń. Neuronauka poznawcza (ang. *cognitive neuroscience*) jest interdyscyplinarną dziedziną zajmującą się badaniem układu nerwowego. Celem badań neuronaukowych jest poznawanie tego, jak mózg tworzy umysł. Badania aktywności spoczynkowej mózgu doprowadziły do odkrycia jego „funkcjonalnego szkieletu”, sieci połączeń wewnętrznych leżących u podłoża aktywności poznawczej człowieka (Jurewicz, 2020, s. 120, 121). Postęp w mapowaniu architektury funkcjonalnej mózgu i liczne badania neuroobrazowe w ostatnich latach przyczyniły się do poszerzenia wiedzy o organizacji i roli poszczególnych obszarów mózgu w kształtowaniu zdolności kognitywnych człowieka. Znajomość anatomii, fizjologii i biochemii mózgu jest kluczowa z punktu widzenia współczesnej metodologii badań ekonomicznych prowadzonych przede wszystkim w nurcie neuroekonomii, ekonomii eksperymentalnej i behawioralnej. Wiedza z neurologii jest także szczególnie użyteczna na gruncie współczesnego neurozarządzania i neuromarketingu. Można twierdzić, iż rzetelność badań bazujących na wiedzy neuronaukowej wymaga od ekonomistów i menedżerów nie tylko znajomości zasad funkcjonowania mechanizmów rynkowych, lecz także poznania kognitywnych zasad funkcjonowania ludzkiego mózgu.

Przedmiotem badań neuromarketingowych jest mózg człowieka, stąd też fundamentalną kwestią jest wiedza z zakresu neuroanatomii i neurofizjologii. Układ nerwowy człowieka zbudowany jest z kilku podsystemów współpracujących ze sobą i resztą organizmu. Ze względu na budowę wyróżnia się ośrodkowy (centralny) układ nerwowy (ang. *central nervous system*) złożony z mózgowia i rdzenia kręgowego oraz obwodowy układ nerwowy (ang. *peripheral nervous system*) tworzony przez nerwy obwodowe. Nadrzędną rolą systemu nerwowego jest odbiór, analiza i przetwarzanie informacji pochodzących ze środowiska wewnętrznego i zewnętrznego, a także wysyłanie adekwatnej odpowiedzi na bodźce do narządów wykonawczych. Podstawowymi jednostkami strukturalnymi i funkcjonalnymi układu nerwowego są komórki nerwowe zwane neuronami. W układzie nerwowym informacje przekazywane są w postaci impulsów elektrycznych (nerwowych) i substancji chemicznych.

Komórkami pomocniczymi w procesie przekazywania informacji są komórki glejowe (Gołąb, 2014).

Z punktu widzenia badań neuromarketingowych najistotniejszym narządem warunkującym zachowania rynkowe jest mózgowie, będące jednym z najważniejszych i najbardziej skomplikowanych narządów w organizmie człowieka. W naukach neurologicznych najczęściej stosowanymi podziałami mózgowia jest podział kliniczny i topograficzny. Biorąc pod uwagę podział kliniczny w mózgowiu wyróżnia się półkule mózgu, mózdzek, pień mózgu, a w nim: śródmózgowie, most i rdzeń przedłużony (Young i Tolbert, 2016). Podział topograficzny bazuje natomiast na schemacie rozwoju poszczególnych struktur mózgowia. Z tego powodu nazywany jest także podziałem rozwojowym lub ontogenetycznym (łac. *ontogenesis* – rozwój osobniczy) (Bochenek i Reicher, 1997). Części składowe mózgowia stanowią pierwotne pęcherzyki mózgowe zarodka (przodomózgowie: kresomózgowie, międzymózgowie; śródmózgowie: pokrywa śródmózgowia, konary mózgu; tyłomózgowie: tyłomózgowie wtórne, rdzeniomózgowie) dzielące się dalej na wtórne pęcherzyki mózgowe. Jedynie śródmózgowie nie ulega podziałowi na wtórne pęcherzyki. Każda z części mózgowia ma inną budowę i pełni odmienne funkcje (Bochenek i Reicher, 2012). Mózg, podobnie jak rdzeń kręgowy, wchodzi w skład ośrodkowego układu nerwowego, zbudowanego z komórek nerwowych (nerwów czaszkowych) i glejowych (astrocyty, komórki ependymalne, oligodendrocyty). Komórki nerwowe (neurony) połączone są za pomocą złączy zwanych synapsami, dzięki którym neurony mogą komunikować się ze sobą i przekazywać istotne informacje za pomocą impulsów elektrycznych (Walocha, 2013). Przesyłanie impulsów i tworzenie rozbudowanych sieci neuronowych jest głównym zadaniem ludzkiego mózgu. Mózg jest najbardziej złożonym organem zarówno pod względem budowy, jak i pełnionych funkcji (Orrison, 2021). Z chemicznego punktu widzenia składa się z około 1,5 litra wody, 130 g białka, 95 g tłuszczu i około 40–45 g soli mineralnych. Jest on zbudowany z około 90–200 miliardów neuronów (Beck, 2017).

Nadrzędnym celem badań neuromarketingowych jest rozpoznanie, opisanie i wyjaśnienie procesów kognitywnych zachodzących w mózgu podczas podejmowania decyzji ekonomicznych. Istotna w tym kontekście jest także ocena bioaktywności mózgu podczas ekspozycji na okre-

ślone bodźce zewnętrzne mające wpływ na zachowania rynkowe konsumenta. Z medycznego punktu widzenia zasada funkcjonowania mózgu polega na przekazywaniu sygnałów elektrycznych (potencjałów czynnościowych) w obrębie neuronu oraz sygnałów chemicznych (neuroprzekaźników) w obrębie synapsy. Podstawową jednostką czynnościową mózgu jest tzw. zespół neuronów będący populacją komórek układu nerwowego biorących udział w określonym procesie przetwarzania informacji w układzie nerwowym (Carmena i in., 2003, s. 42). Neuron ma zdolność błony komórkowej do wysyłania sygnałów w formie salw aktywności elektrochemicznej oraz specyficzny kształt w formie wypustek (neuryty – aksony i dendryty) umożliwiające łączenie z innymi neuronami w celu dalszej transmisji określonych sygnałów. W poszczególnych częściach mózgu występują rozmaite rodzaje neuronów (Greenfield, 1998, s. 44, 45; Longstaff, 2012, s. 4–6). Klasyfikacje neuronów bazują na ich cechach strukturalnych (rozmiarze, wzorze drzewka dendrytowego, odległości aksonów, charakterze połączeń), rodzajach wydzielanych przez nie neuroprzekaźników (pobudzających lub hamujących) oraz pełnionych przez nie funkcjach.

W ocenie percepcji bodźców oraz informacji otrzymywanych w procesie decyzyjnym i zachowaniu nabywczym istotny jest fakt, że mózg zbudowany jest z dwóch wyraźnych półkul mózgowych (prawej i lewej) połączonych tzw. spoidłem wielkim (ciałem modzelowatym) umożliwiającym przepływ informacji między półkulami. Mimo podobieństwa budowy półkul, występują istotne różnice w pełnionych przez nie funkcjach. Lewa półkula („zimna” i „werbalna”) odpowiada za logiczne myślenie, przyswajanie wiedzy, obliczenia matematyczne, szeregowanie, analizowanie, rozumienie, planowanie, pracę zmysłów i kontrolę prawej strony ciała. Prawa półkula („gorąca” i „twórcza”) odpowiada natomiast za wyobraźnię przestrzenną, myślenie abstrakcyjne, zdolności artystyczne, kreatywność, wyobraźnię, muzykalność, rozróżnianie kolorów, wizualizację, emocjonalność, dostrzeganie podobieństw i kontrolę lewej strony ciała (Gałkowski i in., 2005; Dryden i Vos, 2000, s. 125). Obie półkule łączy ciało modzelowate, czyli system nieustannie utrzymujący równowagę między wchodzącymi do niego informacjami. Łączy on abstrakcyjny obraz z konkretną informacją.

Na każdej półkuli mózgowej wyróżnia się trzy powierzchnie: wypukłą, przyśrodkową i podstawę mózgu. Są one porozdzielane bruzdami

i szczelinami. Kora mózgowa (łac. *cerebral cortex*), zwana także korą mózgu, stanowi największą część mózgowia. Zarządza analizą informacji zmysłowych oraz organizacją złożonych ludzkich zachowań (Kalat, 2020, s. 103). Wchodzi w skład płaszcza mózgu składającego się z istoty białej pokrytej od zewnątrz istotą szarą. Kora mózgu zbudowana jest z sześciu warstw leżących równolegle do powierzchni mózgu. Różnią się one zawartością i rodzajem komórek nerwowych oraz połączeniami odbieranymi i wysyłanymi do innych struktur mózgu (Longstaff, 2012). Biorąc pod uwagę aspekt funkcjonalny, korę mózgu dzieli się na trzy podstawowe obszary:

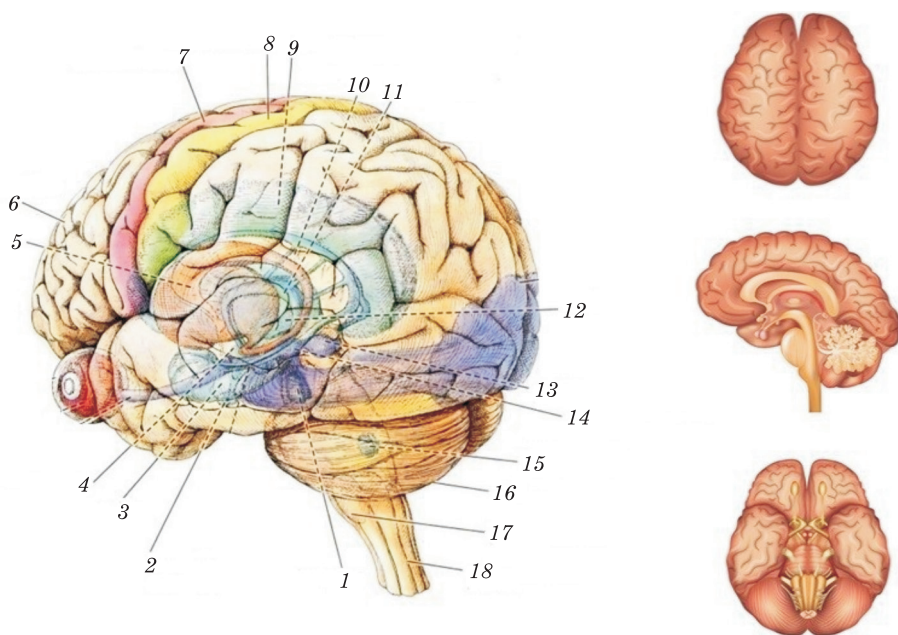
- związany z odbieraniem i początkowym przetwarzaniem informacji zmysłowych (pierwszorzędowa kora czuciowa, pierwszorzędowa kora wzrokowa, pierwszorzędowa kora słuchowa oraz kora wzrokowa);
- związany z kontrolą czynności ruchowych (kora ruchowa);
- asocjacyjne (drugorzędowa i trzeciorzędowa kora wzrokowa, drugorzędowa kora czuciowa, kora przedczołowa, obszary związane z funkcjami językowymi: ośrodek Wernickiego i ośrodek Broki).

Informacje zmysłowe przekazywane są od odpowiednich receptorów do kory mózgu poprzez wzgórze. Ośrodki znajdujące się w określonej półkuli mózgu otrzymują informację zmysłową pochodzącą z przeciwnej strony ciała (Bear i in. 2007, s. 195–199, 694–699). Jednym z najważniejszych ośrodków w mózgu, aktywowanych podczas podejmowania decyzji ekonomicznych i odbioru informacji marketingowych, jest tzw. układ nagrody, kluczowy zwłaszcza w decyzjach inwestycyjnych i strategicznych. Składają się na niego liczne struktury mózgu wytwarzające motywację pozytywną. Ich działanie integruje układ dopaminergiczny pnia mózgu. Pole brzuszne nakrywki (ang. *Ventral Tegmental Area – VTA*), wysyłając włókna dopaminergiczne do pozostałych obszarów mózgu, tj. jądra półleżącego, prążkowie, przedniego zakrętu kory obręczy, hipokampu, ciała migdałowatego, kory mózgowej, tworzy mózgowy szlak przyjemności, który z kolei odgrywa ogromną rolę w percepcji bodźców marketingowych i w doświadczeniu konsumenckim.

W obrębie półkul mózgowych wyróżnia się cztery płaty mózgu: czołowy, ciemieniowy, skroniowy, potyliczny, zróżnicowane pod względem pełnionych funkcji (Sylwanowicz i in., 1990, s. 68). Podział ten jest szczególnie istotny z punktu widzenia badań neuroekonomicznych, neuro-

marketingowych oraz identyfikacji uwarunkowań decyzji ekonomicznych i zachowań konsumenckich. Budowę mózgu przedstawiono na rysunku 1.

Płat czołowy leży z przodu kresomózgowia, przed płatem ciemieniowym i przed znajdującymi się po przeciwległych stronach głowy dwoma płatami skroniowymi. Odpowiada za myślenie, podejmowanie decyzji i planowanie. Dzięki strukturom płata czołowego możliwe są bowiem procesy analizy i przetwarzania informacji. Płat ten odpowiada także za pamięć prospektywną związaną z zapamiętywaniem i planowaniem działań (Pirau i Lui, 2020). Ośrodki w obszarze płata czołowego warunkują zdolność do rozumienia słów oraz przekładania myśli na mowę (ośrodek ruchowy mowy Broki). Obszar ten wpływa także na osobowość i charakter poprzez regulację odpowiedzi na bodźce, pamięć, motywację



Rys. 1. Budowa mózgu: 1 – istota czarna; 2 – przysadka mózgowa; 3 – hipokamp; 4 – podwzgórze; 5 – zwoje podstawne; 6 – kora przedczołowa; 7 – kora ruchowa; 8 – kora czuciowa; 9 – zakręt obręczy kory limbicznej; 10 – spoidło wielkie; 11 – sklepienie; 12 – wzgórze; 13 – wzgórki czworaczne górne; 14 – ciało kolankowate boczne; 15 – miejsce sinawe; 16 – mózdzek; 17 – rdzeń przedłużony; 18 – rdzeń kręgowy
Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Wstęp do kognitywistyki*, <https://www.is.umk.pl/~duch/Wyklady/Kog1/B04-budowa.htm> (dostęp: 24.04.2024); *Warszawska Akademia Medyczna*, <https://wam.edu.pl/blog/ludzki-mozg-budowa-oraz-funkcje/> (dostęp: 24.04.2024)

oraz rozumienie uczuć innych ludzi. Kora mózgowa płata czołowego umożliwia koordynowanie zachowań społecznych, emocji i motywacji oraz świadome dokonywanie wyborów i abstrakcyjne myślenie (Barrash i in., 2018).

Płat ciemieniowy leży za płatem czołowym, w obszarze górnej tylnej części mózgu, blisko kości ciemieniowej. Jest on strukturą parzystą złożoną z prawego i lewego płata położonego w każdej z półkul mózgowych. Prawidłowe funkcjonowanie płata ciemieniowego mózgu jest niezbędne do odbioru, odczuwania i integracji wrażeń zmysłowych, w tym dotyku, temperatury, bólu oraz informacji wzrokowych i słuchowych. Ośrodki płata ciemieniowego biorą także udział w przetwarzaniu uzyskiwanych informacji, procesach poznawczych, wykonywaniu obliczeń matematycznych, orientacji przestrzennej, koordynacji ruchów, mowie, czytaniu i pisaniu (Javed i in., 2021). Jest to jeden z najbardziej istotnych obszarów mózgu aktywowanych podczas reakcji na bodźce marketingowe.

Płat skroniowy leży w bocznej, środkowej części mózgu, za skroniami. Zajmuje obszar znajdujący się wzdłuż półkul mózgowych, poniżej płata ciemieniowego i czołowego, przed płatem potylicznym. W obszarze płata skroniowego znajdują się struktury układu limbicznego, ośrodek Wernickiego i ośrodek Broki. Płat skroniowy odpowiedzialny jest za pamięć, tworzenie wspomnień, nadawanie sensu bodźcom wizualnym, motywację, odczuwanie emocji, rozpoznawanie, rozumienie i wytwarzanie mowy, przetwarzanie bodźców słuchowych i komunikację międzyludzką (Patel, 2020).

Płat potyliczny jest najmniejszym z czterech parzystych płatów kory mózgowej człowieka. Ma kształt zbliżony do trójkąta. Umiejscowiony jest za płatem czołowym i ciemieniowym. Leży na namiocie mózdzku i pod kością potyliczną. Prawy i lewy płat potyliczny oddziela od siebie szczelina podłużna. Płat potyliczny obejmuje trzy pola Brodmanna: pole 17 (pierwszorzędową korę wzrokową: bruzdę ostrogową), pole 18 (drugorzędową korę wzrokową: zakręt językowy) i pole 19 (trzeciorzędową korę wzrokową: zakręt językowy). Stanowi on zatem ośrodek wzroku i przede wszystkim pełni funkcje związane z odbieraniem, interpretacją i zapamiętywaniem bodźców wizualnych. Płat potyliczny umożliwia ponadto rozumowanie przestrzenne, rozpoznawanie ruchu obiektów, określanie koloru widzianych przedmiotów, rozpoznawanie

bodźców wizualnych, pamięć wzrokową oraz przekazywanie informacji wzrokowych do innych obszarów mózgu, co pozwala na ich zapamiętywanie, nadawanie im znaczenia oraz wywoływanie adekwatnej odpowiedzi ruchowej i słownej (Rehman i Al Khalili, 2020).

W toku dotychczasowych badań z wykorzystaniem metod neuroobrazowania zidentyfikowano kluczowe obszary mózgu odpowiedzialne za konkretne zachowania ludzi. Badania neuromarketingowe polegają m.in. na obserwacji, analizie i ocenie aktywności poszczególnych obszarów w mózgu odpowiedzialnych za proces poznawczy, percepcję informacji, reakcje emocjonalne czy zachowania mające istotny wpływ na przebieg procesu decyzyjnego. Neurofizjologicznym korelatem zachowań ekonomicznych i percepcji bodźców jest układ regulacji emocji (ang. *emotion regulation system*). Odpowiada on przede wszystkim za identyfikację znaczenia emocjonalnego bodźców, reakcję (w tym autonomiczną) na te bodźce oraz regulację stanów emocjonalnych (Phillips, 2003, s. 190–193). Brzuszny układ regulacji emocji tworzą: ciała migdałowate, wyspa, brzuszna część prążkowiec oraz dziobowy obszar przedniej części kory zakrętu obręczy i brzuszno-przyśrodkowa kora przedczołowa (brzuszny układ regulacji jest szczególnie aktywny podczas szybkiej oceny znaczenia emocjonalnego bodźców i regulacji wegetatywnych reakcji na owe bodźce). Grzbietowy układ regulacji emocji tworzy natomiast hipokamp, grzbietowe obszary przedniej części kory zakrętu obręczy i kory przedczołowej (jest on szczególnie aktywny podczas regulacji stanów emocjonalnych) (Etkin i in., 2015, s. 693–700).

Należy podkreślić, że mózg wykazuje aktywność nie tylko podczas wykonywania zadań poznawczych, lecz także w czasie spoczynku. Sieć stanu spoczynkowego (ang. *Default Mode Network* – DMN) jest to zespół obszarów aktywnych w sytuacji, gdy mózg nie jest skupiony na konkretnym zadaniu. W obręb sieci stanu spoczynkowego włącza się zazwyczaj obszary przyśrodkowej kory przedczołowej (ang. *medial prefrontal cortex*), tylnego zakrętu obręczy (ang. *posterior cingulate cortex*), przedklinka (ang. *precuneus*), bocznej kory skroniowej (ang. *lateral temporal cortex*) i hipokampu. W sytuacji odpoczynku aktywna jest przede wszystkim sieć stanu spoczynkowego, ale niekiedy uwidacznia się także aktywacja grzbietowej sieci uwagi (ang. *Dorsal Attention Network* – DAN) i brzusznej sieci uwagi (ang. *Ventral Attention Network* – VAN).

W skład grzbietowej sieci uwagowej wchodzi bruzda ciemieniowa dolna (ang. *interior parietal sulcus*), czołowe pole oka (ang. *frontal eye field*) i zakręt czołowy środkowy (ang. *middle frontal gyrus*). Sieć ta odpowiada za procesy „górze – dół” i kierowanie uwagi w związku z zadaniem. Brzuszną sieć uwagową obejmuje natomiast skrzyżowanie skroniowo-ciemieniowe (ang. *temporoparietal junction*) i korę oczodołowo-czołową (ang. *orbitofrontal cortex*) i jest odpowiedzialna za procesy „dół – góra” i wykrywanie niespodziewanych bodźców. Aktywność DAN jest negatywnie skorelowana z DMN (Van Calster i in., 2016; Power i in., 2011; Corbetta i in., 2008). Badania aktywności spoczynkowej mózgu przyczyniły się do odkrycia „funkcjonalnego szkieletu mózgu”, sieci połączeń wewnętrznych leżących u podłoża aktywności poznawczej człowieka. Rozwój metod obrazowania mózgu oraz postęp w mapowaniu jego architektury funkcjonalnej znacząco poszerzył wiedzę o organizacji i roli poszczególnych sieci w kształtowaniu się możliwości poznawczych człowieka.

W kontekście budowy i sposobu funkcjonowania ludzkiego mózgu warto także zwrócić uwagę na dynamiczny rozwój tzw. sztucznych sieci neuronowych (ang. *artificial neural networks*). Oryginalną inspiracją do ich powstania była budowa naturalnych neuronów i łączących je synaps (Patterson, 1996). Obecnie podstawą rozwoju sztucznych sieci są badania neurofizjologiczne i biocybernetyczne oraz badania prowadzone w dziedzinie sztucznej inteligencji. Sztuczne sieci neuronowe są to techniki analityczne wzorowane na hipotetycznym procesie uczenia w systemie poznawczym i funkcjach neurologicznych mózgu, zdolne do przewidywania nowych obserwacji (określonych zmiennych) na podstawie innych obserwacji (dokonanych na tych samych lub innych zmiennych) po przeprowadzeniu procesu tzw. uczenia w oparciu o istniejące dane (Tadeusiewicz, 1993). Sztuczne sieci neuronowe są narzędziami informatycznymi, które naśladują sposób działania naturalnych sieci neuronowych. Sztuczne neurony są jednostkami obliczeniowymi odbierającymi dane wejściowe i generującymi dane wyjściowe (Tadeusiewicz i Szaleniec, 2015). Sieć jest więc połączeniem elementów zwanych sztucznymi neuronami, które tworzą co najmniej trzy warstwy: wejściową, ukrytą i wyjściową, przy czym warstw ukrytych może być wiele. Sieci neuronowe wykorzystują modele matematyczne do odtwarzania połączeń, struktury

i funkcji neuronów ludzkiego mózgu. Dają nowe możliwości analizowania i przetwarzania danych, dlatego też mogą być stosowane w każdej sytuacji, gdzie pojawiają się zadania związane z predykcją, klasyfikacją czy sterowaniem. Uniwersalność sieci neuronowych pozwala na ich efektywne stosowanie w ekonomii i finansach, zarządzaniu i marketingu, matematyce i informatyce, medycynie i diagnostyce obrazowej. Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych w marketingu pozwala m.in. na optymalizację kampanii i zwiększenie skuteczności działań marketingowych, automatyzację procesów marketingowych, wnikliwą analizę danych i wykrywanie trendów, precyzyjne targetowanie i segmentację odbiorców. Sztuczne sieci neuronowe stwarzają ogromną szansę na zwiększenie sprzedaży poprzez spersonalizowane doświadczenia konsumenckiego i wzrost satysfakcji konsumenta (Gašior i in., 2020). Stanowią nie tylko potężne narzędzie do rozwiązywania problemów, ale także fascynujący obiekt badań pozwalający lepiej zrozumieć zasady działania naturalnych systemów nerwowych.

3. Aktywność mózgu w procesie przetwarzania informacji

Umysł, zdefiniowany jako system poznawczy, jest przedmiotem badań prowadzonych na gruncie nauk medycznych, społecznych i humanistycznych. Istnieje konsensus co do tego, że aktywność umysłu polega na przetwarzaniu informacji. Między komunikatem na wejściu (ang. *input*) a reakcją na wyjściu (ang. *output*) zachodzi bardzo złożony proces przetwarzania danych. Mózg jako narząd jest natomiast materialnym podłożem działania umysłu jako systemu poznawczego. Jest to stanowisko, zgodnie z którym funkcje umysłowe zachodzą na materialnym podłożu tkanki nerwowej, a zatem nie mogą istnieć inaczej niż tylko w ścisłej zależności od procesów w niej przebiegających. Badania nad umysłem ukierunkowane są przede wszystkim na ocenę funkcji poznawczych, natomiast badania nad mózgiem zorientowane są na ocenę funkcjonowania poszczególnych neuronów lub grup neuronów oraz aktywności neuronalnej. Kluczowym problemem badawczym neuronauk jest sposób przetwarzania informacji. Na procesy te składają się wszystkie operacje, dzięki którym odbierane przez jednostkę bodźce są transformowane, przekształcane, redukowane, wzmacniane, zachowywane, przywoływane lub wykorzystywane (Nęcka i in., 2020). Celem badań neuromarketingowych w tym kontekście jest przede wszystkim opis zachodzących procesów i określenie, w jaki sposób kształtują one zachowania rynkowe, preferencje zakupowe czy decyzje nabywcze człowieka jako podmiotu rynkowego.

Na gruncie ekonomii behawioralnej, psychologii ekonomicznej, zarządzania i marketingu w procesie podejmowania decyzji istotną rolę, obok czynników ekonomicznych mających wpływ na przebieg procesu decyzyjnego, coraz częściej odgrywają uwarunkowania psychologiczne. Koncepcja ograniczonej racjonalności implikuje rozwój psychologicznego nurtu w ekonomii. Teoretyczne ujęcie procesu decyzyjnego z uwzględnieniem zmiennych psychologicznych ma wyraz w teorii perspektywy (ang. *prospect theory*) opracowanej przez D. Kahnemana i A. Tversky'ego (1979). Podejmowanie decyzji jest w dużej mierze uwarunkowane przez tzw. efekt obramowania (ang. *framing effect*), czyli sposób umysłowej reprezentacji problemu decyzyjnego. Zgodnie natomiast z teorią podwójnych procesów (procesów dualnych), będącą psychologiczną teorią podejmowania decyzji,

osąd i rozumowanie obejmują dwa odrębne procesy – intuicyjne podejmowanie decyzji i racjonalne podejmowanie decyzji. Na tej podstawie D. Kahneman sformułował koncepcję systemów przetwarzania informacji. Systemy myślowe obejmują tzw. system 1 – intuicyjny i system 2 – refleksyjny. System 1, nazywany również niejawnym, ma funkcję generowania intuicji. Charakteryzuje go szybkość i automatyzm działania oraz podświadome i asocjacyjne funkcjonowanie. Jest on aktywowany poprzez intuicję i stosowane heurystyki, funkcjonuje przyczynowo i afektywnie (emocjonalnie). Zdaniem D. Kahnemana system 1 wiąże nowe informacje z istniejącymi już wzorami, dlatego też umysł nie tworzy nowych wzorców z każdego nowego doświadczenia, lecz wiąże nowe informacje ze starymi danymi. Systemu 1 działa na prototypach kategorii i pozwala na automatyczne opracowywanie wniosków. Drugi natomiast z systemów myślowych cechuje działanie wolne i refleksyjne. Podstawową funkcją systemu 2 jest podejmowanie ostatecznych decyzji na podstawie obserwacji i intuicji generowanych przez system 1. Działanie systemu 2 wymaga zatem kontroli, koncentracji i podjęcia świadomego wysiłku myślowego. System ten operuje na całych kategoriach, a przetwarzanie dostępnych informacji zachodzi w sposób dedukcyjny i logiczny (Kahneman, 2012). System 1 determinuje myśli w odniesieniu do percepcji otoczenia oraz pamięci wizualnej i asocjacyjnej, zaś system 2 jest odpowiedzialny za formułowanie wniosków w oparciu o intuicję systemu 1, rozwiązywanie złożonych zadań i podejmowanie skomplikowanych decyzji. Dwa systemy operacji umysłowych są stale aktywne i komunikują się ze sobą, jednak dominacja jednego z nich zależy od kontekstu sytuacyjnego i określonej sytuacji decyzyjnej. W tabeli 2 przedstawiono charakterystykę systemów przetwarzania informacji (systemy operacji umysłowych).

Znajomość sposobu przetwarzania informacji i percepcji bodźców jest kluczową kwestią na gruncie neurozarządzania, neuroprzywódstwa i neuromarketingu. Klasyczna teoria decyzji zawiera opis zachowania idealnego, doskonale racjonalnego decydenta w warunkach wymagających wyboru jednej spośród pewnej liczby dobrze znanych opcji. Doskonale racjonalny decydent postępuje zgodnie z zasadą użyteczności, bierze pod uwagę przede wszystkim te opcje, które generują określoną korzyść i kieruje się zasadą prawdopodobieństwa, odrzucając mało realne opcje.

Tabela 2

Systemy przetwarzania informacji, systemy operacji umysłowych

System 1 (intuicyjny)	System 2 (refleksyjny)
Charakterystyka projektów	
– automatyczny	– kontrolowany
– bezwysiłkowy	– wymaga wysiłku
– racjonalny	– eksperymentalny
– asocjujący	– dedukujący
– szybki, równoległe zadania	– powolny, kolejkuje zadania
– niezauważalny	– samoświadomy
– preferuje wyćwiczone działania	– preferuje stosowanie zasad
Kontekst podlegający przetwarzaniu	
– afektywny	– neutralny
– przyczynowy	– statystyczny
– konkretny, specyficzny	– abstrakcyjny
– działa na prototypach kategorii	– działa na całych kategoriach

Źródło: opracowanie własne na podstawie: D., Kahneman (2012). *Pułapki myślenia. O myśleniu szybkim i wolnym*. Poznań: Media Rodzina; M., Noga (2017). *Neuro-ekonomia a ekonomia głównego nurtu*. Warszawa: CeDeWu

Klasyczna koncepcja *homo oeconomicus* opiera się na założeniu, że konkretne zachowanie człowieka dotyczące decyzji rynkowych można wytłumaczyć w kategoriach idealnych, ściśle racjonalnych wyborów dokonywanych przez człowieka ekonomicznego (Wach, 2010, s. 95, 96). W ujęciu neoklasycznym *homo oeconomicus* jest natomiast człowiekiem, którego cechuje zachowanie optymalizujące i maksymalizujące korzyści z konsumpcji, autonomia działania, niezależne preferencje i zdolności kognitywne w dokonywaniu racjonalnych wyborów (Doucouliagos, 1994, s. 877). Biorąc pod uwagę założenia o zachowaniach adaptacyjnych decydentów i dążeniu do satysfakcji z konsumpcji, a nie jej maksymalizacji, oraz założenia o ograniczonej racjonalności wynikającej z ograniczeń poznawczych człowieka, doskonale racjonalnego *homo oeconomicus* zastąpiono ograniczonym *homo satisfaciendusem* (Zagóra-Jonszta, 2010, s. 75).

Sposób zachowania człowieka we współczesnej, złożonej rzeczywistości weryfikuje założenia teorii ekonomii i kwestionuje, że podmioty gospodarcze cechuje tzw. racjonalność instrumentalna, zgodnie z którą człowiek, opierając się na odpowiedniej wiedzy i swoich umiejętnościach logicznego wnioskowania, zmierza do optymalnego wykorzystania posiadanych zasobów. W ekonomii behawioralnej szczególne znaczenie, zarówno w aspekcie teoretycznym, jak i praktycznym, mają psychologiczne postawy uczestników rynku (Camerer i in., 2004, s. 3, 4; Frey i Stutzer, 2007, s. 11). Rosnąca rola dorobku naukowego ekonomii behawioralnej w wyjaśnianiu przebiegu procesu decyzyjnego wynika z coraz większej istotności czynników afektywnych, poznawczych i behawioralnych mających istotny wpływ na ostateczne decyzje ekonomiczne uczestników rynku. W tym kontekście należałoby dodatkowo rozważyć, w jakich okolicznościach człowiek jest skłonny do bycia jednostką racjonalną w celu utrzymania równowagi emocjonalnej (Etzioni, 1986, s. 19). Dotychczasowe ekonomiczne i psychologiczne teorie podejmowania decyzji wzbogacono o dane z badań neurobiologicznych. Badania nad neurobiologicznym podłożem procesów decyzyjnych pozwalają na pełniejsze zrozumienie ograniczonej racjonalności człowieka oraz umożliwiają lepsze zrozumienie jego rzeczywistych zachowań w momencie podejmowania decyzji i ich adaptacyjnego znaczenia (Jaracz i Borkowska, 2010, s. 67).

