System Galea

(OpenBCI × Varjo)

EEG | EOG | EMG

EDA | PPG | Eye tracking



Źródło: OpenBCI, broszura Galea (2024)

dr inż. Mateusz Pomianek · Politechnika Rzeszowska

Plan prezentacji

1

Platforma Galea

sensory, architektura, oprogramowanie, konstrukcja

2

EEG w szczegółach

tor sygnałowy, pasma, ERP, elektrody

3

Neuropsychologia

zastosowania, dowody, badania, protokół

4

Ocena i wnioski

ograniczenia, podsumowanie

Galea w liczbach

10
kanałów EEG,
elektrody suche

250 Hz
próbkowanie EEG,
EOG, EMG, EDA

200 Hz
eye tracking Varjo,
dokładność poniżej 1°

50 Hz
PPG, klips uszny

4
kanały EMG
mimiki twarzy

2
kanały EOG: ruchy
gałek ocznych

2
kanały pasywne
EEG w facepadzie

08.2024
początek wysyłek
wersji beta

Uwaga
EEG: alfa, P300;
eye tracking; EOG

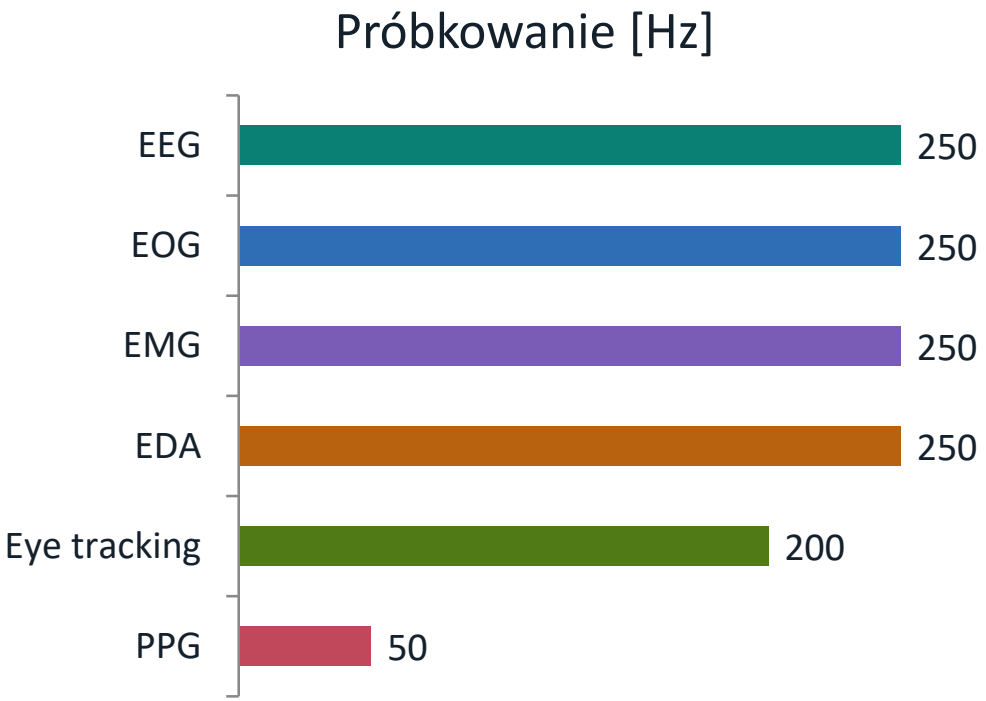
Obciążenie
theta, pupilometria,
HRV z PPG

