

Ewa Odachowska
ewa.odachowska@its.waw.pl
Instytut Transportu Samochodowego

WPLYW ZAKŁÓCEŃ BIOELEKTRYCZNEJ CZYNNOŚCI MÓZGU NA FUNKCJONOWANIE W RUCHU DROGOWYM

Artykuł prezentuje wyniki badań nad oceną wpływu funkcjonowania ośrodkowego układu nerwowego (OUN) na zachowania kierowców w ruchu drogowym, w tym na bezpieczeństwo w ruchu drogowym. Oceny parametrów OUN dokonywano przy wykorzystaniu elektroencefalogramu (EEG) umożliwiającego badanie bioelektrycznej czynności mózgu, oceniano także funkcjonalność mózgu na podstawie wyników badania temperamentu rozumianego, zgodnie z teoriami aktywacyjnymi, jako biologicznie zdeterminowana cecha osobowości [3, 4, 14]. Analizę zachowania kierowcy prowadzono przy użyciu symulatora samochodu osobowego oraz Wiedeńskiego Systemu Testów. Uzyskane wyniki potwierdziły tezę związku pomiędzy zakłóceniami bioelektrycznej aktywności mózgu a funkcjonowaniem badanych w ruchu drogowym. Odkryte zależności pomiędzy fizjologicznym funkcjonowaniem OUN a jakością procesów psychicznych, biorących udział w prowadzeniu pojazdu mogą stanowić podstawę praktycznych implikacji uzyskanych wyników w postaci m.in. odpowiedniej psychoedukacji.

Słowa kluczowe: psychofizjologia, psychologia transportu, brd

THE INFLUENCE OF DISTURBANCES IN THE BIOELECTRIC BRAIN ACTION ON THE FUNCTIONING IN THE ROAD TRAFFIC

The article presents the results of research on the assessment of the impact of the central nervous system functioning (CNS) on the drivers behaviour in the road traffic, including road safety. CNS parameters were assessed using an electroencephalogram (EEG) to study bioelectrical brain function, and the brain's functionality based on the results of the studies of the temperament, understood according to activation theories, as a biologically determined personality trait [3, 4, 14]. The driver's behaviour was analyzed using passenger car simulator and the Vienna Test System. The results obtained have confirmed the thesis of the relationship between the disturbances of bioelectrical activity of the brain and the functioning of the subjects tested in the road traffic. The discovered relationships between the physiological functioning of the CNS and the quality of mental processes involved in driving a vehicle can be the basis for the practical implications of the obtained results in the form of, among the others, appropriate psycho education.

Keywords: psychophysiology, transport psychology, road safety

Wstęp

Psychofizjologia jest dziedziną nauki zajmującą się badaniem wzajemnych związków procesów psychicznych i fizjologicznych. Podstawowe założenie wykorzystania wiedzy z tego zakresu w badaniach opiera się o hipotezę, iż połączenie biologicznego i psychologicznego podejścia w jednym paradygmacie oferuje bardziej pełne, naukowo spójne, wielopoziomowe wyjaśnienie zachowań społecznych [17]. Potrzebę prowadzenia badań z użyciem zaawansowanych metod neuroobrazowania i analizującym funkcjonalność OUN w tym obszarze potwierdzają dotychczasowe analizy [10]. Elektroencefalograf w psychologii transportu wykorzystywano dotychczas np. w badaniach zjawiska mikrosnu, zdarzającego się w przypadkach dużego zmęczenia, a mogącego stać się przyczyną wypadków w wyniku zaśnięcia za kierownicą. Zastosowanie go w warunkach symulowanych oprócz wizualnej oceny zwykłych parametrów opisu (zapis prawidłowy/nieprawidłowy), pokazywało skłonność do zasypiania w trakcie monotonnej jazdy. Ale nie jest to jedyny atut narzędzia. Sygnały z mózgu kierowcy w praktyce wykorzystano do uruchomienia hamulców samochodu. Okazało się, że dzięki temu udaje się znacznie skrócić drogę hamowania, a tym samym uniknąć wielu wypadków. Za pomocą EEG wykazano, że urządzenie jest w stanie wykryć sygnały świadczące o tym, iż kierowca chce hamować na 130 milisekund przed jego reakcją. Przy prędkości 100 km/h oznacza to skrócenie drogi hamowania o 3,66 metra. Dzięki EEG odkryto, które części mózgu najsilniej reagują na potrzebę zatrzymania pojazdu i mogli dzięki temu dostosować cały system. Uwzględniając wszelkie zmienne wyliczono, że średni czas reakcji systemu korzystającego z EEG i EMG jest o 130 milisekund krótszy w porównaniu z innymi systemami unikania kolizji [5]. Takie uwarunkowania stały się inspiracją do wykorzystania zaawansowanych technik analizy funkcjonalności mózgu w badaniach z zakresu analizy przyczyn popełniania błędów, które mogą doprowadzać do wypadków w ruchu drogowym.

1. Czynność bioelektryczna mózgu

Mózg człowieka to swoiste centrum dowodzenia. Jest odpowiedzialny za wszelkie procesy poznawcze, emocjonalne, motoryczne etc. Funkcje tego organu to nie tylko proste sytuacje typu bodziec – reakcja, takie jak błyskawiczne zahamowanie, gdy dostrzegamy niebezpieczeństwo, zanim jeszcze zorientujemy się co tak naprawdę się stało, to także prawidłowa umiejętność operowania urządzeniami sterowniczymi w pojeździe, a także tak skomplikowane procesy jak analiza ryzyka wypadkowego na podstawie obserwowanych zachowań innych uczestników ruchu. W kontekście tego wszystkiego człowiek przeżywa pewne emocje, reaguje na stres i wyobraża sobie scenariusze wyjścia z sytuacji stresowej. Tymi wszystkimi procesami, a ich repertuar jest przecież znacznie szerszy, zawiaduje nasz mózg.