Klasyczne i neoklasyczne ujęcie koncepcji *homo oeconomicus*, krytykowane na gruncie ekonomii instytucjonalnej, behawioralnej i społecznej, w obecnych realiach społeczno-gospodarczych wydaje się niewystarczające w wyjaśnianiu zjawisk i zachowań rynkowych. W odpowiedzi na zmieniające się warunki rynkowe powstało wiele alternatywnych teorii, takich jak: *neo-homo oeconomicus*, *paleo-homo oeconomicus*, *homo humanistic oeconomicus*, *homo institutional oeconomicus*, *homo social oeconomicus*, *homo socio-economicus* (Wojcieszka, 2014, s. 242). Alternatywną koncepcję do modelu *homo oeconomicus* stanowi *homo neuroeconomicus*, według której zachowania rynkowe współczesnego człowieka ekonomicznego determinowane są czynnikami biologicznymi oraz dostępem do informacji i nowoczesnych technologii informacyjnych. *Homo neuroeconomicus* jest człowiekiem podejmującym decyzje m.in. na podstawie reakcji afektywnych wynikających z funkcjonowania układów neuronowych, a zachowania rynkowe warunkowane są afektami, uczuciami, reakcjami

i doświadczeniami emocjonalnymi. Użyteczność jest natomiast rozważana w kategoriach emocjonalnych i racjonalnych kosztów (Hardy-Vallee, 2007, s. 30). Nowe podejście do analizy zachowań współczesnego człowieka neuroekonomicznego może być szczególnie użyteczne na gruncie neurozarządzania i neuromarketingu. Porównanie cech i determinantów zachowania człowieka ekonomicznego i człowieka neuroekonomicznego przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Porównanie *homo oeconomicus* i *homo neuroeconomicus*

Kryterium	<i>Homo oeconomicus</i>	<i>Homo neuroeconomicus</i>
Perspektywa działania	– indywidualizm – subiektywizm	– indywidualizm – subiektywizm
Wyznawane poglądy	– utylitaryzm – relatywizm	– utylitaryzm – relatywizm – hedonizm
Cel życia	– zaspokajanie potrzeb materialnych – maksymalizacja użyteczności – maksymalizacja przyjemności	– zaspokajanie potrzeb materialnych, emocjonalnych i społecznych – maksymalizacja przyjemności – nieograniczony rozwój – samorealizacja
Dominujące cechy	– racjonalność – autonomia – niezależność – egoizm – egocentryzm – wyrachowanie	– emocjonalność – autonomia – poczucie wolności – egoizm/ altruizm – aktywność
Sposób podejmowania decyzji	– racjonalny – rozważny – spokojny – ograniczanie ryzyka	– decyzje podejmowane szybko – duży wpływ emocji – ograniczona racjonalność/ irracjonalność – podejmowanie ryzyka
Stosunek do społeczeństwa	– aspołeczny – obojętny	– poczucie przynależności, ale na własnych zasadach – popularność mediów społecznościowych
Stosunek do IT	– korzysta z komputera i Internetu jako dodatkowego narzędzia	– komputer jako podstawowe narzędzie – stała obecność w sieci

Źródło: opracowanie własne na podstawie: A., Wawrzyniak, B., Wąsikowska (2016). *Metody neuroobrazowania mózgu w badaniach procesów podejmowania decyzji w zarządzaniu*. Organizacja i Kierowanie, nr 1, s. 54

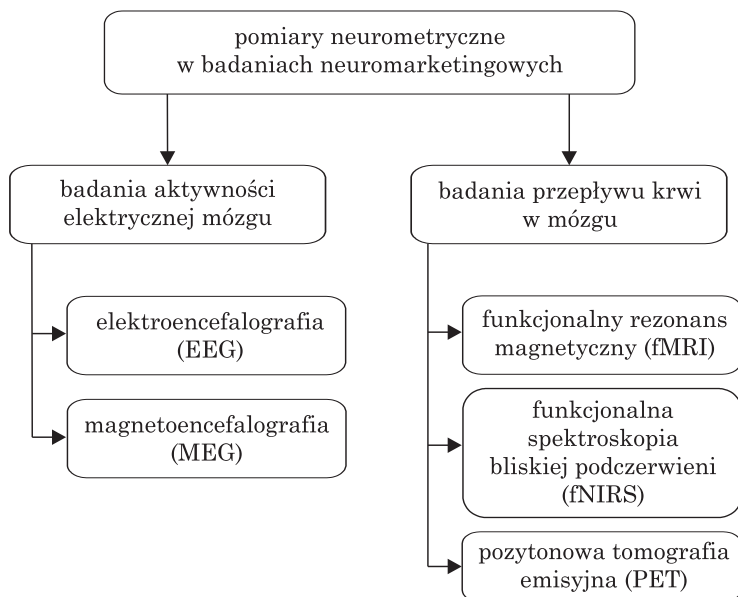
Przyjęcie nowego paradygmatu funkcjonowania człowieka neuroekonomicznego determinuje nowy sposób podejścia badawczego do zachowań rynkowych człowieka. W celu identyfikacji i oceny neuronalnych korelatów decyzji ekonomicznych konieczne jest interdyscyplinarne podejście badawcze. Niezbędny staje się zatem synkretyzm nauk medycznych i ekonomicznych. W badaniach neuromarketingowych wykorzystujących diagnostykę medyczną organizm człowieka traktowany jest jako system zintegrowanych tkanek i narządów, w którym nadrzędną i integrującą rolę (pod względem funkcjonalnym systemu) pełni ośrodkowy układ nerwowy (Turek i Smyczek, 2011, s. 67). W badaniach zachowań i reakcji konsumentów na określone bodźce stosowane są zatem metody neuroobrazowania ukierunkowane przede wszystkim na ocenę funkcji mózgu, a także metody bazujące na pomiarze reakcji somatycznych organizmu (Rutkowska, 2022). Nowoczesne metody neuroobrazowania stosowane na gruncie ekonomii, zarządzania i marketingu pozwalają na określenie pozaekonomicznych determinant popytu.

4. Metody pomiaru aktywności mózgu w badaniach neuromarketingowych

4.1. Specyfika i klasyfikacja pomiarów neurometrycznych

Biorąc pod uwagę rodzaj stosowanych metod pomiarowych i uzyskiwanych danych, metody badań neuromarketingowych można podzielić na dwie główne kategorie: techniki (narzędzia/ metody) neurofizjologiczne (neurologiczne) i techniki (narzędzia/ metody) fizjologiczne.

W celu uzyskania miarodajnych i obiektywnych wyników badań metody te stosowane są często komplementarnie. Metody neurometryczne są pomiarami ukierunkowanymi na obrazowanie mózgu. Można je podzielić na dwie grupy. Pierwszą z nich są **badania aktywności elektrycznej mózgu**, do których zalicza się metodę elektroencefalografii EEG (ang. *Electroencephalography* – EEG) i metodę magnetoencefalografii MEG (ang. *Magnetoencephalography* – MEG). Badania czynności elektrycznej mózgu pozwalają na określenie bioelektrycznej aktywności mózgu poprzez rejestrację zmian potencjału elektrycznego na powierzchni skóry głowy pochodzących od aktywności neuronów kory mózgowej (EEG) oraz pola magnetycznego wytworzonego przez mózg (MEG). Druga grupa metod zorientowana jest na **badania przepływu krwi w mózgu**. Do metod funkcjonalnych zalicza się: funkcjonalny rezonans magnetyczny fMRI (ang. *Functional Magnetic Resonance Imaging* – fMRI), funkcjonalną spektroskopię bliskiej podczerwieni fNIRS (ang. *Functional Near Infrared Spectroscopy* – fNIRS) i pozytonową tomografię emisyjną PET (ang. *Positron Emission Tomography* – PET). Czynnościowe (funkcjonalne) obrazowanie mózgu umożliwia ocenę aktywności mózgu podczas ekspozycji na bodźce z wykorzystaniem zjawiska zmiany poziomu utlenowania krwi wynikającego ze wzmożonego przepływu krwi przez obszar mózgu o zwiększonej aktywności neuronalnej (fMRI); pomiar reakcji hemodynamicznej mózgu na podstawie różnic w stężeniu hemoglobiny natlenowanej (OxyHb) i hemoglobiny odtlenowanej (DeoxyHb) między stanem spoczynkowym a stanem aktywności neuronalnej (fNIRS) oraz ocenę procesów metabolicznych zachodzących w mózgu na podstawie pomiaru promieniowania gamma γ powstającego podczas anihilacji pozytonów (PET). Na rysunku 2 przedstawiono pomiary neurometryczne wykorzystywane w badaniach neuromarketingowych.



Rys. 2. Pomiary neurometryczne w badaniach neuromarketingowych
Źródło: opracowanie własne na podstawie uprawnień na świadczenia usług medycznych w zakresie diagnostyki obrazowej, elektromedycznej i radioterapii (kwalifikacja medyczna Med.08)

Metody neurometryczne stosowane w neuromarketingu są medycznymi badaniami obrazowymi wchodzącymi w zakres radiologii i diagnostyki obrazowej. Różnią się sposobem wnioskowania na temat korelacji funkcji poznawczych oraz aktywacji poszczególnych struktur mózgowych (Genco i in., 2013). Rejestracja aktywności pojedynczych neuronów wymaga oddziaływania na cały mózg oraz ekspozycji na różnego rodzaju bodźce (Bechtel, 2002). W tabeli 4 przedstawiono charakterystykę metod neurometrycznych stosowanych w badaniach neuromarketingowych.

Metody neuroobrazowania stanowią grupę badań, które wykorzystują różne zjawiska fizyczne i różnego rodzaju oddziaływania zachodzące w organizmie. Różnią się od siebie podstawami fizycznymi i sposobem uzyskiwania (akwizycji) obrazu. Metoda elektroencefalografii (EEG) polega na pomiarze zmian potencjału elektrycznego skóry spowodowanych aktywnością komórek nerwowych budujących korę mózgu. Celem badania jest rejestracja fal mózgowych oraz interpretacja ich częstotliwości i amplitudy, a także ocena asymetrii czołowej.

Tabela 4

Charakterystyka metod neurometrycznych stosowanych w badaniach neuromarketingowych

Metoda neurometryczna	Kryterium			
	podstawy fizyczne neuroobrazowania	mierzony sygnał	podstawowe miary wykorzystywane w neuroobrazowaniu	możliwości pomiaru reakcji na bodźce, parametry jakości obrazu
1	2	3	4	5
Elektroencefalografia (EEG)	– aktywność elektryczna (czynność bioelektryczna) mózgu – pomiar zmian potencjału elektrycznego skóry spowodowanych budującą korę mózgu (rejestracja fal mózgowych)	elektryczny	– częstotliwość i amplituda fal mózgowych – asymetria czołowa	– wysoka rozdzielczość czasowa – niska rozdzielczość przestrzenna
Magnetoencefalografia (MEG)	– aktywność elektryczna mózgu – pomiar pola magnetycznego generowanego przez transmisje sygnałów neuronowych w mózgu (prądy jonowe w dendrytach neuronów generowane podczas przepływu impulsów nerwowych)	magnetyczny	– prądy wewnątrzkomórkowe apikalnych dendrytów komórek piramidalnych – mapowanie czynnościowych ośrodków korowych mózgu (kora czuciowa, ruchowa, wzrokowa, słuchowa)	– wysoka rozdzielczość czasowa – wysoka rozdzielczość przestrzenna

Funkcjonalny rezonans magnetyczny (fMRI)	– fizyka kwantowa (kwantowomechaniczne własności magnetyczne jąder atomowych) – wzajemne oddziaływanie jąder atomowych (protony wodoru), pola magnetycznego i fali elektromagnetycznej (radiowej) – różnicowe wykrywanie hemoglobiny utlenowanej (oksyhemoglobiny oxyhb) i nieutlenowanej (deoksyhemoglobiny deoxyhb)	hemodynamiczny	– aktywność funkcjonalna mózgu – aktywacja kory przedczołowej – aktywacja ciała migdałowatego – aktywacja hipokampu	– niska rozdzielczość czasowa – wysoka rozdzielczość przestrzenna – podatność na artefakty ruchowe
Funkcjonalna spektroskopia bliskiej podzerwieni (fNIRS)	– absorpcja światła bliskiej podzerwieni przez chromofory hemoglobiny utlenowanej (oksyhemoglobiny oxyhb) i nieutlenowanej (deoksyhemoglobiny deoxyhb) – zmiany w koncentracji utlenowania krwi w obrębie tkanki mózgowej (sprężenie nerwowo-naczyniowe)	hemodynamiczny	– aktywność funkcjonalna mózgu – aktywność korowa mózgu	– niska rozdzielczość przestrzenna – odporność na artefakty ruchowe
Pozytonowa tomografia emisyjna (PET)	– fale elektromagnetyczne w zakresie promieniowania gamma emitowane przez radioizotop – radiofarmaceutyki znakowane izotopem promieniotwórczym emitujące promieniowanie jonizujące – detekcja kwantów promieniowania gamma powstającego podczas anihilacji pozytonów (antyelektronów)	hemodynamiczny	– przestrzenny rozkład emisji fotonów wysokoenergetycznego promieniowania elektromagnetycznego powstającego w wyniku anihilacji pary elektron – pozyton (rozkład radioizotopu w mózgu)	– akceptowalna rozdzielczość przestrzenna – niska rozdzielczość czasowa – ekspozycja na promieniowanie jonizujące

Źródło: opracowanie własne na podstawie uprawnień na świadczenia usług medycznych w zakresie diagnostyki obrazowej, elektromedycznej i radioterapii (kwalifikacja medyczna Med.08)

Metoda magnetoencefalografii (MEG) polega natomiast na pomiarze pola magnetycznego generowanego przez transmisję sygnałów neuronowych w mózgu. Są to prądy jonowe w dendrytach neuronów powstające podczas przepływu impulsów nerwowych. Celem badania jest mapowanie czynnościowych ośrodków korowych mózgu (kory czuciowej, ruchowej, wzrokowej, słuchowej) podczas wykonywania określonych zadań decyzyjnych.

Metoda rezonansu magnetycznego (MRI) jest badaniem emisyjnym wykorzystującym kwantowomechaniczne własności magnetyczne jąder atomowych. Używa się w niej magnetycznego pola gradientowego do umiejscowienia rezonujących protonów (jąder atomów wodoru) na podstawie zmiany ich częstotliwości rezonansowej. Obrazowanie funkcjonalne (fMRI) wykorzystuje natomiast miejscowe nasilenie krążenia krwi jako wskaźnik aktywności określonego obszaru mózgu. Aktywność neuronalna nie jest więc mierzona bezpośrednio. Pomiarowi podlega wzrost stężenia tlenu jako konsekwencja zmiany w krążeniu krwi w naczyniach włosowatych i małych żyłach. Funkcjonalny rezonans magnetyczny fMRI z opcją BOLD (ang. *Blood Oxygen Level Dependent*) umożliwia różnicowe wykrywanie utlenowanej (OxyHb) i nieutlenowanej (DeoxyHb) hemoglobiny. Oksyhemoglobina jest diamagnetykiem, natomiast deoksyhemoglobina – paramagnetykiem. Właściwości te pozwalają na ocenę aktywności funkcjonalnej mózgu, ocenę aktywacji kory przedczołowej, ciała migdałowatego, hipokampu i innych struktur mózgowych istotnych w procesie podejmowania decyzji rynkowych.

Metoda funkcjonalnej spektroskopii bliskiej podczerwieni (fNIRS) polega na absorpcji światła bliskiej podczerwieni przez chromofory hemoglobiny utlenowanej (oksyhemoglobiny OxyHb) i nieutlenowanej (deoksyhemoglobiny DeoxyHb) oraz rejestrację zmian w koncentracji utlenowania krwi w obrębie tkanki mózgowej (sprężenie nerwowo-naczyniowe). Badanie wykonywane jest do oceny aktywności funkcjonalnej mózgu, zwłaszcza aktywności korowej w toku ekspozycji na określone bodźce.

Metoda pozytonowej tomografii emisyjnej (PET) jest badaniem z zakresu medycyny nuklearnej. Podczas badania występuje zatem ekspozycja na promieniowanie jonizujące. Metoda ta polega na detekcji kwantów promieniowania gamma powstającego podczas anihilacji pozytonów (antyelektronów). Źródłem fali elektromagnetycznej są radio-

farmaceutyki znakowane izotopem promieniotwórczym emitujące promieniowanie jonizujące. Metoda PET wykorzystywana jest do identyfikacji przestrzennego rozkładu emisji fotonów wysokoenergetycznego promieniowania elektromagnetycznego powstającego w wyniku anihilacji pary elektron – pozyton (rozkład radioizotopu w mózgu).

Poszczególne metody neurometryczne różnią się parametrami jakości uzyskiwanego obrazu. Najistotniejsza w neuroobrazowaniu jest rozdzielczość rozumiana jako liczba pikseli ułożonych w pionie i poziomie, za pomocą których wyświetlany jest obraz. Rozdzielczość układu obrazującego jest to jego zdolność do zobrazowania dwóch punktowych źródeł światła znajdujących się w określonej odległości od siebie jako dwóch oddzielnych obiektów. Definicja ta zawiera pojęcie odległości między dwoma punktowymi źródłami fali elektromagnetycznej (Pruszyński, 2016). Na jakość uzyskanych obrazów wpływa przede wszystkim rozdzielczość przestrzenna, która określa zdolność systemu do rozpoznawania na obrazie małych obiektów (szczegółów) oraz rozdzielczość czasowa odnosząca się do szybkości zbierania danych pomiarowych (Budzik i in., 2015, s. 78). Prędkość pomiaru jest istotnym czynnikiem, który pozwala wyeliminować artefakty ruchowe powstające podczas badania. Wybór metody neurometrycznej powinien być zatem uzależniony od celu badania, ekspozycji na bodźce oraz warunków przebiegu badania.

Obrazowanie medyczne (ang. *medical imaging*) ma istotne znaczenie poznawcze i praktyczne nie tylko w aspekcie diagnostycznym, lecz także na gruncie naukowym. Wykorzystanie metod neurometrycznych w ekonomii, zarządzaniu i marketingu stwarza nowe możliwości badawcze. Rosnące zainteresowanie neuroobrazowaniem wynika przede wszystkim z dużego potencjału wyjaśniającego. Wiele procesów psychicznych warunkujących zachowania ekonomiczne jest automatycznych i podświadomych. Dzięki zastosowaniu metod neurometrycznych możliwe staje się określenie ekonomicznych i pozaekonomicznych czynników mających wpływ na przebieg procesu decyzyjnego.

Na podstawie dotychczasowego rozwoju metodologii badań naukowych można stwierdzić, że interdyscyplinarne i integralne podejście badawcze do problematyki zachowań konsumentów umożliwia uzyskanie obiektywnych i wiarygodnych wniosków wynikających z badań empirycznych. Przyjęcie nowego paradygmatu prowadzenia badań rynkowych

oraz synkretyzm nauk medycznych i społecznych pozwala na naukowe wyjaśnienie i zrozumienie zachowania ekonomicznego człowieka. W coraz bardziej złożonej rzeczywistości istnieje bowiem potrzeba holistycznego postrzegania człowieka jako podmiotu rynkowego. Metodologia badań neuronaukowych dostarcza unikatowych metod, narzędzi i technik niedostępnych z zastosowaniem tradycyjnego podejścia badawczego. Metody neurometryczne mogą być doskonałym uzupełnieniem dotychczas stosowanych metod ilościowych i jakościowych w badaniach konsumentów i decydentów. Komplementarność ich zwiększa prawdopodobieństwo formułowanych wniosków.

4.2. Elektroencefalografia (EEG, ang. *Electroencephalography*)

Układ nerwowy stanowi swoiste centrum zarządzania organizmem. Jego kluczową rolą jest utrzymanie homeostazy całego organizmu poprzez regulację i koordynację czynności życiowych, funkcjonowania narządów wewnętrznych, czynności ruchowych oraz reakcji sensomotorycznych i zmysłowych (Kaczmarczyk, 2022, s. 11–14). W kontekście problematyki aktywności poznawczej, percepcji bodźców i reakcji emocjonalnych człowieka kluczowym problemem badawczym jest sposób funkcjonowania mózgu w określonych sytuacjach decyzyjnych i kontekstach rynkowo-marketingowych. Od działania mózgu zależy bowiem odbiór, przetwarzanie, magazynowanie i zapamiętywanie informacji. Wnikliwa obserwacja reakcji mózgu na zewnętrzne bodźce dostarcza wielu wartościowych informacji dotyczących aktywności kognitywnej człowieka. Poznanie budowy, fizjologii i funkcji mózgu umożliwia zrozumienie mechanizmów percepcji bodźców marketingowych, podejmowania decyzji zakupowych oraz dokonywania wyborów ekonomicznych.

Elektroencefalografia (gr. *enképhalos* – mózg; gr. *gráphein* – pisać; ang. *Electroencephalography*; EEG) jest medyczną, nieinwazyjną metodą diagnostyczną służącą do badania bioelektrycznej aktywności mózgu i stanu czynnościowego ośrodkowego układu nerwowego (Cherubino i in., 2019). Układ nerwowy generuje różne zakresy fal elektromagnetycznych (Narkiewicz i Moryś, 2013). Elektroencefalografia rejestruje aktywność

elektryczną i fale mózgowe, które są reprezentatywne dla podstawowej aktywności korowej mózgu. Powstaje zapis czynności elektrycznej mózgu. Największy wpływ na powstawanie sygnału EEG mają interakcje zachodzące między korą a wzgórzem (aktywność komórek rozrusznikowych wzgórza powoduje rytmiczną aktywację kory) oraz funkcjonalne właściwości dużych sieci neuronowych kory charakteryzujących się swoistą zdolnością do wyładowań rytmicznych. Złożenie tych dwóch procesów umożliwia obserwację i rejestrację wzorca EEG.

Badanie EEG wykonywane jest za pomocą elektroencefalografu (rys. 3), który rejestruje czynność prądów mózgu, czyli zmian jego aktywności (Rutkowska, 2022, s. 252–253). Odpowiednio rozmieszczone elektrody na powierzchni głowy odnotowują zmiany potencjału elektrycznego skóry spowodowane aktywnością komórek nerwowych budujących korę mózgu (Fingelkurts i in., 2005, s. 827–836). Elektrody rejestrują bardzo małe napięcia, rzędu mikrowoltów, mierzone między każdą z elektrod



Rys. 3. Elektroencefalograf (EEG)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Nihon Kohden Neurofax EEG*, <https://eu.nihonkohden.com/en/products/neurology/electroencephalographs/neurofax-eeeg-1200> (dostęp: 11.07.2023); <https://www.neurologienetz.de/medizintechnik/elektrophysiologie/nihon-kohden-neurofax-eeeg-1200j/k> (dostęp: 11.07.2023); *Compumedics Neuroscan, Quik-Cap Electrode Arrays*, <https://www.compumedics.com.au/en/diagnostic-solution/quik-cap-electrode-arrays/> (dostęp: 11.07.2023)

a punktem neutralnym (montaż monopolarny) lub między dwoma elektrodami (montaż bipolarny). Rejestrowane podczas badania fale mózgowe są drganiami elektrycznymi o częstotliwości z zakresu 0,5–35 Hz. Na podstawie zapisu fal mózgowych można wnioskować o rozmieszczeniu źródeł fal elektromagnetycznych w poszczególnych obszarach mózgu (Quigg, 2008). Zarejestrowane zmiany potencjału elektrycznego są następnie wzmacniane w komputerze stanowiącym integralną część aparatu EEG i przedstawiane w postaci charakterystycznych linii (Byrne i in., 2022) – rysunek 3. Elektroencefalogram stanowi zapis czynności bioelektrycznej mózgu mierzonej z powierzchni czaszki. Interpretacja różnic między wykresami aktywności mózgu pozwala wykorzystać je do celów zarówno diagnostycznych, jak i ekonomicznych.

W zależności od przyjętej metodologii badania z wykorzystaniem elektroencefalografu prowadzi się za pomocą trzech metod. Pierwszą z nich jest metoda analizy potencjałów wywołanych (ang. *Event-Related Potentials* – ERP), której celem jest uchwycenie specyficznej aktywności mózgu związanej z przetwarzaniem określonego bodźca (Wąsikowska, 2013, s. 141). Ujawniające się komponenty sygnału elektrycznego odpowiadają określonym zdarzeniom mentalnym. Podczas procesu podejmowania decyzji oraz oceny i kategoryzacji bodźca rejestrowany jest potencjał P300 (Polich, 2007, s. 2130–2138). Nazwa tego komponentu określa jego ładunek (P – pozytywny, N – negatywny) i czas pojawienia się od momentu prezentacji bodźca wyrażony w milisekundach (P300 – ładunek pozytywny, czas 300 milisekund). Zastosowanie metody ERP wymaga dużej precyzji pomiaru i umożliwia rozbudowaną analizę procesów zachodzących w mózgu. Najczęściej stosowana jest do oceny bodźców (obrazów) statycznych.

Drugą metodą badań EEG jest analiza wskaźnika asymetrii. Zjawisko asymetrii czołowej dotyczy kory przedczołowej (ang. *Prefrontal Cortex* – PFC), na którą składają się następujące obszary mózgu: środkowa kora przedczołowa (ang. *Medial Prefrontal Cortex* – mPFC), kora oczodołowo-czołowa (ang. *Orbitofrontal Cortex* – OFC), brzuszno-boczna kora przedczołowa (ang. *Ventrolateral Prefrontal Cortex* – vlPFC) i grzbietowo-boczna kora przedczołowa (ang. *Dorsolateral Prefrontal Cortex* – dlPFC). Każdy z tych obszarów odpowiada za nieco inne funkcje poznawcze. Kora oczodołowo-czołowa pełni najprawdopodobniej kluczową rolę w afektywnej

ocenie bodźca (Rolls i in. 2003, s. 695–703). Przetworzona w ten sposób informacja przesyłana jest następnie do obszarów grzbietowo-bocznej kory przedczołowej, która odpowiada za ocenę poznawczą bodźca, a także poznawcze hamowanie (Miller i Cohen, 2001, s. 167–202). Aktywność tego obszaru jest skorelowana z reakcją behawioralną. Asymetria czołowa ma dwojaką naturę. Może być bowiem rozumiana jako stan będący dynamiczną odpowiedzią na zmieniające się bodźce lub też może odzwierciedlać stałą predyspozycję, którą można określić jako emocjonalną reaktywność na bodźce czy też styl afektywny (Coan i Allen, 2003, s. 565–615).

Trzecią z metod interpretacji zapisu EEG jest analiza częstotliwościowa. Polega na porównaniu aktywności poszczególnych obszarów mózgu w wybranych pasmach częstotliwości i umożliwia wyodrębnienie poszczególnych pasm z sygnału EEG (rytmy, oscylacje). Każde pasmo (alfa, beta, gamma, theta, delta) związane jest z nieco innym rodzajem aktywności mentalnej. Analiza obszarów, w których pojawiają się fale określonego pasma pozwala na określenie prawdopodobnych zdarzeń mentalnych.

Do badania funkcji poznawczych można także zastosować bardziej zaawansowaną metodę, ilościowe mapy zapisu EEG, czyli QEEG (ang. *Quantitative Electroencephalography*). Metoda ta określana jest jako „mapowanie mózgu”, pozwala bowiem na wizualną analizę i interpretację EEG, co znacznie poszerza możliwość interpretacji zapisu EEG i ocenę czynności mózgu. *Quantitative Electroencephalography* jest matematyczno-statystyczną analizą aktywności bioelektrycznej mózgu i procedurą diagnostyczną przetwarzającą zarejestrowaną aktywność EEG z zapisu wieloelektrodowego za pomocą komputera. Surowy sygnał EEG zostaje przekształcony w sposób ilościowy za pomocą funkcji matematycznej Fouriera. Mapy QEEG bez zapisu EEG nie mają wartości diagnostycznej (Fingelkults, 2022, s. 3–6). Metoda QEEG daje możliwość zapisu EEG nie tylko jako fal, ich kształtów oraz amplitud w funkcji czasu (Thompson, 2012).

Podczas badania EEG odbywa się pomiar napięcia między elektrodami równomiernie rozmieszczonymi na powierzchni czaszki osoby badanej (Rawnaque i in., 2020). Dzięki neuroprzekaznikom, neuromodulatorom i neurohormonom mózg może mieć wpływ na każdą komórkę

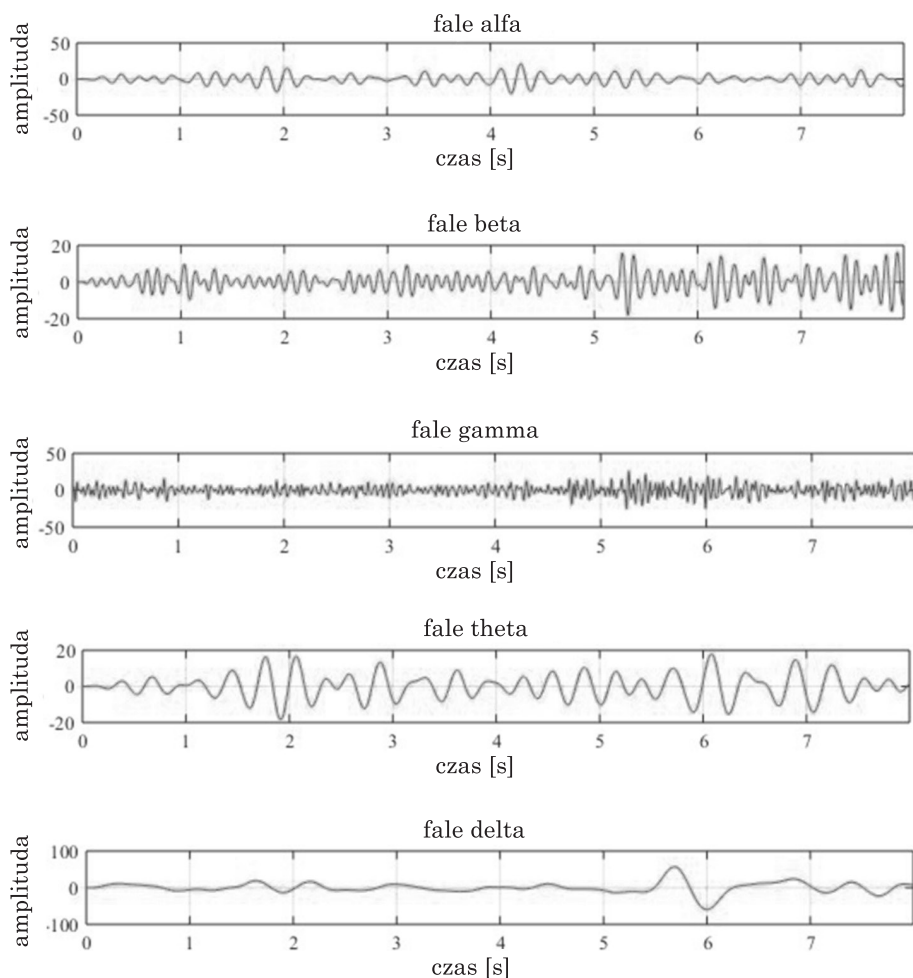
w organizmie. Elektroda (sensor) rejestruje oznaki aktywności elektrycznej wytwarzane przez neurony (komórki nerwowe). Różne wzorce zapisu EEG odpowiadają odmiennym stanom psychicznym i mentalnym (Thompson, 2012, s. 35–37).

W odniesieniu do przebiegu procesu poznawczego i decyzyjnego istotne są bardziej złożone czynności psychiczne, czyli procesy wynikające ze złożonej współpracy różnych obszarów mózgu (Kozubski, 2014). Uwzględniając różnice w budowie i działaniu mózgu, można zauważyć, że obserwowana aktywność poznawcza może być rejestrowana w różnych częściach tego organu. Dlatego też wskaźnikiem występowania danej zmiennej będzie nie tyle topologia danej fali (związana z czynnościami elementarnymi), co fakt jej wystąpienia, przebieg oraz czas powstania (Prazner i in. 2018, s. 134–136).

Interpretacja uzyskanych wyników EEG polega przede wszystkim na analizie częstotliwości oraz amplitudy fal mózgowych. Mózg emituje cztery zakresy fal. Do podstawowych fal mózgowych zalicza się: fale alfa (8–12 Hz; 10–100 mc V m⁻¹), beta (13–35 Hz; >30 mc V m⁻¹), gamma (25–100 Hz), theta (4–12 Hz) i delta (1–3 Hz) – rysunek 4. Zakresowi poszczególnych częstotliwości fal mózgowych odpowiadają określone stany psychiczne. Fale mózgowe można zaobserwować za pomocą badania EEG, które wykrywa wspólną aktywność dużych grup neuronów.

Fale alfa (8–12 Hz; 10–100 mc V m⁻¹; fale Bergera) ujawniają się w efekcie synchronicznej aktywności elektrycznej komórek rozrusznikowych wzgórze i pochodzą głównie z płatów potylicznych. Są charakterystyczne dla stanu relaksu i odprężenia przy zamkniętych oczach. Emitowane są zatem przed zaśnięciem, po przebudzeniu, w trakcie spoczynku przy zamkniętych oczach oraz podczas medytacji. Towarzyszą refleksji, sprzyjają kreatywności i wspierają kreatywne myślenie (Ivanhoe i Eaddy, 2011, s. 92, 93). Zbyt niska emisja fal alfa charakteryzuje obniżony nastrój, zaniżoną samoocenę, słabszą motywację, a nawet depresję. Nadmierna zaś częstotliwość fal alfa skutkować może zaburzeniami koncentracji (Gerrard i Malcolm, 2007).

Fale beta (13–35 Hz; >30 mc V m⁻¹) są charakterystyczne dla stanu czujnego czuwania (Binder, 2008, s. 337). W czuwaniu przy zamkniętych oczach fale beta dominują w okolicach centralnych płatu czołowego, w odróżnieniu od fal alfa, które pełnią taką rolę w okolicach potylicznych. Fale beta



Rys. 4. Rodzaje fal mózgowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie: A., Hossan, M.A.M., Chowdhury (2016). *Real Time EEG Based Automatic Brainwave Regulation by Music*. Conference Paper. Conference: 5th International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV), Dhaka, Bangladesh, s. 3, <http://dx.doi.org/10.1109/ICIEV.2016.7760107>

świadczą o zaangażowaniu kory mózgowej w aktywność poznawczą. Wytwarzane są naturalnie w pobudzonym i czujnym stanie świadomości. Występują także podczas słuchania tekstu mówionego oraz podczas rozwiązywania problemów. Fale beta towarzyszą aktywności i działaniu, charakteryzują logiczne i analityczne myślenie i zaangażowanie intelektualne. Człowiek jest wówczas skupiony na odbieraniu bodźców zewnętrznych za pomocą zmysłów: wzroku, słuchu, węchu, dotyku i smaku.