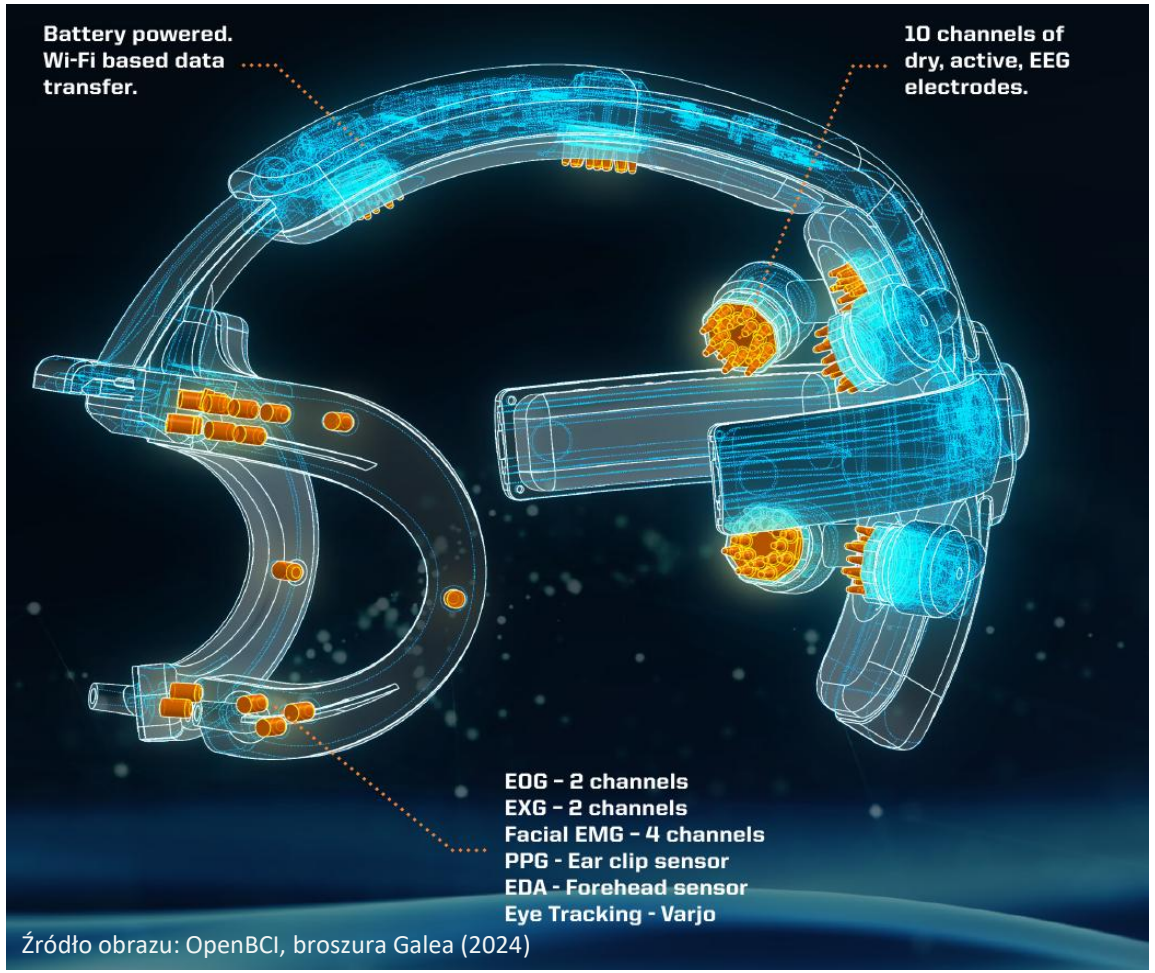
Stres
EDA, tętno, EEG,
pupilometria

Mimika i emocje
EMG twarzy, EDA, EEG

Źródła: [1] [2] [4] [8]

Architektura sensorów





Źródło obrazu: OpenBCI, broszura Galea (2024)

Zgodne HMD
Varjo Aero, XR-3, XR-3 Focal Edition

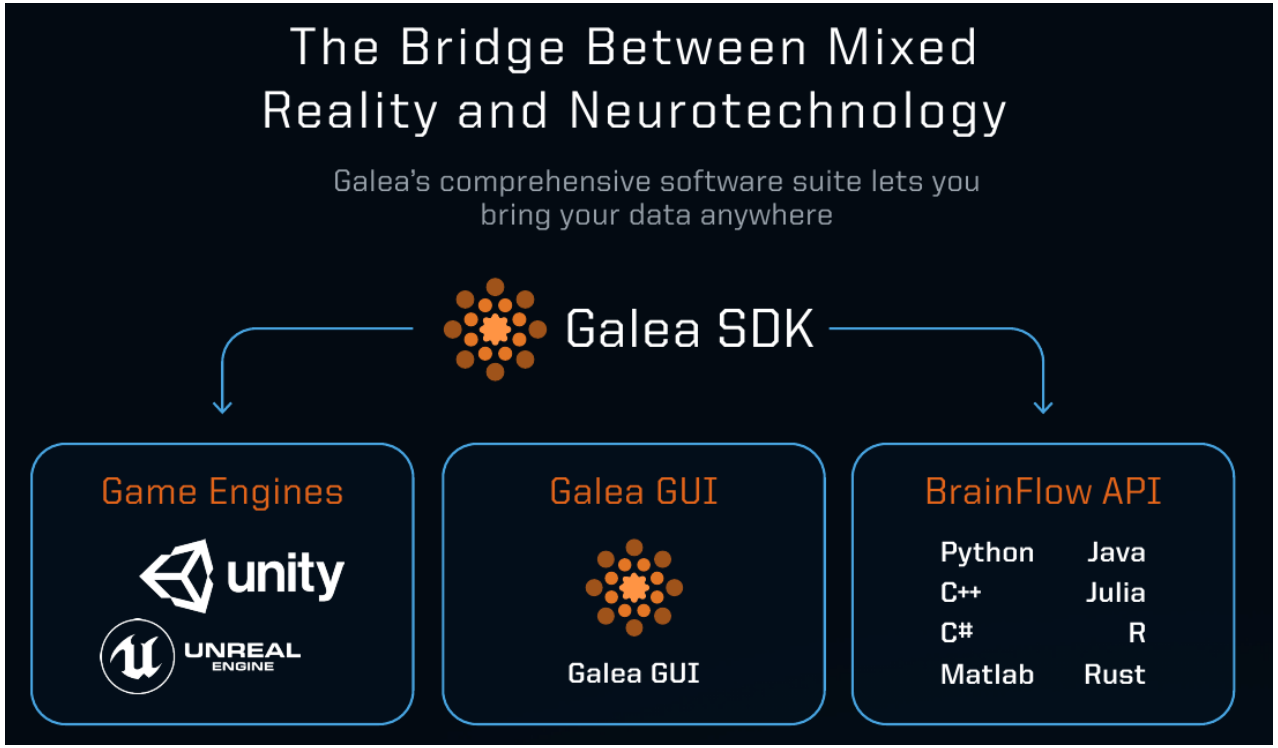
Transmisja
Wi-Fi; surowe dane można zapisywać