Na poziomie neurobiologicznym interakcja człowieka ze środowiskiem, a w tym: poruszanie się, odbiór wrażeń zmysłowych, myślenie i odczuwanie emocji, możliwe są dzięki aktywności sieci komórek nerwowych. Informacja kodowana jest w neuronach za pośrednictwem sygnałów elektrycznych. Aby została przekazana do drugiej komórki, sygnał elektryczny zamieniany jest w połączeniu międzykomórkowym (synapsie) na chemiczny. W neuronie, który odbiera informację (postsynaptycznym) jest ona zamieniana z chemicznej ponownie na elektryczną i kontynuowany jest proces jej kodowania oraz przetwarzania [16]. Wykrywanie czynności bioelektrycznej jest możliwe dzięki

elektroencefalografii klinicznej (EEG), badaniu wprowadzonemu przez Hansa Bergera (1873-1941), niemieckiego psychiatrę w latach trzydziestych. EEG jest metodą polegającą na wykrywaniu i rejestracji aktywności elektrycznej mózgu za pomocą elektrod rozmieszczonych na powierzchni głowy (system Międzynarodowy tzw. układ 10-20) [6]. Prądy czynnościowe mózgu otrzymywane są w postaci sinusoidalnych fal o zmiennej częstotliwości, amplitudzie i kształcie. Rejestrowana czynność bioelektryczna jest rzędu mikrowoltów, wobec czego konieczne jest użycie aparatury wzmacniającej. Z zapisu elektroencefalograficznego można uzyskać wiele informacji o stanie fizjologicznym jednostki (czuwanie, senność, sen) czy emocjonalnym (napiecie psychiczne, relaksacja), ponieważ stany fizjologiczne, a częściowo także emocjonalne łączą się ze szczególnymi wzorcami bioelektrycznymi. Czynność bioelektryczna mózgu zmienia się w zależności od wieku, stanu fizjologicznego, jak również w zależności od różnych czynników wewnętrznych i zewnętrznych.

W ciągu dziesięcioleci klinicznych zastosowań EEG sklasyfikowano szereg charakterystycznych rytmów i tzw. grafoelementów, czyli krótkich fragmentów sygnału wykazujących określone cechy i pojawiających się w określonych stanach mózgu. O ile niektóre z nich widać już gołym okiem, to jednak ze względu na ogromną zmienność osobniczą i międzyzapisową tylko po części możliwe było sklasyfikowanie ich cech w postaci definicji. Obecnie wyróżniamy cztery rytmy bioelektryczne mózgu [9]:

1. Rytm Alfa o częstotliwości: 8 – 12 Hz i amplitudzie 30 – 50 μ V najlepiej widoczny jest w stanie relaksacji, przy zamkniętych oczach. Jest on w sposób szczególny związany z uwagą, każda koncentracja uwagi zarówno introspektywna, jak i wywołana czynnikami zewnętrznymi odwzorowywana jest czasowym zatrzymaniem lub zmianą czynności alfa. Jego amplituda jest traktowana także jako wskaźnik stanu wzbudzenia.
2. Fale delta o częstotliwości: < 4Hz i amplitudzie 100 - 200 μ V uznawane są za swoisty znak ostrzegawczy. Wolne fale delta o dużej amplitudzie stanowiące więcej niż 10% zapisu świadczą zawsze o patologii korelującej z zaburzeniami neurologicznymi lub/i deficytami intelektualnymi. Jako czynność prawidłowa fale delta występują jedynie podczas snu głębokiego.
3. Fale Theta o częstotliwości: 4 – 7,5Hz i amplitudzie > 30 μ V są utożsamiane z nieprzeciętną inteligencją (stosunkowo wysoki wskaźnik obserwowany był u laureatów Nagrody Nobla). Stwierdzono także duże korelacje fal theta z niezrównoważeniem emocjonalnym. Uogólniona czynność theta występuje często w przypadku senności, w czasie hiperwentylacji lub w stanach patologicznych. Czynność ta podlega zmianom w ciągu życia człowieka.
4. Fale Beta o częstotliwości 14 - 30Hz i amplitudzie: 2 - 20 μ V pojawiają się zwykle, kiedy osoba badana jest zaangażowana w jakąś formę aktywności mentalnej np. rozwiązywanie zagadek umysłowych. Obecność tego rytmu świadczy o stanie wzbudzenia OUN. Fale rytmu beta, w przeciwieństwie do alfa nie są regularne. Dzięki badaniom podłużnym zaobserwowano, że rytm beta występuje rzadko u młodszych osób, wskaźnik czynności beta wzrasta wraz z wiekiem, aż do okresu starości kiedy ponownie ulega obniżeniu [2, 13].

Poza wymienionymi podstawowymi rytmami istotne są jeszcze fale Gamma towarzyszące zwykle aktywności ruchowej i funkcjom motorycznym. Związane są także z wyższymi procesami poznawczymi, m.in. percepcją sensoryczną, pamięcią. Przypuszcza się, że rytm gamma o częstotliwości około 40 Hz ma związek z świadomością percepcyjną (dotyczącą wrażeń zmysłowych i ich postrzegania) oraz związany jest z integracją poszczególnych modalności zmysłowych w jeden spostrzegany obiekt. Aktywność high-

gamma występuje podczas aktywacji kory mózgowej, zarówno przez bodźce zewnętrzne (np. dotykowe, wzrokowe), jak i wewnętrzne (przygotowanie ruchu, mowa) [13].

W stanie czuwania zrelaksowanego, przy oczach zamkniętych istnieje u osoby dorosłej zróżnicowanie przestrzenne zapisu EEG, polegające na występowaniu w tylnych okolicach mózgu czynności rytmicznej alfa o zakresie 8-12 Hz, a w przednich czynności (rytmu) beta o zakresie powyżej 13 Hz. Po otwarciu oczu rytm alfa w tylnych okolicach ulega zablokowaniu i pojawia się czynność szybka beta niskonapięciowa [13]. Zatem prawidłowy elektroencefalogram osoby dorosłej w czuwaniu przy zamkniętych oczach składa się z dominującej rytmicznej, regularnej czynności alfa prawidłowo zróżnicowanej przestrzennie, tzn. o amplitudzie malejącej od potylicy ku przodowi, a w odprowadzeniach przednich czołowych dominuje zazwyczaj niskonapięciowa czynność beta [12]. Taki obraz daje wizualna ocena zapisu w analogowym klasycznym aparacie EEG. Natomiast ocena zaawansowanych funkcji psychicznych możliwa jest dzięki analizom ogromnej liczby zmiennych oraz korelowanie ich wzajemnych zależności w różnych miejscach układu nerwowego przy użyciu komputerowych technik obliczeniowych.