Zbyt wiele fal beta może skutkować odczuwaniem lęku oraz stresu. Szeroki zakres częstotliwości fal tego typu można dodatkowo podzielić na trzy mniejsze podzakresy częstotliwości, które w większym stopniu odpowiadają poszczególnym sposobom funkcjonowania kory mózgowej. Wyróżnia się zatem: SMR (12–15 Hz), fale beta 1 (16–18 Hz) i fale beta 2 (18–36 Hz) (Thompson, 2012, s. 73, 74).

Fala SMR, tzw. niska beta (12–15 Hz), zwana jest także rytmem sensomotorycznym lub czuciowo-ruchowym. Powstaje przy odbiorze informacji z pięciu zmysłów. Wyższa jej aktywność powinna być widoczna w półkuli niedominującej. Fala SMR charakteryzuje funkcjonowanie poznawcze człowieka i jego stosunek do otoczenia. Odpowiada za stan relaksu i odprężenia z zachowaną zewnętrzną uwagą. Zbyt niski poziom SMR może towarzyszyć deficytom uwagi oraz zaburzeniom ze spektrum autyzmu, zaburzeniom lękowym, syndromowi stresu pourazowego PTSD. Zbyt wysoki poziom SMR w półkuli dominującej powoduje natomiast zaburzenia koncentracji z jednoczesnym wzrostem pobudzenia ogólnego (Quigg, 2008).

Fale beta 1, tzw. średnia beta (16–18 Hz), występują w sytuacji koncentracji na jednym zadaniu z ukierunkowaniem zewnętrznym. Pasma to koreluje z aktywnością poznawczą charakterystyczną dla intensywnego i świadomego wysiłku umysłowego. Im większa częstotliwość fali, tym większe pobudzenie twórcze, abstrakcyjne myślenie i skupienie uwagi na danym problemie. Niski poziom fal beta 1 towarzyszy deficytom intelektualnym, zaburzeniom koncentracji i uwagi. Zbyt wysoka fala w półkuli niedominującej zaburza emisję fali SMR, co w konsekwencji wiąże się z rozchwyaniem emocjonalnym i deficytem uwagi.

Fale beta 2, tzw. wysoka beta (18–36 Hz), ujawniają się podczas intensywnego wysiłku intelektualnego. Są jednak stresogenne, powodują uczucie niepokoju. Emisji fal beta 2 towarzyszy wydzielanie adrenaliny odpowiedzialnej za stan gotowości organizmu, dlatego też fale te występują w sytuacji zwiększonego napięcia emocjonalnego (Quigg, 2008). Poziom adrenaliny zaczyna wzrastać już przy częstotliwości powyżej 12 Hz i stopniowo podnosi się wraz z ich natężeniem. W efekcie prowadzi to do podwyższonego ciśnienia tętniczego, wzrostu napięcia mięśniowego i odczucia głębokiego stresu.

Fale gamma (>30 Hz) pochodzą ze wzgórza, czyli części międzymózgowia znajdującej się pod spoidłem wielkim, i poruszają się od tylnej części mózgu do przodu z dużą szybkością. Są najszybszymi falami mózgowymi zaangażowanymi w jednoczesne przetwarzanie informacji w różnych obszarach mózgu, co sugeruje ich znaczną rolę w procesach integracyjnych i skojarzeniowych mających miejsce podczas przetwarzania najbardziej złożonych informacji. Są one związane ze stylem uczenia się, zdolnością do przyjmowania nowych informacji, a także ze zmysłami i sposobem postrzegania. Fale gamma dotyczą obróbki informacji skojarzeniowych (Krawczyk, 2018; Wietrzykowski, 2010). Ich występowanie zauważono również w stanach skrajnych emocji i przeżyć. Ze względu na szeroki zakres częstotliwości tych fal można dodatkowo wyróżnić tzw. właściwe fale gamma oscylujące w paśmie 30–80 Hz (z typową częstotliwością 40 Hz) i tzw. wysoką falę gamma w paśmie 80–200 Hz (Bojak, 2022, s. 1489–1496). Przyjmuje się, że rytm o częstotliwości ok. 40 Hz ma związek ze świadomością percepcyjną dotyczącą wrażeń zmysłowych i ich postrzegania oraz związany jest z tzw. wiązaniem jakości sensorycznych, czyli integracją poszczególnych modalności zmysłowych (wzrok, słuch, węch, dotyk, smak) w jeden spostrzegany obiekt. Przez niektórych klinicystów rytm ten nazywany jest rytmem skalania i uznaje się, że jest powiązany ze stanem szczytowej sprawności (Thompson, 2012, s. 74).

Fale theta (4–12 Hz) są charakterystyczne dla stanu czuwania i fazy REM snu w hipokampie (szybki ruch gałek ocznych). Są najczęściej występującymi falami mózgowymi podczas medytacji, hipnozy, transu, marzeń i intensywnych emocji. Rytm theta jest generowany przez wzajemne oddziaływanie neuronów z przegrody przyśrodkowej i kory śródwęchowej z lokalnymi oscylatorami w hipokampie. Te wewnętrzne oscylatory hipokampa powstają w wyniku interakcji między komórkami piramidalnymi a określonymi podtypami interneuronów. Rytm theta w hipokampie może kontrolować obliczenia w innych obszarach mózgu, takich jak kora przedczołowa, ciało migdałowate i prądkowie. Jest on szczególnie istotny podczas wykonywania różnych zadań poznawczych (pamięć robocza, warunkowanie strachu, motywacja i nagroda). Rytm theta w hipokampie odgrywa kluczową rolę w dostarczaniu informacji przestrzennych i kontekstowych lokalnie i w całym mózgu (Amilhon,

2020, s. 45–49). Fale theta umożliwiają lepszy rozwój pamięci, szczególnie pamięci trwałej, zwiększony dostęp do treści nieświadomych, marzeń, wolnych skojarzeń, nagłego wglądu i kreatywnych pomysłów (Hossan i Chowdhury, 2016, s. 3).

Fale delta (1–4 Hz) są najwolniejszymi falami występującymi w mózgu, charakterystycznymi dla snu wolnofalowego (Binder, 2008, s. 936). Pojawiają się najczęściej podczas fazy 4 snu – NREM. Aktywność fal delta może wzrastać także podczas medytacji. Sprzyjają utrwalaniu śladów pamięciowych i wspomaganiu układu odpornościowego. Fale delta wpływają łagodząco na układ limbiczny i emocjonalny. Jeśli ich aktywność wzrasta, zmniejszeniu ulega dostęp do informacji oraz świadomość świata fizycznego (Hossan i Chowdhury, 2016, s. 4).

Istnieje ścisły związek między występowaniem poszczególnych fal mózgowych (zmiany częstotliwości potencjałów napięć) między różnymi punktami na głowie a bliskością występowania poszczególnych części mózgu. Korelacja tych sygnałów ma swoje źródło również w różnych stanach psychofizycznych człowieka. Możliwy jest pomiar zarówno tzw. potencjałów (impulsów) wywołanych ERP, jak również określenie prawidłowości ich występowania, co ma szczególne znaczenie w przypadku badań ekonomicznych i marketingowych. Można zatem stwierdzić, że „oko dostrzega, a mózg nadaje rzeczom kształt” (Paul Cézanne). Odpowiednim pasmom częstotliwości fal odpowiadają określone stany psychiczne człowieka. Znajomość fal mózgowych i odpowiednia ich interpretacja jest kluczowa w ocenie percepcji informacji przez konsumenta czy decydenta oraz ich reakcji na dany bodziec (Rawnaque i in., 2020, s. 15, Aditya i Sarno, 2018). Ze względu na bardzo dobrą rozdzielczość czasową, czyli czułość na zmiany dynamiki oscylacji w populacjach neuronów, metoda EEG umożliwia rejestrację zarówno spontanicznej aktywności, jak również reakcji mózgu na działanie serii bodźców (Luck, 2014). W tym kontekście metoda EEG jest niezwykle użyteczna zwłaszcza na gruncie badań neuromarketingowych.

4.3. Magnetoencefalografia (MEG, ang. *Magnetoencephalography*)

Czynność bioelektryczna mózgu jest wynikiem aktywności neuronów kory mózgu pozostających w interakcji z neuronami struktur podkorowych. Rozległość i kolejność występowania zmian w aktywności neuronów w obszarach korowych jest wskaźnikiem intensywności procesów nerwowych zachodzących w całym mózgu. Komórki nerwowe mogą być w przybliżeniu traktowane jak dipole prądowe, w których jednym biegunem jest ciało neuronu (soma, perikarion), a drugim wierzchołek pobudzonego dendrytu. Pole elektryczne, generowane przez ułożone równoległe i synchronicznie pobudzane komórki nerwowe, może być zsumowane i zarejestrowane. Mierzone na powierzchni głowy prądy jonowe powstają dzięki potencjałom postsynaptycznym pobudzającym EPSP (ang. *Excitatory Postsynaptic Potential* – EPSP) i potencjałom postsynaptycznym hamującym IPSP (ang. *Inhibitory Postsynaptic Potential* – IPSP) neuronów piramidowych znajdujących się w korze mózgowej. Powodują one przepływ prądów w przestrzeni zewnątrzkomórkowej, któremu towarzyszy przepływ prądów między aktywnymi synapsami (znajdującymi się na dendrytach) a ciałem komórki nerwowej (Proudfoot i in., 2014, 337–338). Ze względu na geometrię prądy te dają główny przyczynek do pól magnetycznych mierzonych przez magnetoencefalograf.

Magnetoencefalografia (ang. *Magnetoencephalography* – MEG) jest nieinwazyjną metodą obrazowania czynności elektrycznej mózgu za pomocą rejestracji jego pola magnetycznego. Umożliwia pomiar pola magnetycznego powstającego w wyniku istnienia w dendrytach neuronów prądów jonowych. Rejestrowane pola magnetyczne są indukowane przez prądy jonowe występujące w komórkach nerwowych. Są to przede wszystkim prądy wewnątrzkomórkowe apikalnych dendrytów komórek piramidalnych. Pola te są niezmiernie słabe, dlatego też do pomiaru tak małych pól magnetycznych mózgu stosowane są czujniki nadprzewodnikowe SQUID (ang. *Superconducting Quantum Interference Device* – nadprzewodzący interferometr kwantowy) wykorzystujące efekty kwantowe w nadprzewodzących pierścieniach. Standardowo używa się ponad 200 czujników pomiarowych (magnetometrów lub gradiometrów) rozmieszczonych symetrycznie w taki sposób, by zarejestrować aktywność

z całego obszaru mózgu (Gross i in., 2013, s. 352–358). Magnetoencefalogram, czyli uzyskiwany podczas badania zapis, odzwierciedla zbiorczą aktywność magnetyczną mózgu (rys. 5).

Metoda MEG pozwala na mapowanie aktywności mózgu i generowanie obrazów funkcjonalnych, które można wykorzystać do badania kognitywnych i percepcyjnych procesów mózgowych. Rutynowo jest używana do identyfikacji lokalizacji kory wzrokowej, słuchowej, somatosensorycznej i ruchowej w mózgu. Metoda ta pozwala również na mapowanie czynnościowych ośrodków korowych z użyciem odpowiedzi wywołanych odpowiednim bodźcem (kora czuciowa, ruchowa, wzrokowa, słuchowa) w celu określenia ich położenia w korze ośrodkowej (Papanicolaou, 2009, s. 59–90). Magnetoencefalografia znajduje zatem zastosowanie w bada-



Rys. 5. Magnetoencefalograf (MEG)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: *MEGIN The TRIUX™ neo*, <https://megin.com/triux-neo-product-data-usa/> (dostęp: 11.07.2023); *Elekta Neuromag® TRIUX*, <https://www.ntu.edu.sg/conic/facilities/magnetoencephalography-%28meg%29> (dostęp: 11.07.2023)

niach naukowych, które mają na celu określenie zadań poszczególnych ośrodków w mózgu. Mapowanie funkcjonalne MEG czynnościowych ośrodków korowych może być szczególnie użyteczne w neuromarketingu i neurozarządzaniu.

Badanie czynności elektrycznej mózgu możliwe jest zarówno dzięki wykorzystaniu magnetoencefalografii MEG, jak i elektroencefalografii EEG. Metody te mierzą ślady tych samych procesów elektrycznych zachodzących w mózgu. Jednak propagacja pola magnetycznego jest znacznie mniej zakłócana przez zmienne własności ośrodków między źródłami (przybliżanymi zwykle modelem dipola prądowego) a czujnikami. Granice czaszki, tkanek, skóry i powietrza, wpływające bardzo mocno na pole elektryczne, są dla pola magnetycznego przezroczyste, dlatego też pomiary MEG są użyteczniejsze w identyfikacji lokalizacji źródeł przestrzennych widocznych w zapisach struktur, również ze względu na większą niż w EEG liczbę mierzonych odprowadzeń. W EEG uwidoczniła jest aktywność wszystkich odpowiednio silnych źródeł, natomiast w MEG wykazuje głównie wkłady od dipoli zorientowanych w przybliżeniu prostopadle do promienia kuli przybliżającej głowę (Nowak i Durka, 2016, s. 110).

Metoda MEG nie rejestruje żadnych informacji strukturalnych, w przeciwieństwie do obrazowania metodą rezonansu magnetycznego (MRI), które pozwala na wizualizację miękkich struktur w ciele, takich jak mózg i tkanka nerwowa. Technika ultraniskopoloowego obrazowania MRI (ULF) stanowi opłacalną alternatywę dla tradycyjnego obrazowania MRI, zapewnia zwiększony kontrast i wyższą dokładność geometryczną tkanek. Przed każdym badaniem i dla każdego pacjenta definiuje się trójwymiarowy układ współrzędnych oparty na punktach anatomicznych głowy w celu późniejszej korejestracji i prezentacji wyników badania MEG na obrazie strukturalnym rezonansu magnetycznego (MRI). Procedura ta nosi nazwę magnetycznego obrazowania źródłowego MSI (ang. *Magnetic Source Imaging*) i pozwala na połączenie obrazowania funkcjonalnego MEG mającego rozdzielczość w dziedzinie czasu rzędu 1 ms z wielowarstwowym obrazem anatomicznym MRI o doskonałej rozdzielczości przestrzennej (ok. 1 mm) (Nowak i Durka, 2016, s. 109). System MEG w sposób nieinwazyjny umożliwia pomiar sygnałów magnetoencefalograficznych i opcjonalnie sygnałów elektroencefalograficznych

EEG wytwarzanych przez aktywną elektrycznie tkankę mózgu. Neuroobrazowanie MEG pozwala na określenie neuronalnych podstaw wczesnego przetwarzania wzrokowego i słuchowego, magnetofizjologicznych korelatów rozróżniania efektów wizualnych i wokalnych, co jest szczególnie użyteczne w kontekście percepcji bodźców marketingowych.

4.4. Funkcjonalny rezonans magnetyczny (fMRI, ang. *Functional Magnetic Resonance Imaging*)

Współczesna diagnostyka obrazowa (obrazowanie medyczne) umożliwia uzyskiwanie precyzyjnych skanów (obrazów) badanej struktury i zmian fizjologicznych zachodzących w organizmie dzięki wykorzystaniu różnego rodzaju zjawisk i oddziaływań fizycznych. W diagnostyce klinicznej rezonans magnetyczny znajduje zastosowanie przede wszystkim w obrazowaniu ośrodkowego układu nerwowego. Badanie MRI głowy pozwala na ocenę tkanki mózgowej, z uwidocznieniem istoty białej i szarej korowej oraz struktur głębokich, układu komorowego, a także wewnątrzczaszkowych odcinków nerwów czaszkowych. Modalności te są kluczowe w przypadku precyzyjnego neuroobrazowania zarówno do celów medycznych, jak i naukowych. Wyjaśnienie zjawiska rezonansu magnetycznego możliwe jest na gruncie mechaniki kwantowej. Obrazowanie metodą jądrowego rezonansu magnetycznego (ang. *Nuclear Resonance Magnetic* – NMR) oparte jest na kwantowomechanicznych własnościach magnetycznych jąder atomowych (Canet, 2019). Większość jąder atomowych jest cząstkami szybko wirującymi wokół własnej osi i mającymi moment pędu, czyli tzw. spin. Zjawisko jądrowego rezonansu magnetycznego zachodzi tylko dla tych jąder, które mają spin niezerowy. Istotą rezonansu jest zjawisko wzajemnego oddziaływania jąder atomowych, pola magnetycznego i fali elektromagnetycznej. Zjawisku rezonansu magnetycznego może ulec jedynie jądro atomowe z niesparowanym nukleonem. Najsilniejszym momentem magnetycznym charakteryzuje się jądro atomu wodoru ^1H , który jest głównym składnikiem układów biologicznych. Jądro wodoru zawiera jeden proton, dlatego też używa się określenia rezonans protonowy, rezonans jąder wodoru (Pruszyński, 2015, s. 509–513). W obrazowaniu rezonansu moment magnetyczny jądra jest kluczowy, gdyż jego oddziaływanie z falą elektromagnetyczną stanowi podstawę magnetycznego

rezonansu jądrowego. Zjawisko precesji wektora magnetyzacji jąder atomowych jest źródłem sygnału, który wykorzystuje się w obrazowaniu magnetycznym.

Zgodnie z zasadami termodynamiki atomy budujące daną strukturę znajdują się względem siebie w równowadze termodynamicznej. Wynika ona ze wzajemnych oddziaływań między atomami, między jądrem atomu i jego powłoką elektronową, a także między pojedynczymi cząstkami tworzącymi jądra atomowe (protonami i neutronami). Obrazowanie za pomocą rezonansu magnetycznego MRI (ang. *Resonanse Magnetic Imaging* – MRI) uwidacznia subtelne fluktuacje w magnetycznych właściwościach jąder wodoru (Herring, 2020).

Najważniejszą rolę w obrazowaniu MRI odgrywa spełnienie warunku rezonansu, zgodnie z którym w przypadku pola magnetycznego o częstotliwości radiowej istnieje możliwość odchylenia wektora magnetyzacji od położenia równowagi. Po przyłożeniu zewnętrznego stałego pola magnetycznego protony mają względem niego pewną energię potencjalną. Protony ustawione zgodnie z liniami pola znajdują się w stanie o niższej energii, natomiast ustawione przeciwnie – w stanie o wyższej energii. Zjawisko rezonansu magnetycznego polega na dostarczeniu z zewnątrz energii pozwalającej na przejście atomów między tymi stanami. Jeśli jądro wodoru znajdujące się w zewnętrznym polu magnetycznym zostanie pobudzone impulsem (falą elektromagnetyczną) o częstotliwości rezonansowej, dochodzi do pochłonięcia energii i przejścia części protonów na wyższy stan energetyczny. Następuje wówczas zmiana ustawienia wektora momentu magnetycznego protonów z równoległego na antyrównoległy do kierunku zewnętrznego pola magnetycznego (Trzebiatowska, 2010). Protony umieszczone w silnym polu magnetycznym ulegają namagnesowaniu, a pochłaniając impulsy fal elektromagnetycznych o częstotliwości radiowej zmieniają parametry magnetyzacji. Po zakończeniu pobudzenia (ekscytacji) wektor magnetyzacji stopniowo wraca do stanu początkowego. Protony powracają do stanu pierwotnego, stając się w tym czasie źródłem sygnału radiowego. Emitowana wówczas energia o częstotliwości radiowej jest odbierana przez system cewek odbiorczych, a następnie przekształcana w obraz anatomiczny badanych struktur (Elmaoğlu i Çelik, 2015, s. 5–19). Sygnał ten jest zróżnicowany w zależności od rodzaju badanej tkanki. Zjawisko rezonansowego pochłaniania

energii RF (ang. *Radio Frequency*) nazywane jest jądrowym rezonansem magnetycznym.

W obrazowaniu MRI (tomografia rezonansu magnetycznego) fundamentalną kwestią jest pomiar czasów relaksacji T1 (podłużnej) i relaksacji T2 (poprzecznej) oraz określenie wpływu tych czasów na intensywność rejestrowanego sygnału. W celu zobrazowania badanej warstwy i przyporządkowania kolejnym punktom na obrazie konkretnej wartości stopnia szarości, badany obszar należy poddać działaniu impulsów z nadajnika, impulsów gradientowych i w odpowiednim momencie odebrać sygnały echa (Bartusik-Aebisher, 2018; Matthews i Jezzard, 2004, s. 6–12).

Obrazowanie rezonansu magnetycznego pozwala na uzyskiwanie przekroju badanego obszaru poprzez uwzględnienie podstawowych charakterystyk, takich jak: gęstość spinowa (ρ), czasy relaksacji spinowej (czas T1 i czas T2), współczynnik przesunięcia chemicznego (σ), współczynnik samodyfuzji (δ), podatność magnetyczna (χ). Parametry fizyczne sekwencji TE, TR, TI, FA są elementami decydującymi o charakterze obrazu powstającego w wyniku obrazowania metodą rezonansu magnetycznego (Elmaoğlu i Çelik, 2015, s. 23–35, 93–99). Obrazy mózgu uzyskać można w przekroju strzałkowym (ang. *sagittal*), czołowym (ang. *coronal*) i poprzecznym (ang. *axial*) (Pruszyński i Cieszanowski, 2014).

Biorąc pod uwagę budowę tomografu rezonansu magnetycznego wyróżnić można kilka składowych elementów systemu. Tomograf MR (rys. 6) składa się z magnesu nadprzewodzącego, stałego lub oporowego wytwarzającego stałe pole magnetyczne, z cewek gradientowych, które w polu magnetycznym wytwarzają pole gradientowe, cewek kompensacyjnych, objętościowych (nadawczo-odbiorczych) lub powierzchniowych, nadajnika fali elektromagnetycznej (o częstotliwości radiowej), wzmacniacza częstotliwości, odbiornika fal, komputerowego systemu przetwarzania danych obrazowych i klatki Faradaya izolującej aparat MR od zakłóceń zewnętrznych (Dill, 2008, s. 943–948).

Współcześnie w neuroobrazowaniu ma zastosowanie wiele innowacyjnych technik MRI umożliwiających uzyskanie informacji dotyczących morfologii i funkcji życiowych mózgu (Modo i Bulte, 2011). Do jednej z najbardziej zaawansowanych metod zalicza się funkcjonalny rezonans magnetyczny (fMRI, ang. *Funcional Magnetic Resonance Imaging*) umożliwiający pomiar aktywności i ocenę czynnościową mózgu (Huettel



Rys. 6. Rezonans magnetyczny (MRI)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Siemens Healthcare, Siemens MAGNETOM Sola*, <https://www.siemens-healthineers.com/pl/magnetic-resonance-imaging/0-35-to-1-5t-mri-scanner/magnetom-sola> (dostęp: 11.07.2023); *Siemens Healthcare Head Matrix Coil*, <https://www.siemens-healthineers.com/pl/magnetic-resonance-imaging/options-and-upgrades/coils/head-matrix-coil> (dostęp: 11.07.2023)

i in., 2013). Metoda fMRI łączy ze sobą elementy klasycznego badania MRI oraz elementy oceny przepływu krwi przez badany narząd. W standardowej metodzie MRI obraz powstaje poprzez odczytywanie interakcji między atomami wodoru a falami silnego pola magnetycznego generowanego przez cewki nadawcze. Metoda funkcjonalnego rezonansu magnetycznego fMRI bazuje natomiast na detekcji zmian hemodynamicznych w naczyniach włosowatych. Obraz mózgu jest więc dodatkowo modyfikowany przez wzrost przepływu krwi i utlenowania aktywnych okolic kory mózgowej. Wraz ze wzrostem aktywności neuronów rośnie zużycie i zapotrzebowanie na tlen. Powoduje to zwiększony przepływ krwi przez dany obszar. Tlen jest dostarczany do tkanek w postaci związanej z hemoglobiną zawartą w erytrocytach (krwinkach czerwonych) w postaci oksyhemoglobiny (OxyHb). Istnieje silna korelacja między lokalną intensywnością przepływu krwi a aktywnością tkanek nerwowych w ośrodkowym układzie nerwowym (Parizel i in., 2011). Każda aktywność neuronalna

wymaga dostarczenia energii będącej wynikiem zachodzących reakcji chemicznych wykorzystujących glukozę i tlen. Pobudzeniu lokalnemu kory mózgowej towarzyszy lokalne zwiększenie przepływu krwi oraz jej objętości, w związku z czym na skanach obserwowany jest lokalny wzrost objętości krwi i lokalne podniesienie poziomu tlenu. W neuroobrazowaniu fMRI możliwe jest zaobserwowanie zróżnicowanego zachowania w polu magnetycznym hemoglobiny związanej i niezwiązanej z tlenem. Fragmenty narządu aktywnie pracujące wymagają większych ilości tlenu, a zatem gromadzi się w nich więcej hemoglobiny związanej z tlenem i w efekcie możliwe jest wykrycie różnic w sile sygnału MRI pochodzącego z obszarów aktywnych w danym momencie oraz z obszarów mniej aktywnych. Zjawisko zależności kontrastu od stężenia tlenu we krwi jest podstawą metody BOLD (ang. *Blood Oxygen Level Dependent*). Hemoglobina utlenowana (związana z tlenem, oksyhemoglobina O_2Hb) i hemoglobina nieutlenowana (niezwiązana z tlenem, deoksyhemoglobina HHb) wykazują różne właściwości magnetyczne. Oksyhemoglobina jest diamagnetykiem, natomiast deoksyhemoglobina – paramagnetykiem. Obecność deoksyhemoglobiny stanowi naturalny kontrast dla sygnału MRI, ponieważ wzmacnia ona sygnał emitowany przez molekuły wody skupione wokół naczyń krwionośnych. Lokalny wzrost poziomu tlenu podczas aktywności neuronalnej powoduje zwiększenie stosunku oksyhemoglobiny do deoksyhemoglobiny w porównaniu ze stanem spoczynkowym neuronów. W rezultacie przez cewki odbiorcze rejestrowany jest inny sygnał w przypadku hemoglobiny utlenowanej i nieutlenowanej, co pozwala zlokalizować obszary mózgu, w których zachodzą procesy związane z intensywną produkcją energii (Ogawa i in., 1990).

Podczas badania fMRI stymuluje się poszczególne rejony mózgu z użyciem uprzednio zdefiniowanego paradygmatu, czyli algorytmu określającego, kiedy i jakie zadania ma wykonywać badany. Najczęściej stosowane są schematy blokowe, w których blok aktywności przeplata się z blokiem odpoczynku, a wszystkie bloki są równej długości i trwają kilkadziesiąt sekund. Różnice w sile sygnału MRI ujawniają się w sytuacji, gdy badany wykonuje zadania wymagające zaangażowania określonego fragmentu badanego narządu (zwłaszcza mózgu) oraz zadania, które tego zaangażowania nie wymagają. Porównanie intensywności sygnału umożliwia obróbkę statystyczną i uzyskanie obrazów aktywności korowej

mózgu. Badanie fMRI wykrywa zarówno obszary, których aktywność wzrosła w trakcie wykonywania rozważanego zadania, jak i takie, których aktywność zmalała. Zmiana ukrwienia oraz wynikającego z tego większego stężenia krwi natlenowanej następuje z opóźnieniem około pięciu sekund w stosunku do wzrostu aktywności neuronów. Jest to tzw. odpowiedź hemodynamiczna. Rozwój metody fMRI możliwy był dzięki opracowaniu ultraszybkiej sekwencji EPI (ang. *Echo-Planar Imaging*), ponieważ zmiany aktywności następują bardzo szybko, a zmiana natężenia sygnału wynosi ok. 2–5% dla skanerów 1,5T i 15% dla skanerów 4T. W sekwencji EPI stosuje się czasy TE zbliżone do czasów relaksacji T2.

Funkcjonalny fMRI opiera się na założeniu, że aktywniejsze obszary mózgu wymagają większej ilości tlenu do podtrzymania procesów metabolicznych, co możliwe jest do określenia na podstawie przepływu krwi w mózgu (hemoglobiny). Właściwości te są podstawą neuroobrazowania w neuroekonomii, neurozarządzaniu i neuromarketingu. Funkcjonalny rezonans fMRI mózgu jest nieinwazyjnym badaniem pozwalającym na dokładny pomiar i precyzyjną ocenę aktywności mózgu (Ugurbil, 2016, s. 4–6). Funkcjonalne obrazowanie rezonansu magnetycznego (fMRI) dostarcza bardzo szczegółowych obrazów (skanów) mózgu, które odzwierciedlają zlokalizowane zmiany w przepływie krwi w mózgu i natlenieniu wywołane przez zadania poznawcze, motoryczne lub czuciowe (DeYoe i in., 1994, s. 172–174).

Użyteczność rezonansu magnetycznego jako metody neuroobrazowania zarówno do celów medycznych, jak i naukowych wynika z wielu korzyści związanych z techniką badania. Badanie fMRI jest nieinwazyjną i bezpieczną metodą neuroobrazowania. Nie wymaga bowiem narażania badanego na promieniowanie jonizujące (występujące w badaniach rentgenodiagnostycznych RTG, tomografii komputerowej CT czy pozytonowej tomografii emisyjnej PET), co jest szczególnie istotne w przypadku powtarzalności badań, testów klinicznych czy eksperymentów naukowych. Ponadto metoda fMRI umożliwia obrazowanie mózgu w dowolnej płaszczyźnie (*coronal*, *sagittal*, *axial*) i zapewnia doskonałą rozdzielczość kontrastową uzyskiwanych obrazów. Obrazowanie rezonansu magnetycznego umożliwia także wykonywanie badań wielofazowych, czynnościowych, dynamicznych i funkcjonalnych, co jest kluczową modalnością w przypadku oceny funkcji ośrodków korowych mózgu.

Reasumując, badanie rezonansu magnetycznego MRI jest bezpieczną i nieinwazyjną metodą obrazowania umożliwiającą ocenę zarówno struktury narządu, jak i jego funkcjonowania. Neuroobrazowanie z wykorzystaniem metody fMRI polega na uwidacznianiu minimalnych różnic ukrwienia kory mózgowej zachodzących podczas procesów myślowych przebiegających w trakcie wykonywania celowo dobranych zadań. Różnice morfologiczne i funkcjonalne rejestrowane są podczas skanowania mózgu w tomografii rezonansu magnetycznego, a następnie przetwarzane komputerowo i ostatecznie przedstawiane jako mapy lub modele trójwymiarowe mózgowia z naniesionymi obszarami korowymi, które podczas określonych procesów myślowych uległy aktywacji. Fundamentalną modalnością neuroobrazowania na użytek badań ekonomicznych jest fakt, iż w badaniu fMRI funkcje mózgu mierzone są w sposób pośredni, a nie bezpośredni. Oznacza to, że ocena przebiegu procesu decyzyjnego oraz identyfikacja pozaekonomicznych determinantów decyzji rynkowych bazuje na pomiarze tempa i objętości przepływu krwi przez naczynia mózgowe i wnioskowaniu o poziomie aktywacji tkanki nerwowej (Rutkowska, 2022). Zważywszy na szerokie spektrum metod obrazowania mózgu i dynamicznie rozwijającą się neuroradiologię można przypuszczać, iż użyteczność obrazowania rezonansu magnetycznego w badaniach naukowych będzie coraz większa.

4.5. Funkcjonalna spektroskopia bliskiej podczerwieni (fNIRS, ang. *Functional Near Infrared Spectroscopy*)

Wszystkie komórki organizmu mają stałe, ale zróżnicowane zapotrzebowanie na tlen. Obrazowanie zmian utlenowania krwi w organizmie dostarcza wielu istotnych informacji o sposobie funkcjonowania tkanek. Oksymetria optyczna jest narzędziem do oceny stanu natlenienia i hemodynamiki różnych narządów. Zaobserwowanie i pomiar zmian odpowiedzi hemodynamicznej pojawiającej się w odpowiedzi na prezentowane bodźce umożliwia ocenę aktywności mózgu. Spektroskopia bliskiej podczerwieni NIRS (ang. *Near Infrared Spectroscopy*) jest techniką optyczną, która bazuje na pomiarze atenuacji (osłabieniu) światła penetrującego badaną tkankę. Możliwość zastosowania metody NIRS wynika z właściwości tkanek. Tkanki biologiczne są bowiem względnie przezroczyste

dla światła w bliskiej podczerwieni (700–1300 nm), dlatego też możliwe jest przesłanie wystarczającej ilości fotonów przez narządy do monitorowania *in situ*. W zakresie bliskiej podczerwieni hemoglobina, a zwłaszcza oksyhemoglobina (O_2Hb) i deoksyhemoglobina (HHb), wykazują zależną od tlenu absorpcję. Zakłada się, że hemoglobina jest głównym chromoforem w tkance biologicznej, który pochłania światło w zakresie bliskiej podczerwieni. Metoda NIRS wykorzystuje światło bliskiej podczerwieni do oceny wzrostu lub spadku stężenia hemoglobiny utlenowanej lub hemoglobiny odtlenowanej w tkankach pod powierzchnią ciała (rys. 7). Różnice w widmach absorpcji O_2Hb i HHb umożliwiają wykonywanie pomiarów względnych zmian stężenia hemoglobiny za pomocą współczynnika osłabienia światła o różnych długościach fal (Tsunashima i in., 2012, s. 73–77).