SDK
BrainFlow, Unity, Unreal, Python

Synchronizacja
wspólny zegar sprzętowy wszystkich czujników

Źródła: [1] [2] [3] [4]

Oprogramowanie i strumieniowanie danych





Obsługiwane formaty strumieniowania
LSL · UDP · OSC · Serial

Języki (BrainFlow)
Python, C++, Java, C#, Julia, Matlab, Rust, R

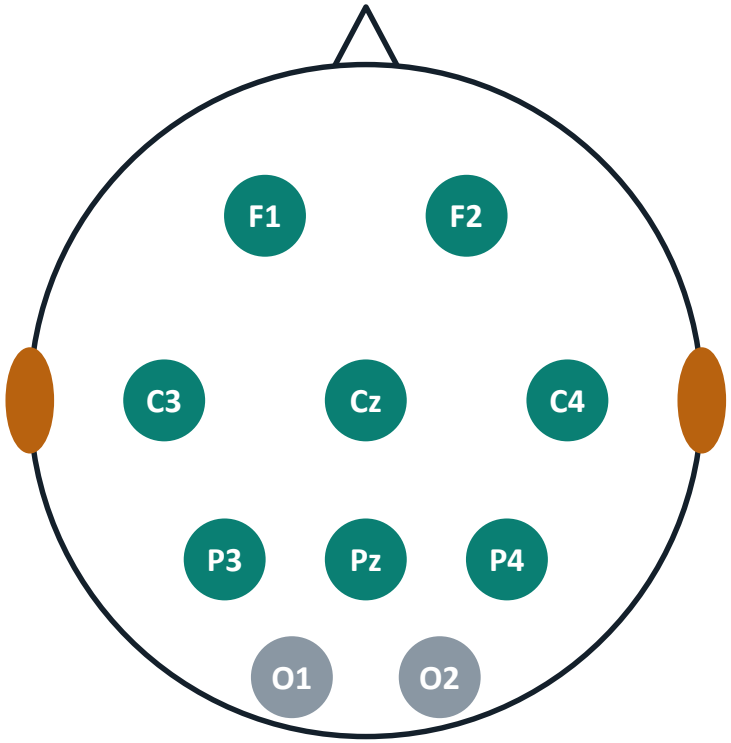
Silniki gier
sample kodu i projektów dla Unity i Unreal Engine

Galea GUI
wizualizacja strumienia, konfiguracja sprzętu, ocena jakości sygnału

Przetwarzanie
surowe dane i filtrowanie wszystkich sensorów

Źródła: [1] broszura Galea (2024), rendery koncepcyjne OpenBCI

Montaż elektrod suchych EEG



zielone: elektrody użyte w badaniu [17] (8 z 10);
szare: O1, O2; pomarańczowe: klipsy uszne

10 + 2
elektrod aktywnych
i pasywnych (facepad)

250 Hz
nominalnie;
(realnie ok. 248 Hz)

24 bit
próbki w strumieniu danych

polimer
przewodzący, miękkie
elektrody aktywne

Wersja	Elektrody
Alpha (10)	Fz, Cz, Oz, O1, O2, Pz, P1, P2, Fp1, Fp2
Beta (10)	F1, F2, Cz, C3, C4, Pz, P3, P4, O1, O2
Badanie UCSB (8)	F1, F2, C3, C4, P3, P4, Cz, Pz
Broszura / specyfikacje	8 lub 10 kanałów

Źródła: [2] [3] [16] [17]

Konstrukcja i modułowość headsetu



100%
sensorów suchych

7 h
akumulator
2000 mAh, USB

6 + 3 osie
IMU i magnetometr

SteamVR
śledzenie pozycji
2.0 / 1.0

HMD
zdejmowalny: użycie
poza VR

Wi-Fi
transmisja
bezprzewodowa

Facepad (cheat sheet)
6 elektrod EMG (4 kanały),
4 elektrody EOG (2 kanały),
2 elektrody EDA, 2 pasywne EEG

Klips uszny
2 czujniki optyczne PPG (kanały
czerwony i IR)

Uwaga
obrazy to rendery koncepcyjne;
parametry mogą ulec zmianie
według producenta

Źródła: [1] broszura Galea (2024), rendery koncepcyjne OpenBCI

Tor sygnałowy od elektrody do danych



72 B
ramka: 24 kanały × 3 B

18 kB/s
surowy strumień: 24 × 3 B × 250 Hz (obliczenie)

12× / 4×
wzmocnienie domyślne EEG / EMG

≈ 45 nV
LSB przy 12× i Vref 4,5 V (szacunek, zakłada ADS1299)

1 µVpp
szum wejściowy ADS1299, pasmo 70 Hz

–110 dB
CMRR ADS1299

5 mW
na kanał (ADS1299)

≈ 248 Hz
efektywne próbkowanie (nominalnie 250)

Źródła: [5] [6] [7]; ADS1299 stosowany w płytkach OpenBCI [8]