W warunkach fizjologicznych powstają fale mózgowe o częstotliwości w zakresie 1–100 Hz oraz amplitudzie od 5 do kilkuset μV . W przypadku jakiegokolwiek patologii (np. zniszczony obszar, uszkodzenia komórek lub upośledzone przewodzenie chemiczne) opóźnia się lub przyspiesza szybkość ich przepływu, zwiększa lub zmniejsza amplituda, zmienia się ich kształt lub konfiguracja. Z punktu widzenia prowadzenia pojazdu jako sprawnego operowania urządzeniami sterowniczymi przy jednoczesnej konieczności podejmowania odpowiednich decyzji i konieczności reagowania należy zaznaczyć, iż niektóre z tych czynności znajdują swoje bezpośrednie odzwierciedlenie w obrazie fal mózgowych. Dla przykładu rytm gamma towarzyszący aktywności ruchowej i funkcjom motorycznym wiąże się też z wyższymi procesami poznawczymi, m.in. percepcją sensoryczną, pamięcią. Przyпуска się, że rytm gamma o częstotliwości około 40 Hz ma związek z świadomością percepcyjną (dotyczącą wrażeń zmysłowych i ich postrzegania) oraz związany jest z integracją poszczególnych modalności zmysłowych w jeden spostrzegany obiekt. Aktywność high-gamma występuje podczas aktywacji kory mózgowej, zarówno przez bodźce zewnętrzne (np. dotykowe, wzrokowe), jak i wewnętrzne (przygotowanie ruchu, mowa). Takie uwarunkowania mogą wpływać na całość funkcjonowania człowieka, w tym, w oczywisty sposób na zachowanie w ruchu drogowym, które pod względem poznawczym, jak i motorycznym czy emocjonalnym wymaga sprawnego funkcjonowania ośrodkowego układu nerwowego.

Zastosowanie EEG do badań zachowania kierowców jest mało popularne głównie z uwagi na koszty, jak i niewielką liczbę specjalistów z dziedziny psychologii transportu, którzy wykorzystywaliby w swojej praktyce badawczej wskaźniki analizowane na podstawie elektroencefalografii. Z przeglądu badań wynika, iż znaczna część analiz dotyczy aspektów zmęczenia i jego wpływu na zachowanie kierowcy (mierzone także potencjałami wywołanymi) [15]. Ważne z punktu widzenia prezentowanych tu analiz były badania pokazujące jak zaangażowanie poznawcze kierowcy wpływa na prowadzenie pojazdu, a także na zdolność właściwej oceny sytuacji oraz antycypowania [1]. Podczas jazdy z eksperymentalnie wprowadzonym rozproszeniem uwagi zauważono u kierowców więcej odchyień od środka pasa oraz sytuacji możliwie wypadkogennych i samych wypadków. Badanie EEG pokazało w tym przypadku wzmożoną aktywność płatów czołowych w trakcie rozproszenia oraz po zadaniu poznawczym. Zarówno w prawym jak i lewym płacie dominowały fale theta oraz niższe alfa. Inne analizy z kolei sugerują, że

fale theta wzrastające (4.5 ~ 9 Hz) w okolicy czołowej są związane z nieuwagą kierowcy i mogą być przyczyną roztargnienia w rzeczywistych sytuacjach na drodze [7].

Biorąc pod uwagę powyższe analizy zaplanowano badanie mające wskazać wpływ bioelektrycznej czynności mózgu na sprawne funkcjonowanie w ruchu drogowym, w tym radzenie sobie z obciążeniem emocjonalnym w postaci huśtawki emocji wywołanej nagłym zdarzeniem drogowym. Poprzednie analizy dowiodły, iż taka sytuacja ten może wywołać u kierowcy stan bezrefleksyjności, który nie pozostaje obojętny dla funkcjonowania poznawczego [10, 11].

2. Metodologia badań własnych

Badanie zaplanowano i przeprowadzono w Pracowni Psychologii Transportu i Symulatorów Jazdy Centrum Telematyki Transportu Instytutu Transportu Samochodowego w Warszawie. Procedura badawcza została zaprojektowana z uwzględnieniem wszelkich przeciwwskazań medycznych i psychologicznych mogących mieć wpływ zarówno na wyniki, jak i przebieg badania. Podczas rekrutacji wzięto pod uwagę nie tylko czynniki związane z posiadaniem uprawnień do kierowania pojazdem oraz aktywne uczestnictwo w ruchu drogowym, ale również kontrolowano aspekty związane z funkcjonowaniem neurologicznym. Założono brak stwierdzonej choroby o podłożu neuropsychiatrycznym lub neurodegeneracyjnym (np. padaczka), która w warunkach fotostymulacji mogłaby doprowadzić do wystąpienia ataku epilepsji, przeciwwskazaniem z uwagi na badanie symulatorowe była stwierdzona choroba lokomocyjna lub inne zaburzenia błędniaka. Badany w dniu badania nie mógł przyjmować leków ani suplementów diet, napoi energetycznych i zawierających kofeinę, alkoholu itp., musiał być wyspany/a oraz po spożyciu posiłku; na badanie miał zgłosić się z umyтыми włosami, niepokrytymi żadnymi środkami do stylizacji włosów (żel modelujący, lakier itp.).