Metoda NIRS w diagnostyce medycznej umożliwia nieinwazyjny pomiar regionalnego utlenowania mózgu (rSO_2) dzięki wykorzystaniu selektywnej absorpcji promieniowania fal elektromagnetycznych z zakresu 660–940 nm przez obecne w organizmie człowieka chromofory (Uryga i in., 2018, s. 22). Ma szerokie zastosowanie w neurologii. Umożliwia bowiem oksymetrię mózgową dostarczającą informacji o regionalnym wysyceniu tlenem mózgu, a także odzwierciedla miejscowy metabolizm i równowagę między dostarczoną a wymaganą przez mózg ilością tlenu. Wielokanałowa spektroskopia NIR jest natomiast nieinwazyjną metodą funkcjonalnego mapowania mózgu służącą do monitorowania zmian objętości krwi mózgowej za pomocą NIRS podczas elektroencefalografii (EEG) (Watanabe i in., 2002, s. 51–54). W metodzie NIRS wykorzystywany jest fakt, że promieniowanie NIR z łatwością przenika przez skórę i kości czaszki, a następnie jest absorbowane przez występujące w organizmie człowieka chromofory, tj. hemoglobinę (Hb) i oksyhemoglobinę (O_2Hb) w ściśle określonym zakresie długości fal od 660 do 940 nm (Uryga i in., 2002, s. 23). W tym tzw. oknie optycznym tkanka kostna, skórna, woda i lipidy charakteryzują się relatywnie słabą absorpcją fotonów NIR w odróżnieniu od Hb i O_2Hb . Fakt, że promieniowanie NIR jest transparentne dla kości, leży u podstaw zastosowania tej długości fal elektromagnetycznych do przezczaszkowej oksymetrii. Ta nieinwazyjna metoda polega na przepuszczaniu przez czaszkę słabych promieni lasera o częstotliwości fali świetlnej. Podstawą pomiaru jest fakt,



Rys. 7. Spektrometr bliskiej podczerwieni (NIRS)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Near Infrared Spectroscopy System (NIRS)*, *Hitachi Optical Topography System Images*, https://www.nitrc.org/project/list_screenshots.php?group_id=495&screenshot_id=378 (dostęp: 11.07.2023); *System Artinis Brite*, <https://emc.univ-lyon2.fr/recherches/plateformes-techniques/spectroscopie-proche-infrarouge-fonctionnelle-fnirs> (dostęp: 11.07.2023)

że utlenowana krew, której cyrkulacja koreluje z aktywacjami neuronalnymi, absorbuje fale o innej częstotliwości niż krew nieniosąca tlenu (Keller, 2002, s. 828–839). Technika, na której opiera się spektroskopia bliskiej podczerwieni, jest bardzo podobna do techniki pulsoksymetrii. W metodzie NIRS obliczane są zmiany oksyhemoglobiny i deoksy-

hemoglobiny w badanej tkance (w naczyniach włosowatych) zawierającej zarówno krew tętniczą, jak i żylną.

W metodzie NIRS źródło światła (np. dioda LED lub laser) generuje promieniowanie NIR o ściśle określonej długości fali. Emitowana wiązka kierowana jest do mózgu za pomocą połączonej ze skórą sondy. W zależności od rodzaju zastosowanego urządzenia promieniowanie NIR generowane jest wewnątrz urządzenia i transmitowane do końcówki sondy lub wytwarzane w jej obrębie. Sonda przytwierdzona jest do skóry nad fragmentem tkanki, który jest przedmiotem monitorowania w sposób na tyle stabilny, aby umożliwić wykonywanie pomiarów przez dłuższy czas (rys. 7). Ze względu na niskie natężenie światła przezskórny NIRS nie powoduje oparzeń skóry nawet w czasie pomiarów w trybie ciągłym przez wiele godzin (Scheeren i in., 2012, s. 280–286). NIRS zapewnia również zadowalającą rozdzielczość czasową i przestrzenną. Wszystkie systemy NIRS charakteryzują się wysoką rozdzielczością czasową, ponieważ mogą próbować z częstotliwością 50 Hz lub wyższą.

Metoda NIRS ma unikalną cechę polegającą na możliwości jednoczesnego pomiaru zdarzeń wewnątrznacyniowych (oksyoHb i deoksyoHb) i wewnątrzkomórkowych. Jej rozwinięciem jest funkcjonalna spektroskopia bliskiej podczerwieni (fNIRS, ang. *Functional Near-Infrared Spectroscopy*) będąca nieinwazyjną metodą obrazowania, stosowaną w neurologii i neurobiologii, wykorzystującą spektroskopię bliskiej podczerwieni (NIRS) do funkcjonalnego neuroobrazowania. Metoda fNIRS umożliwia pomiar aktywności mózgu przez reakcje hemodynamiczne związane z zachowaniem neuronów. Podczas badania wykorzystywana jest ilościowa analiza stężenia chromoforów z użyciem pomiaru amortyzacji światła w bliskiej podczerwieni (NIR) i zmian tymczasowych lub fazowych (Arthurs i Boniface, 2003, s. 1204–1207). Zazwyczaj nadajnik i detektor światła znajdują się ipsilateralnie na czaszce badanego, dzięki czemu pomiary są modyfikowane przez ponownie rozproszone światło biegnące po eliptycznej trajektorii. *Functional Near-Infrared Spectroscopy* umożliwia pomiar aktywności korowej mózgu, która dokonywana jest za pomocą optod (źródła oraz detektory światła) rozmieszczonych na powierzchni głowy badanego, najczęściej z zastosowaniem czepka lub opaski. W urządzeniach stosujących system fali ciągłej źródło emituje światło o kilku długościach fal, które przenika skórę, czaszkę

i tkankę mózgową, ulegając przy tym absorpcji (Pinti i in., 2020, s. 6–15). Pomiar aktywności mózgu uzyskane za pomocą metody fNIRS opierają się na reakcji hemodynamicznej, czyli odpowiedzi organizmu na wykorzystywanie składników odżywczych. Widma absorpcyjne cząsteczek pochłaniających światło (chromoforów) są wykorzystywane do interpretacji poziomów osłabionego światła jako zmian stężenia chromoforów. Różnice w stężeniu hemoglobiny natlenionej (O_2Hb) i hemoglobiny odtlenionej (HHb) między stanem spoczynkowym a stanem aktywności neuronalnej determinują, gdzie w korze lokalizuje się wzrost lub spadek przepływu krwi (León-Carrión i León-Domínguez, 2012, s. 47–48). W strukturach neuronalnych aktywnych podczas wykonywania zadania angażującego określone procesy poznawcze obserwuje się wzmożone zapotrzebowanie na tlen, które skutkuje zwiększonym lokalnym przepływem krwi. Świadczy to o wystąpieniu sprzężenia nerwowo-naczyniowego (ang. *neurovascular coupling*). Początkowo w aktywnych obszarach mózgu następuje krótkotrwały spadek poziomu utlenowania krwi, który zostaje szybko wyrównany. Całkowita ilość tlenu transportowana do danej struktury mózgu przewyższa możliwości jego metabolizmu w neuronach, co powoduje lokalny wzrost ilości krwi utlenowanej i spadek ilości krwi odtlenowanej. Metoda fNIRS umożliwia zatem zaobserwowanie odpowiedzi hemodynamicznej mózgu po pojawieniu się bodźca. Jest ona rozumiana jako wzrost koncentracji HbO_2 i towarzyszący mu, stosunkowo mniejszy, spadek HHb (Wysocka i in., 2020, s. 22–24). Oksyhemoglobina jest najczęściej stosowanym wskaźnikiem zmian aktywności hemodynamicznej w badaniach korelatów neuronalnych procesów poznawczych z zastosowaniem fNIRS (Bonetti i in., 2019, s. 196–200). Niewątpliwą zaletą fNIRS jest odporność na artefakty ruchowe. Kształt sygnału uzyskanego przez pomiar hemoglobiny utlenowanej i nieutlenowanej może różnić się w zależności od aktywności neuronalnej i rodzaju wywołujących bodźców, co jest istotne w przypadku badań neuromarketingowych.

Do nowoczesnych metod funkcjonalnej spektroskopii bliskiej podczerwieni zalicza się:

- technikę fali ciągłej (ang. *Continuous Wave* – CW) (Ortega-Martinez i in., 2023),
- analizę częstotliwości (ang. *Frequency Domain* – FD) (Fantini i Sassaroli, 2020),

- technikę czasowo-rozdzielczą fNIRS (ang. *Time-Resolved* – TR) (Abdalmalak i in., 2020),
- spektroskopię przestrzenną (ang. *Spatially-Resolved Spectroscopy* – SRS) (Saglietto i in., 2021).

Metoda fNIRS może być stosowana jednocześnie z innymi metodami neuroobrazowania.

4.6. Pozytonowa tomografia emisyjna (PET, ang. *Positron Emission Tomography*)

W medycynie nuklearnej wykorzystuje się otwarte źródła promieniowania jonizującego w celach diagnostycznych i leczniczych. Metody stosowane w tym dziale medycyny polegają na podaniu badanemu związku chemicznego znakowanego radioizotopem, czyli radiofarmaceutyku, który dzięki swoim właściwościom farmakodynamicznym gromadzi się w określonych tkankach organizmu w zależności od ich stanu funkcjonowania (Kelly i Bickle, 2008). Jest to podstawowa różnica między metodami stosowanymi w medycynie nuklearnej a innymi radiologicznymi metodami obrazowymi (MRI, NIRS, EEG, MEG). Ogromny potencjał wyjaśniający medycyny nuklearnej w zakresie neuroobrazowania dostrzeżono także na gruncie neuromarketingu i neurozarządzania.

Pozytonowa tomografia emisyjna (ang. *Positron Emission Tomography* – PET) jest najdokładniejszą metodą obrazowania radioizotopowego. Nośnikiem informacji jest promieniowanie gamma emitowane przez radioizotop podany badanemu. Metoda PET pozwala na ocenę stopnia gromadzenia się radiofarmaceutyku w obrębie badanego narządu, a zatem umożliwia ocenę procesów metabolicznych zachodzących w tkankach, ocenę morfologii oraz funkcjonowania narządów (Zhang-Yin i in., 2022). Jądro atomowe w trakcie rozpadu radioaktywnego może emitować cząsteczki α , β i promieniowanie elektromagnetyczne γ (Pruszyński, 2015, s. 471–476). Podczas badania PET rejestrowane jest promieniowanie powstające podczas anihilacji pozytonów, czyli antyelektronów (antymateria), których ładunek elektryczny wynosi +1. Źródłem pozytonów jest substancja promieniotwórcza ulegająca rozpadowi beta plus (β^+). Metoda PET polega na rejestracji emisji pozytonów przez cząsteczki znakowanej izotopem substancji. Za zjawisko pochłaniania promieniowa-

nia emitowanego przez radioizotop odpowiada zjawisko fotoelektryczne (zaabsorbowanie całej energii promieniowania γ przez elektron innego atomu; następuje jonizacja atomu) i efekt Camptona (absorbacja przez jeden z elektronów poruszających się na zewnętrznej orbicie atomu tylko części energii fali elektromagnetycznej, elektron ulega wybiciu z orbity, promień γ zmienia swój kierunek i energię; następuje jonizacja atomu). Metoda PET bazuje na akwizycji obrazu przestrzennego rozkładu emisji fotonów wysokoenergetycznego promieniowania elektromagnetycznego o energii 511 keV, powstającego w wyniku anihilacji pary elektron – pozyton (Szurowska i in., 2013, s. 197–199).

Organizm uzyskuje energię przede wszystkim w wyniku spalania cukrów, dlatego też w badaniu PET, zwłaszcza w neuroobrazowaniu, wykorzystywany jest izotop imitujący pozytony, analog glukozy 18F-FDG, czyli fluorodeoksyglukoza zawierająca promieniotwórczy izotop fluoru ^{18}F o okresie połowicznego rozpadu około 110 minut (Lopci i in., 2010, s. 373–385). W obszarach, w których procesy energetyczne są intensywniejsze, gromadzi się więcej znakowanego izotopem radiofarmaceutyku. Najczęściej stosowanymi radiofarmaceutykami w badaniach mózgu są: pochodna cysteiny ECD i eksametazim HM-PAO znakowane radioizotopem technetu $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (Pruszyński, 2015, s. 483, 503).

Źródłem sygnału w metodzie PET (rys. 8) jest izotop promieniotwórczy wypełniający badany narząd, natomiast detekcja sygnału rejestrowana jest przez gammakamerę. Podczas badania zawsze emitowane są dwa kwanty γ , które biegną dokładnie w przeciwnych kierunkach wzdłuż jednej linii prostej. Pierścień detektorów gamma umieszczony w gantry skanera PET wykrywa koincydencję wychodzących z ciała kwantów γ , powstałych podczas anihilacji dwóch kwantów γ rozchodzących się pod kątem 180° (Rumiński i in., 2006).

Promienie gamma, po przejściu przez kolimatory (zespoły przesłón z nieprzenikliwego dla kwantów gamma ołowiu, pozwalające rejestrować promienie nadchodzące wyłącznie z ustalonego kierunku) docierają do kryształu scyntylacyjnego, którego rolą jest zamiana fotonów γ na widoczne dla oka i możliwe do dalszej obróbki błyski światła (w wyniku reakcji fotoelektrycznej). Jako scyntylator najczęściej wykorzystywany jest kryształ NaI(Tl), czyli jodek sodu aktywowany talem. Błyski światła produkowane przez scyntylator są bardzo słabe, a dla uzyskania dokład-



Rys. 8. Aparat pozytonowej tomografii emisyjnej (PET)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: *GE HealthCare Imaging, Discovery IQ Gen 2*, <https://www.gehealthcare.com/products/molecular-imaging/pet-ct/discovery-iq-gen-2> (dostęp: 11.07.2023); *GE HealthCare Head PET/MR Coil*, https://promed-sa.com/wp-content/uploads/2020/08/PET-MR_Datasheet_DOC1545629.pdf (dostęp: 11.07.2023)

nego obrazu rozmieszczenia promieniotwórczego izotopu (czyli aktywnego obszaru narządu wewnętrznego) należy te błyski bardzo dokładnie odnotować, a także zmierzyć ich energię. Dlatego zamiast typowych elementów fotoelektrycznych w gammakamerach stosuje się fotopowielacze, czyli urządzenia, które dają silny sygnał elektryczny w odpowiedzi na bardzo słaby nawet błysk światła (scyntylację). Sygnał z fotopowielacza zostaje przekazany do elektronicznego przedwzmacniacza, który współpracuje zwykle z dyskryminatorem, czyli urządzeniem, które wzmacnia wyłącznie sygnały pochodzące od błysków światła wywołanych przez fotony gamma o ściśle określonej energii. Dzięki temu rejestrowane jest głównie promieniowanie pochodzące od użytego w badaniach izotopu promieniotwórczego, ignorując jednocześnie promieniowanie gamma pochodzące z innych źródeł. Sygnały z detektorów przekazywane są do komputera pozwalającego uzyskać obrazy 2D i 3D odzwierciedlające rozłożenie radioznacznika w organizmie (Walecki i Pruszyński, 2003, s. 59–60, 492).

Znakowane izotopem promieniotwórczym radiofarmaceutyki mogą być wykrywane nawet w najmniejszych ilościach, bowiem molekuly biologicznie czynnych związków chemicznych zaraz po wprowadzeniu do organizmu zaczynają uczestniczyć w zachodzących w tkankach i narządach procesach biologicznych. Rozwinięte na potrzeby fizyki jądrowej techniki rejestracji obecności izotopów promieniotwórczych i pomiaru ich stężenia są niezwykle czułe. Okres obecności promieniotwórczego izotopu w organizmie limitowany jest do okresu wymaganego do przeprowadzenia odpowiedniego badania, po czym substancja zawierająca promieniotwórczy izotop powinna być wydalona z organizmu. Wiele używanych w diagnostyce radioizotopowej radiofarmaceutyków opiera się na izotopach promieniotwórczych, których okres trwałości związany z rozpadem promieniotwórczym jest bardzo ograniczony. Należy jednak podkreślić, iż mimo ogromnej czułości i precyzji obrazowania, PET jest badaniem, podczas którego emitowane jest promieniowanie jonizujące. Badany poddawany jest więc ekspozycji na promieniowanie pochodzące z pierwiastków promieniotwórczych, dlatego też zastosowanie metody radioizotopowej może być akceptowalne wyłącznie po założeniu, że dawka promieniowania gamma pochłonięta przez ciało będzie bardzo ograniczona i dokładnie kontrolowana. Wymaganie restrykcyjnej kontroli pochłoniętej dawki promieniowania dotyczy nie tylko osoby badanej, lecz także całego zespołu badawczego i personelu medycznego uczestniczącego w tym badaniu.

We współczesnej medycynie nuklearnej, radiologii i diagnostyce obrazowej stosowane są również metody hybrydowe, czyli aparaty łączące w sobie gammakamery i skanery CT lub MR. Obrazowanie hybrydowe umożliwia nałożenie uzyskiwanych obrazów PET na morfologiczną mapę badanych struktur uzyskanych dzięki skanom CT lub MRI. Fuzja obrazów PET-CT (pozytronowa tomografia emisyjna zintegrowana z tomografią komputerową) lub PET-MRI (pozytronowa tomografia emisyjna zintegrowana z rezonansem magnetycznym) zapewnia niezwykle precyzyjne obrazowanie. Metody hybrydowe i związane z nimi modalności są niezwykle wartościowym i użytecznym rozwiązaniem w neuroobrazowaniu.

5. Ograniczenia badawcze neuroobrazowania

Mimo dużej użyteczności neuroobrazowania metody neurometryczne mają także pewne ograniczenia badawcze wynikające ze specyfiki pomiaru, warunków przeprowadzania badań, stosowanej aparatury oraz sposobu pozyskiwania i przetwarzania danych. Główną przyczyną niedoskonałości metod z zakresu diagnostyki obrazowej są artefakty będące zjawiskami niepożądanymi i powodującymi zakłócenia w pozyskiwaniu obrazu. Mogą być one skutkiem niedoskonałości technicznej aparatury diagnostycznej lub zakłócenia zewnętrznego (Brandt i in., 2020). Znajomość przyczyn ich powstawania i morfologii jest warunkiem uzyskania poprawnych obrazów mózgu.

Elektroencefalogram (EEG) jest zapisem bioelektrycznej czynności (prądów czynnościowych) mózgu. Obecność artefaktów w sygnale EEG jest zjawiskiem powszechnym. Są to potencjały przejściowe zapisane w EEG, które nie pochodzą od aktywności mózgowej (Gorjan i in., 2022). Ze względu na przyczyny powstawania można wyróżnić trzy główne grupy zjawisk, które powodują większość najczęściej występujących artefaktów: efekty zewnętrzne, granica środowiska wewnętrznego i zewnętrznego oraz artefakty wewnętrzne. Artefakty zewnętrzne są powodowane zjawiskami zachodzącymi poza organizmem badanej osoby, elektromagnetyczną aktywnością aparatury pomiarowej i środowiska zewnętrznego. Do tej grupy zalicza się artefakty związane z odczytem sygnału z elektrod, zakłócenia w trakcie wzmacniania sygnału, artefakty powstające podczas przetwarzania sygnału analogowego na cyfrowy, artefakty wysokoczęstotliwościowe mające charakter szumu i artefakty na elektrodzie referencyjnej. Zakłócenia powstające na granicy środowiska wewnętrznego i zewnętrznego wynikają natomiast ze zmian potencjału pochodzących od zjawisk występujących głównie na styku elektrod pomiarowych i skóry. Artefakty wewnętrzne powodowane są czynnikami anatomicznymi i fizjologicznymi oraz naturalną bioelektryczną aktywnością organizmu. Zalicza się do nich także artefakt kardiograficzny, naczyniowy, mięśniowy i oddechowy oraz ruchy gałek ocznych, zuchwy i języka. Obecność tego typu zjawisk w sygnale EEG może powodować istotne zmiany w wynikach analizy wzrokowej (Kilicarslan i Contreras, 2019). Po zastosowaniu metod analizy automatycznej z powodu artefaktów

następują zmiany widma mocy i mogą powstawać nieoczekiwane korelacje pomiędzy kanałami. Potencjały mierzone na powierzchni głowy są sumą aktywności mózgu i źródeł znajdujących się poza nim. Stosunek sygnału pochodzącego z mózgu do szumu z tła jest bardzo mały, przy czym tłem jest zarówno aktywność bioelektryczna innych części organizmu, jak również elektromagnetyczne zakłócenia ze środowiska zewnętrznego. Największym problemem w elektroencefalografii jest wzmocnienie bardzo słabych potencjałów generowanych na neuronach kory mózgowej i przekształcenie ich w graficzny zapis. W przypadku pomiaru na powierzchni głowy badanego zapis potencjałów pochodzących od synchronicznej pracy grup neuronów z kory mózgowej możliwy jest jedynie dzięki odpowiedniej lokalizacji elektrod pomiarowych i specjalnej technice wzmacniania mierzonego sygnału. Dużym problemem jest wzmacnianie nie tylko sygnałów wynikających z aktywności elektrycznej kory, ale również z artefaktów takich jak ruch gałek ocznych, ruchy głowy czy napięcie mięśni żuchwy, a ich amplituda najczęściej wielokrotnie przekracza amplitudę interesującego sygnału. Rejestracja sygnału EEG wymaga dobrego kontaktu elektrod ze skórą, umożliwiającą przewodzenie prądów elektrycznych będących wynikiem elektrycznej aktywności mózgu (Nuwer, 1997).

Magnetoencefalogram (MEG) to zapis pól magnetycznych indukowanych przez prądy jonowe występujące w komórkach nerwowych. Pola te są niezmiernie słabe, przez co występuje trudność z ich pomiarem i oddzieleniem pól pochodzących z mózgu od szumów elektromagnetycznych. Praktyczny pomiar MEG umożliwiają czułe magnetometry SQUID wykorzystujące zjawisko kwantowej interferencji. System MEG w sposób nieinwazyjny mierzy sygnały magnetoencefalograficzne i opcjonalnie sygnały elektroencefalograficzne wytwarzane przez aktywną elektryczną tkankę mózgu. Jednym z najważniejszych i jednocześnie najtrudniejszych problemów elektroencefalografii i magnetoencefalografii jest lokalizacja przestrzenna źródeł aktywności rejestrowanej na zewnątrz czaszki, czyli rozwiązanie tzw. problemu odwrotnego EEG/MEG. Metody MEG i EEG wychwytyują elektromagnetyczne skutki aktywności neuronów w dużych obszarach mózgu, które rozprzestrzeniają się w skórze głowy i charakteryzują się doskonałą rozdzielczością czasową w milisekundach, ale słabą rozdzielczością przestrzenną. Metody EEG i MEG mierzą

ślady tych samych procesów elektrycznych zachodzących w mózgu, jednak propagacja pola magnetycznego jest znacznie mniej zakłócana przez zmienne własności ośrodków między źródłami (przybliżanymi zwykle modelem dipola prądowego) a czujnikami. Granice tkanek, czaszki, skóry i powietrza, wpływające bardzo mocno na pole elektryczne, są dla pola magnetycznego przezroczyste (Nowak i Durka, 2016). Źródłem artefaktów podczas obrazowania mogą być przede wszystkim ruchy gałek ocznych, czynność elektryczna serca i mechaniczne ruchy ciała.

Badanie czynnościowe mózgu metodą funkcjonalnego rezonansu magnetycznego fMRI pozwala na lokalizację obszaru mózgu, który ulega aktywacji podczas wykonywania określonego zadania oraz analizę procesów przetwarzania informacji, procesów poznawczych i emocjonalnych. Podczas aktywności neuronów zwiększa się ich zapotrzebowanie na tlen i nasila się produkcja dwutlenku węgla. Pomiar aktywności danego rejonu dokonywany jest za pomocą odpowiedzi BOLD, która określa zależność intensywności sygnału rezonansu magnetycznego od poziomu natlenienia krwi. Zwiększenie przepływu krwi wiąże się z miejscowym wzrostem ilości oksyhemoglobiny, która jest źródłem odmiennego sygnału MRI niż hemoglobina odtlenowana. Różnice te są jednak bardzo niewielkie, dlatego badanie fMRI wymaga specjalnej metodologii (Matthews i Jezzard, 2004). W ocenie zależności między aktywnością mózgu a momentem rozpoczęcia i zakończenia zadania przez badanego należy uwzględnić odpowiedź hemodynamiczną i opóźnienia pomiaru. W zależności od modalności bodźca reakcje ośrodkowego układu nerwowego oscylują wokół kilkuset milisekund. Sygnał BOLD, odpowiadający wzrostowi aktywności nerwowej, można zaobserwować dopiero po około 2 sekundach, zaś jego maksymalna wartość rejestrowana jest dopiero po 4–6 sekundach od pojawienia się bodźca. Charakterystyka odpowiedzi hemodynamicznej jest jednym z najistotniejszych czynników, które należy mieć na uwadze, projektując badania z użyciem metody fMRI. Jak większość metod neuroobrazowania, fMRI nie jest pozbawiony wpływu artefaktów na jakość uzyskiwanych skanów. Metody fMRI i PET mają znacznie gorsze parametry rozdzielczości czasowej w porównaniu z rejestracją procesów neuronalnych za pomocą metody EEG. Obie metody neuroobrazowania przewyższają jednak EEG pod względem rozdzielczości przestrzennej. Metoda PET pozwala na rejestrację

obrazu aktywności mózgu z dokładnością około 5 milimetrów, natomiast rozdzielczość przestrzenna fMRI to około 3 milimetry.

Obrazowanie rezonansu magnetycznego jest metodą wykorzystującą bardzo silne pole magnetyczne. Kwalifikacja do obrazowania, aby zapewnić bezpieczeństwo zarówno osobie badanej, jak i operatorom aparatu MR, wymaga uwzględnienia wielu czynników potencjalnie dyskwalifikujących z udziału w badaniu. Bezwzględny przeciwskazaniem do obrazowania fMRI jest obecność w ciele implantatów aktywowanych elektrycznie, magnetycznie lub mechanicznie. Do udziału w badaniu nie mogą być zatem zakwalifikowane osoby z wszczepionym rozrusznikiem serca lub neurostymulatorami, implantami ślimakowymi, implantami ortopedycznymi i metalicznymi protezami dentystycznymi. Implanty o właściwościach ferromagnetycznych mogą powodować oparzenia tkanek miękkich lub wzbudzać prąd elektryczny natomiast wszczepione implanty elektryczno-mechaniczne mogą ulec rozregulowaniu lub poważnemu uszkodzeniu zagrażającemu zdrowiu badanego. Do badania mogą zostać zakwalifikowane tylko osoby spełniające ściśle określone kryteria związane z bezpieczeństwem.

Neuroobrazowanie z użyciem fMRI trwa dość długo, co przy dużych grupach badawczych powoduje problematyczność pomiarów. Ponadto umieszczenie badanego w wąskim skanerze MR wpływa na komfort obrazowania. Badani mogą doświadczać pewnego dyskomfortu związanego z ograniczeniem ruchu oraz świadomością przebywania w wąskiej przestrzeni. Obrazowaniu fMRI nie powinny być poddawane osoby z klaustrofobią. Podczas skanowania generowane są także głośne dźwięki wynikające z pracy elektromagnesu. Mimo wielu zalet metoda fMRI jest relatywnie najdroższą metodą neuroobrazowania. Koszty badań związane są przede wszystkim z użytkowaniem aparatury MR i urządzeń dodatkowych. Badania mózgu wiążą się również z relatywnie długim czasem przebiegu badania, zbierania danych i analizy uzyskiwanych obrazów (skanów). Wysokie wymagania zarówno przygotowania, jak i przebiegu neuroobrazowania zdecydowanie ograniczają możliwości przeprowadzania tego typu badań. Wykorzystanie funkcjonalnego rezonansu magnetycznego do celów naukowych wymaga ogromnych nakładów finansowych i możliwe jest jedynie w wysokospecjalistycznych, interdyscyplinarnych ośrodkach badawczych. Kosztochłonność i czasochłon-

ność badania, wysokospecjalistyczne wymogi aparaturowo-sprzętowe, a także wysoko wykwalifikowany personel medyczny (elektroradiolog, lekarz) stanowią ograniczenia wykorzystania metody fMRI jako narzędzia badawczego na gruncie ekonomicznym.

Spektrometria bliskiej podczerwieni (fNIRS) jest metodą funkcjonalnego obrazowania opartą na zasadzie sprzężenia nerwowo-naczyniowego, znanego jako reakcja hemodynamiczna, lub BOLD. Dzięki wykorzystaniu nieinwazyjnego, niskoenergetycznego światła laserowego pozwala na określenie zmian w przepływie i natlenieniu krwi w różnych regionach mózgu, które stanowią reakcję organizmu człowieka na określone bodźce marketingowe (Krampe, 2022). Analizując wzorce aktywności mózgu, związane z różnymi rodzajami bodźców marketingowych, możliwe jest uzyskanie wglądu w to, które rodzaje bodźców są najbardziej skuteczne w koncentracji uwagi konsumentów i wpływaniu na ich decyzje. Do kluczowych zalet systemów neuroobrazowania opartych na metodzie fNIRS zaliczyć należy ich dość dużą rozdzielczość przestrzenną, odporność na zakłócenia i powstawanie artefaktów ruchowych, a także mobilność aparatury badawczej. Mimo wielu zalet obrazowania, istnieją również pewne ogólne ograniczenia i słabości pomiaru fNIRS. Jest on mniej czuły niż pomiary fMRI. Rozdzielczość przestrzenna zależy od wielu czynników, takich jak rozmieszczenie względem siebie źródeł i detektorów, właściwości optyczne tkanki i poziom intensywności emitowanego światła (Fukui i in., 2003). Światło bliskiej podczerwieni jest rozpraszane przez tkankę i musi dwukrotnie przejść przez skórę głowy, aby dotrzeć od źródła z powrotem do detektora (Aasted i in., 2015). Metoda fNIRS nie pozwala na uzyskanie danych z głębszych struktur mózgu (np. ciało migdałowate), które uważane są za bardziej bezpośrednio powiązane z emocjami niż kora przedczołowa. Nie jest możliwe także uzyskanie bezwzględnych zmian stężenia we krwi, a jedynie pomiar względnych różnic wynikających ze zmian w mózgowym przepływie krwi, dlatego też nie jest jasne, czy aktywacja obszarów mózgu jest wskaźnikiem zgody czy braku zgody, akceptacji lub odmowy na dany bodziec (Jackson i Kennedy, 2013). Spektrometria bliskiej podczerwieni jest przenośną, innowacyjną i tańszą metodą neuroobrazowania w porównaniu z fMRI. Warunki badawcze charakterystyczne dla fNIRS zbliżają ją do metody EEG. Metody te operują jednak na innych wskaźnikach

aktywności neuronalnej: EEG umożliwia pomiar czynności bioelektrycznej mózgu, podczas gdy fNIRS dostarcza informacji na temat zmian hemodynamicznych zachodzących w aktywnych obszarach (Wysocka i in., 2020).

Pozytonowa tomografia emisyjna (PET) jest metodą obrazowania, która polega na rejestracji emisji promieniowania podczas anihilacji pozytonów (antyelektronów) powstających po rozpadzie cząsteczek znakowanych izotopem radioaktywnym. Źródłem pozytonów jest substancja promieniotwórcza ulegająca rozpadowi beta plus. Najczęściej stosowanym radioznacznikiem (emiterem pozytonów), jest ^{18}F -fluorodeoksyglukoza (^{18}FDG). Podczas badania najczęściej stosuje się krótkotrwałe izotopy, których czas połowicznego rozpadu jest stosunkowo krótki i nie zagraża zdrowiu, ale nie pozostaje obojętny dla organizmu. Użycie PET wymaga ekspozycji osoby badanej na pewną dawkę promieniowania jonizującego. Jest ona na poziomie akceptowalnym dla metod diagnostycznych i nie powoduje poważniejszych efektów ubocznych, jednak zastosowanie metody radioizotopowej na gruncie marketingowym budzi wiele kontrowersji etycznych. Podstawowym źródłem artefaktów w metodzie PET są artefakty ruchowe. Metoda PET ma słabą rozdzielczość czasową, ale może wykryć określone interesujące neuroprzekaźniki. Rozdzielczość przestrzenna jest dość wysoka (około 3–6 mm), ale rozdzielczość czasowa jest niska (kilka minut do ułamków godziny). Metoda PET zapewnia bezwzględną miarę metabolizmu tkanek, natomiast BOLD fMRI można stosować do określenia względnych zmian natężenia sygnału związanych z różnymi stanami poznawczymi podczas pojedynczej sesji obrazowania (Friston i in., 1999). Ograniczeniem wykorzystania metody PET na gruncie marketingowym jest kosztochłonność badań, specyfika aparatury pomiarowej i wysoko wykwalifikowany personel badawczy.

W przypadku pomiaru neurometrycznego przedmiotem analizy metod EEG, MEG, fMRI, fNIRS i PET jest zawsze aktywność mózgu. Narzędzia do tego pomiaru można opisać przede wszystkim według ich rozdzielczości czasowej i przestrzennej. Są to kluczowe parametry mające najważniejszy wpływ na jakość uzyskiwanych skanów, obrazów i wyników obrazowania. Metody o większej rozdzielczości przestrzennej pozwalają na dokładną lokalizację aktywnych struktur mózgu i umożliwiają identyfikację miejsca aktywacji. Z kolei urządzenia mierzące bezpośrednio

aktywność elektryczną mózgu pozwalają bardzo dokładnie określić, kiedy dana reakcja (aktywacja) miała miejsce. Do pewnego stopnia więc poszczególne metody się uzupełniają. Metody EEG i MEG cechuje dobra rozdzielczość czasowa, jednak ograniczona rozdzielczość przestrzenna. W sygnale MEG nie są też widoczne aktywności od wszystkich odpowiednio silnych dipoli, a tylko tych zorientowanych prostopadłe do promienia kuli przybliżającej głowę. Sygnał EEG natomiast jest znacznie bardziej zniekształcony poprzez własności ośrodków między źródłami a powierzchnią głowy. Metodę fMRI cechuje wysoka rozdzielczość przestrzenna (anatomiczna dokładność pomiaru) i możliwość uzyskania precyzyjnych pomiarów odpowiedzi neuronalnej zarówno z korowych, jak i podkorowych obszarów mózgu. Metoda fNIRS w porównaniu z fMRI nie pozwala na pomiar zmian hemodynamicznych w obrębie głęboko położonych struktur, jest jednak skutecznym narzędziem monitorowania aktywności korowej. Charakteryzuje się niższą rozdzielczością przestrzenną. Metody fMRI i PET mają niższe parametry rozdzielczości czasowej w porównaniu z rejestracją procesów neuronalnych za pomocą EEG. Charakteryzują się natomiast znacznie lepszą rozdzielczością przestrzenną. Metodę fNIRS cechuje wyższa niż w przypadku EEG rozdzielczość przestrzenna. Rozdzielczość czasowa fNIRS jest wyższa niż w fMRI i umożliwia dokładniejsze śledzenie przebiegu zmian hemodynamicznych w trakcie ekspozycji na konkretny bodziec. Najlepszym rozwiązaniem jest prowadzenie badań za pomocą różnych komplementarnych względem siebie metod (Pinti i in., 2020).