Przetwarzanie EEG i kontrola artefaktów



Źródło artefaktu	Kanał pomocniczy
Mruganie i sakkady	EOG, 2 kanały
Napięcie mięśni twarzy	EMG, 4 kanały
Ruch głowy	IMU i tracking HMD
Słaby kontakt elektrod suchych	kontrola impedancji

Badanie z tego roku [17]
pipeline online był nieprzezroczysty: brak dostępu do filtracji i obsługi artefaktów

Praktyka
zapisuj surowe dane i markery zdarzeń z Unity do analizy offline

Uwaga
pasmo beta najbardziej podatne na ruch i napięcie mięśni

Źródła: [2] [5] [17]; wskazówki: opracowanie własne

Pasma EEG i wskaźnik zaangażowania





δ · 1–4 Hz
wolna aktywność; w czuwaniu często artefakty

θ · 4–8 Hz
obciążenie poznawcze, pamięć robocza; Fz, Cz

α · 8–13 Hz
hamowanie, uwaga wzrokowa; O1, O2, Pz

β · 13–30 Hz
czujność, zaangażowanie poznawcze

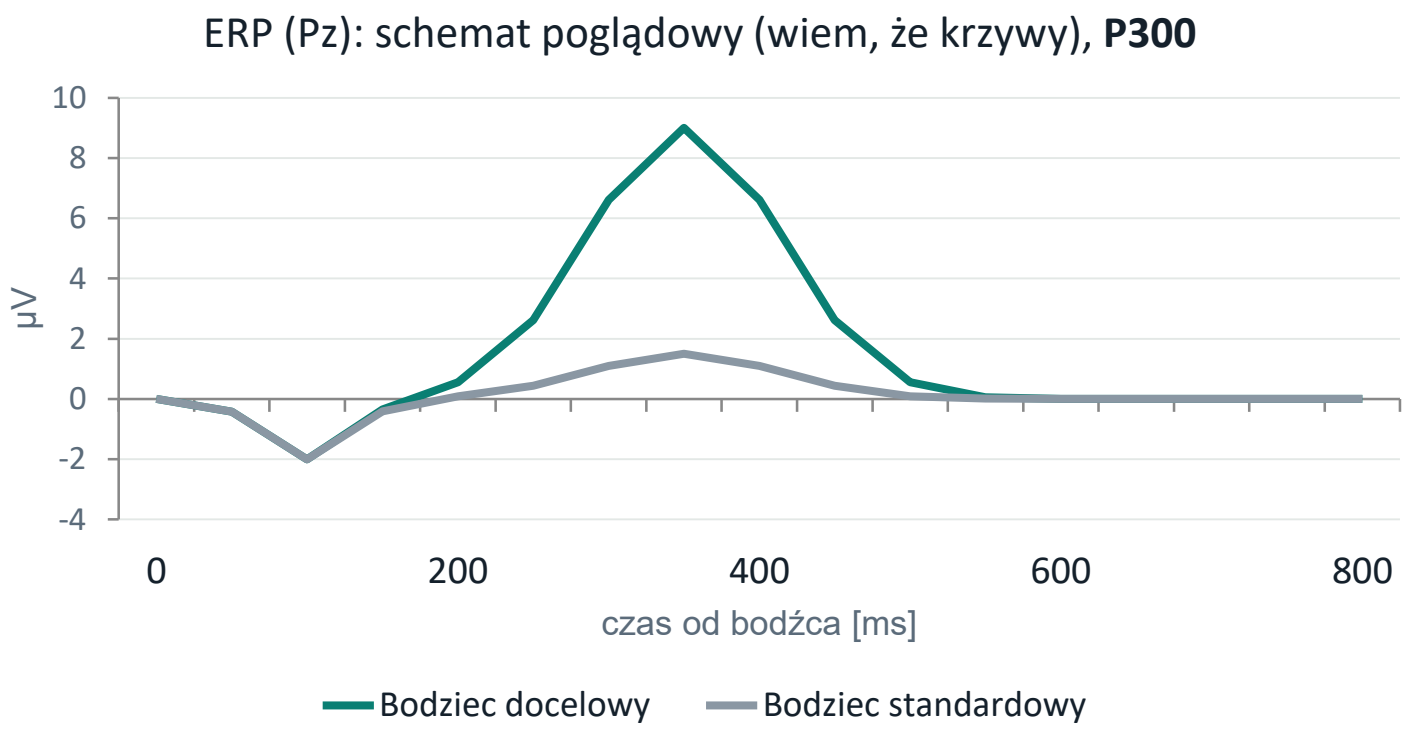
$$E = \beta / (\alpha + \theta)$$

Jak policzono w badaniu
moc θ, α, β uśredniona po 8 kanałach i całej próbie; z-score względem 20 prób bazowych; 5 poziomów informacji zwrotnej od „Crystal Clear” do „Drifting”

Ostrzeżenie autorów
Była to operacyjna miara, a nie zwalidowany biomarker; uśrednianie kanałów usuwa informację przestrzenną

Źródła: [17] (granice pasm); interpretacje: literatura EEG poznawczego

Parametry rejestracji ERP i P300



4 ms
krok próbkowania przy 250 Hz

200 próbek
epoka 800 ms na kanał

300–500 ms
typowa latencja P300;
Pz, Cz (literatura ERP)