W badaniu wzięło udział 25 kobiet i 28 mężczyzn. Średnia wieku kobiet to $M=34,68$, a mężczyzn $M=37,25$. Średnia liczba lat posiadania prawa jazdy kat. B $M=15,04$; $SD=8,21$. Wszystkie osoby codziennie aktywnie uczestniczyły w ruchu drogowym. Kontrolowano także szereg zmiennych mogących mieć wpływ na wyniki badań, tj. liczbę zatrzymań przez organy kontroli, przekraczanie prędkości, popełnianie wykroczeń drogowych itp. Badanych kategoryzowano również pod względem ustosunkowania się do agresywnego, wrogiego lub ryzykownego zachowania za kierownicą oraz czerpania przyjemności z szybkiej jazdy.

Badanie EEG wykonywano w warunkach spoczynkowych (bez dopływu bodźców słuchowych, wzrokowych i dotykowych, czas trwania około 20-30 minut), a także po zastosowaniu bodźca (zapis aktywacyjny). Do stosowanych aktywacji należały: otwarcie i zamknięcie oczu, hiperwentylacja, stymulacja błyskiem świetlnym lub światłem stroboskopowym (fotostymulacja). Zastosowano rozmieszczenie elektrod w Systemie 10-20.

Po badaniu EEG prowadzono analizę zachowania kierowcy w symulowanych warunkach drogowych. W warunkach symulatorowych sprawdzono sposób zachowania się w sytuacji wprowadzenia w huśtawkę emocjonalną. Badani mieli za zadanie przejechanie trasy na autostradzie oraz na terenie miasta. W obydwu przypadkach podczas przejazdu wprowadzono bodziec wywołujący silne emocje (wybiegające na drogę pod koła dziecko, czy odcepienie przyczepy z poprzedzającego pojazdu – obydwie sytuacje z możliwością uniknięcia kolizji), a następnie po usunięciu przeszkody, kiedy badany znajdował się w stanie huśtawki emocjonalnej, wprowadzono drugą przeszkodę. Celem było

sprawdzenie, czy osoba jest w stanie uniknąć drugiego zdarzenia będąc w stanie bezrefleksyjności w wyniku silnych emocji.

Sprawdzano także uwarunkowania temperamentalne i inne zmienne indywidualne mogące mieć wpływ na prowadzone analizy. Wzięto pod uwagę teorię temperamentu odwołującą się do biologicznych podstaw tegoż zjawiska, wskazującą na swoiste mechanizmy fizjologiczne lub biochemiczne, pozwalające na objaśnienie tej cechy, jako, między innymi, regulatora zachowania [14]. Do badania tak rozumianej własności wybrano kwestionariusz PTS (The Pavlovian Temperament Survey), którego pozycje tworzą trzy podstawowe skale: Siły procesu pobudzenia (SPP), Siły procesu hamowania (SPH) i Ruchliwości procesów nerwowych (RPP); ponadto określa się równowagę procesów nerwowych, ujmowaną jako stosunek SPP do SPH.

Ponadto przy użyciu Wiedeńskiego Systemu Testów zastosowano miary czasów reakcji badanych na prezentowane bodźce (Test RT). Analizowano średni czas reakcji oraz czas motoryczny i liczbę popełnianych błędów.

3. Wyniki badań

W początkowym etapie analiz sprawdzono jak temperament, rozumiany jako biologiczna składowa osobowości wiąże się z poszczególnymi zmiennymi. Pierwsze zależności dotyczące temperamentu zauważono w przypadku związku tej składowej osobowości z bezpiecznym uczestnictwem w ruchu drogowym. W celu sprawdzenia czy temperament wiąże się z uczestnictwem w kolizji drogowej wykonano jednoczynnikową analizę wariancji w schemacie międzygrupowym. Wynik porównania dla skali SPP okazał się być istotny statystycznie SPP $F(1,43)=8,936; p<0,05$. Badani uczestniczący w kolizji drogowej uzyskiwali wyższe wyniki w tej skali ($M=56,07; SD=5,30$), aniżeli ci, którzy nie uczestniczyli w kolizji ($M=50,00; SD=6,89$). Analiza wyników przy użyciu metody bootstrappingu wraz z analizą średnich w 95% przedziałach ufności potwierdziła wyżej opisany wynik. Nie wykazano istotnych różnic w przypadku pozostałych wymiarów temperamentu (SPH: $F(1,43)=,161; p=,690$; RPN: $F(1,43)=1,496; p=,228$).

Sprawdzono czy wyniki te potwierdzają się w warunkach symulowanej jazdy. Dokonano zatem analizy różnic temperamentalnych w kontekście powodowania kolizji w warunkach miejskich w trakcie zadania na symulatorze. W tym celu wykonano jednoczynnikową analizę wariancji w schemacie międzygrupowym. Wynik porównania na skali RPN okazał się być na poziomie tendencji statystycznej (RPN $F(1,43)=3,608; p=,064$). Badani powodujący kolizje w mieście uzyskiwali na skali ruchliwości procesów nerwowych (RPN) niższe wyniki ($M=55,8 SD=6,2$) aniżeli badani nie powodujący kolizji ($M=60,2 SD=7,81$). Ruchliwość procesów nerwowych a zatem zdolność do przestawiania się z jednej czynności na drugą stanowi jedną z podstawowych cech temperamentu. Mniejsza zdolność jednostki do szybkiego hamowania reakcji na bodziec tak, by ustąpić miejsca innej, ważniejszej w danym momencie, może odpowiadać za popełnianie błędów, których skutkiem są kolizje czy wypadki.

W pozostałych przypadkach wyniki okazały się nieistotne statystycznie: SPP $F(1,43)=2,665; p=,110$; SPH $F(1,43)=1,686; p=,20$. Wielozmiennowa analiza regresji nie wykazała także zależności pomiędzy temperamentem a czasem reakcji $F(3,41)=,259; p=,855$. Podobny wynik zaobserwowano także w przypadku czasu motorycznego $F(3,41)=,445; p=,722$ i liczby błędnych reakcji $F(3,41)=,672; p=,574$.