Ograniczenie badawcze może stanowić wielkość i budowa aparatury pomiarowej. Ze względu na wysoce specjalistyczny sprzęt i duże rozmiary skanerów fMRI i PET prezentacja bodźców i zakres udzielanych przez badanych odpowiedzi mogą być utrudnione. Mniejsze i bardziej mobilne urządzenia pomiarowe, takie jak EEG czy fNIRS, mają większe zastosowanie w badaniach konsumentów.

Istotną kwestią związaną ze skalą prowadzonych badań jest także kosztowność metod neurometrycznych. Najkosztowniejszymi metodami pomiaru jest metoda fMRI i PET. Koszty badań znacznie ograniczają wielkość próby badawczej i późniejsze uogólnianie wyników. W zastosowaniach komercyjnych EEG jest obecnie najpopularniejszą i najtańszą metodą badań. Metoda fMRI jest natomiast częściej

stosowana w badaniach naukowych i klinicznych. Ze względu na wysokie koszty, konieczność wstrzykiwania radioizotopów i dylematy etyczne zainteresowanie metodą PET do komercyjnego wykorzystania w neuromarketingu jest relatywnie niewielkie. Badania neuromarketingowe prowadzone za pomocą metod neurometrycznych realizowane są zazwyczaj na małych próbach badawczych, mniejszych niż w przypadku tradycyjnych badań marketingowych, co może mieć wpływ na istotność statystyczną obserwacji.

Metody neurometryczne dostarczają wielu wartościowych informacji na temat funkcjonowania mózgu. Ekspozycja na określone bodźce i pomiar reakcji neuronalnych wymagają wnikliwej i wielowymiarowej analizy uzyskanych danych. W tym celu wykorzystywane są modele matematyczne integrujące wszystkie znane fakty. Postęp w neuroobrazowaniu warunkowany jest rozwojem nowoczesnych technologii stosowanych w diagnostyce obrazowej oraz rozwojem technik obliczeniowych umożliwiających rejestrację i analizę danych. Na gruncie nowej dziedziny, jaką jest obliczeniowa kognitywna neuronauka (ang. *computational cognitive neurosciences*), opracowywane są szczegółowe modele funkcji poznawczych i afektywnych w oparciu o sieci neuronów w mózgu. Informatyka neurokognitywna próbuje upraszczać modele czynności poznawczych, myślenia, rozwiązywania problemów, uwagi oraz kontroli zachowania i świadomości w celu transformacji danych na praktyczne algorytmy pozwalające systemom sztucznym na realizację podobnych funkcji.

Wykorzystanie metod neuroobrazowania ma duży potencjał badawczy, jednak wymaga współpracy interdyscyplinarnego zespołu badawczego. Przeprowadzanie badań, analiza skanów mózgu oraz interpretacja wyników są skomplikowane i wymagają specjalistycznej wiedzy z zakresu takich dziedzin jak neurologia, elektroradiologia, psychologia kognitywna, marketing i neuronauki konsumenckie. Dobór odpowiednich metod neurometrycznych zależy przede wszystkim od problemu badawczego. Wybór metody powinien przebiegać z uwzględnieniem kwestii związanych z potencjałem wyjaśniającym, możliwością zastosowania i prowadzenia badań oraz ich kosztem, a ponadto specyfikacją i wymaganiami aparatury pomiarowej, procesem analizy danych, a także normami etycznymi.

6. Użyteczność neuroobrazowania w marketingu

We współczesnych realiach społeczno-gospodarczych informacja odgrywa coraz większą rolę w szeroko rozumianych procesach decyzyjnych. Miarą przydatności i wartości informacji jest stopień, w jakim ułatwia ona lub ulepsza proces podejmowania decyzji i osiągnięcia celu. Prowadzenie badań naukowych i pozyskiwanie informacji marketingowych mogą przebiegać w sposób dedukcyjny lub indukcyjny z wykorzystaniem metod ilościowych i jakościowych. Neuroobrazowe metody pomiaru reakcji mózgu i oceny zachowań konsumentów pozwalają również na prowadzenie badań zgodnie z podejściem indukcyjnym (Budzanowska-Drzewiecka, 2018, s. 201–202). Korzystanie z wyników neuroobrazowania wymaga rzetelnego ustalenia standardów realizacji badań naukowych w celu zapewnienia ich replikowalności oraz porównywalności, co jest szczególnie istotne w kontekście ich implementacji w sferze praktycznej. Efektem prowadzonych analiz i badań neuronaukowych jest społecznie użyteczna wiedza w postaci ustalonych i potwierdzonych prawidłowości, teorii i paradygmatów naukowych, a także wiedza dotycząca przebiegu procesów decyzyjnych i zjawisk społeczno-ekonomicznych. Współcześnie obiektywna informacja staje się przewagą konkurencyjną i katalizatorem wielu zmian organizacyjnych. W tym aspekcie neuromarketing może dostarczać wielu cennych danych i wartościowych informacji.

Na podstawie przeglądu analiz bibliometrycznych i systematycznego przeglądu światowej literatury przedmiotu w tabeli 5 przedstawiono metody neurometryczne stosowane w badaniach marketingowych i wskazano ich autorów.

Na podstawie badań naukowych prowadzonych z wykorzystaniem metod obrazowania mózgu, takich jak EEG, MEG, fMRI, fNIRS, PET, określono cztery kluczowe obwody (szlaki) biorące udział w procesie podejmowania decyzji rynkowych: obwód uwagi, emocji, pamięci i wyceny (rys. 9). Wyniki neuroobrazowania pozwoliły na identyfikację poszczególnych obszarów funkcjonalnych mózgu aktywowanych podczas ekspozycji na określone bodźce. Neuroobrazowanie pozwala na pomiar oraz wnikliwą ocenę uwagi i percepcji bodźców marketingowych, zaangażowania emocjonalnego, zapamiętywania informacji i skłonności konsumentów do płacenia.

Tabela 5

Pomiary neurometryczne stosowane w badaniach marketingowych i autorzy badań

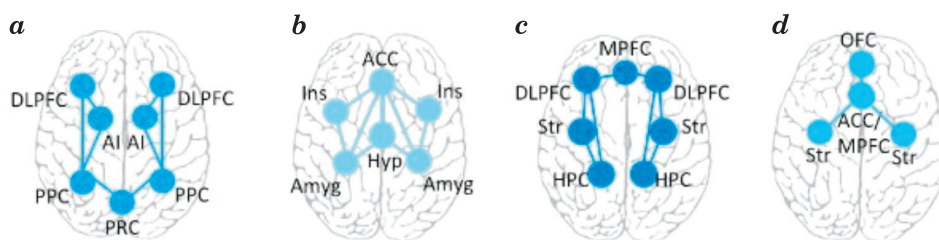
Metoda (technika) neuroobrazowania	Obszar badań (kategoria)	Autorzy badań
fMRI, PET, SPET, fNIRS, EEG, MEG	neuroobrazowanie (neuroanatomia, obszary funkcjonalne mózgu, reakcje poszczególnych obszarów mózgu, reakcje neuronalne na bodźce marketingowe)	Ramsoy (2015); Ramsoy i in. (2018)
fMRI	neuroobrazowanie (neuroanatomia, specyficzna aktywacja neuronalna)	Jung i in. (2018), Venkatraman i in. (2015)
EEG	neuroobrazowanie (reakcje neuronalne na bodźce marketingowe)	Goto i in. (2019); Wei i in. (2018); Ma i in. (2019); Cartocci i in. (2017); Chew i in. (2016)
fMRI, PET, EEG, MEG	neuropsychologia	Isabella i in. (2015); Harris i in. (2018)
fMRI, PET, EEG, MEG	aktywność neuronalna mózgu	Lim (2018); Lim i in. (2021); Lim i Weissmann (2021)
fMRI, PET, MEG	analiza obrazowania mózgu (neuroanatomia)	Wang i Minor (2008)
EEG, MEG	aktywność elektryczna mózgu	Plassmann i in. (2007, 2012, 2015)
fMRI, PET	aktywność metaboliczna mózgu	Plassmann i in. (2007)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: A.H., Alsharif, M., Abdullah, N.Z.M., Salleh, A., Khraiwish, A., Ashaari (2023). *Neuromarketing tools used in the marketing mix: A systematic literature and future research agenda*. SAGE Open, no. 13(1), p. 1–23. <https://doi.org/10.1177/21582440231156563>; A.H., Alsharif, R., Baharun, N.Z.M., Salleh, E.A.R., Hashem (2021). *Neuromarketing research in the last five years: A bibliometric analysis*, *cogent business & management*, no 8(1), p. 1978620, <https://doi.org/10.1080/23311975.2021.1978620>; A., Costa-Feito, A.M., González-Fernández, C., Rodríguez-Santos, M., Cervantes-Blanco (2023). *Electroencephalography in consumer behaviour and marketing: A science mapping approach*. *Humanities & Social Sciences Communications*, no. 10, vol. 474, p. 1–13, <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01991-6>

Na podstawie licznych badań naukowych oraz wyników neuroobrazowania z wykorzystaniem metod EEG, MEG, fMRI, fNIRS i PET zidentyfikowano poszczególne obszary mózgu odpowiedzialne za konkretne reakcje i zachowania człowieka (Gross, 2002; Phillips, 2003, Bradley, 2008; Giuliani i in., 2011; Maciejasz-Świątkiewicz, Musiał, 2014). Należą do nich:

- wyspa (ang. *Insular Cortex*, łac. *Insula* – IC) – odpowiada za szacowanie zysków i strat;

- brzuszne prążkowie (ang. *Ventral Striatum* – VS) – odpowiada za układ nagrody;
- kora oczodołowa (ang. *Orbital Cortex* – OC) – odpowiada za pragnienie posiadania;
- jądro półleżące (ang. *Nucleus Accumbens* – NA) – odpowiada za odczuwanie przyjemności;
- przyśrodkowa kora przedczołowa (ang. *Medial Prefrontal Cortex* – mPFC) – odpowiada za odczuwanie pozytywnej więzi;
- kora przedczołowa (ang. *Prefrontal Cortex* – PFC) – odpowiada za samoocenę;
- kora tylnego zakrętu obręczy (ang. *Posterior Cingulate Cortex* – PCC) – odpowiada za konflikt;
- ciało migdałowate (ang. *Amygdala*) – odpowiada za poczucie zagrożenia i wyzwania.



Rys. 9. Obwody (obszary) funkcjonalne mózgu: *a* – obwód uwagi; *b* – obwód emocji; *c* – obwód pamięci; *d* – obwód wyceny

Oznaczenia:

- ACC – kora przedniego zakrętu obręczy (ang. *Anterior Cingulate Cortex*),
 AI – przednia wyspa (ang. *Anterior Insula*),
 Amyg – ciało migdałowate (ang. *Amygdala*),
 DLPFC – grzbietowa-boczna kora przedczołowa (ang. *Dorsolateral Prefrontal Cortex*),
 Hyp – podwzgórze (ang. *Hypothalamus*),
 HPC – hipokamp (ang. *Hippocampus*),
 Ins – wyspa (ang. *Insula*),
 MPFC – przyśrodkowa kora przedczołowa (ang. *Medial Prefrontal Cortex*),
 OFC – kora oczodołowa-czołowa (ang. *Orbitofrontal Cortex*),
 PPC – tylna kora ciemieniowa (ang. *Posterior Parietal Cortex*),
 PRC – przedklinek (ang. *Precuneus*),
 PFC – kora przedczołowa (ang. *Prefrontal Cortex*),
 Str – prążkowie (ang. *Striatum*),
 VTA – brzuszny obszar nakrywki (ang. *Ventral Tegmental Area*)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: M., Hsu (2017). *Neuromarketing: Inside the mind of the consumer*. California Management Review, no. 59(4), p. 9–10

Głównym obszarem badań neuromarketingowych jest problematyka zachowań konsumenta rozpatrywana z uwzględnieniem dorobku neuro-nauk. Rozwój społeczno-gospodarczy i postęp naukowo-techniczny implikuje rozszerzenie zakresu prowadzonych analiz. Współczesne badania neuromarketingowe obejmują następujące obszary tematyczne (tab. 6):

- marketing mix (produkt, cenę, reklamę, branding);
- zachowania konsumentów (czynniki afektywne, poznawcze, behawioralne) i decyzje zakupowe;
- kontrolę behawioralną;
- zaangażowanie konsumentów;
- wady i zalety neuromarketingu;
- etykę (neuroetykę);
- wybory i preferencje żywieniowe;
- światowe trendy w akademickich badaniach neuromarketingowych.

Tabela 6

Obszary badawcze w neuromarketingu i autorzy badań

Obszary badawcze w neuromarketingu	Autorzy badań
1	2
Produkt	Kant i in. (2022); Khurana i in. (2021); Chen (2019); Goto i in. (2019); Hsu (2019); Zhang i in. (2019); Cakir i in. (2018); Hubert i in. (2018); Jung i in. (2018); Shen i in. (2018); Fehse i in. (2017); Karim i in. (2017); Nittono i Watari (2017); Touchette i Lee (2017); Chew i in. (2016); Hoefer i in. (2016); dos Santos i in. (2016); Wolfe i in. (2016)
Cena	Bazzani i in. (2020); Chen (2019); Fu i in. (2019); Hsu (2019); Ramsøy i in. (2019); Cakir i in., 2018; Gong i in., 2018; Ma i in. (2018); Ramsøy i in. (2018); Pileliene i Grigaliunaite (2017); dos Santos i in. (2016)
Reklama	Pereir i in. (2022); Hamelin i in. (2021); Krchova i in. (2021); Banos-Gonza'lez i in. (2020); Barquero-Pe'rez i in. (2020); Boscolo i in. (2020); Eijlers i in. (2020); Espigares-Jurado i in. (2020); Grewa i in. (2020); Cassioli (2019); Golnar-Nik i in. (2019); Harris i in. (2019); Casado-Aranda i in. (2018); Daugherty i in. (2018); Royo Gonza'lez i in. (2018); Wei i in. (2018); Cartocci i in. (2017); Crespo-Pereira i in. 2017; Pileliene i Grigaliunaite (2017); Shi i in. (2017).
Branding	Jukić (2023); Adeola i in. (2022); Shamim i in. (2021); Ma i in. (2019); Guo i in. (2018); Krampe i in. (2018); Schoen i in. (2018); Fehse i in. (2017)

1	2
Zachowania konsumentów (czynniki afektywne, poznawcze, behawioralne) i decyzje zakupowe	Kant i in. (2023); Alsharif i in. (2022); Mashrur i in. (2022); Martinez-Levy i in. 2022; (Halkiopoulos) i in. (2022); Jain i Kumar (2022); Kant i in. (2022); Naim (2022); Alsmadi i in. (2021); Alsharif i in. (2021); Bočková i in. (2021); Stefko i in. (2021); Gill (2020); Baños-González i in. (2020); Murray i Antonakis (2019); Rawnague i in. (2020); Singh (2020); Verhulst i in. (2020); Golnar-Nik i in. (2019); Kong i in. (2019); Oliveira i in. (2019); Shaar i in. (2019); Cuesta i in. (2018); Maison i Oleksy (2017); Nyoni i in. (2017)
Kontrola behawioralna	Córdova i in. (2022); Lim i Weissmann (2021); Zha i in. (2021); Moyl i in. (2019)
Zaangażowanie konsumentów	Martinez-Levy i in. (2022); Odeola i in. (2022); Pozharliev i in. (2022); Lim (2021); García-Madariag i in. (2019); Hsu i Chen (2020); Kumar i in. (2019); Wang i in. (2019); Muñoz-Leiva i in. (2018)
Wady i zalety neuromarketingu	Cherubino i in. (2019); Jordao i in. (2017); Lim (2018); Plassmann i in. (2012); Ramsoy (2015); Songsamoe i in. (2019)
Etyka (neuroetyka)	Ala i in. (2022); Hula (2022); Morton (2022); Penrod (2022); Attié i in. (2021); Bradfield i in. (2021); Luna-Nevarez (2021); Clark i in. (2020); Mansor i in. (2020); Spence i in. (2020); Isa i in. (2019); Laothavorn i in. (2019); Martineau i Racine (2019); Njegovanovic (2019); Bulley (2018); Ducu (2017); Hensel i in. (2017); Laureckis i in. (2017); Lungu (2017); Matukin i in. (2017); Nemorin i in. (2017); Stanton i in. (2017); Thomas i in. (2017)
Wybory i preferencje żywieniowe	Brdar (2023); Brdar (2021); Thomas i in. (2021); Moya i in. (2020); Russo i in. (2020); García-Madariag i in. (2019); Simonetti i Bigne (2019); Kytö i in. (2019); Stasi i in. (2018); Zhang i in. (2018)
Światowe trendy w akademickich badaniach neuromarketingowych	Alsharif i in. (2023), Costa-Feito i in. (2023); Blanco-Moreno (2023); Öberg (2023); Adeola i in. (2022); Adula i in. (2022); Siddique i Shamim (2022); Zhu i in. (2022); Alsharif i in. (2021, 2020); Jimenez-Marin i in. (2019); Pozharliev (2017)

Źródło: opracowanie własne

W literaturze przedmiotu i praktyce biznesowej badania neuromarketingowe dotyczą w głównej mierze zagadnień związanych z kompozycją marketingową (rozwoju produktów i usług, strategii cenowych i sprzedażowych, programów lojalnościowych, reklamy i brandingu). Neuromarketing postrzegany jest jako interdyscyplinarna dziedzina badań, której celem jest zbadanie reakcji konsumentów na reklamy i testowanie skuteczności reklam za pomocą neuroobrazowania (Vecchiato i in., 2014). Analizy neuromarketingowe reklam dotyczą przede wszystkim

uwagi konsumentów odgrywającej kluczową rolę w wielu modelach reklamowych (modele hierarchii efektów podkreślające zazwyczaj trzy etapy oddziaływania reklamy na konsumenta: myśl – czuj – rób). Zakres badań neuromarketingowych w obszarze działań reklamowych obejmuje trzy główne bloki tematyczne: weryfikację modeli oddziaływania reklamy (miary skuteczności reklam związane z uwagą i zachowaniem), skuteczność kanałów komunikacyjnych (skuteczność poszczególnych nośników i formatów) oraz ocenę konstrukcji przekazu reklamowego (testowanie kreacji w fazie przygotowań i w fazie emisji reklamy, znaczenie kontekstu w odbiorze treści reklamy) (Budzanowska-Drzewiecka, 2016, s. 23). Użyteczność neuroobrazowania przejawia się przede wszystkim w możliwości dostarczania obiektywnych pomiarów uwagi i reakcji emocjonalnych konsumentów na bodźce reklamowe, identyfikacji procesów automatycznych oraz nieświadomego przetwarzania bodźców peryferycznych i podprogowych, a także określenia jawnych (preferencji) i niejawnych (kognitywnych i fizjologicznych) reakcji konsumentów na reklamy emitowane w telewizji i umieszczone w wirtualnej rzeczywistości. Na podstawie wyników neuroobrazowania możliwe jest wspieranie aktywności marketingowych w procesie sprzedaży oraz tworzenie optymalnego przekazu reklamowego. W celu pomiaru reakcji poznawczych i emocjonalnych u odbiorców reklam podejmowane są próby konstruowania indeksów neurofizjologicznych pozwalających na pozyskanie praktycznych informacji dotyczących konstrukcji reklam, trafności przekazu, stopnia zaangażowania i percepcji. Na podstawie wyników neuroobrazowania możliwe jest wskazanie indeksów mózgowych i autonomicznych opisujących stan emocjonalny doświadczony podczas oglądania reklam (zapamiętanie, uwaga, wskaźnik przyjemności) (Budzanowska-Drzewiecka, 2018, s. 26, 29). Metody neurometryczne stosowane są także w badaniach dotyczących atrybutów produktów, projektowania opakowań czy gotowości i skłonności konsumentów do płacenia (ang. *willingness to pay* – WTP) (Hakim i in., 2023; Hakim i in., 2021; Sundararajan i in., 2017). Coraz częściej podejmowane są także badania dotyczące produktów żywnościowych i ekologicznych (Jerzyk i in., 2018; Stasi i in., 2018).

Badania neurometryczne prowadzone są nie tylko na gruncie naukowym, lecz także stosowane w komercyjnej działalności biznesowej w celu wspierania działań marketingowych (reklama i inne formy komunika-

cji marketingowej, branding, proces sprzedaży, decyzje nabywcze klientów). Neuromarketing jest bowiem dyscypliną, w której nauka spotyka się z biznesem, a neuronauka łączy się z marketingiem. Celem neuromarketingu jest badanie, odkrywanie i przewidywanie reakcji neuronalnej podczas ekspozycji na określony bodziec marketingowy oraz ocena zachodzących procesów poznawczych i emocjonalnych (Alvino i in., 2020; Cherubino i in., 2019). Praktycznym aspektem wyników neuroobrazowania jest możliwość opracowania optymalnej strategii marketingowej i obniżenie kosztów reklamy.

Wśród koncernów korzystających z dorobku neuronauk są takie firmy, jak: PepsiCo, McDonald's, Microsoft, Google, Dräger, International Shopper Marketing Institute, Unilever, Bolletje, Smint, Kellogg, Achmea, Centraal Beheer, Fiat, DKMS. W tabeli 7 przedstawiono przykłady firm wykorzystujących metody neurometryczne (EEG, fMRI) w praktyce biznesowej.

Znajomość neuroanatomii i neurofizjologii jest niezbędna w badaniach neuromarketingowych i neuropsychologicznych. Wiedza na temat funkcjonowania poszczególnych obszarów mózgu pozwala na identyfikację neuronalnych korelatów decyzji zakupowych i określenie kluczowych determinantów procesu decyzyjnego. Zewnętrzną warstwę mózgu tworzy złożony system zorganizowany w cztery płaty (płat czołowy, ciemieniowy, skroniowy i potyliczny), z których każdy pełni odrębną funkcję związaną z reakcjami poznawczymi, emocjonalnymi i motorycznymi. Płat czołowy jest obszarem, w którym powstaje większość myśli i świadomych decyzji (Nolte i Sundsten, 2009). Podejmowanie decyzji poznawczych odbywa się głównie w okolicy przedczołowej tego płatu, natomiast decyzje związane z ruchem zapadają w końcowej jego części. Informacje o smaku, dotyku i ruchu przetwarzane są przez płat ciemieniowy. Płat potyliczny jest głównym ośrodkiem przetwarzania wzrokowego, płat skroniowy odpowiada za wspomnienia wzrokowe, rozpoznawanie słuchowe i integrowanie nowych informacji zmysłowych ze wspomnieniami (Frackowiak i Richard, 2007). Oprócz płatów pierwotnych w anatomii kory mózgowej znajdują się również zakręty i bruzdy, które tworzą złożony wygląd mózgu. Płaty pierwotne oraz zakręty tych płatów można uznać za tzw. obszar zainteresowania (ang. *Region of Interest* – ROI) w technikach obrazowania neuronowego (Besson i in., 2003).

Tabela 7

Praktyczne zastosowanie wyników neuroobrazowania w biznesie

Firma	Case study (cele biznesowe, cele neuroobrazowania)	Wnioski, efekty i korzyści z implementacji wyników neuroobrazowania
1	2	3
International Shopper Marketing Institute branża: marketing	cele biznesowe: określenie optymalnych cen dla alternatyw mięsnych i zbadanie wrażliwości cenowej cele neuroobrazowania z wykorzystaniem metody EEG: poznanie reakcji konsumentów na ceny i opakowania produktów będących alternatywą dla mięsa, prognozowanie oczekiwanego popytu, przychodów i zysków dla różnych cen produktów	– opakowanie odgrywa kluczową rolę w określeniu ceny produktu – elastyczność cenowa produktu jest silnie zależna od siły projektu opakowania – obniżenie ceny o 38 centów umożliwia zwiększenie zysków z wegetariańskich burgerów o 30% – tylko produkty z opakowaniem premium są w stanie zbliżyć się do maksymalnego zysku, gdy cena wynosi 1,59 €
Unilever branża: FMCG (branża dóbr szybkozbywalnych)	cele biznesowe: poprawa doświadczeń konsumentów poprzez zmiany w komunikacji i układzie wizualnym sklepów, pomiar i ocena reakcji konsumentów na różne bodźce cele neuroobrazowania z wykorzystaniem metody EEG: identyfikacja „punktów szczęścia” i „punktów niezadowolenia” podczas zakupów, przedstawienie dobrych praktyk sprzedawcom detalicznym w celu poprawy doświadczeń klientów	– odpowiednie planowanie półek, kolorystyka opakowań produktów i sposoby komunikacji z klientami, takie jak stosowanie odpowiednich słów i języka ciała, mają ogromny wpływ na poziom zadowolenia konsumentów i ich decyzje zakupowe – korekta niektórych elementów opakowań produktów – poprawa jakości doświadczenia zakupowego klientów dzięki przekazaniu szczegółowych informacji i sugestii sprzedawcom detalicznym – zwiększenie sprzedaży dzięki kreowaniu przyjemniejszego środowiska zakupowego
Bolletje branża: FMCG (branża dóbr szybkozbywalnych)	cele biznesowe: analiza porównawcza reklam oraz określenie przyczyn istniejących różnic w efektywności i skuteczności dwóch reklam o podobnej koncepcji promujących ten sam produkt: Skinny jeans i Aqua yoga (pierwsza reklama okazała	– odpowiednie połączenie pozytywnych i negatywnych emocji wpływa na efektywność reklamy – uzyskanie efektu identyfikacji odbiorcy reklamy z główną postacią i ukazanie satysfakcji z używania produktu

1	2	3
	się 250% efektywniejsza niż druga; w tradycyjnym badaniu kwestionariuszowym wykazano, że obie reklamy osiągnęły równie dobre wyniki i nie były skuteczne w przewidywaniu efektywności reklam) cele neuroobrazowania z wykorzystaniem metody fMRI: analiza reakcji uczestników podczas oglądania obu reklam, identyfikacja emocji i czynników wpływających na zachowanie konsumentów, określenie korelacji między poszczególnymi aspektami reklamy a efektywnością reklamy	– reklama Skinny jeans była 2,6 razy skuteczniejsza niż reklama Aqua yoga – reklama Skinny jeans generowała większe oczekiwania i przykuwała uwagę, jednocześnie utrzymując umiarkowany poziom negatywnych emocji – reklama Aqua yoga wzbudzała silniejsze negatywne emocje
Smint branża: FMCG (branża dóbr szybkozbywalnych)	cele biznesowe: wzrost udziału w rynku i pozyskanie nowych klientów (zmiana popytu potencjalnego w popyt rzeczywisty) poprzez odpowiednie skojarzenia marki cele neuroobrazowania z wykorzystaniem metody fMRI: budowanie odpowiednich skojarzeń marki, poprawa doświadczeń konsumentów, ulepszenie strategii marketingowej i dalszy rozwój marki	– odkrycie świadomych skojarzeń związanych ze Smint i konkurencją – identyfikacja skojarzeń wpływających na pozyskiwanie nowych klientów: „uczucie świeżości” i „daje pewność siebie” – testowanie skuteczności reklam Smint pod kątem aktywacji odpowiednich skojarzeń dzięki neurobadaniom
Kellogg branża: FMCG (branża dóbr szybkozbywalnych)	cele biznesowe: zwiększenie sprzedaży Rice Krispies Treats i wzrost lojalności klientów poprzez odświeżenie opakowania produktu cele neuroobrazowania z wykorzystaniem metody EEG: pomiar reakcji konsumentów na nowe opakowanie – zgodnie z wynikami neuroobrazowania nowa szata graficzna przykuwa uwagę klientów, zwiększa emocjonalne zaangażowanie i sprawia, że marka zapada	– skierowanie większej uwagi konsumentów na produkt i przekaz smaku/ rodzaju – dzięki zmianie opakowania – utrzymanie silnej pozycji wśród obecnych klientów (rodziców) oraz zwiększenie zainteresowania wśród nowych klientów (niebędących rodzicami) – wzmocnienie skojarzeń związanych z marką, „zabawą” i „dzieleniem się” oraz skuteczne wyróżnienie opakowania na tle konkurencji

1	2	3
	w pamięć (zmiana opakowania przyniosła pozytywne rezultaty na rynku)	– wyróżnienie produktu na półkach sklepowych i zwiększenie sprzedaży – wzrost emocjonalnego zaangażowania i zwiększenie lojalności klientów
Achmea branża: ubezpieczenia	cele biznesowe: ocena skuteczności filmu korporacyjnego opartego na storytellingu oraz określenie emocji, które film wywołuje u odbiorców cele neuroobrazowania z wykorzystaniem metody fMRI: określenie kluczowych elementów filmu i kampanii wpływających na pozytywną percepcję wśród odbiorców, optymalizacja storytellingu w celu zwiększenia skuteczności przekazu reklamowego i budowania pozytywnego wizerunku firmy	– zoptymalizowanie filmu korporacyjnego i storytellingu – określenie emocji odbiorców filmu oraz poprawa postrzegania marki i przekazu (emocje były zrównoważone, a negatywne wydarzenia nie powodowały silnych negatywnych emocji, na końcu reklamy dominowały emocje pozytywne) – mimo przedstawienia negatywnych wydarzeń w filmie, odbiorcy nie odczuwali nazbyt silnych negatywnych emocji; wyważenie uczuć i dominacja pozytywnych emocji pod koniec reklamy sprawiły, że odbiorcy postrzegali markę Achmea w pozytywnym świetle
Centraal Beheer branża: ubezpieczenia	cele biznesowe: analiza porównawcza dwóch opracowanych koncepcji reklamowych („Container” vs. „Hond”) w celu określenia najefektywniejszej koncepcji pod względem aktywacji sprzedaży i przyczynienia się do długoterminowego wzrostu marki cele neuroobrazowania z wykorzystaniem metody fMRI: wybór najskuteczniejszej koncepcji reklamowej („Container” vs. „Hind”) oraz ocena reakcji i emocji wywołanych przez reklamy	– wybór koncepcji reklamowej „Container” zamiast na początku faworyzowanej wewnętrznej koncepcji „Hond” – określenie wpływu wywołanych emocji na percepcję marki i jej wartości – sformułowanie rekomendacji dotyczących optymalizacji wybranego konceptu reklamowego – koncepcja „Container” była skuteczniejsza w przekazywaniu wartości marki i wzbudzaniu pożądanych emocji – ostateczna reklama zdobyła nagrodę Zilveren Loeki

1	2	3
Fiat branża: motoryzacja	cele biznesowe: zrozumienie zmieniających się zachowań konsumentów oraz dostosowanie komunikacji marketingowej cele neuroobrazowania z wykorzystaniem metody EEG: promowanie racjonalnych ofert, koncentracja na wsparciu społecznym w czasie kryzysu, zmiana strategii komunikacji poprzez koncentrację na krótkoterminowych korzyściach (opłacone podatki i bonusy za zamianę używanego pojazdu)	– określenie najskuteczniejszych strategii komunikacji z konsumentami w czasach kryzysu – zrozumienie, że w czasach kryzysu konsumentom zależy na bezpieczeństwie, ofertach ekonomicznych i promocjach oraz wsparciu społecznym – znalezienie odpowiedniego sposobu komunikacji z konsumentami i wzrost motywacji klientów
DKMS branża: NGO (międzynarodowe centrum dawców szpiku kostnego typu non-profit)	cele społeczne: zwiększenie zaangażowania odbiorców w spot reklamowy „Ice World” poprzez zmianę kadrowania postaci i redukcję negatywnego przekazu w kluczowych momentach cele neuroobrazowania z wykorzystaniem metody EEG: ulepszenie wersji reklamy, wzrost zaangażowania emocjonalnego odbiorców, wzrost liczby potencjalnych dawców szpiku kostnego poprzez stworzenie angażującego spotu reklamowego	– optymalizacja scen i postaci – optymalizacja reklamy do 20-sekundowej wersji i obniżenie kosztów reklamy – poprawa emocjonalnego zaangażowania odbiorców w reklamę – zwiększenie prawdopodobieństwa podjęcia działania przez odbiorców

Źródło: opracowanie własne na podstawie: *SeeWidely*, <https://seewidely.com/> (dostęp: 12.10.2023)

Głębsze struktury mózgu odpowiadają za reakcje czuciowe i instynktowne, które następnie kierowane są do kory mózgowej. Podwzgórze pełni nadrzędną funkcję regulacyjną układu autonomicznego. Odpowiada za sen, głód, pragnienie, ciśnienie krwi i temperaturę ciała. Wzgórze reguluje natomiast informacje sensoryczne, uwagę i pamięć. Ciało migdałowe jest źródłem reakcji emocjonalnej, zaś hipokamp jest odpowiedzialny za tworzenie i przechowywanie śladów pamięciowych (Venkatraman i in., 2015). Złożona struktura mózgu implikuje wykorzystanie różnych metod obrazowania w celu uzyskania określonych

informacji i reakcji neuronalnych. Pozyskiwanie i pomiar sygnału mogą uwzględniać sygnały neuronowe z kory mózgowej lub z głębszych warstw mózgu. W badaniach neuromarketingowych (zorientowanych na ocenę uwagi) analizowane są przede wszystkim sygnały z płata czołowego, podczas gdy badania mające na celu ocenę motywacji powinny obejmować głębsze struktury mózgu.

Komunikacja neuronowa w mózgu odbywa się poprzez potencjały czynnościowe. Sygnał neuronalny jest informacją elektrochemiczną, którą neurony wysyłają sobie nawzajem. Informacje te są pozyskiwane w postaci sygnałów o nieliniowym wzorze, zwanych falami mózgowymi, które są powiązane z sygnaturą neuronową stanów mózgu. Elektroencefalografia jest metodą elektryczną umożliwiającą ocenę reakcji neuralnej konsumentów na poziomie emocjonalnym i poznawczym na bodźce marketingowe poprzez rejestrację zmian napięcia i częstotliwości na skórze głowy. Może być wykorzystywana do określenia związków przyczynowo-skutkowych z niektórymi zdarzeniami zewnętrznymi, o czym świadczy aktywność neuronalna w korze mózgowej.