Paradygmat oddball
czyli rzadkie bodźce docelowe wśród standardowych; w VR także jako zadania Flanker i CPT

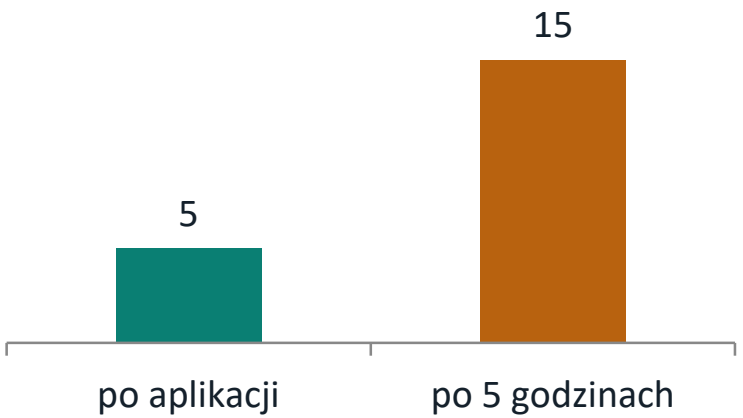
Liczba prób
im więcej epok, tym wyższy stosunek sygnału do szumu; planuj wiele powtórzeń

Znaczniki
zapis znacznik czasu bodźca, a następnie weryfikacja opóźnienia systemu

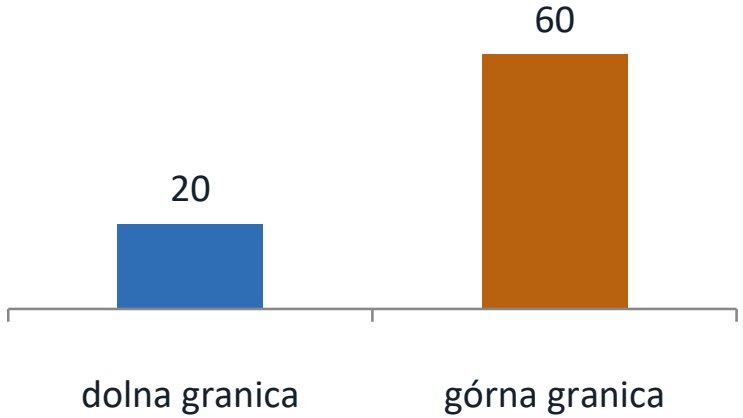
Źródła: [11] Guger i in. 2012 (P300, dry vs gel, n = 23); wykres poglądowy

Elektrody suche kontra mokre

Impedancja elektrod mokrych [kΩ]



Przygotowanie elektrod mokrych [min]



n = 27

31 suchych vs 64 mokrych elektrod: jakość porównywalna

n = 23

P300 speller: dry vs gel, pierwsza walidacja terenowa

Wniosek z badań

elektrody suche rejestrują typowe miary badawcze i kliniczne z jakością zbliżoną do mokrych, z niewielką przewagą mokrych [9]

MMN i łączność

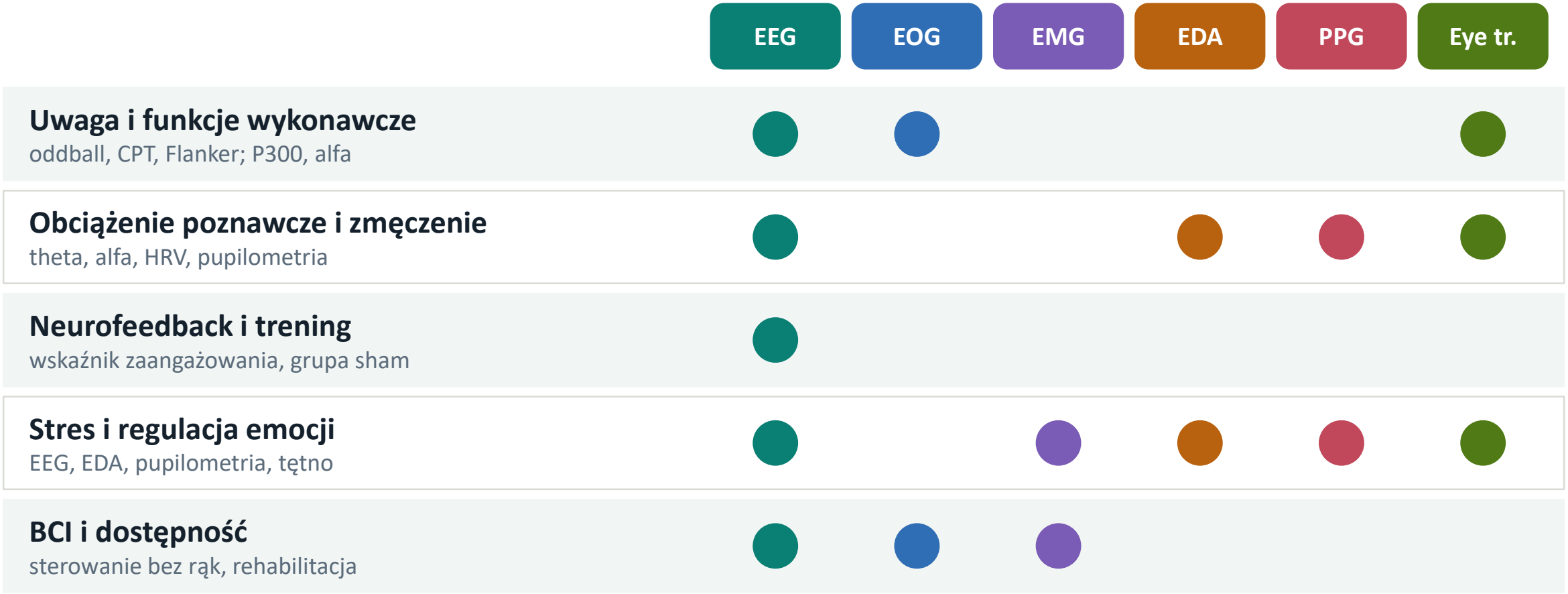
dry EEG wiarygodnie wykrył MMN i łączność spoczynkową [18]