W toku analiz sprawdzono także zależność czynników temperamentalnych w kontekście odstępstw od normy w zapisie EEG. Przeprowadzona jednoczynnikowa

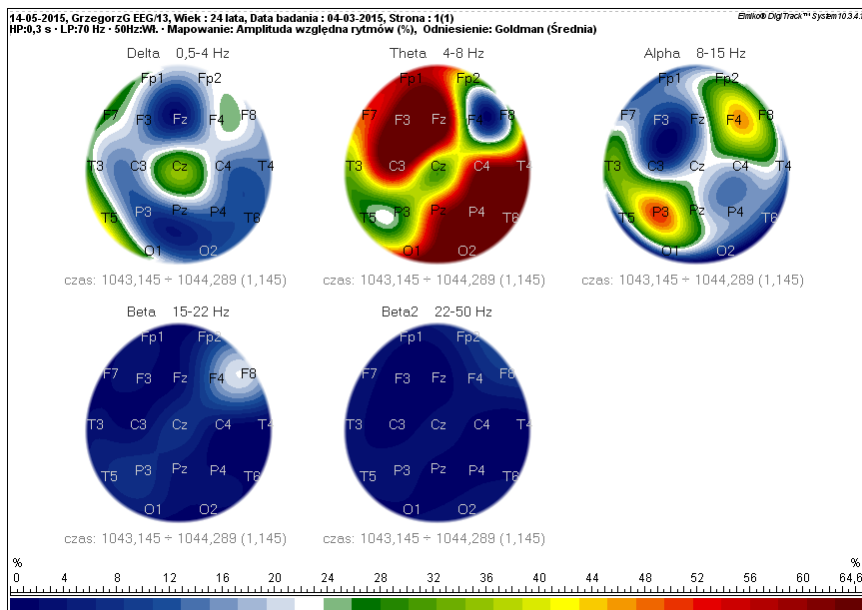
analiza wariancji w schemacie międzygrupowym pokazała istotne zależności dla skali SPH. Badani nie przejawiający odstępstw od normy uzyskiwali pod względem siły procesów hamowania średnie $M=54,31$; $SD=7,11$ a badani przejawiający odstępstwa od normy uzyskiwali $M=48,67$; $SD=6,46$. Zatem osoby nie wykazujące odstępstw uzyskiwały wyższe wyniki w tej wartości. Warto zauważyć, iż wyższa siła procesów hamowania (SPH) odpowiadająca za łatwość, z jaką układ nerwowy tworzy warunkowe reakcje hamulcowe (wygaszanie, różnicowanie, opóźnianie), przejawia się, gdy zachodzi konieczność odraczenia reakcji, hamowania pobudzeń, by stworzyć miejsce adekwatnie działającym bodźcom. Analiza wyników przy użyciu metody bootstrappingu wraz z analizą średnich w 95% przedziałach ufności potwierdziła wyżej opisany wynik (SPH $F(1,43)=4,680$; $p<0,05$). Pozostałe zależności okazały się nieistotne statystycznie SPP $F(1,43)=1,293$; $p=,262$; RPN $F(1,43)=,383$; $p=,540$. Nie odnotowano natomiast związków temperamentu z takimi jakościami w zapisie EEG jak częstotliwość rytmu Alfa, wodzenie, wahania stanu czuwania oraz wrażliwość na fotostymulację.

Jako kolejny aspekt analizowano czynność bioelektryczną mózgu i jej związek z funkcjonowaniem w ruchu drogowym. Rozpoczęto od sprawdzenia czy wahania stanu czuwania w zapisie EEG wpływają na sposób reagowania na bodźce. W celu sprawdzenia czy wahania stanu czuwania w zapisie EEG wpływają na czas reakcji, czas reakcji motoryczny czy też liczbę błędów wykonano jednoczynnikową analizę wariancji, która wykazała wartość na poziomie tendencji statystycznej w zakresie średniego czasu motorycznego. Badani, którzy przejawiali wahania stanu czuwania uzyskiwali dłuższe czasy motoryczne $M=164,09$ ms; $SD=56,38$ ms, w porównaniu do osób, które nie przejawiały wahań w stanie czuwania $M=139,38$ ms; $SD=39,97$ ms ($F(1,51)=3,026$; $p=,088$). Wynik dla skal czas reakcji ($F(1,51)=,750$; $p=,390$) i liczba błędów ($F(1,51)=,452$; $p=,505$) okazał się nieistotny statystycznie. Nie wykazano także zależności odstępstw od normy w rytmie EEG w zakresie wpływu na czas reakcji, czas reakcji motoryczny oraz liczbę błędnych reakcji. Brak wpływu na te zmienne zauważono także w przypadku wrażliwości na fotostymulację i wodzenie rytmu alfa.

W kolejnych analizach sprawdzano, w jaki sposób zakłócenia czynności bioelektrycznej wiążą się z zachowaniem na drodze. Częstotliwość fal Theta (Rys.1) w okolicach przedczołowych w przypadku osób, które spowodowały wypadek w mieście to $M=2,19$ $SD=4,88$, w przypadku wypadku w warunkach miejskich obserwowano te fale na poziomie $M=,57$ $SD=1,52$ ($F(1,51)=3,386$; $p=0,072$).

Na ogół nadmiar fal Theta (płaty czołowe) wiązany jest z dekoncentracją, rozkojarzeniem i osłabionym funkcjonowaniem poznawczym, co w kontekście prowadzenia pojazdu jest bardzo istotnym czynnikiem. Tego rodzaju zapis wpływa istotnie także na dezorganizację czynności mentalnych.

Sprawdzono też czy zakłócenia funkcjonowania bioelektrycznego mózgu wpływają na liczbę zatrzymań przez policję. Wykazano wynik na poziomie tendencji statystycznej $t(48)=1,796$; $p=0,079$. Badani bez zatrzymań mają $M=10,62$ $SD=1,04$ a badani zatrzymani jeden raz mają $M=11,21$; $SD=1,28$. Aby wyjaśnić szczegółowo ten wynik przeanalizowano także, czy fakt zatrzymania przez policję jest zależny od wieku oraz czy spowodowanie kolizji wiąże się z temperamentem? W pierwszym przypadku ($t(48)=1,922$; $p=0,061$) okazało się, że badani bez zatrzymań mają średni wiek $M=37,58$ $SD=8,25$ a badani zatrzymani jeden raz mają $M=33,26$; $SD=6,72$.