W badaniach dotyczących rozpoznawania upodobań do reklam początkowo wykorzystywano informacje pochodzące wyłącznie z kory przedczołowej za pomocą metody EEG. Z czasem jednak możliwe stało się także klasyfikowanie upodobań („lubię – nie lubię”) na podstawie informacji zebranych wyłącznie z płatu czołowego (Soria Morillo i in., 2016). Przednia asymetria alfa jest kluczową koncepcją podejścia do klasyfikacji typu „lubię – nie lubię” opartej na półkuli. W badaniach wykazano istnienie asymetrii półkul w aktywacji podczas przetwarzania pozytywnych i negatywnych emocji. Inny termin określający zaangażowanie emocjonalne – wskaźnik podejścia – wycofania odnosi się do reakcji emocjonalnej zgodnie z teorią czołowej asymetrii alfa (ang. *Frontal Alpha Asymmetry theory*). Wskaźnik asymetrii czołowej jest wskaźnikiem zbliżania się i unikania. „Zaangażowanie emocjonalne” w neuromarketingu wyraża się jako siła określonych pasm częstotliwości z lewego i prawego obszaru czołowego. Elektrody F3/F4 i F7/F8 są najlepsze do odbioru mocy EEG, ponieważ są umieszczone w najwrażliwych miejscach (zgodnie z międzynarodowym systemem 10–20). Właściwości rytmów EEG, zebrane podczas obserwacji reklam telewizyjnych, wiążą się z jawnymi preferencjami badanych w zakresie poznania i emocji. Wyniki mogą być wykorzy-

stane *a posteriori* do zmian w reklamie w celu podkreślenia przyjemnych elementów z jednoczesnym tłumieniem elementów nieprzyjemnych (Vecchiato i in., 2013). Taeyang Yang i in., (2015) opracowali metodę analizy czasowych wzorców danych EEG (ang. *temporal patterns of EEG data*) oraz wskaźników afektywnych i poznawczych (szczęścia, niespodzianki, uwagi), sugerując, że mogą one stanowić przydatne narzędzie do oceny reklamy telewizyjnej (Yang i in., 2015). Metoda EEG może być z powodzeniem wykorzystywana do identyfikacji kluczowych elementów reklam, a tym samym do eliminacji niepotrzebnych scen. Elektroencefalografia opiera się na pomiarze aktywności mózgu, który pozwala na wskazanie konkretnych elementów przekazu przyciągających uwagę oglądającego. Metoda ta może być wykorzystywana do badania podprogowych reakcji, generowania poleceń za pomocą wyobraźni czy myśli. Odnosząc się do podstawowych konstruktów, które opisują skuteczność reklamy (uwagi, emocje, pamięci), można stwierdzić, że metoda EEG pozwala na wnioskowanie na temat uwagi oraz afektu, natomiast metoda fMRI poprzez określenie aktywowanego obszaru mózgu umożliwia uzyskanie szczegółowych informacji dotyczących uwagi, afektu oraz zapamiętywania (Venkatraman i in., 2014).

Metoda MEG jest używana do identyfikacji lokalizacji kory wzrokowej, słuchowej, somatosensorycznej i ruchowej w mózgu. Pozwala również na mapowanie aktywności mózgu i generowanie obrazów funkcjonalnych, które można wykorzystać do badania kognitywnych i percepcyjnych procesów mózgowych. Metody EEG i MEG uważane są za komplementarne w badaniu mózgu i stosowane najczęściej do obrazowania jego aktywności podczas ekspozycji na bodźce reklamowe. Z wykorzystaniem sygnałów MEG możliwe jest także oszacowanie aktywności na poziomie wokseli mózgowych za pomocą tomografii pola magnetycznego (ang. *Magnetic Field Tomography* – MFT). Metoda MEG zapewnia dokładniejszą lokalizację przestrzenną aktywności neuronów niż metoda EEG. Pozwala na rejestrację zaangażowania okolic ciemieniowych podczas obserwacji reklam telewizyjnych o treści afektywnej i poznawczej. Stosowana jest do oceny przebiegu procesów percepcyjnych, uwagowych i pamięciowych, oceny oddziaływania nowych produktów i reklam oraz identyfikacji potrzeb konsumentów (Bremer, 2013). Sygnały MEG uzyskuje się bezpośrednio z aktywności elektrycznej neuronów. Mogą wykazywać

bezwzględna aktywność neuronalną, podczas gdy sygnały fMRI cechuje względna aktywność neuronalna, co oznacza, że analizę sygnału fMRI zawsze porównuje się z referencyjną aktywnością neuronową.

Metoda fMRI stosowana jest do rejestracji aktywności kory mózgowej na podstawie odpowiedzi hemodynamicznej lub procesu obrazowania zależnego od poziomu tlenu we krwi (BOLD). Dzięki obserwacji zwiększonego lub zmniejszonego przepływu krwi możliwe jest odwzorowanie neuronalnej aktywności skojarzonej z widzeniem, słyszeniem, a także z poznawczymi i afektywnymi procesami zachodzącymi w mózgu badanej osoby. Dzięki obrazowaniu funkcjonalnemu możliwa jest ocena podświadomych procesów, takich jak afektywne aspekty zachowań konsumenckich oraz analiza złożonych zadań poznawczych. Metody fMRI używa się w badaniu neuronalnych podstaw różnic indywidualnych. Głównymi obszarami zastosowania fMRI w neuromarketingu są: badanie reakcji emocjonalnych, preferencji konsumenckich i ocena wartości percepcyjnej produktów. Badacze monitorują aktywność mózgu podczas prezentacji bodźców reklamowych. Pozwala to na identyfikowanie obszarów związanych z odbiorem i wartościowaniem poszczególnych cech produktu. Metoda fMRI wykorzystywana jest także do testowania produktów, wzorów opakowań i kampanii reklamowych, cech sensorycznych, oceny poparcia celebryckiego, pozycjonowania marki i przewidywania wyborów konsumentów. Uważa się ją za jedną z najlepszych narzędzi do pomiaru reakcji neuronalnych konsumentów, takich jak emocje (np. wartościowość, atrakcyjność, zaangażowanie, pobudzenie) w stosunku do marek (np. zapamiętywanie, rozpoznawanie, preferencje, sympatia) i kampania reklamowa (np. skuteczność) (Casado-Aranda i in., 2018). Może być użyta także do oceny różnic mózgowych w postrzeganiu marek krajowych i marek własnych (Marques i in., 2016). Istnieją struktury mózgowe, które są bardziej aktywne/ deaktywne w przypadku marek krajowych niż marek własnych, przy czym w obu przypadkach oznaczane są rzeczywistymi cenami rynkowymi. Cena jest istotnym czynnikiem wpływającym na decyzje zakupowe i ma swoje korelaty neuronowe. Regiony ciemieniowe aktywowane są w sytuacji, gdy informacje o marce zostaną odjęte od informacji o marce i cenie. Wykorzystanie metody fMRI w marketingu pozwala na określenie skuteczności przekazu reklamowego i ocenę percepcji reklamy jeszcze przed jej produkcją (Scholte i in.,

2022, s. 43–54). Metoda fMRI umożliwia precyzyjne izolowanie systemów neuronów skojarzonych z określonymi funkcjami w mózgu. W badaniach neuromarketingowych kluczową rolę odgrywa kora czołowa (FC) i kora przedczołowa (PFC), która przetwarza świadome i nieświadome informacje poznawcze i emocjonalne. Za zachowania motywacyjne odpowiada również brzuszno-przyśrodkowa kora przedczołowa, której obrazowanie za pomocą fMRI lub MEG może ujawnić motywacje zakupowe.

Metody funkcjonalnego neuroobrazowania polegają na zjawisku podwyższonej aktywności metabolicznej wykazywanej przez struktury mózgu szczególnie zaangażowane w określone zadanie. Funkcjonalna spektroskopia bliskiej podczerwieni (fNIRS) jest metodą obrazowania optycznego stosowaną do nieinwazyjnego pomiaru zmian stężenia hemoglobiny w mózgu wywołanych jego aktywacją. Wykorzystuje się w niej reakcje hemodynamiczne związane z aktywnością neuronów. W metodzie fNIRS, podobnie jak w metodzie fMRI, bierze się pod uwagę tzw. sprzężenie nerwowo-naczyniowe aktywności neuronów i przepływu krwi, które służy do pośredniej oceny aktywności neuronów poprzez pomiar zmian w oksyhemoglobinie (oxy-Hb) i deoksyhemoglobinie (deoxy-Hb). Chromofory te zapewniają zastępcze pomiary przepływu krwi i zużycia tlenu przez komórki neuronowe w badanej tkance. Metoda fMRI zapewnia szczegółowszą rozdzielczość przestrzenną, szacowaną na 1–10 mm³, w głębokich strukturach mózgu i umożliwia dokładną lokalizację aktywności mózgu (Krampe i in., 2018). Metodę fNIRS cechuje z kolei słaba dokładność przestrzenna, szacowana na 4 cm w obszarach aktywności korowej. Wyniki NIRS można zatem wykorzystać do wnioskowania o lokalnej aktywacji neuronów lub, alternatywnie, można je zinterpretować bardziej bezpośrednio jako proste zmiany w przepływie/objętości krwi w leżącej poniżej tkance korowej (Jackson i Kennedy, 2013). Metoda fNIRS może być stosowana do oceny postrzegania produktów i w projektowaniu opakowań. W badaniach dotyczących wpływu marek i etykiet produktów na aktywację kory przedczołowej (PFC) wykazano, że produkty oznakowane etykietami ekologicznymi wywołują znaczny wzrost aktywności neuronalnej w PFC w porównaniu z tymi samymi produktami bez etykiety (Meyerding i Mehlhose, 2020). Metoda fNIRS pozwala na obrazowanie aktywacji w korze czołowej i innych obszarach mózgu, w tym w korze skroniowej, wzrokowej i ciemieniowej, co ma szczególnie

zastosowanie do oceny percepcji bodźców marketingowych. Obiecującą perspektywą rozwoju badań neuromarketingowych z zastosowaniem systemów fNIRS jest hiperskanowanie, czyli jednoczesna rejestracja aktywności neuronalnej wielu osób. W kontekście badań neuromarketingowych hiperskanowanie za pomocą fNIRS może być wykorzystane do badania interakcji społecznych między uczestnikami i ich wpływu na decyzje konsumenckie.

Pozytonowa tomografia emisyjna PET umożliwia badanie jakościowych i ilościowych procesów biochemicznych zachodzących w komórkach *in vivo*. Metoda PET polega na rejestracji emisji pozytonów przez cząsteczki znakowanej izotopem substancji (fludeoksyglukozy). Obrazowanie opiera się na stwierdzeniu podwyższonego metabolizmu glukozy w komórkach mózgowych. Glukoza jest głównym substratem energetycznym dla tkanki nerwowej. Zwiększony wychwyt znacznika występuje przede wszystkim w istocie szarej – korze mózgu oraz w jądrach podstawnych. Metoda PET pozwala na badanie zużycia glukozy podczas wykonywania eksperymentów dotyczących zadań poznawczych. Wykorzystywana jest także do oceny percepcji sensorycznej i wartościowości emocji. Stosowana jest do testowania nowych produktów, reklam i projektów opakowań. Obrazowanie rozkładu aktywności mózgu w sytuacji wyboru (zadanie decyzyjne) pozwala na ocenę interakcji między strukturą przekonań (niejednoznaczność/ ryzyko) a strukturą wypłat (zysk/ strata) (Smith i in., 2002).

Metody neurometryczne pozwalają na pomiar reakcji mózgu w czasie rzeczywistym, dzięki czemu możliwa jest rejestracja przebiegu procesów emocjonalnych i poznawczych oraz zaangażowania konsumenta podczas kontaktu z wybranym bodźcem marketingowym. Zgodnie z aktualną taksonomią neuromarketingu metody neurometryczne stosowane są do badań dotyczących sześciu głównych kategorii badawczych (Daugherty i Homan, 2017, s. 6–26):

- uwagi/ pobudzenia (ang. *attention/ arousal*) – badanie reakcji na bodźce wywołujące uwagę i pobudzenie emocjonalne,
- oceny produktu/ marki (ang. *product/ brand appraisal*) – opis neurologicznych korelatów oceny, szacowania i percepcji,

- preferencji dotyczących produktu/ marki (ang. *product/ brand preference*) – pomiar różnic między markami preferowanymi i niepreferowanymi,
- zachowań zakupowych (ang. *purchase behavior*) – identyfikacja czynników zewnętrznych i wewnętrznych mających wpływ na zachowania i intencje konsumentów,
- pamięci (ang. *memory*) – identyfikacja czynników wpływających na przyszłe przypomnienie i rozpoznanie bodźców marketingowych
- rozszerzanie marki (ang. *brand extension*) – badanie neuronowych wskaźników udanych i nieudanych rozszerzeń marki.

Wykorzystanie wiedzy neurobiologicznej w kontekście marketingowym przyczynia się do lepszego zrozumienia przebiegu procesów afektywnych, kognitywnych i behawioralnych.

Reasumując, można stwierdzić, że użyteczność neuroobrazowania w marketingu przejawia się przede wszystkim w możliwości określenia neuronalnych korelatów decyzji zakupowych i ekonomicznych oraz w uzyskaniu obiektywnych wyników badań dzięki zastosowaniu medycznych metod diagnostyki obrazowej. Metody neurometryczne umożliwiają identyfikację psychologiczno-ekonomicznych uwarunkowań procesu decyzyjnego i determinantów zachowań konsumentów, określenie potrzeb i preferencji nabywców, udoskonalanie produktów i usług, optymalizację oferty, cenników i promocji, zwiększanie skuteczności strategii i kampanii marketingowych, a także poprawę efektywności funkcjonowania organizacji. Zastosowanie ich na gruncie zarządzania umożliwia natomiast poprawę efektywności pracy, zwiększenie motywacji i zaangażowania pracowników, wzrost skuteczności realizacji celów, optymalizację procesów rekrutacji i selekcji, ulepszanie programów benefitowych i rozwojowych, a także poprawę dobrostanu pracowników i wydajności w organizacji.

7. Etyka neuromarketingu

Etyka w badaniach naukowych jest zbiorem określonych norm postępowania przy prowadzeniu badań naukowych. Polega przede wszystkim na uwzględnianiu i stosowaniu obowiązujących zasad moralnych, których celem jest promowanie dobrych praktyk badawczych, okazywanie szacunku, kierowanie się sprawiedliwością społeczną oraz zapobieganie krzywdzeniu innych (Sieber 1993, s. 14). W naukach społecznych etykę definiuje się jako zbiór zasad i reguł moralnych dotyczących zachowania się badacza wobec badanego/ uczestnika badań, wobec jego właściwości psychofizycznych oraz w oparciu o poszanowanie jego kontekstu społeczno-kulturowego.

Prowadzenie badań marketingowych może być przyczyną wielu wątpliwości etycznych spowodowanych zarówno przedmiotem badań, jak i procedurą badawczą. Możliwość komercyjnego wykorzystania wyników badań neuromarketingowych budzi dylematy etyczne związane ze swobodą i autonomią wyboru produktów, prywatnością oraz ochroną danych biometrycznych uczestników badań. Wątpliwości wynikają z nieścisłości definicyjnej neuromarketingu, nieetycznego wykorzystania technologii, możliwości manipulacji konsumentem oraz nadinterpretacji i nieetycznego użycia wyników badań. Problemатyczne jest także planowanie i przeprowadzanie badań, analiza i interpretacja pozyskiwanych danych oraz zastosowanie wyników neuroobrazowania w obszarze praktycznym (Budzanowska-Drzewiecka, 2018).

Zgodnie z definicją Neuromarketing Science & Business Association (NMSBA) badania neuromarketingowe polegają na systematycznym gromadzeniu i interpretacji neurologicznych i neurofizjologicznych spostrzeżeń na temat osób fizycznych za pomocą różnych protokołów umożliwiających naukowcom badanie niewerbalnych i fizjologicznych reakcji na różne bodźce do celów badań rynkowych. Celem badań neuromarketingowych jest ocena odpowiedzi ośrodkowego układu nerwowego na różne stymulatory oraz uzyskanie obiektywnych informacji o sposobie funkcjonowania mózgu konsumenta. W kontekście biznesowym zrozumienie mechanizmów neuronalnych pozwala na skuteczne wpływanie na decyzje nabywcze konsumentów. Neuromarketerzy badają reakcje mózgowe i biometryczne w celu modelowania zachowań rynkowych oraz

wpływania na myśli, uczucia i działania konsumentów. Neuromarketing może być więc postrzegany jako próba wykorzystywania podświadomości i manipulowania zachowaniem konsumentów.

Przedmiotem badań etycznych jest świadomy czyn lub zachowanie osoby rozumiane jako dobrowolne i wolne działanie na polu moralnym. Użycie do celów komercyjnych nowoczesnych technologii medycznych oraz metod diagnostyki obrazowej budzi wiele kontrowersji. Neuromarketing wykorzystuje neuronaukę do ujawniania podświadomych procesów decyzyjnych konsumentów. Zdaniem etyków może to prowadzić do odkrycia tzw. przycisku kupna w mózgu (ang. *buy button*). Krytycy neuromarketingu często utożsamiają go z neurologiczną próbą korekty zachowań konsumenta czy wręcz z praniem jego mózgu (Thomas i in., 2017). Przeciwnicy przestrzegają, że uzyskane odkrycia mogą być wykorzystane do formowania odpowiedniej kultury sprzyjającej zakupowi danych produktów, do propagandy politycznej, a także do sterowania i manipulowania potrzebami ludzi. Poważne zastrzeżenia budzi *priming* polegający na kierowaniu uwagi badanej osoby w określonym kierunku oraz stosowaniu bodźców skierowanych do świadomości i podświadomości konsumenta w celu wpływania na wybór i modelowanie konkretnego działania zakupowego. Człowiek ma prawo do niezależności, natomiast działania neuromarketingowe postrzegane są jako zamach na wolność w dokonywaniu wyborów. Próby używania metod neuroobrazowania do celów komercyjnych uznawane są za wątpliwe etycznie. W tym kontekście neuromarketing jest kontrowersyjnym, nowym polem działalności marketingowej, która używa technologii medycznych do wzrostu sprzedaży produktów i generowania zysków (Lindstrom, 2008). Zdaniem krytyków neuromarketing prowadzi do manipulacji społeczeństwem, zwiększenia skuteczności promocji zdegradowanych wartości oraz wzrostu zachorowania na choroby społeczne związane z natarczywym i agresywnym marketingiem (uzależnienia, kompulsywna konsumpcja). Stowarzyszenia konsumenckie podkreślają, że praktyki neuromarketingowe są nieetyczne i stanowią zaprzeczenie społecznej odpowiedzialności biznesu. Krytyka metod neuromarketingowych dotyczy także kwestii organizacyjno-logistycznych związanych z wysokimi kosztami, skomplikowanymi procedurami badawczymi i specyfiką aparatury pomiarowej. Wykorzystanie metod neuromarketingowych wymaga specjalistycznej wiedzy

z pogranicza kilku dyscyplin oraz dużej skrupulatności. Wyzwaniem jest także właściwa interpretacja danych. Wiarygodność badań neuromarketingowych jest podważana na podstawie rzetelności pomiarów, błędów pomiarowych oraz możliwości uogólniania wyników. Metodologię badań neuromarketingowych poddaje się krytyce ze względu na dostarczanie dowodów na występowanie korelacji, a nie zależności przyczynowo-skutkowych (Jerzyk i in., 2018, s. 82).

Wraz z rozwojem nowoczesnych technologii i możliwości zastosowania metod z zakresu diagnostyki obrazowej do celów komercyjnych ujawniło się wiele problemów etycznych związanych z prowadzeniem badań neuronaukowych i wdrażaniem ich wyników. Na konieczność ustalenia międzynarodowych standardów badań jako pierwsi zwrócili uwagę neuroetycy: Emily Murphy, Judy Iles i Peter Reiner (2008). Kwestie etyczne obejmują dwie główne kategorie: ochronę różnych stron, które mogą zostać skrzywdzone lub wykorzystane w wyniku badań i wdrażania neuromarketingu (neuronauka konsumencka) oraz ochronę autonomii konsumentów (Murphy i in., 2008). W związku z krytyką podejścia neuromarketingowego podjęto próbę skodyfikowania zasad i ujednolicenia norm etycznych w badaniach neuronaukowych. Zasady zastosowania neuronauki konsumenckiej w biznesie reguluje przede wszystkim kodeks etyki NMSBA dotyczący zastosowania neuronauki w biznesie (*Code of Ethics for the Application of Neuroscience in Business*) opracowany przez Neuromarketing Science & Business Association (NMSBA). W dokumencie określono międzynarodowe standardy stosowania metod neuronaukowych w badaniu skuteczności: kampanii marketingowych, projektowania opakowań i produktów oraz kampanii komunikacyjnych organizacji non-profit i instytucji rządowych. W kodeksie etycznym zawarte są zasady dotyczące ochrony prywatności uczestników badań neuromarketingowych, ochrony praw nabywców usług neuromarketingowych, zasady odpowiedzialnej komunikacji z mediami i rzetelnej komunikacji z klientami.

Zgodnie z zapisami kodeksu naukowcy zajmujący się neuromarketingiem powinni przestrzegać najwyższych standardów badawczych obowiązujących w danym kraju oraz stosować ogólnie przyjęte zasady naukowe. Nie mogą postępować w sposób, który mógłby negatywnie wpłynąć na reputację i uczciwość zawodu badacza neuromarketingu. Wyniki badań

należy przekazywać klientom bez wyolbrzymiania lub fałszywego przedstawiania wniosków z zakresu neuromarketingu w stopniu wykraczającym poza to, co jest naukowo przyjęte. Kluczową kwestią etyczną jest transparentność i uczciwość na każdym etapie badań. Należy podjąć wszelkie uzasadnione środki ostrożności, żeby uczestnicy badań nie ponieśli żadnej szkody, ani nie byli zestresowani w wyniku zaangażowania w projekt badawczy dotyczący neuromarketingu. Zabronione jest wprowadzanie ich w błąd i wykorzystywanie braku ich wiedzy na temat neuronauki. Uczestnicy badań powinni być w pełni poinformowani o projekcie, zanim jakakolwiek technika neuromarketingowa zostanie wykorzystana do zebrania ich spostrzeżeń. Po rozpoczęciu badania powinni mieć natomiast możliwość wycofania się z niego w dowolnym momencie. Badania neuromarketingowe z udziałem osób w wieku poniżej 18 lat mogą odbywać się wyłącznie za świadomą zgodą ich rodziców lub opiekunów prawnych. Projekty badawcze w zakresie neuromarketingu muszą być tworzone, realizowane i dokumentowane w sposób przejrzysty oraz raportowane z taką ilością szczegółów, jakich klienci będą potrzebować, aby zrozumieć zakres i znaczenie projektu (art. 1–12 kodeksu etycznego). Standardy i zasady prowadzenia badań neuromarketingowych określają także dokumenty: *NeuroStandards*, *Nuremberg Code*, *Convention on Human Rights and Biomedicine*, *UNESCO Declaration*, *Code of Ethics of the International Chamber of Commerce* (Hula, 2022, s. 30).

Naczelną zasadą, której należy przestrzegać w badaniach neuromarketingowych, jest unikanie nadużywania zaufania społecznego. Prowadzenie badań neuromarketingowych i komercjalizacja wyników neuroobrazowania wymaga zatem szczególnej dbałości o wysokie standardy etyczne. Wykonywanie wszelkich pomiarów z udziałem ludzi do celów naukowych wymaga zgody komisji bioetycznej. Tego typu badania powinny być opiniowane przez komisje ds. etyki badań naukowych z udziałem ludzi. Na obecnym etapie rozwoju neuromarketingu istotne jest doskonalenie procedury badawczej, aby wyniki dostarczały badaczom i praktykom wartościowych rekomendacji z wyraźnym naciskiem na etyczne aspekty ich planowania i realizacji. Konieczne jest także wprowadzenie regulacji prawnych dotyczących ochrony prywatności konsumentów i tzw. prywatności neuronowej (ang. *neural privacy*) (Ducu, 2017). Należy mieć pewną „neuroostrożność” w ocenie odkryć dotyczących

zachowań rynkowych konsumentów. Neuronaukowcy i neuromarketingowcy muszą być zaangażowani w konsultacje społeczne na temat możliwości skorelowania danych z neuroobrazowania z zachowaniami społecznymi i z głębszymi mechanizmami w mózgu (Bremer, 2013). Potencjał neuromarketingu może być wykorzystany tylko wtedy, gdy wzrośnie zaufanie do branży. Implikuje to respektowanie norm społecznych i przestrzeganie zasad etycznych w stosowaniu metod neurometrycznych. Etyczne uregulowanie neuromarketingu jest jednym z głównych wyzwań stojących przed tą dyscypliną.

Zakończenie

Zachowania konsumpcyjne stanowią spójną całość czynności, działań i postępowań związanych z dokonywaniem wyborów w procesie zaspokajania potrzeb w określonych warunkach społecznych, kulturowych i ekonomicznych. Zachowania konsumentów uwarunkowane są różnymi czynnikami od nich zależnymi, jak również zmiennymi niezależnymi pochodzącymi z otoczenia. We współczesnych realiach rynkowych istotną rolę w procesie podejmowania decyzji konsumenckich odgrywają czynniki zewnętrzne i bodźce marketingowe.

Przedmiotem badań neuromarketingowych jest mózg człowieka, stąd też fundamentalną kwestią jest wiedza z zakresu neuroanatomii, neurofizjologii i neuroobrazowania. Zmiany zachodzące w organizmie (somatyczne) wynikają z interakcji jednostki z wewnętrznymi sygnałami lub środowiskiem zewnętrznym, są na ogół automatyczne i zachodzą nieświadomie. Liczne badania neuronaukowe dostarczają dowodów na silny wpływ zmian somatycznych na różne procesy afektywne, poznawcze i behawioralne. Coraz częściej podejmowane są próby pozyskiwania obiektywnych informacji dotyczących uwarunkowań zachowań konsumentów poprzez wykorzystanie nowoczesnych metod obrazowania mózgu. Metody te umożliwiają pomiar zmian aktywacji mózgu w wybranych obszarach oraz lokalizację aktywnych obszarów mózgu w odpowiedzi na określone sygnały wewnętrzne lub zewnętrzne. Nowoczesna technologia obrazowania mózgu pozwala na lepsze zrozumienie świadomych i nieświadomych procesów psychologicznych leżących u podstaw decyzji zakupowych konsumentów. Neuroobrazowanie umożliwia wnikliwą ocenę zaangażowania emocjonalnego, percepcji bodźców marketingowych, zapamiętywania informacji i skłonności konsumentów do płacenia.

Potencjał neuronauk wynika przede wszystkim z rozwoju nowoczesnych technologii pomiaru aktywności mózgu oraz dostosowywania starszych technologii do nowych zastosowań. Możliwość wykorzystania w badaniach naukowych metod neurometrycznych, takich jak: elektroencefalografia EEG, magnetoencefalografia MEG, funkcjonalny rezonans magnetyczny fMRI, funkcjonalna spektroskopia bliskiej podczerwieni fNIRS oraz pozytonowa tomografia emisyjna PET przyczyniła się do rozwoju wielu różnych subdyscyplin naukowych, takich jak: neuroekonomia, neurozarządzanie, neuromarketing czy neuropsychologia konsumenta.

Celem badań neuromarketingowych jest lepsze zrozumienie potrzeb i zachowań konsumentów poprzez identyfikację neuronalnych korelatów decyzji i ocen ekonomicznych. Wiedza ta pozwala na określenie psychologiczno-ekonomicznych uwarunkowań przebiegu procesu decyzyjnego, określenie potrzeb i preferencji nabywców, udoskonalanie produktów i usług, optymalizację strategii marketingowych, zwiększanie skuteczności kampanii reklamowych oraz poprawę efektywności funkcjonowania organizacji.

Zjawiska poznawcze, emocjonalne i behawioralne związane są z określonymi regionami i wzorcami aktywności mózgu. Na podstawie dotychczasowych badań neuronaukowych z wykorzystaniem metod EEG, MEG, fMRI, fNIRS, PET zidentyfikowano obszary mózgu odpowiedzialne za konkretne reakcje i zachowania człowieka. Kora przedczołowa (ang. *Prefrontal Cortex* – PFC) odgrywa kluczową rolę w funkcjach kontroli poznawczej. Jest obszarem zaangażowanym w przetwarzanie informacji, organizację behawioralną, uwagę, osąd i pamięć prospektywną. Pełni kluczową rolę w procesie podejmowania decyzji i szacowaniu zysków i strat. Kora przedczołowa aktywowana jest podczas podejmowania decyzji o zakupie. Wyspa (ang. *Insular Cortex*, łac. *Insula* – IC) jest regionem mózgu zaangażowanym w interocepcję, czyli postrzeganie wewnętrznych stanów ciała. Jest aktywowana w sytuacji doświadczania uczucia przyjemności lub bólu. Aktywność w tym rejonie może być związana z emocjonalnym przywiązaniem (uzależnieniem) do produktu. Prążkowie brzuszne (ang. *Ventral Striatum* – VS) jest obszarem zaangażowanym w przetwarzanie przyjemnych doświadczeń i stanowi układ nagrody. Aktywacja tego regionu następuje podczas oglądania reklam pożądanых produktów. Ciało migdałowe (ang. *amygdala*) odpowiada za odbiór i przetwarzanie emocji, szczególnie negatywnych i nieprzyjemnych. Jest aktywowane podczas oglądania emocjonalnie sugestywnych przekazów (reklamy zawierające bodźce awersyjne). Brzuszo-boczna kora przedczołowa (ang. *ventrolateral Prefrontal Cortex* – vlPFC) jest zaangażowana w poznanie społeczne i myślenie autoreferencyjne i aktywowana w sytuacji oglądania reklam zawierających odwołania społeczne. Brzuszo-przyśrodkowa kora przedczołowa (ang. *Ventromedial Prefrontal Cortex* – vmPFC) jest regionem mózgu biorącym udział w procesach związanych z podejmowaniem decyzji i zaufaniem. Aktywność w tym

regionie może się łączyć z doświadczeniami dotyczącymi konkretnej marki. Kora przedniego zakrętu obręczy (ang. *Anterior Cingulate Cortex* – ACC) jest zaangażowana w rozpoznawanie twarzy. Obszar ten jest aktywowany podczas oglądania logo marki. Przyśrodkowy płat skroniowy i hipokamp są natomiast zaangażowane w procesy związane z pamięcią i odpowiadają za zapamiętywanie bodźca. Złożony układ powiązań między płatami czołowymi a układem limbicznym określa sposób reagowania człowieka w warunkach niepewności i ryzyka (Majewska-Bielecka, Nowak-Lewandowska, 2019, s. 177–178).

Prowadzenie badań neuromarketingowych (mimo wielu ich zalet) może być przyczyną wątpliwości i dylematów etycznych spowodowanych zarówno przedmiotem badań, jak i procedurą badawczą. Problematiczne pod względem etycznym może być stosowanie wyników neuroobrazowania w celach komercyjnych. W związku z krytyką podejścia neuromarketingowego podjęto próbę skodyfikowania zasad i ujednolicenia norm etycznych w badaniach neuronaukowych. Badania neurometryczne prowadzone są zarówno na gruncie naukowym, jak również stosowane w komercyjnej działalności biznesowej w celu wspierania działań marketingowych. Neuromarketing jest dyscypliną, w której nauka spotyka się z biznesem, a neuronauka łączy się z marketingiem. Użyteczność tego typu metod w aspekcie naukowym (poznawczym) i aplikacyjnym (biznesowym) jest duża. Zważywszy na światowe trendy w akademickich badaniach neuromarketingowych oraz możliwość praktycznego zastosowania wyników neuroobrazowania, można przypuszczać, że zainteresowanie wykorzystaniem metod neurometrycznych będzie nadal rosło. Mogą być one komplementarne wobec tradycyjnych metod jakościowych i ilościowych stosowanych w badaniach marketingowych. W myśl triangulacji metod mogą stanowić uzupełnienie procedury badawczej, co pozwoli na walidację niektórych teorii dotyczących zachowań konsumenckich czy potwierdzenie wyników uzyskanych tradycyjnymi technikami. Metody neuro naukowe mogą być wykorzystywane w różnych obszarach badawczych, takich jak marketing mix (produkt, cena, reklama, branding), zachowania konsumentów (czynniki afektywne, poznawcze, behawioralne), decyzje zakupowe, kontrola behawioralna i zaangażowanie konsumenckie. Interdyscyplinarne podejście do badań marketingowych jest ze wszech miar uzasadnione.