Praktyka

żel wysycha w godzinach; suche utrzymują jakość dłużej, no ale wymagają porządnego kontaktu poprzez włosy

Źródła: [9] Kam i in. 2019 · [10] [11] [12] [18]

Zastosowania w neuropsychologii i sensory



Najmocniejsze
EEG i najczęściej z eye trackingiem

Niedoceniane
EDA i HRV: tanie markery pobudzenia

Walidacja
walidacja na własnej próbie

Źródła: [1] [2] [17]; macierz: opracowanie własne

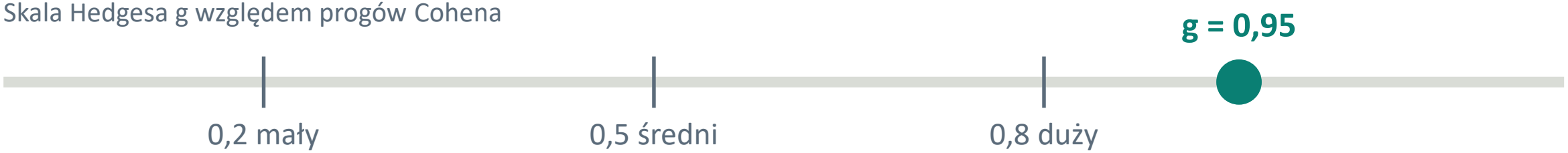
Dowody z metaanaliz dla VR w neuropsychologii

g = 0,95
18 badań: pacjenci vs kontrole zdrowe, duży efekt

N = 553
14 badań: średnie korelacje VR z testami klasycznymi

9 z 1605
prac włączonych do metaanalizy trafności zbieżnej funkcji wykonawczych

Skala Hedgesa g względem progów Cohena



Ekologiczna trafność
zadania w VR odwzorowują czynności dnia codziennego lepiej niż papier i ołówek

Jakość VR
czas sesji i choroba symulatorowa wpływają na dane; VR-EAL to pierwsza bateria w immersyjnym VR [19]

Rola Galei
dodaje obiektywne markery fizjologiczne do wyników behawioralnych

Źródła: [13] Voinescu i in. · [14] Neguț i in. 2015 · [15] Lee i in. 2024 · [19]