Rys. 1. Zapis bioelektrycznej czynności mózgu z uwidocznieniem nieprawidłowości dotyczących rytmu Theta

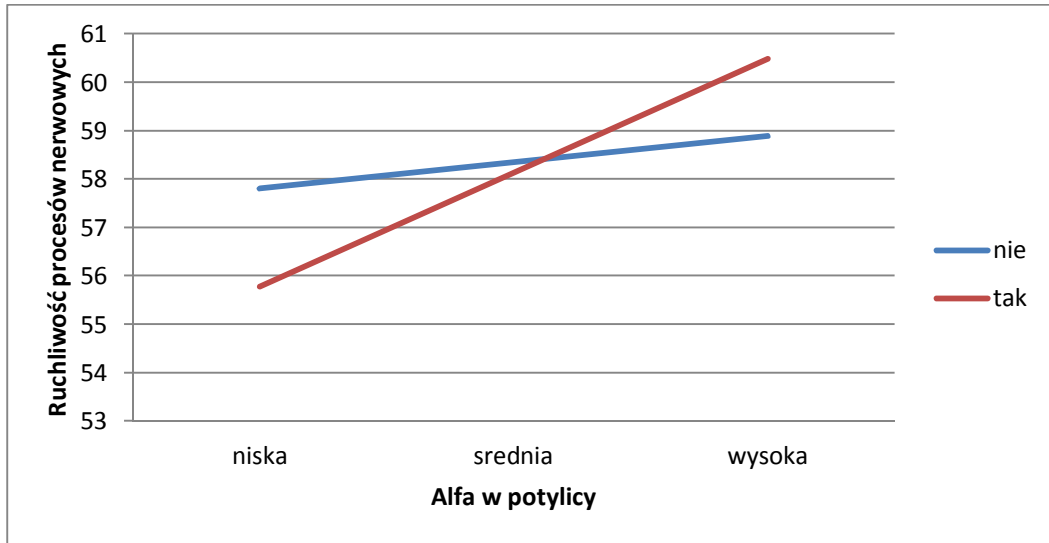
Fig. 1. A record of the bioelectrical activity of the brain with the visible irregularities in the Theta rhythm

źródło: badania własne

W toku analiz sprawdzano także moderacyjny wpływ pewnych czynników mogących wykazywać związek lub istotnie zmieniać wyniki w opisywanych zależnościach. Jednym z moderacyjnych czynników były deklaracje kierowców dotyczących czerpania przyjemności z określonego rodzaju jazdy. Sprawdzone czy przyjemność z szybkiej jazdy moderuje relację pomiędzy ilością fal alfa w okolicach potylicznych a ruchliwością procesów nerwowych (RPN). Wynik okazał się istotny w przypadku osób, które odczuwają przyjemność z szybkiej jazdy ($p=0,0357$). Dla osób lubiących szybko jeździć im wyższa częstotliwość rytmu alfa w potylicy tym wyższa ruchliwość procesów nerwowych (RPN).

Aktywność fal alfa w normalnych przedziałach jest łączona z dobrymi nastrojami i odczuciem spokoju czy odprężenia. Fale alfa są również łączone z podniesioną samoświadomością. Ponadto, jak pokazują analizy, fale alfa zwiększają ryzyko popełniania błędów. W trakcie wykonywania zadań w sposób bezrefleksyjny ich aktywność jest większa. W zadaniach wysokiego ryzyka jak np. w zawodzie kierowcy ich zwiększona ilość może doprowadzić do wypadku. Wraz z ich zwiększoną częstotliwością zmniejsza się krytyczna ocena sytuacji. Dla przykładu tzw. wyższe harmoniczne alfa oznaczają między innymi wytężoną uwagę człowieka oczekującego na pojawienie się bodźca.

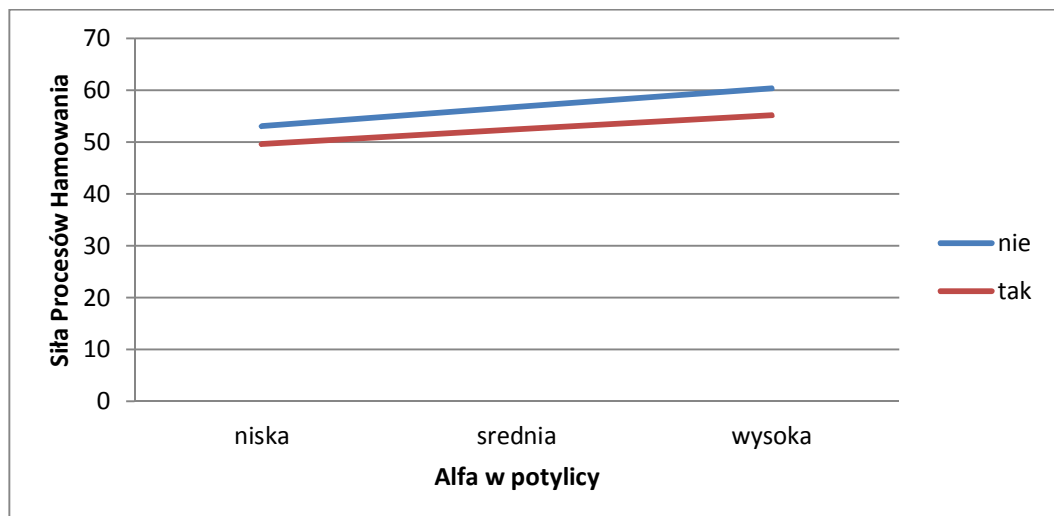
Wpływ zakłóceń bioelektrycznej czynności...