Bibliografia

- Aasted, C.M., Yücel, M.A., Cooper, R.J., Dubb, J., Tsuzuki, D., Becerra, L., Boas, D.A. (2015). *Anatomical guidance for functional near-infrared spectroscopy: AtlasViewer tutorial*. Neurophotonics, no. 2(2), 020801, <https://doi.org/10.1117/1.nph.2.2.020801>.
- Abdalmalak, A., Milej, D., Yip, L.C.M., Khan, A.R., Diop, M., Owen, A.M., Lawrence, K. (2020). *Assessing time-resolved fnirs for brain-computer interface applications of mental communication*. Frontiers in Neuroscience, no. 14(105), p. 1–10, doi: 10.3389/fnins.2020.00105.
- Aditya, D., Sarno, R. (2018). *Neuromarketing: State of the arts*. Advanced science letters, no 24(12), p. 9307–9310, <https://doi.org/10.1166/asl.2018.12261>.
- Adula, M., Kant, S., Birbirs, Z.A. (2022). *Systematic literature review on human resource management. Effect on organization performance*. Annals of Human Resource Management Research, no. 2(2), p. 131–146, <http://dx.doi.org/10.35912/ahrmr.v2i2.1418>.
- Alsharif, A.H., Abdullah, M., Salleh, N.Z.M., Khraiwish, A., Ashaari, A. (2023). *Neuromarketing tools used in the marketing mix: A systematic literature and future research agenda*. Sage Open, no. 13(1), p. 1–23, <https://doi.org/10.1177/21582440231156563>.
- Alsharif, A.H., Baharun, R., Salleh, N.Z.M., Hashem E.A.R. (2021). *Neuromarketing research in the last five years: a bibliometric analysis*, Cogent Business & Management, no 8(1), p. 1978620, <https://doi.org/10.1080/23311975.2021.1978620>.
- Alsharif, A.H., Salleh, N.Z.M., Baharun, R., Abuhassna, H., Hashem, A.R.E. (2022). *A global research trends of neuromarketing: 2015–2020*. Revista de Comunicació'n, no. 21(1), p. 15–32, <https://doi.org/10.26441/rc21.1-2022-a1>.
- Alsharif, A.H., Salleh, N.Z.M., Baharun, R. (2020). *Research trends of neuromarketing: A bibliometric analysis*. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, no. 98(15), p. 2948–2962.
- Alvino, L., Pavone, L., Abhishta, A., Robben, H. (2020). *Picking your brains: Where and how neuroscience tools can enhance marketing research*. Frontiers in Neuroscience, no. 14(2), p. 1–25, <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.577666>.
- American Marketing Association. (2017). *Definitions of marketing*, <https://www.ama.org/the-definition-of-marketing-what-is-marketing/> (dostęp: 06.09.2023).
- Amilhon, B., Ducharme, G., Jackson, J., Goutagny, R., Williams, S. (2020). *Theta rhythm in hippocampus and cognition*, [in:] T., Dang-Vu, R., Courtemanche (eds.), *Neuronal oscillations of wakefulness and sleep*. New York: Springer, p. 45–70, https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0653-7_2.
- Ariely, D., Berns, G.S. (2010). *Neuromarketing: the hope and hype of neuroimaging in business*. Nature Reviews Neuroscience, no. 11(4), p. 284–92, <https://doi.org/10.1038%2Fnrn2795>.
- Arthurs, O.J., Boniface, S. (2003). *What aspect of the fMRI BOLD signal best reflects the underlying electrophysiology in human somatosensory cortex?* Clinical Neurophysiology, no 114(7), p. 1203–1209.
- Asunakutlu, T., Aydoğan, T. (2022). *Neuromanagement as a new concept: a bibliometric analysis of neuroscientific studies in management and organization literature*. International Journal of Management Economics and Business, no 18(2), p. 428–444, <https://doi.org/10.17130/ijmeb.1014657>.
- Babiloni, F. (2012). *Consumer neuroscience: a new area of study for biomedical engineers*. IEEE Pulse, no. 3(3), p. 21–3, <https://doi.org/10.1109/mpul.2012.2189166>.
- Barrash, J., Stuss, D.T., Aksan, N. (2018). *Frontal lobe syndrome? Subtypes of acquired personality disturbances in patients with focal brain damage*. Cortex, no. 106, p. 65–80.

- Bear, M.F., Connors, B.W., Paradiso, M.A. (2007). *Neuroscience: exploring the brain*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Beck, H. (2017). *Mózg się myli!* Łódź: Wydawnictwo Feeria Science.
- Bechtel, W. (2002). *Aligning multiple research techniques in cognitive neuroscience: Why is it important?* Philosophy of Science, no. 69(S3), p. 548–558.
- Beeson, P., Rapcsak, S., Plante, E., Chargualaf, J., Chung, A., Johnson, S., Trouard, T. (2003). *The neural substrates of writing: a functional magnetic resonance imaging study*. Aphasiology, no. 17(6–7), p. 647–665, <https://doi.org/10.1080/02687030344000067>.
- Binder, M.D., Hirokawa, N., Windhorst, U. (eds.) (2008a). *Beta rhythm*, [in:] *Encyclopedia of neuroscience*. Berlin, Heidelberg: Springer, p. 376, https://doi.org/10.1007/978-3-540-29678-2_608.
- Binder, M.D., Hirokawa, N., Windhorst, U. (eds.) (2008b). *Delta rhythm* [in:] *Encyclopedia of Neuroscience*. Berlin, Heidelberg: Springer, p. 936, https://doi.org/10.1007/978-3-540-29678-2_1433.
- Blaug, M. (1995). *Metodologia ekonomii*, Warszawa: PWN.
- Bochenek, A., Reicher, M. (2012). *Anatomia człowieka*. Tom IV–V. Warszawa: PZWL.
- Bočková, K., Škrabánková, J., Hanák, M. (2021). *Theory and practice of neuromarketing: Analyzing human behavior in relation to markets*. Emerging Science Journal, no. 5(1), p. 44–56. <http://dx.doi.org/10.28991/esj-2021-01256>.
- Boguski, J. (2022). *Zarządzanie podstępne w organizacjach*, Studia społeczne, nr 2, s. 173–193, <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=1110084>.
- Bojak, I. (2022). *Gamma rhythm, neural population models of the*, [in:] D., Jaeger, R., Jung (eds.), *Encyclopedia of computational neuroscience*. New York: Springer, p. 1489–1496, https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1006-0_61.
- Bonetti, L.V., Hassan, S.A., Lau, S.T., Melo, L.T., Tanaka, T., Patterson, K.K., Reid, W.D. (2019). *Oxyhemoglobin changes in the prefrontal cortex in response to cognitive tasks: a systematic review*. The International Journal of Neuroscience, no. 129(2), p. 195–203, <https://doi.org/10.1080/00207454.2018.1518906>.
- Boricean, V. (2009). *Brief history of neuromarketing*, [in:] *The international conference of administration and business*, 14–15 November 2009, p. 119–121.
- Bradley, M.M., Miccoli, L., Escrig, M.A., Lang, P.J. (2008). *The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation*. Psychophysiology, no. 45(4), 602–607, doi: 10.1111/j.1469-8986.2008.00654.x.
- Braidot, N. (2011). *Neuromarketing en acción: Por que tus clientes te engañan con otros si dicen que gustan de ti*. Buenos Aires: Ediciones Granica S.A.
- Brandt, L., Borkowska, E., Herman-Sucharska, I. (2020). *Artefakty w radiografii*. Inżynier i Fizyk Medyczny, no. 9(5), p. 335–342.
- Bremer, J. (2013). *Czym jest neuromarketing?* Communication Today, nr 4(1), s. 18–35.
- Budzanowska-Drzewiecka, M. (2016). *Wkład neuromarketingu do wiedzy na temat reklamy – próba systematyzacji wątków badawczych*. Studia Oeconomica Posnaniensia, no 6(5), p. 19–32. <http://dx.doi.org/10.18559/SOEP.2018.5.2>.
- Budzanowska-Drzewiecka, M. (2018). *Zastosowanie neuroobrazowania w badaniach konsumentów – możliwości i ograniczenia*. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, nr 525, s. 197–210, <https://doi.org/10.15611/pn.2018.525.17>.
- Budzik, G., Dziubek, T., Turek, P. (2015). *Podstawowe czynniki wpływające na jakość obrazów tomograficznych*. Problemy Nauk Stosowanych, tom 3, s. 77–84.
- Camerer, C.F. (2005). *Neuroeconomics of games and decisions*. Nemmerz Prizetalk.
- Camerer, C.F., Loewenstein, G., Rabin, M. (2004). *Advances in behavioral economics*. Princeton and Oxford: Princeton University Press, p. 3–59.
- Canet, D. (2019). *Nuclear magnetic resonance*. New Jersey: John Wiley & Sons.

- Carmena, J.M., Lebedev, M.A., Crist, R.E., O'Doherty, J.E., Santucci, D.M., Dimitrov, D.F., Patil, P.G., Henriquez, C.S., Nicolelis, M.A. (2003). *Learning to control a brain-machine interface for reaching and grasping by primates*. PLOS Biology, no. 2(1), p. 42–59, <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0000042>.
- Cartocci, G., Caratù, M., Modica, E., Maglione, A. G., Rossi, D., Cherubino, P., Babiloni, F. (2017). *Electroencephalographic, heart rate, and galvanic skin response assessment for an advertising perception study: Application to antismoking public service announcements*. Journal of Visualized Experiments, no. 3(126), p. 55872–55881, <https://doi.org/10.3791/55872>.
- Costa-Feito, A., González-Fernández, A.M., Rodríguez-Santos, C., Cervantes-Blanco, M. (2023). *Electroencephalography in consumer behaviour and marketing: a science mapping approach*. Humanities & Social Sciences Communications, no. 10(474), p. 1–13, <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01991-6>.
- Casado-Aranda, L.A., Van der Laan, L. N., Sánchez-Fernández, J. (2018). *Neural correlates of gender congruence in audiovisual commercials for gender-targeted products: An fMRI study*. Human Brain Mapping, no. 39(11), p. 4360–4372, <https://doi.org/10.1002/hbm.24276>.
- Cherubino, P., Martinez-Levy, A.C., Caratu, M., Cartocci, G., Di Flumeri, G., Modica, E., Rossi, D., Mancini, M., & Trettel, A. (2019). *Consumer behaviour through the eyes of neurophysiological measures: State of the art and future trends*. Computational Intelligence and Neuroscience, no 18, p. 1976847, <https://doi.org/10.1155/2019/1976847>.
- Chew, L.H., Teo, J., Mountstephens, J. (2016). *Aesthetic preference recognition of 3D shapes using EEG*. Cognitive Neurodynamics, no. 10(2), p. 165–173, <https://doi.org/10.1007/s11571-015-9363-z>.
- Chmielewska, N. (2013). *Neuromarketing – cele, narzędzia i prognozy*, Biotechnologia.pl, <https://biotechnologia.pl/biotechnologia/neuromarketing-cele-narzedzia-i-prognozy.13089> (dostęp: 24.07.2023).
- Coan, J.A., Allen, J.J.B. (2003). *The state and trait nature of frontal EEG asymmetry in emotion*, [in:] K., Hugdahl, R.J., Davidson (eds), *The asymmetrical brain*. Cambridge: MIT Press, p. 565–615.
- Collins English Dictionary, *Neuromarketing*, <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/neuromarketing> (dostęp: 24.07.2023).
- Corbetta, M., Patel, G., Shulman, G.L. (2008). *The reorienting system of the human brain: from environment to theory of mind*. Neuron, no. 8, 58(3), p. 306–324. doi: 10.1016/j.neuron.2008.04.017. PMID: 18466742; PMCID: PMC2441869.
- Dai, W. (2019). *Neuromanagement and intelligent computing method on multimodal interaction*. Conference Paper: NeuroManagement and Intelligent Computing Method on Multimodal Interaction, no 1, p. 1–3, <https://doi.org/10.1145/3357160.3357664>.
- Daugherty, T., Homan, E. (2017). *Neuromarketing: Understanding the application of neuroscientific methods within marketing research*. Berlin/Heidelberg: Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-319-45609-6_2.
- Devor, E.J., Magee, H.J., Dill-Devor, R.M., Gabel, J., Black, D.W. (1999). *Serotonin transporter gene (5-HTT) polymorphisms and compulsive buying*. American Journal of Medical Genetics, vol. 88, p. 123–125.
- DeYoe, E.A., Bandettini, P., Neitz, J., Miller, D., Vinans, P. (1994). *Functional magnetic resonance imaging (fMRI) of the human brain*. Journal of Neuroscience Methods, no 54(2), p. 171–187.
- Dictionary of Psychology. American Psychological Association. (2023), <https://dictionary.apa.org> (dostęp: 29.10.2023).

- Dill, T. (2008). *Contraindications to magnetic resonance imaging*. Heart, no. 94, p. 943–948, <http://dx.doi.org/10.1136/hrt.2007.125039>.
- Doctor Stock, Nucleus Medical Art/Doctor Stock (2012), <https://doctorstock.photoshelter.com/image/I0000aLWv0pniJPU> (dostęp: 09.08.2023).
- Doucouliaos, C. (1994). *A note on the evolution of homo economicus*. Journal of Economic Issues, no 28(3), p. 877–883, <https://doi.org/10.1080/00213624.1994.11505586>.
- Dow, S.C. (2002). *Economic methodology: An inquiry*. Oxford: Oxford University Press.
- Drenda, L. (2016). *Neuroekonomia a problemy etyczne*. Współczesne problemy Ekonomiczne, nr 13, s. 169–177, doi: 10.18276/wpe.2016.13-15.
- Ducu, C. (2017). *Topoi in neuromarketing ethics*, [in:] Thomas, A., Pop N.A., Iorga, A., Ducu, C. (2017). *Ethics and neuromarketing implications for market research and business practice*. Switzerland: Springer, doi: 10.1007/978-3-319-45609-6.
- Düsel, M. (2009). *Marketing w praktyce*. Warszawa: Wydawnictwo BC.edu.
- Dybka, S., Surmacz, T. (2015). *Wpływ neuromarketingu na decyzje konsumentów*. Agile-commerce zarządzanie w wersji cyfrowej, tom XVI, zeszyt 9, część 2.
- Dryden, G., Vos, J. (2000). *Rewolucja w uczeniu*. Poznań: Wydawnictwo Moderski i S-ka.
- Elmaoğlu, M., Çelik, A. (2015). *Rezonans magnetyczny: podstawy fizyczne, obrazowanie, ułożenie pacjenta, protokoły*. New York: Springer, Medipage.
- Engel, J.F., Kollat, D.T., Blackwell, R.D. (1968). *Consumer behaviour*. New York: Holt, Reinhart & Winston.
- Eser, Z., Isin Bahar, F., Tolon, M. (2011). *Perceptions of marketing academics, neurologists, and marketing professionals about neuromarketing*. Journal of Marketing Management, no. 27(7), p. 854–868, <http://dx.doi.org/10.1080/02672571003719070>.
- Etkin, A., Büchel, C., Gross, J. (2015). *The neural bases of emotion*. Nature Reviews Neuroscience, no. 16(11), p. 693–700, <https://doi.org/10.1038/nrn4044>.
- Etzioni, A. (1986). *Rationality is anti-entropic*. Elsevier Journal of Economic Psychology, no 7(1), p. 17–36.
- Fantini, S., Sassaroli, A. (2020). *Frequency-domain techniques for cerebral and functional near-infrared spectroscopy*. Frontiers in Neuroscience, no. 14, p. 1–18, <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00300>.
- Fingelkurts, A.A., Fingelkurts, A.A. (2023). *Quantitative electroencephalogram (qEEG) as a natural and non-invasive window into living brain and mind in the functional continuum of healthy and pathological conditions*, Applied Sciences, no. 12, p. 9560, <https://doi.org/10.3390/app12199560>.
- Fingelkurts A.A., Fingelkurts A.A., Kähkönen S. (2005). *Functional connectivity in the brain – is it an elusive concept?* Neuroscience and Biobehavioral Reviews, no. 8(28), p. 827–836, doi: 10.1016/j.neubiorev.2004.10.009.
- Fisher, C.E., Chin, L.J., Kitzman, R. (2010). *Defining neuromarketing: Practices and professional challenges*. Harvard Review of Psychiatry, no. 18(4), p. 230–237, <http://dx.doi.org/10.3109/10673229.2010.496623>.
- Fortunato, V.C.R., Giraldo, J.D.M.E., Oliveira, J.H.C.D. (2014). *A review of studies on neuromarketing: Practical results, techniques, contributions and limitations*. Journal of Management Research, no. 6(2), p. 201–221, <https://doi.org/10.5296/jmr.v6i2.5446>.
- Frackowiak, S., Richard, J. (2007). *Human brain function*. Amsterdam: Acad. Press, Elsevier.
- Frankfort-Nachmias, Ch., Nachmias, D. (2001). *Metody badawcze w naukach społecznych*. Poznań: Wydawnictwo Zysk i S-ka.
- Frey, B.S., Stutzer, A. (2007). *Economics and psychology*. Cambridge. Massachusetts, London: MIT Press.

- Friston, K.J., Zarahn, E.O.R.N.A., Josephs, O., Henson, R.N., Dale, A.M. (1999). *Stochastic designs in event-related fMRI*. Neuroimage, no. 10(5), p. 607–619, <https://doi.org/10.1006/nimg.1999.0498>.
- Fugate, D.L. (2007). *Neuromarketing: A layman's look at neuroscience and its potential application to marketing practice*. Journal of Consumer Marketing, no. 24(7), p. 385–394, <https://doi.org/10.1108/07363760710834807>.
- Fukui, Y., Ajichi, Y., Okada, E. (2003). *Monte Carlo prediction of near-infrared light propagation in realistic adult and neonatal head models*. Applied Optics, no. 42(16), p. 2881–2887, <https://doi.org/10.1364/ao.42.002881>.
- Galkowski, T., Szeląg, E., Jastrzębowska, G. (red.) (2005). *Podstawy neurologopedii. Podręcznik akademicki*. Opole: Wydawnictwo Uniwersytetu Opolskiego.
- Garcia, J.R., Saad, G. (2008). *Evolutionary neuromarketing: Darwinizing the neuroimaging paradigm for consumer behavior*. Journal of Consumer Behaviour, Special Issue: Neuromarketing, 7(4–5), p. 397–414, <https://doi.org/10.1002/cb.259>.
- Garofalo, C., Gallucci, F., Diotto, M. (2021). *Manuale di neuromarketing*. Mediolan: Hoepli Editore.
- Gąsior, M. (2020). *Perspektywy wykorzystania sztucznych sieci neuronowych w modelowaniu procesów powstawania satysfakcji klienta*, [w:] Mazurek-Łopacińska, K., Sobocińska, M. (red.). *Badania marketingowe w gospodarce cyfrowej*. Wrocław: Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu.
- GE Healthcare Imaging, <https://www.gehealthcare.com/> (dostęp: 05.10.2023).
- Gerrard, P. Malcolm, R. (2007). *Mechanisms of modafinil: A review of current research*. Neuropsychiatr Dis Treat, no. 3(3), p. 349–364. PMID: 19300566. PMCID: PMC2654794.
- Gerrig, R.J., Zimbardo, P.G. (2008). *Psychologia i życie*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Genco, S.J., Pohlmann, A.P., Steidl, P. (2013). *Neuromarketing for dummies*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Giuliani, N., Drabant, E., Bhatnagar, R., Gross, J. (2011). *Emotion regulation and brain plasticity: expressive suppression use predicts anterior insula volume*. NeuroImage, no. 58(1), p. 10–15, <https://doi.org/10.1016%2Fj.neuroimage.2011.06.028>.
- Ghorpade, R. (2017). *Neuro marketing – new science of consumer behavior*, National Journal of Management and Technology (NJMT), vol. 7(2), p. 96–103.
- Glimcher, P.W., Camerer, C.F., Fehr, E., Poldrack, R.A. (2009). *Neuroeconomics. Decision making and the brain*. London: Elsevier Inc.
- Goecking, O.H.P., De Muylder, C.F., Martins, H.C. and Felisberto, J.L.d.M. (2021). *Neuromarketing genetics: a systematic review of literature*. Journal of Contemporary Marketing Science, vol. 4(1), p. 69–82, <https://doi.org/10.1108/JCMARS-04-2020-0019>.
- Gołąb, B. (2014). *Anatomia czynnościowa ośrodkowego układu nerwowego*. Warszawa: PZWL.
- Gorjan, D., Gramann, K., De Pauw, K., Marusic, U. (2022). *Removal of movement-induced EEG artifacts: current state of the art and guidelines*. J Neural Eng, no. 19(1), doi: 10.1088/1741-2552/ac542c. PMID: 35147512.
- Goto, N., Lim, X. L., Shee, D., Hatano, A., Khong, K. W., Buratto, L. G., Watabe, M., Schaefer, A. (2019). *Can brain waves really tell if a product will be purchased? Inferring consumer preferences from single-item brain potentials*. Frontiers in Integrative Neuroscience, no. 13(2019), p. 1–13, <https://doi.org/10.3389/fnint.2019.00019>.
- Gregor, B., Wdowiak, Ł. (2016). *Istota oraz metody Badań neuromarketingowych*. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, nr 459, s. 50–61, <https://doi.org/10.15611/pn.2016.459.05>.

- Greenfield, S. (1998). *Tajemnice mózgu*. Warszawa: Diogenes, Świat Książki.
- Gross, J. (2002). *Emotion regulation: Affective, cognitive, and social consequences*. *Psychophysiology*, no. 39(3), p. 281–291.
- Gross, J., Baillet, S., Barnes, G.R. (2013). *Good practice for conducting and reporting MEG research*. *Neuroimage*, no. 65, p. 349–363, <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.10.001>.
- Hakim, A., Golan, I., Yefet, S., Levy, D.J. (2023). *DeePay: deep learning decodes EEG to predict consumer's willingness to pay for neuromarketing*. *Front. Hum. Neurosci.*, 05 June 2023 Sec. Cognitive Neuroscience, vol. 17, <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1153413>.
- Hakim, A., Klorfeld, S., Sela, T., Friedman, D., Shabat-Simon, M., Levy, D.J. (2021). *Machines learn neuromarketing: improving preference prediction from self-reports using multiple EEG measures and machine learning*. *Int. J. Res. Mark.* 2021:7, doi: 10.1016/j.ijresmar.2020.10.005.
- Hardy-Vallee, B. (2007). Decision-making: A Neuroeconomic Perspective. *Philosophy Compass*, vol. 2(6), <https://doi.org/10.1111/j.1747-9991.2007.00099.x>.
- Harris, J., Ciorciari, J., Gountas, J. (2018). *Consumer neuroscience for marketing researchers*. *Journal of Consumer Behaviour*, 17(3), 239–252, <https://doi.org/10.1002/cb.1710>.
- Häusel, H.G. (2006). *Neuromarketing: Erkenntnisse der Hirnforschung für Markenführung, Werbung und Verkauf*. Freiburg: Haufe.
- Herring, W. (2020). *Podręcznik radiologii*. Wrocław: Edra Urban & Partner.
- Hossan, A., Chowdhury, M.A.M. (2016). *Real time EEG based automatic brainwave regulation by music. Conference Paper*. Conference: 5th International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV), at: Dhaka, Bangladesh, s. 3, <http://dx.doi.org/10.1109/ICIEV.2016.7760107>.
- Hsu, M. (2017). *Neuromarketing: Inside the mind of the consumer*. *California Management Review*, no. 59(4), 5–22, <https://doi.org/10.1177/0008125617720208>.
- Hubert, M., Kenning, P. (2008). *A current overview of consumer neuroscience*. *Journal of Consumer Behaviour*, Special Issue: Neuromarketing, vol. 7(4–5), p. 272–292, <https://doi.org/10.1002/cb.251>.
- Huettel, S.S., Songregory, A.V., McCarthy, G. (2013). *Funcional mangetic resonance imaging*, Massachusetts: Sinauer Associates Inc.
- Hula, R. (2022). *Neuromarketing as a tool for data acquisition in consumer behaviour*. *Central and Eastern Europe in the Changing Business Environment*. Bratislava, <https://doi.org/10.18267/pr.2022.kre.2454.3>.
- Isabella, G., Mazzon, J. A., Dimoka, A. (2015). *Culture differences, difficulties, and challenges of the neurophysiological methods in marketing research*. *Journal of International Consumer Marketing*, no. 27(5), p. 346–363, <https://doi.org/10.1080/08961530.2015.1038761>.
- Ivanhoe, C.B., Eaddy, N.K. (2011). *Alpha rhythm*. [in:] Kreutzer, J.S., DeLuca, J., Caplan, B. (eds). *Encyclopedia of clinical neuropsychology*. New York: Springer, p. 92–93, https://doi.org/10.1007/978-0-387-79948-3_4.
- Jackson, P., Kennedy, D. (2013). *The application of near infrared spectroscopy in nutritional intervention studies*. *Frontiers in Human Neuroscience*, no. 7(473), <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00473>.
- Jaracz, M., Borkowska, A. (2010). *Podejmowanie decyzji w świetle badań neurobiologicznych i teorii psychologicznych*. *Psychiatria*, nr 7, s. 68–74.
- Disterheft, A. (2018). *Badania neuromarketingowe w przewidywaniu intencji zakupowych* [rozprawa doktorska przygotowana pod kierunkiem E. Jerzyk. Uniwersytet Ekono-

- miczny w Poznaniu, Wydział Zarządzania, Katedra Strategii Marketingowych], http://www.wbc.poznan.pl/Content/466362/PDF/Disterheft_Aneta-rozprawa_doktorska.pdf.
- Jerzyk, E., Nestorowicz, E., Rogala, A. (2018). *Użyteczność neuromarketingu w badaniach postaw etnocentrycznych konsumentów żywności*. Marketing i Zarządzanie, nr 3(53), s. 75–85, doi: 10.18276/miz.2018.53-07.
- Javed, K., Reddy, V., Lui, F. (2021). *Neuroanatomy, cerebral cortex*. NCBI Bookshelf, StatPearls Publishing [Internet]. Treasure Island (FL).
- Jimenez-Marin, G., Bellido-Pérez, E., Lopez-Cortés, A. (2019). *Sensory marketing the concept, its techniques and its application at the point of sale*. Revista de Comunicacion Vivat Academia, no. 2(148), p. 121–147, <http://doi.org/10.15178/va.2019.148.121-147>.
- Jordao, I.L.D.S., Souza, M.T.D., Oliveira, J.H.C.D., Giralddi, J.D.M.E. (2017). *Neuromarketing applied to consumer behaviour: An integrative literature review between 2010 and 2015*. International Journal of Business Forecasting and Marketing Intelligence, no. 3(3), p. 270–288, <https://doi.org/10.1504/ijbfmi.2017.10006047>.
- Jung, Y.S., Kim, Y.-T., Baek, J.-S., Lee, J., Kim, J.G., Chang, Y. (2018). *The neural correlates of celebrity power on product favorableness: An fMRI study*. NeuroQuantology, no. 16(2), p. 50–58, <https://doi.org/10.14704/nq.2018.16.2.1092>.
- Jurewicz, K. (2020). *Sieci spoczynkowe i ich rola w zrozumieniu organizacji funkcjonalnej mózgu*. Kosmos, t. 69, nr 1(326), s. 105–121, https://doi.org/10.36921/kos.2020_2629.
- Kaczmarczyk, A. (2022). *Rola układu nerwowego w patofizjologii człowieka*, [w:] Brzęk, A., Krzystanek, E., Siuda, J. (2022). *Fizjoterapia i leczenie w wybranych jednostkach chorobowych w obrębie ośrodkowego układu nerwowego: rozważania teoretyczne i zalecenia praktyczne. Podręcznik dla studentów kierunków medycznych, w tym fizjoterapii i lekarskiego*. Katowice: Wydawnictwo Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach, <https://doi.org/10.47590/sum.9788375094534>.
- Kahneman, D. (2012). *Pułapki myślenia. O myśleniu szybkim i wolnym*. Poznań: Media Rodzina.
- Kahnemann, D., Tversky, A. (1979). *Prospect theory: An analysis of decisions under risk*. Econometrica, vol. 47(2), p. 263–291, <https://doi.org/10.2307/1914185>.
- Kalat, J.W. (2020). *Biologiczne podstawy psychologii*. Warszawa: PWN.
- Kant, S., Yadete. F.D. (2023). *Neuro-marketing in understanding consumer behavior: Systematic literature review*. Radinka Journal of Science And Systematic Literature Review, no 1(1), p. 1–13, <https://doi.org/10.56778/rjslr.v1i1.86>.
- Karim, A., Faridi, M., Rafiq, S. (2019). *Neuromanagement; key to maintaining performance literature review*. The International Journal of Business Management and Technology, vol. 3(1), p. 1–9, <https://www.theijbmt.com/archive/0925/1627843782.pdf>.
- Kelly, B., Bickle, I.C. (2008). *Diagnostyka obrazowa. Seria Crash Course*. Wrocław: Wydawnictwo medyczne Urban & Partner.
- Kenning, P., Plassmann, H. i Ahlert, D. (2007). *Applications of functional magnetic resonance imaging for market research. Qualitative Market Research*. An International Journal, no. 10(2), 135–152, <http://dx.doi.org/10.1108/13522750710740817>.
- Kilicarslan, A., Contreras, J.L. (2019). *Characterization and real-time removal of motion artifacts from EEG signals*. Journal of Neural Engineering, vol. 16(5), doi: 10.1088/1741-2552/ab2b61.
- Klincewicz, K. (red.) (2016). *Zarządzanie, organizacje i organizowanie – przegląd perspektyw teoretycznych*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego.
- Kong, W., Zhao, X., Hu, S., Vecchiato, G., Babiloni, F. (2012). *Electronic evaluation for video commercials by impression index*. Cogn Neurodyn, no 7(6), p. 531–535, <https://doi.org/10.1007%2Fs11571-013-9255-z>.

- Kozubski, W. (2014). *Neurologia – kompendium*. Wydanie 1. Warszawa: PZWL.
- Krampe, C., Gier, N.R., Kenning, P. (2018). *The application of mobile fNIRS in marketing research-detecting the “first-choice-brand” effect*. *Frontiers in Human Neuroscience*, no. 12(4), p. 433–444, <http://dx.doi.org/10.3389/fnhum.2018.00433>.
- Lee, N., Broderick, A.J., Chamberlain, L. (2007). *What is “neuromarketing?” A discussion and agenda for future research*. *International Journal of Psychophysiology*, no. 63(2), p. 199–204, <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2006.03.007>.
- León-Carrión, J., León-Domínguez, U. (2012). *Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS): Principles and neuroscientific applications*, [in:] P., Bright (ed.). *Neuroimaging. Methods*. IntechOpen, p. 47–74, doi: 10.5772/23146.
- Lim, W.M. (2018). *Demystifying neuromarketing*. *Journal of Business Research*, no. 91, p. 205–220, <https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/j.jbusres.2018.05.036>.
- Lim, W.M., Rasul, T., Kumar, S., Ala, M. (2021). *Past, present, and future of customer engagement*. *Journal of Business Research*, no. 140, p. 439–458, <https://doi.org/10.1016/j.jbusres>.
- Lim, W.M., Weissmann, M.A. (2021). *Toward a theory of behavioral control. Journal of Strategic Marketing*. Advance online publication, <https://doi.org/10.1080/0965254X.2021.1890190>.
- Lindstrom, M. (2008). *Buyology: Truth and lies about why we buy*. New York: Doubleday.
- Longstaff, A. (2012). *Neurobiologia*. Warszawa: PWN.
- Lopci, E., Nanni, C., Castellucci, P., Montini, G.C. (2010). *Imaging with non-FDG PET tracers: outlook for current clinical applications*. *Insights Imaging*, no. 1, p. 373–385.
- Luck, S.J. (2014). *An introduction to the Event-Related Potential technique*. Cambridge: Publisher The MIT Press.
- Ma, Q.G., Abdeljelil, H.M., Hu, L.F. (2019). *The Influence of the consumer ethnocentrism and cultural familiarity on brand preference: Evidence of Event-Related Potential (ERP)*. *Frontiers in Human Neuroscience*, no. 13(2019). p. 220–229, <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00220>.
- Maciejasz-Świątkiewicz, M., Musiał, M. (2014). *Zarys ekonomii behawioralnej. Wprowadzenie do psychologicznych aspektów gospodarowania*. Opole: Wydawnictwo Uniwersytetu Opolskiego.
- Maison, D., Oleksy, T. (2017). *Validation of EEG as an advertising research method: Relation between EEG reaction toward advertising and attitude toward advertised issue (related to political and ideological beliefs)*. *Neuroeconomic and Behavioral Aspects of Decision Making. Springer Proceedings in Business and Economics*, p. 273–291, https://doi.org/10.1007/978-3-319-62938-4_18.
- Majewska-Bielecka, D., Nowak-Lewandowska, R. (2019). *Neuronaukowe implikacje w podejmowaniu decyzji*. *Zeszyty Naukowe ZPSB Firma i Rynek*, nr 1(55), s. 173–180, bwmeta1.element.deskligh-a2df2229-7525-431a-86fe-b7d08f7da4e8.
- Marques, J.P., Martins, M., Ferreira, H.A., Ramalh, J., Seixas, D. (2016). *Neural imprints of national brands versus own-label brands*. *Journal of Product and Brand Management*, no. 25(2), p. 184–195, <http://dx.doi.org/10.1108/JPBM-12-2014-0756>.
- Matthews, P.M., Jezzard, P. (2004). *Functional magnetic resonance imaging*. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, no. 75(1), p. 6–12. PMID: 14707297; PMCID: PMC1757457.
- McClure, S.M., Li, J., Tomlin, D., Cypert, K.S., Montague, L.M., Montague, P.R. (2004). *Neural correlates of behavioral preference for culturally familiar drinks*. *Neuron*, vol. 44, p. 379–387.
- MEGIN The TRIUX™ neo, <https://megin.com/> (dostęp: 05.10.2013).