Badanie UCSB, projekt i aparatura



n = 22

12 neurofeedback, 10 sham

m_{wieku} = 20,55 lat

SD 1,77; zakres 19–27; 15 kobiet, 7 mężczyzn

8 kanałów

F1, F2, C3, C4, P3, P4, Cz, Pz; 250 Hz

90 Hz

aktualizacja percepcji (ONNX, Unity Sentis), Varjo XR-3

Zadanie

lokalizacja nazwanego obiektu wśród 4 dystraktorów; 14 przedmiotów na biurku

Symulacja

proteza nasiatkówkowa 10 × 10, model aksonów; bez efektów czasowych

Informacja zwrotna

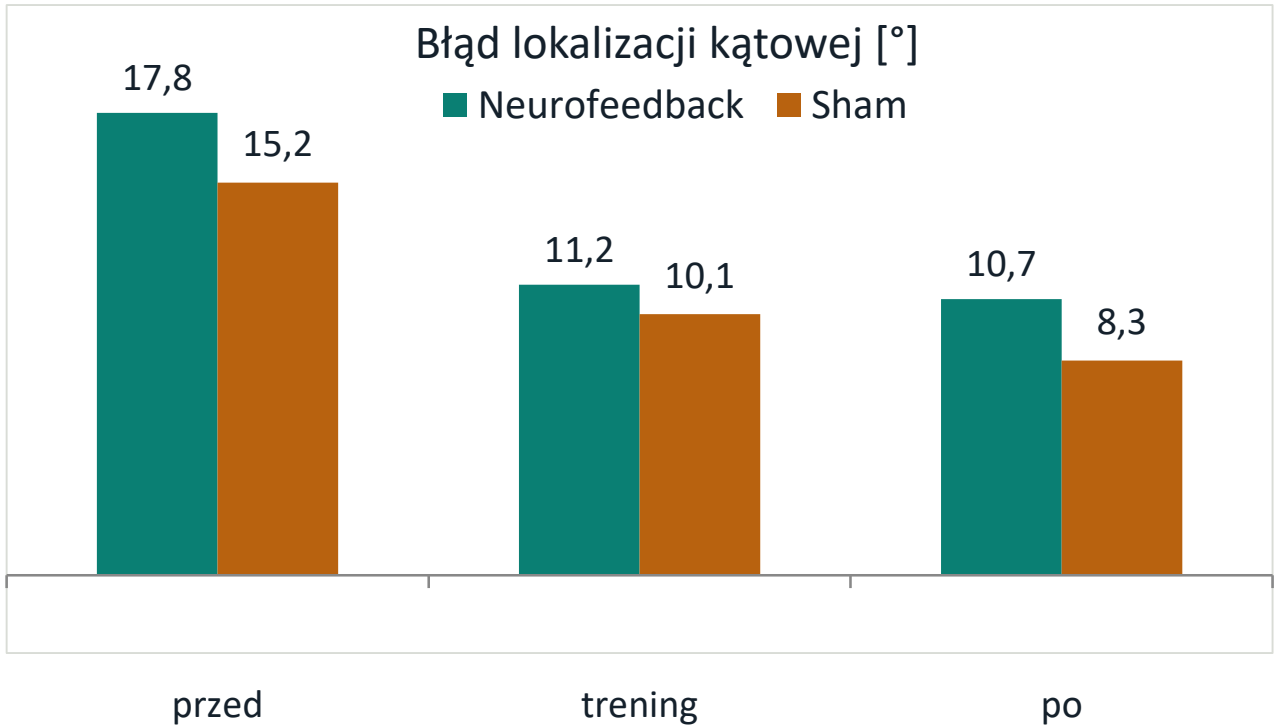
po próbie: kolor i etykieta; sham: wartość losowa z tego samego zakresu

Statystyka

test Welcha; brak analizy mocy (badanie wykonalności)

Źródła: [17] arXiv 2607.23889

Badanie UCSB, wyniki behawioralne



7,18° vs 6,86°

spadek błędu w neurofeedback vs sham;
t = - 0,09, p = 0,932

2,90 vs 2,82

NASA-TLX; p = ,707, d = 0,16

0,70 vs 0,79

średni wskaźnik zaangażowania; p = 0,603

Wniosek autorów

obie grupy poprawiły się podobnie, ale efekt praktyki, a nie feedbacku.

Czas wykonania

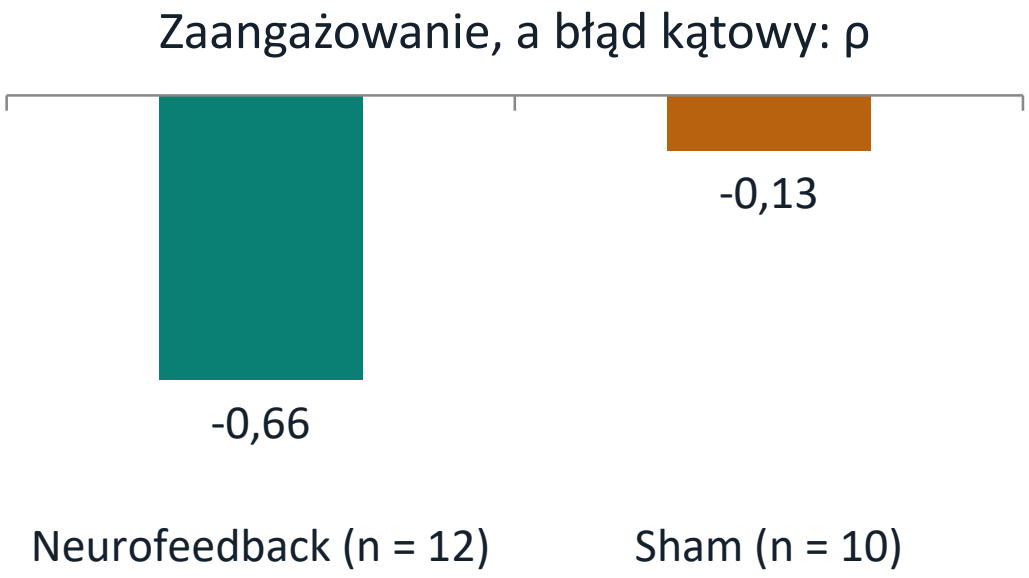
brak różnic w żadnej fazie (p od 0,392 do 0,740)

Moc statystyczna

n = 22 wykrywa tylko duże efekty; wynik zerowy nie wyklucza umiarkowanych

Źródła: [17] arXiv 2607.23889, rozdz. 3.1–3.2

Badanie UCSB, analiza eksploracyjna i wnioski



p = 0,020

neurofeedback: im wyższe zaangażowanie, mniejszy błąd

p = 0,726

sham: tu brak związku

β = - 0,22

interakcja grupa × zaangażowanie;
p = 0,289: różnica niepotwierdzona

Wielosesyjność

neurofeedbacku uczy się zwykle przez wiele sesji, a zadanie opanowano szybko

Kanały

uśrednianie 8 kanałów usuwa informację regionalną

Artefakty

ruch i mięśnie szczególnie zaburzają pasmo beta

Sygnał

najpierw walidacja predyktora, potem kontrola jego regulacji

Źródła: [17] arXiv 2607.23889, rozdz. 3.3–4.4

CAMSAN, pętla zamknięta ze stymulacją tAN

Galea: EEG, EDA, PPG → **Stres, uwaga, choroba symulatorowa** → **Stymulacja tAN** → **Wynik poznawczy**

50

uczestników (cel rejestru), grupa aktywna vs sham

10,5 mies.