Wykres 1. Moderacyjna rola czerpania przyjemności z szybkiej jazdy w relacji pomiędzy rytmem Alfa a RPN

Chart 1. Moderation role of enjoying fast driving in the relation between the Alpha rhythm and RPN
źródło: opracowanie własne

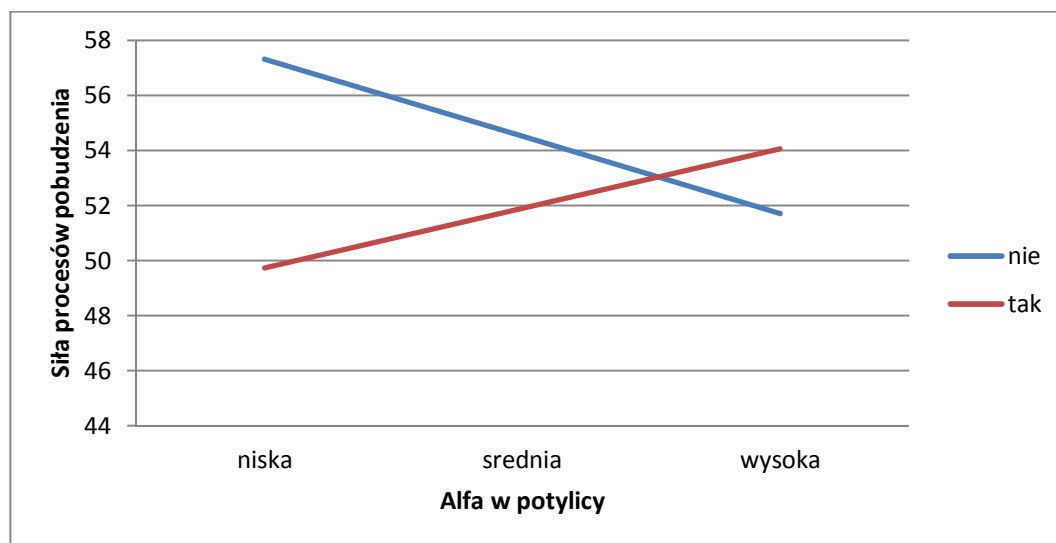
Kolejno sprawdzono czy przyjemność z szybkiej jazdy moderuje relację pomiędzy czynnością alfa w potylicy a siłą procesów hamowania (SPH). Wynik okazał się być istotny ($p=0,0115$). Dla osób lubiących szybko jeździć im wyższa częstotliwość fal alfa w obszarach potylicznych tym wyższa siła procesów hamowania (SPH).



Wykres 1. Moderacyjna rola czerpania przyjemności z szybkiej jazdy w relacji pomiędzy rytmem Alfa a SPH

Chart 2. Moderation role of enjoying fast driving in the relation between the Alpha rhythm and SPH
źródło: opracowanie własne

Kolejno określono czy przyjemność z szybkiej jazdy moderuje relację pomiędzy falami alfa w potylicy a siłą procesów pobudzenia (SPP). Wynik okazał się być na poziomie tendencji statystycznej w przypadku osób, które odczuwają przyjemność z szybkiej jazdy ($p=0,0598$). Dla osób lubiących szybką jazdę im wyższa fala alfa w potylicy tym wyższa siła procesów pobudzenia (SPP).



Wykres 3. Moderacyjna rola czerpania przyjemności z szybkiej jazdy w relacji pomiędzy rytmem Alfa a SPP

Chart 3. Moderation role of enjoying fast driving in the relation between the Alpha rhythm and SPP
źródło: opracowanie własne

Na poziomie tendencji statystycznej ($p=0,0524$) okazał się być moderacyjny wpływ czerpania przyjemności z szybkiej jazdy na relację pomiędzy obecnością fal theta w płatach czołowych a siłą procesów pobudzenia (SPP). Dla osób lubiących szybko jeździć im wyższa fala theta w tym obszarze tym niższa SPP. Z kolei w przypadku moderacyjnego wpływu spowodowania kolizji na relację pomiędzy falą alfa w potylicy a siłą procesów hamowania (SPH) wynik okazał się być istotny ($p=0,0068$). Dla osób, które spowodowały kolizję im wyższa fala alfa w potylicy tym wyższa siła procesów hamowania.

Podsumowanie i wnioski

Najistotniejsze aspekty badania wpływu zakłóceń czynności bioelektrycznej mózgu dotyczą temperamentu, a zwłaszcza jego biologicznego wymiaru związanego z wydolnością komórki nerwowej. Badani, u których nie stwierdzono zakłóceń w EEG wykazywali się wyższymi wynikami w skali siły procesów hamowania (SPH) mierzonej testem PTS. Wynik ten jest bardzo istotny z uwagi na fakt, iż cecha ta pokazuje łatwość, z jaką UN tworzy warunkowe reakcje hamulcowe (wygaszanie, różnicowanie, opóźnianie). Umiejętność ta przejawia się, gdy zachodzi konieczność odrzucania reakcji, hamowania pobudzeń, by stworzyć miejsce adekwatnie działającym bodźcom. Brak takiej umiejętności towarzyszył osobom, u których stwierdzono zakłócenia w bioelektrycznej czynności mózgu.

Bardzo ważne zależności stwierdzono w zakresie rytmu alfa. W prezentowanym badaniu stwierdzono, iż im wyższa częstotliwość rytmu alfa w płatach potylicznych tym mniejsza tendencja do podejmowania ryzykownych zachowań. Im wyższe wyniki siły procesów hamowania tym niższa prędkość podczas badania na symulatorze. Ponadto zaobserwowano szereg moderacji dla tego rytmu. I tak na przykład u osób, które preferują szybką jazdę i czerpią z niej satysfakcję, wyższej częstotliwości rytmu alfa towarzyszyły wyższe wyniki w zakresie czynników temperamentalnych mierzonych PTS, a zatem u lubiących szybko jeździć, im wyższa fala alfa w potylicy tym wyższa ruchliwość procesów nerwowych, wyższa siła procesów hamowania oraz wyższa siła procesów pobudzenia. Ciekawa moderacja dotyczy wysokiego rytmu alfa w okolicach potylicznych. Zaobserwowano, iż u osób, które spowodowały kolizję, im wyższa fala alfa w potylicy tym wyższa siła procesów hamowania.