- Meyerding, S.G.H., Mehlhose, C. (2020). *Can neuromarketing add value to the traditional marketing research? An exemplary experiment with functional near-infrared spectroscopy (fNIRS)*. *Journal of Business Research*, no. 107(1), p. 172–185, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.10.052>.
- Mider, D. (2022). *Badanie aktywności elektrycznej ludzkiego mózgu w zakresie potencjałów wywołanych – nowe narzędzie nauk społecznych*, [w:] *Gumanitarnij korpus Zbirnik naukovih statej z aktualnih problem filosofii, kul'turologii, istorii, psihologii ta pedagogiki (Humanitarian corpus. Collection of scientific articles on contemporary problems of philosophy, cultural studies, psychology, pedagogy and history)*, s. 138–143.
- Miller, E.K., Cohen, J. D. (2001). *An integrative theory of prefrontal cortex function*. *Annual Review of Neuroscience*, no. 24, p. 167–202, doi: 10.1146/annurev.neuro.24.1.167.
- Modo, M.M.J.J., Bulte, J.W.M. (2011). *Magnetic resonance neuroimaging*. New Jersey: Humana Press Inc.
- Mohsen, H., Mostafa, E.M. (2020). *The relationship between the applicability of neuromarketing and competitiveness: An applied study on real-estate marketing companies in Egypt*. *Open Journal of Business and Management*, no. 8, 2006–2028, <https://doi.org/10.4236/ojbm.2020.85123>.
- Morin, C. (2011). *Neuromarketing: The new science of consumer behavior*. *Society*, no. 48(2), p. 131–135, <https://doi.org/10.1007/s12115-010-9408-1>.
- Murphy, E.R., Illes, J., Reiner, P.B. (2008). *Neuroethics of neuromarketing*. *Journal of Consumer Behaviour: An International Research Review*, no. 7(4–5), p. 293–302, <https://doi.org/10.1002/cb.252>.
- Mruk, H. (2008). *Neuromarketing jako obszar badań interdyscyplinarnych*. Warszawa: PWE.
- Mruk, H., Sznajder, M. (red.). (2008). *Neuromarketing. Interdyscyplinarne spojrzenie na klienta*. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań.
- Narkiewicz, O. Moryś, J. (2013). *Neuroanatomia czynnościowa i kliniczna*. Wydanie 1. Warszawa: PZWL.
- Near Infrared Spectroscopy System (NIRS)*, Hitachi Healthcare, <https://www.hitachi.com/> (dostęp: 05.10.2023).
- Neuroanatomy. Functional Areas of the Cerebral Cortex*, <https://www.dana.org/wp-content/uploads/2019/08/anatomy-function-brain-areas-basics-aug-2019-2024.jpg> (dostęp: 09.08.2023).
- Neuromarketing Science & Business Association (NMSBA)*, <https://www.nmsba.com/neuromarketing-companies/code-of-ethics> (dostęp: 26.10.2023).
- Nęcka, E., Orzechowski, J., Szymura, B., Wichary, S. (2020). *Psychologia poznawcza*. Warszawa: PWN.
- Nihon Kohden Neurofax EEG, <https://eu.nihonkohden.com/en> (dostęp: 05.10.2023).
- Noga, M. (2017a). *Neuroekonomia a ekonomia głównego nurtu*. Warszawa: CeDeWu.
- Noga, M. (2017b). *Neuroekonomia a paradygmat ekonomii głównego nurtu*. *Studia i Prace WNEIZ US*, nr 50(2), s. 101–112.
- Noga, M. (2017c). *Powstanie neuromakroekonomii jako efekt filtra biologicznego nałożonego na paradygmat ekonomii głównego nurtu*. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, nr 493, s. 235–246, <http://dx.doi.org/10.15611/pn.2017.493.17>.
- Nolte, J., Sundsten, J. (2009). *The human brain: an introduction to its functional anatomy*. Missouri: Mosby/Elsevier.
- Nowak, R., Durka, P. (2016). *New methods in the diagnosis of epilepsy: magnetoencephalography*. *Child Neurology*, vol. 25(50), p. 109–111.
- Nuwer, M. (1997). *Assessment of digital EEG, quantitative EEG, and EEG brain mapping: report of the American Academy of Neurology and the American Clinical*

- Neurophysiology Society*. Neurology, no. 49(1), p. 277–292, doi: 10.1212/wnl.49.1.277. PMID: 9222209.
- Ogawa, S., Lee, T.M., Kay, A.R., Tank, D.W. (1990). *Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation*. Proceedings of the Academy of Sciences, no 87.
- Orrison, W.W. (2021). *Atlas funkcjonalny mózgu*. Warszawa: PZWL.
- Ortega-Martinez, A., Rogers, D., Anderson, J., Farzam, P., Gao, Y., Zimmermann, B., Yücel, M.A., Boas, D.A. (2023). *How much do time-domain functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) moments improve estimation of brain activity over traditional fNIRS?* Neurophotonics, no. 10(1), p. 013504, doi: 10.1117/1.NPh.10.1.013504.
- Orzan, G., Zara, I.A., Purcarea, V.L. (2012). *Neuromarketing techniques in pharmaceutical drugs advertising. A discussion and agenda for future research*. Journal of Medicine and Life, no. 15; 5(4), p. 428–432. Epub 2012 Dec 25. PMID: 23346245; PMCID: PMC3539849.
- Papanicolaou, A.C. (2009). *Handbook of clinical magnetoencephalography and magnetic source imaging*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Patterson, D. (1996). *Artificial neural networks*. Singapore: Prentice Hall.
- Parizel, P.N., Tanghe, H., Hofman, P.A.M. (2011). *Magnetic resonance imaging of the brain*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Patel, A., Biso, G., Fowler, J. (2020). *Neuroanatomy, temporal lobe*. NCBI Bookshelf, StatPearls Publishing [Internet]. Treasure Island (FL).
- Phillips, M. (2003). *Understanding the neurobiology of emotion perception: Implications for psychiatry*. British Journal of Psychiatry, vol. 182(3), p. 190–192, doi:10.1192/bjp.182.3.190.
- Pierański, B. (2020). *Pomiar fizjologiczny w badaniu wewnqtrzklepowych zachowań nabywców*. Poznań: Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu.
- Pinti, P., Tachtsidis, I., Hamilton, A., Hirsch, J., Aichelburg, C., Gilbert, S., Burgess, P.W. (2020). *The present and future use of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for cognitive neuroscience*. Annals of the New York Academy of Sciences, no. 1464(1), p. 5–29, doi: 10.1111/nyas.13948.
- Pirau, L., Lui, F. (2020). *Frontal Lobe Syndrome*. StatPearls.
- Plakhin, A., Ogorodnikova, E., Semenets, I., Khudanina, M. (2018). *New directions in the development of neuromarketing and behavioral economics*. MATEC Web of Conferences 184:04023, <http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/201818404023>.
- Plassmann, H., Ambler, T., Braeutigam, S., Kenning, P. (2007). *What can advertisers learn from neuroscience?* International Journal of Advertising, no. 26(2), p. 151–175.
- Plassmann, H., Ramsøy, T.Z., Milosavljevic, M. (2012). *Branding the brain: A critical review and outlook*. Journal of Consumer Psychology, no. 22(1), p. 18–36.
- Plassmann, H., Venkatraman, V., Huettel, S., Yoon, C. (2015). *Consumer neuroscience: Applications, challenges, and possible solutions*. Journal of Marketing Research, no. 52(4), p. 427–435. <https://doi.org/10.1509/jmr.14.0048>.
- Polich, J. (2007). *Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b*. Clinical neurophysiology, no. 118(10), p. 2128–2148. doi: 10.1016/j.clinph.2007.04.019.
- Popper, K.R. (2005). *Logik der Forschung*. Heidelberg: Mohr Siebeck.
- Power, J.D., Cohen, A.L., Nelson, S.M., Wig, G.S., Barnes, K.A., Church, J.A., Vogel, A.C., Laumann, T.O., Miezin, F.M., Schlaggar, B.L., Petersen, S.E. (2011). *Functional network organization of the human brain*. Neuron, no. 17; 72(4), p. 665–678, doi: 10.1016/j.neuron.2011.09.006. PMID: 22099467; PMCID: PMC3222858.

- Pozharliev, R., Verbeke, W.J., Bagozzi, R.P. (2017). *Social consumer neuroscience: Neurophysiological measures of advertising effectiveness in a social context*. Journal of Advertising, no. 46(3), p. 351–362, <https://doi.org/10.1080/00913367.2017.1343162>.
- Pradeep, A.K. (2012). *Mózg na zakupach. Neuromarketing w sprzedaży*. Gliwice: One Press Exclusive.
- Prauzner, T., Prauzner, M., Prauzner, K. (2019). *Aktywność pracy mózgu w procesie dydaktycznym w ujęciu badań elektroencefalograficznych*. Edukacja – Technika – Informatyka, nr 2(28), s. 312–317, doi: 10.15584/eti.2019.2.46.
- Prauzner, T., Prauzner, K. (2020). *Badania elektroencefalograficzne w ocenie aktywności pracy mózgu*. Problemy zdrowia publicznego, t. 1, s. 46–57, doi: 10.16926/pzp.1.2020.04.
- Prauzner, T., Prauzner, M., Prauzner, K. (2018). *Ocena aktywności poznawczej w ujęciu aktualnych badań QEEG*. Edukacja – Technika – Informatyka, nr 3, s. 133–138, <http://dx.doi.org/10.15584/eti.2018.3.18>.
- Proudfoot, M., Woolrich, M.W., Nobre, A.C., Turner, M.R. (2014). *Magnetoencephalography*. Practical Neurology; no. 14, p. 336–343, <http://dx.doi.org/10.1136/practneurol-2013-000768>.
- Pruszyński, B., Cieszanowski, A. (2014). *Radiologia: diagnostyka obrazowa: RTG, TK, USG i MR*. Warszawa: PZWL.
- Pruszyński, B. (2015). *Diagnostyka obrazowa. Podstawy teoretyczne i metodyka badań*. Warszawa: PZWL.
- Quigg, M. (2008). *EEG w praktyce klinicznej*. Wrocław: Elsevier Urban & Partner.
- Quick, C., Kliem, A., Berger, S., Hocke, M., Tancer, M., Juckel, G., Yeragani, V.K., Bär, K.J. (2010). *Gastric dysmotility in major depression*. Progress in Neuro-psychopharmacology and Biological Psychiatry, vol. 34, p. 92–97.
- Ramsoy, T. Z. (2015). *Introduction to neuromarketing & consumer neuroscience*. Neurons Inc.
- Ramsoy, T. Z., Skov, M., Christensen, M. K., & Stahlhut, C. (2018). *Frontal brain asymmetry and willingness to pay*. Frontiers in Neuroscience, no. 12(3), p. 138–150, <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00138>.
- Rawnaque, F.S., Rahman, K.M., Anwar, S.F., Vaidyanathan, R., Chau, T., Sarker, F., & Al Mamun, K.A. (2020). *Technological advancements and opportunities in neuromarketing: A Systematic Review*. Brain Informatics, no. 7(10), p. 1–19, <https://doi.org/10.1186/s40708-020-00109-x>.
- Rawnaque, F.S., Rahman, K.M., Anwar, S.F., Vaidyanathan, R., Chau, T., Sarker, F., Al Mamun, K.A. (2020). *Technological advancements and opportunities in Neuromarketing: a systematic review*. Brain Inf., no. 7(10), <https://doi.org/10.1186/s40708-020-00109-x>.
- Rehman, A., Al Khalili, Y. (2020). *Neuroanatomy, occipital lobe*. NCBI Bookshelf, StatPearls Publishing [Internet]. Treasure Island (FL).
- Rolls, E.T., Kringelbach, M.L., de Araujo, I.E. (2003). *Different representations of pleasant and unpleasant odours in the human brain*. European Journal of Neuroscience, no. 18, p. 695–703, doi: 10.1046/j.1460-9568.2003.02779.x.
- Rumiński, J., Kalicka, R., Bobek-Billewicz, B. (2006). *Obrazowanie parametryczne w badaniach mózgu metodami MRI/PET*. Gdańsk: Wydawnictwo Gdańskie.
- Rutkowska, A. (2022). *Modern neuroimaging methods in contemporary neuroeconomics and neuromanagement*. Olsztyn Economic Journal, no. 17(2), p. 247–263, <https://doi.org/10.31648/oiej.8767>.
- Rutkowska, A. (2024). *Neuromarketing: więcej wiesz, więcej sprzedasz*. Wiadomości Uniwersyteckie UWM, nr 1(293), s. 12–13 (wywiad), <https://uwm.edu.pl/aktualnosci/neuromarketing-wiecej-wiesz-wiecej-sprzedasz> (dostęp: 02.02.2023).

- Rzemieniak, M. (2012). *Badania marketingowe w podejmowaniu decyzji menedżerskich*. Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej.
- Saglietto, A., Scarsoglio, S., Ridolfi, L., Canova, D., Anselmino, M. (2021). *Cerebral spatially resolved near-infrared spectroscopy (SRS-NIRS): paving the way for non-invasive assessment of cerebral hemodynamics during atrial fibrillation*. *Minerva Cardiol Angiol*, no. 69(2), p. 124–126, doi: 10.23736/S2724-5683.20.05242-1.
- Scheeren, T.W.L., Schober, P., Schwarte, L.A. (2012). *Monitoring tissue oxygenation by near infrared spectroscopy (NIRS): background and current applications*. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, no. 26(4), p. 279–287, doi: 10.1007/s10877-012--9348-y.
- Scholte, H.S., Leij, A., Lamme, A.V. (2022). *Neuromarketing beyond the posttest: fMRI can predict the commercial effectiveness of storyboards before the tv commercial is shot*. [in:] Briesemeister, B.B., Selmer, W.K. (eds.) *Neuromarketing in business. Management for professionals*. Springer, Wiesbaden, https://doi.org/10.1007/978-3-658-35185-4_4.
- Senior, C., Lee, N. (2008). *A manifesto for neuromarketing science*. *Journal of Consumer Behaviour*, no. 7(4–5), p. 263–271, <https://doi.org/10.1002/cb.250>.
- SeeWidely, <https://seewidely.com/> (dostęp: 12.10.2023).
- Shanon, B. (2008). *Mind-body, body-mind: Two distinct problems*. *Philosophical Psychology*, no. 21(5), p. 697–701.
- Siddique, J., Shamim, A., Abid, M.F. (2023). *The hope and hype of neuromarketing: a bibliometric analysis*. *Journal of Contemporary Marketing Science*, no. 6 (1), p. 1–21, <http://dx.doi.org/10.1108/JCMARS-07-2022-0018>.
- Siemens Healthcare, Siemens MAGNETOM, <https://www.siemens-healthineers.com/pl> (dostęp: 05.10.2023).
- Songsamoe, S., Saengwongngam, R., Koomhin, P., Matan, N. (2019). *Understanding consumer physiological and emotional responses to food products using Electroencephalography (EEG)*. *Trends in Food Science & Technology*, no. 93(2019), p. 167–173, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.018>.
- Solomon, M.R., Lene, B.R., Salomão Alencar de Farias (2008). *O comportamento do consumidor: comprando, possuindo e sendo*. Publisher Bookman, Porto Alegre.
- Stachak, S. (2006). *Podstawy metodologii nauk ekonomicznych*. Warszawa: Wydawnictwo Książka i Wiedza.
- Stasi, A., Songa, G., Mauri, M., Ciceri, A., Diotallevi, F., Nardone, G., Russo, V. (2018). *Neuromarketing empirical approaches and food choice: A systematic review*. *Food Research International*, no. 108, p. 650–664, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.049>.
- Sundararajan, R., Palma, M., and Pourahmadi, M. (2017). *Reducing brain signal noise in the prediction of economic choices: a case study in neuroeconomics*. *Frontiers in Neuroscience*, vol. 11, p. 704, doi: 10.3389/fnins.2017.00704.
- Smidts, A. (2002). *Kijken in Het Brein: Over De Mogelijkheden Van Neuromarketing*. Dutch: Erasmus Research Institute of Management. Inaugural Address Erasmus University: ERIM EIA-12-MKT.
- Smith, K., Dickhaut, J., McCabe, K., Pardo, J.V. (2002). *Neuronal substrates for choice under ambiguity, risk, gains, and losses*. *Management Science*, no. 48(6), p. 711–718, <https://doi.org/10.1287/mnsc.48.6.711.194>.
- Soria Morillo, L.M., Álvarez-García, J.A., Gonzalez-Abril, L. (2016). *Discrete classification technique applied to TV advertisements liking recognition system based on low-cost EEG headsets*. *BioMed Eng OnLine*, vol. 15(1), p. 75, <https://doi.org/10.1186/s12938-016-0181-2>.
- Stanton, S., Armstrong, W., Huettel, S. (2017). *Neuromarketing: Ethical implications of its use and potential misuse*. *Journal of Business Ethics*, no. 144(4), p. 799–811, <https://doi.org/10.1007/s10551-016-3059-0>.

- Sutherland, M. (2007). *Neuromarketing: What's it all about?* Australian Neuromarketing Symposium at Swinburne University (Melbourne) in February 2007, https://www.sutherlandsurvey.com/Columns_Papers/Neuromarketing%20-%20Whats%20it%20all%20about%20-%20March%202007.pdf (dostęp: 09.10.2023).
- Sylwanowicz, W., Ramotowski, W., Michajlik, A. (1990). *Anatomia i fizjologia człowieka*. Warszawa: PZWL.
- Sznajder, M. (2008). *Podsumowanie. Problematyka, pojęcia, definicje stosowane w neuromarketingu*, [w:] Mruk, H., Sznajder, M. (red.), *Neuromarketing. Interdyscyplinarne spojrzenie na klienta*. Poznań: Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.
- Szurowska, E., Teodorczyk, J., Dziadziuszko, K., Pieńkowska, J., Romanowicz, G., Lass, P. (2013). *Pozytonowa tomografia emisyjna w onkologii z użyciem radiofarmaceutyków alternatywnych do 18F-fluorodeoksyglukozy*. *Oncology in Clinical Practice*, vol. 9(5), p. 197–199.
- Szymusiak, H. (2015). *Znaczenie neuronauki poznawczej w badaniach rynkowych*, [w:] Dąbrowska, A., Wódkowski, A. (red.), *Badania marketingowe. Praktyka nauce. Nauka praktyce*. Warszawa: Instytut Badań Rynku, Konsumpcji i Koniunktur.
- Świda, J., Kabaja, B. (2013). *Wykorzystanie technik neuromarketingowych do badań postrzegania opakowań produktów*. *Marketing w Praktyce*, nr 11, s. 26–30.
- Tadeusiewicz, R. (1993). *Sieci neuronowe*. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza.
- Tadeusiewicz, R., Szaleniec, M. (2015). *Leksykon sieci neuronowych*. Wrocław: Wydawnictwo Fundacji „Projekt Nauka”.
- Thomas, A., Pop N.A., Iorga, A., Ducu, C. (2017). *Ethics and neuromarketing implications for market research and business practice*. Switzerland: Springer, doi: 10.1007/978-3-319-45609-6.
- Thompson, M. (red.) (2012). *Neurofeedback. Wprowadzenie do podstawowych koncepcji psychofizjologii stosowanej* (The Neurofeedback Book. An Introduction to Basic Concepts in Applied Psychophysiology). Wrocław: Biomed Neurotechnologie.
- Titov, S., Pluzhnik, E. (2020). *Neuromanagement: the scientific approach to contemporary management*. Proceedings of the International Conference on Business Excellence, no. 14(1), <http://dx.doi.org/10.2478/picbe2020.0099>.
- Touhami, Z.O., Benlafkih, L., Jiddane, M., Cherrah, Y., El Malki, H.O., Benomar, A. (2011). *Neuromarketing: lorsque neurosciences et marketing se rejoignent* [Neuromarketing: When marketing meet neurosciences]. *Revue Neurologique (Paris)*, no. 167(2), p. 135–40, <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2010.07.025>.
- Trzebiatowska, E. (2010). *Praktyczny poradnik operatora rezonansu magnetycznego*. Warszawa: Wydawnictwo Medyk.
- Tsunashima, H., Yanagisawa, K., Iwadate, M. (2012). *Measurement of brain function using near-infrared spectroscopy (NIRS)*, [in:] P., Bright (ed.), *Neuroimaging. Methods*. IntechOpen, p. 72–98, doi: 10.5772/22854.
- Turek, A., Smyczek, S. (2011). *Możliwość zastosowania diagnostyki medycznej w badaniach zachowań konsumentów*. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, nr 237, s. 65–74.
- Twardoch-Raś, E. (2022). *Sztuka mózgu: między neurorealizmem a postludzką interkonektywnością*. *Teksty Drugie*, nr 2, s. 154–174, doi: 10.18318/td.2022.2.10.
- Ugurbil, K. (2016). *What is feasible with imaging human brain function and connectivity using functional magnetic resonance imaging*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biological Sciences*, vol. 371(1705), p. 20150361, <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0361>.

- Uryga, A., Burzyńska, M., Kasprowicz, M., Woźniak, J. (2018). *Monitorowanie utlenowania mózgu za pomocą spektroskopii w bliskiej podczerwieni u chorych po krwotoku podpajęczynówkowym z pękniętym tętniakiem*. Przegląd Neurologiczny, nr 14(1), s. 22–27.
- van Calster, L., D'Argembeau, A., Salmon, E., Peters, F., Majerus, S. (2016). *Fluctuations of attentional networks and default mode network during the resting state reflect variations in cognitive states: Evidence from a novel resting-state experience sampling method*. Journal of Cognitive Neurosciences, no. 6(1), p. 1–19, http://dx.doi.org/10.1162/jocn_a_01025.
- Vecchiato, G., Astolfi, L., De Vico Fallani, F., Toppi, J., Aloise, F., Bez, F., Wei, D., Kong, W., Dai, J., Cincotti, F., Mattia, D., Babiloni, F. (2011). *On the use of EEG or MEG brain imaging tools in neuromarketing research*. Computational Intelligence and Neuroscience, no. 643489.
- Vecchiato, G., Maglione, A.G., Cherubino, P., Wąsikowska, B., Wawrzyniak A., Latuszyska, A. (2014). *Neurophysiological tools to investigate consumer's gender differences during the observation of TV commercials*. Computational and Mathematical Methods in Medicine, p. 1–12, <https://doi.org/10.1155/2014/912981>.
- Venkatraman, V., Dimoka, A., Pavlou, P.A., Vo, K., Hampton, W., Bollinger, B., Hershfield, H.E., Ishihara, M., Winer, R.S. (2015). *Predicting advertising success beyond traditional measures: New insights from neurophysiological methods and ket response modeling*. Journal of Marketing Research, no. 52(4), p. 436–452, <https://doi.org/10.1509/jmr.13.0593>.
- Verma, S.K. (2020). *Neuromarketing-perspective and future prospects in indian market: A literature review*. Vidyabharati International Interdisciplinary Research Journal, no. 11(1), p. 282–288.
- Wach, K. (2010). *Od człowieka racjonalnego do emocjonalnego. Zmiana paradygmatu nauk ekonomicznych*. Horyzonty Wychowania, nr 9(17), s. 95–105.
- Wala, A., Czyrka, K., Fraś, J. (2019). *Sensory branding and marketing in stimulating the relation between the buyer and the brand*. Organizacja i Zarządzanie: kwartalnik naukowy, nr 1, s. 109–120, <http://dx.doi.org/10.29119/1899-6116.2019.45.10>.
- Walecki, J., Pruszyński, B. (2003). *Leksykon radiologii i diagnostyki obrazowej*. Warszawa: ZamKor.
- Walocha, J. (2013). *Ośrodkowy układ nerwowy. Podręcznik dla studentów i lekarzy*. Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego.
- Wang, Y., Minor, M. (2008). *Validity, reliability, and applicability of psychophysiological techniques in marketing research*. Psychology & Marketing, no. 25(2), p. 197–232.
- Watanabe, E., Nagahori, Y., Mayanagi, Y. (2002). *Focus diagnosis of epilepsy using near-infrared spectroscopy*. Epilepsia, no. 43(9), p. 50–55, doi: 10.1046/j.1528-1157.43.s.9.12.x.
- Wawrzyniak, A., Wąsikowska, B. (2016). *Metody neuroobrazowania mózgu w badaniach procesów podejmowania decyzji w zarządzaniu*. Organizacja i Kierowanie, nr 1, s. 49–63, <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=517667>.
- Wąsikowska, B. (2013). *Contemporary data exploration technologies in marketing*. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, nr 789, Studia Informatica, nr 32, s. 137–151.
- Wąsikowska, B. (2016). *Elektroencefalografia (EEG) w badaniu efektywności komunikacji reklamowej*. Przedsiębiorczość i Zarządzanie, no. 11(2), p. 407–422.
- Wąsikowska, B. (2016). *Zastosowanie technik neuronauki poznawczej do badania preferencji konsumentów*. Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, nr 254, s. 209–218, <https://depot.ceon.pl/handle/123456789/11225>.
- Wąsikowska, B. (2015). *Zastosowanie technik neuronauki poznawczej w zarządzaniu marketingowym*. Zeszyty Naukowe SGGW, Polityki Europejskie, Finanse i Marketing, nr 13(62), s. 145–156.

- Wei, Z., Wu, C., Wang, X., Supratak, A., Wang, P., Guo, Y. (2018). *Using support vector machine on EEG for advertisement impact assessment*. *Frontiers in Neuroscience*, no. 12(3), p. 76–88, <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00076>.
- Wojcieszka, L. (2014). *Współczesna koncepcja homo socio-oeconomicus*. *Studia Ekonomiczne UW w Katowicach*, nr 180, cz. 1, s. 240–248.
- Wrona, K. (2014). *Neuromarketing i jego rola w budowaniu marki, wprowadzaniu innowacji produktowych oraz w przekazach reklamowych*. *Marketing Instytucji Naukowych i Badawczych*, nr 11(1), 3–22.
- Wysocka, J., Golec, K., Pluta, A. (2020). *Zastosowanie techniki fNIRS w badaniach mechanizmów neuronalnych poznania społecznego. Przegląd najważniejszych badań*. *Polskie Forum Psychologiczne*, tom 25, nr 1, s. 21–39, <https://doi.org/10.14656/PFP20200102>.
- Yağci, M.I., Kuhzady, S., Balik, Z.S., Öztürk, L. (2018). *In search of consumer's black box: a bibliometric analysis of neuromarketing research*. *Tüketici ve Tüketim Araştırmaları Dergisi Journal of Consumer and Consumption Research*, no. 10(1), p. 101–134.
- Yang, T., Lee, D.Y., Kwak, Y., Choi, J., Kim, C., Kim, S.P. (2015). *Evaluation of TV commercials using neurophysiological responses*. *Journal of Physiological Anthropology*, no. 34(19), <https://doi.org/10.1186/s40101-015-0056-4>.
- Yoon, C., Gutchess, A.H., Feinberg, F., Polk, T.A. (2006). *A functional magnetic resonance imaging study of neural dissociations between brand and person judgments*. *Journal of Consumer Research*, no. 33(1), p. 31–40, <https://doi.org/10.1086/504132>.
- Young, P.A., Tolbert, D.L. (2016). *Neuroanatomia kliniczna*. Wrocław: Wolters Kluwer.
- Zagóra-Jonszta, U. (red.) (2010). *Dokonania współczesnej myśli ekonomicznej – znaczenie kategorii wyboru w teoriach ekonomicznych i praktyce gospodarczej*. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach.
- Zaltman, G. (2008). *Jak myślą klienci. Podróż w głąb umysłu rynku*. Poznań: Dom Wydawniczy Rebis.
- Zhang-Yin, J.T.; Girard, A.; Bertaux, M. (2022). *What does pet imaging bring to neuro-oncology in 2022? A Review*. *Cancers*, no 14(4), p. 879, <https://doi.org/10.3390/cancers14040879>.

POMIARY AKTYWNOŚCI MÓZGU W BADANIACH NEUROMARKETINGOWYCH

Anna Rutkowska

Słowa kluczowe: neuromarketing, badania neuromarketingowe, pomiary neurometryczne, neuroobrazowanie, zachowania konsumentów, proces decyzyjny.

Streszczenie

Metody neuronaukowe zrewolucjonizowały sposób prowadzenia badań rynkowych. Podejście neuronaukowe do badań marketingowych bazuje na założeniu, że aktywność umysłowa człowieka jest pochodną aktywności neuronów znajdujących się w mózgu. Założenie to implikuje rozwój neuronauki dotyczącej podejmowania decyzji (ang. *neuroscience of decision making*). Neuromarketing jest interdyscyplinarnym podejściem badawczym, w którym stosowane są pomiary neurometryczne i biometryczne w celu weryfikacji hipotez badawczych oraz odkrywania prawidłowości dotyczących zachowań rynkowych konsumentów. Celem badań neuromarketingowych jest identyfikacja, ocena oraz eksplanacja procesów afektywnych i kognitywnych zachodzących w mózgu podczas ekspozycji na bodźce marketingowe. Problematyka badań neuromarketingowych skoncentrowana jest wokół zagadnień dotyczących neuronalnych korelatów procesu decyzyjnego i zachowań rynkowych konsumentów.

W badaniach neuromarketingowych pomiar aktywności mózgu dokonywany jest za pomocą metod neurometrycznych, takich jak:

- elektroencefalografia (ang. *Electroencephalography* – EEG),
- magnetoencefalografia (ang. *Magnetoencephalography* – MEG),
- funkcjonalny rezonans magnetyczny (ang. *functional Magnetic Resonance Imaging* – fMRI),
- funkcjonalna spektroskopia bliskiej podczerwieni (ang. *functional Near Infrared Spectroscopy* – fNIRS),
- pozytonowa tomografia komputerowa (ang. *Positron Emission Tomography* – PET).

Użyteczność neuroobrazowania w badaniach marketingowych przejawia się przede wszystkim w możliwości określenia neuronalnych korelatów percepcji, uwagi, pamięci, emocji, aprobaty i satysfakcji oraz uzyskaniu obiektywnych wyników badań dzięki wykorzystaniu medycznych metod z zakresu diagnostyki obrazowej. Zastosowanie metod neurometrycznych pozwala na identyfikację psychologiczno-ekonomicznych determinantów procesu decyzyjnego i determinantów zachowań konsumentów.

Neuromarketing jest nowatorskim zastosowaniem neuronauki w psychologii konsumenta, które zyskuje na znaczeniu zarówno w badaniach akademickich, jak i w praktyce biznesowej. Monografia stanowi próbę ukazania roli nowoczesnych metod pomiaru aktywności mózgu w rozwoju współczesnego neuromarketingu. Dedykowana jest pasjonatom i entuzjastom interdyscyplinarnego podejścia do badań naukowych i rynkowych. Ze względu na synkretyzm wiedzy marketingowej, psychologicznej i medycznej polecana jest szczególnie naukowcom, doktorantom i studentom. Stanowi wartościową lekturę dla osób zainteresowanych problematyką psychologii konsumenta, neuromarketingu i neuronauki konsumenckiej.

BRAIN ACTIVITY MEASUREMENTS IN NEUROMARKETING RESEARCH

Anna Rutkowska

Key words: neuromarketing, neuromarketing research, neurometric measurements, neuroimaging, consumer behavior, decision-making proces.

A b s t r a c t

Neuroscience methods have revolutionized the way market research is conducted. The neuroscientific approach to marketing research is based on the assumption that human mental activity is a derivative of the activity of neurons located in the brain. This assumption implies the development of the neuroscience of decision making. Neuromarketing is an interdisciplinary research approach in which neurometric and biometric measurements are used to verify research hypotheses and discover regularities regarding consumer market behavior. The aim of neuromarketing research is to identify, assess and explain the affective and cognitive processes occurring in the brain during exposure to marketing stimuli. The issues of neuromarketing research are focused on issues related to the neural correlates of the decision-making process and consumer market behavior.

In neuromarketing research, brain activity is measured using neurometric methods, such as: electroencephalography (EEG), Magnetoencephalography (MEG), functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI), functional Near Infrared Spectroscopy (fNIRS), Positron Emission Tomography (PET). The usefulness of neuroimaging in marketing research is manifested primarily in the ability to determine the neural correlates of perception, attention, memory, emotions, approval and satisfaction, as well as obtaining objective research results thanks to the use of medical imaging diagnostic methods. The use of neurometric methods allows the identification of psychological and economic determinants of the decision-making process and determinants of consumer behavior.

Neuromarketing is an innovative application of neuroscience in consumer psychology that is gaining importance in both academic research and business practice. The monograph is an attempt to show the role of modern methods of measuring brain activity in the development of modern neuromarketing. The monograph is dedicated to enthusiasts and enthusiasts of an interdisciplinary approach to scientific and market research. Due to the syncretism of marketing, psychological and medical knowledge, it is especially recommended to scientists, PhD students and students. The monograph is a valuable read for people interested in consumer psychology, neuromarketing and consumer neuroscience.

Spis rysunków

Rys. 1. Budowa mózgu: 1 – istota czarna; 2 – przysadka mózgowa; 3 – hipokamp; 4 – podwzgórze; 5 – zwoje podstawne; 6 – kora przedczołowa; 7 – kora ruchowa; 8 – kora czuciowa; 9 – zakręt obręczy kory limbicznej; 10 – spoidło wielkie; 11 – sklepienie; 12 – wzgórze; 13 – wzgórki czworacze górne; 14 – ciało kolan-kowate boczne; 15 – miejsce sinawe; 16 – mózdzek; 17 – rdzeń przedłużony; 18 – rdzeń kręgowy	29
Rys. 2. Pomiary neurometryczne w badaniach neuromarketingowych	41
Rys. 3. Elektroencefalograf (EEG).....	47
Rys. 4. Rodzaje fal mózgowych	51
Rys. 5. Magnetoencefalograf (MEG).....	56
Rys. 6. Rezonans magnetyczny (MRI).....	61
Rys. 7. Spektrometr bliskiej podczerwieni (NIRS).....	66
Rys. 8. Aparat pozytonowej tomografii emisyjnej (PET)	71
Rys. 9. Obwody (obszary) funkcjonalne mózgu: <i>a</i> – obwód uwagi; <i>b</i> – obwód emocji; <i>c</i> – obwód pamięci; <i>d</i> – obwód wyceny	83

Spis tabel

Tabela 1. Przegląd definicji neuromarketingu.....	19
Tabela 2. Systemy przetwarzania informacji, systemy operacji umysłowych	36
Tabela 3. Porównanie <i>homo oeconomicus</i> i <i>homo neuroeconomicus</i>	38
Tabela 4. Charakterystyka metod neurometrycznych stosowanych w badaniach neuromarketingowych.....	42
Tabela 5. Pomiary neurometryczne stosowane w badaniach marketingowych i auto- rzy badań.....	82
Tabela 6. Obszary badawcze w neuromarketingu i autorzy badań.....	84
Tabela 7. Praktyczne zastosowanie wyników neuroobrazowania w biznesie	88