30.04.2025 do 15.03.2026, status: **zakończone**

10 min

pomiar bazowy bez zadań; zadanie Flanker

USAF

grant; sponsor OpenBCI; Sparrow Link (tAN)

Cel badania

sprawdzić, czy Galea mierzy stan poznawczy w stresie, uwadze i chorobie symulatorowej

Interwencja

automatyczna stymulacja uszna zależna od metryk fizjologicznych

Populacja

tylko osoby zdrowe; badanie niekliniczne

Źródła: [16] ClinicalTrials.gov NCT06782360

Propozycja protokołu neuropsychologicznego

Linia bazowa 10 min → **Zadanie w VR**
oddball lub Flanker → **Preprocessing i ERP** → **Raport**
metryki, HRV, EDA

0,1 - 30 Hz
filtr pasmowy EEG
(taki typowy dla ERP)

-200...800 ms
okno epoki wokół bodźca

± 100 µV
typowy próg
odrzucania epok

ucho
klipsy uszne Galea
jako referencja

Metryki EEG
amplituda i latencja P300 (Pz, Cz),
theta (Fz), alfa (O1, O2)

Metryki obwodowe
HRV z PPG, EDA,
pupilometria, mruganie z EOG

Kontrola jakości
impedancja, artefakty ruchowe,
kalibracja eye trackingu

Lista kontrolna
krótkie sesje (przerwa w połowie, ze względu na zmęczenie zestawem EEG–VR);
rejestracja strategii uczestnika; porównanie z testem klasycznym

Źródła: Propozycja autora; wartości standardowe w ERP; baseline wg [16]; założenia jakości wg [17]

Ograniczenia Galei wobec klasycznego „czepka” EEG

Parametry	Galea	klasyczne EEG (z żelem)
Kanały EEG	8–10	31-64 w badaniu [9]
Próbkowanie	250 Hz (≈ 248 Hz)	zależne od systemu
Przygotowanie	bez żelu, krótkie	20–60 min [10]
Rozdzielczość przestrzenna	niska	wysoka
Ruch i VR	dobra ekologiczność	ograniczona
Dane dodatkowe	EOG, EMG, EDA, PPG, ET, jeden zegar	osobne urządzenia
Normy kliniczne	brak	dostępne

Status

brak potwierdzonej certyfikacji diagnostycznej dla systemu

Dane

artefakty VR wymagają ręcznej kontroli jakości

Wnioskowanie

stany emocjonalne z fizjologii są probabilistyczne

I co nam z tego wynika?

System Galea nadaje się jako narzędzie uzupełniające badanie neuropsychologiczne, ale nie zamiennik testów

Źródła: [1] [5] [9] [10] [17];

Podsumowanie

6 modalności

w jednym strumieniu
(ładnie zsynchronizowane)

8 - 10 kanałów

EEG z elektrodami suchymi

g = 0,95

VR odróżnia pacjentów
od zdrowych kontroli

Mocne strony

ekologiczność, szybka aplikacja,
synchronizacja wielu sygnałów

Słabe strony

mała liczba kanałów, artefakty
ruchowe, brak norm klinicznych

Dowody

wykonalność pokazana;
ale korzyść z neurofeedbacku
w VR nie została potwierdzona

Jakie są kolejne kroki badawcze?

walidacja cech EEG względem wyniku zadania, sesje wielokrotne, adaptacyjne progi,
informacja zwrotna niewizualna, pełny dostęp do przetwarzania sygnału

Źródła: [1] [13] [16] [17]

Źródła

- [1] OpenBCI, broszura Galea (2024), openbci.com
- [2] Varjo, Bridging Neuroscience and XR, varjo.com/blog
- [3] Varjo, Combining VR and Neurotechnology with Galea
- [4] ChannelXR, Galea Beta: specyfikacja
- [5] amisepa, galea-eeglab-plugin, GitHub
- [6] docs.rs, crate openbci, board/galea.rs
- [7] Texas Instruments, ADS1299, ti.com/product/ADS1299
- [8] Wikipedia, OpenBCI
- [9] Kam i in. (2019), NeuroImage 184:119–129
- [10] Zander i in. (2011), Front. Neurosci. 5:53
- [11] Guger i in. (2012), Front. Neurosci. 6:60
- [12] Di Flumeri i in. (2019), Sensors, PMC6470960
- [13] Voinescu, Matu, Sava, David: VR w ocenie neuropsychologicznej
- [14] Neguț i in. (2015), Transylv. J. Psychol.
- [15] Lee, Kim, Park (2024), J. Intell. 12(11):108
- [16] ClinicalTrials.gov, NCT06782360 (CAMSAN)
- [17] Cao, Turkstra, Rastogi, Beyeler (2026), arXiv:2607.23889
- [18] Front. Neurosci. 2024, 10.3389/fnins.2024.1441799
- [19] VR-EAL, Univ. of Edinburgh (praca doktorska), era.ed.ac.uk