Wyniki przeanalizowano także w kontekście struktury temperamentu, jego zharmonizowania bądź przewagi pobudzenia nad hamowaniem i odwrotnie. Badani z przewagą pobudzenia wykazywali najwyższy poziom wyników na skali ryzyka, natomiast badani z przewagą hamowania wykazywali najniższy poziom wyników na skali ryzyka. Badani z największą równowagą plasowali się na poziomie średniej. Ponadto wyższe wyniki na wszystkich podskalach kwestionariusza PTS wiązały się z wyższymi obserwowanymi parametrami EEG.

Dokładniejsza analiza zapisu EEG wykazała kolejne ciekawe zależności. Okazało się, że im wyższe zróżnicowanie przestrzenne tym dłuższy czas reakcji na hamulec. Ten sam efekt zaobserwowano u osób z wyższą częstotliwością rytmu beta. Fale beta zazwyczaj występują w okolicy czołowej. Obrazują one zaangażowanie kory mózgowej w aktywność poznawczą. Fale beta o małej amplitudzie występują podczas koncentracji uwagi, gdy mózg nastawiony jest na świadomy odbiór bodźców zewnętrznych za pomocą wszystkich zmysłów.

Wpływ zakłóceń bioelektrycznej czynności mózgu sprawdzano także poprzez analizę zachowania w warunkach symulatorowych, w stanie huśtawki emocjonalnej. Kolizję w warunkach miejskich powodowały osoby, u których zaobserwowano fale theta w okolicach czołowych. Wynik ten jest bardzo istotny, ponieważ ten rodzaj fal jest związany z aktywnością poznawczą, kojarzeniem — w szczególności uwagą, a także procesami pamięciowymi. Na ogół nadmiar fal theta w płatach czołowych powoduje dekoncentrację i problemy w skupieniu uwagi (ADD, ADHD). W przypadku ADD i ADHD obserwuje się zwolnienie czynności mózgu, zwłaszcza w rejonach czołowo-centralnych, głównie w lewej półkuli, natomiast w prawej obserwuje się zwiększone pobudzenie; przy ADHD może pojawić się w nadmiar fal szybkich w przednich partiach mózgu, co owocuje zachowaniami impulsywnymi, kompulsywnymi, buntowniczymi [8]. Przeprowadzone badania potwierdzają użyteczność zaawansowanej aparatury badawczej w badaniach zachowania kierowców, w szczególności w aspektach mniej rozpoznawalnych. Ich wyniki mogą stanowić wytyczne dla psychologów transportu i diagnostów i stanowić inspirację do pogłębienia tematyki roli psychofizjologii w psychologii transportu.

LITERATURA:

- [1] Almahasneha H., Chooib WT., Kamela N, Malik AS. (2014). Deep in thought while driving: An EEG study on drivers' cognitive distraction. *Transportation Research Part F Traffic Psychology and Behaviour* 09/2014; 26:218–226.
- [2] Aminoff, M.J. (1999): *Electrodiagnosis in clinical neurology*. New York: Churchill Livingstone.
- [3] Buss, A. H. (1991). *The EAS Theory of Temperament*. [W:] J. Strelau, A. Angleitner (red.), *Explorations in temperament: International perspectives on theory and measurement* (s. 43-60). New York: Plenum Press.
- [4] Elias, A. (1985). *Transactional Model of Temperament*. [W:] J. Strelau (red.), *Temperamental bases of behavior: Warsaw Studies on Individual Differences* (s. 41-78). Lisse: Swets and Zeitlinger.
- [5] Haufe, S., Treder, M.S., Gugler, M.F., Sagebaum, M., Curio, G. and Blankertz, B. (2011). EEG potentials predict upcoming emergency brakings during simulated driving. *Journal of Neural Engineering*, Vol. 8, No 5
- [6] Jędrzejczak, J. (2008). *EEG w praktyce klinicznej*. Wrocław: Urban&Partner
- [7] Lin CT, Chen SA, Chiu TT, Lin HZ, Ko LW. (2011). Spatial and temporal EEG dynamics of dual-task driving performance. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 2011, 8:11. Pobrano dnia 4.09.2015 z <http://www.jneuroengrehab.com/content/8/1/11>
- [8] Lubar, J. F. i Lubar, J. O. (1999). Neurofeedback assessment and treatment for attention deficit/hyperactivity disorders (ADD/HD). In J. R. Evans & A. Abarbanel (Red.) *Introduction to quantitative EEG and neurotherapy* (pp. 103-143). New York: Academic Press.
- [9] Majkowski, J. (red.) (1989). *Elektroencefalografia Kliniczna, Wyd. II Warszawa: PZWL*
- [10] Odachowska, E. (2012). Emocje na drodze. Nowe metody poszukiwania przyczyn wypadków drogowych. *Technika Transportu Szybowego* 9, 2779-2789.
- [11] Odachowska, E., Doliński, D. (2016). Beware when danger on the road has passed. The state of relief impairs a driver's ability to avoid accidents. (HF-14-4317) has been submitted by to Human Factors: *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* - w recenzji.
- [12] Prusiński, A. (1998). *Neurologia praktyczna*. Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL
- [13] Quigg, M. (2008). *EEG w praktyce klinicznej* (red.pl J.Jędrzejczak) Wrocław: Elsevier Urban&Partner
- [14] Strelau, J. (1969). *Temperament i typ układu nerwowego*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- [15] Szelenberger W. (2000) *Potencjały wywołane*. Warszawa: Wydawnictwo Elmiko.
- [16] Wróbel, A. (1997). *Zbiorcza aktywność elektryczna mózgu*. Kosmos, *problemy nauk biologicznych*, Tom 46, 3 (236), 317-326.
- [17] Yeung, N., Bogacz, R., Holroyd, C. B. i Cohen, J. D. (2004). Detection of synchronized oscillations in the electroencephalogram: An evaluation of methods. *Psychophysiology*, 41:822 - 832,.