

**Akademia Wychowania Fizycznego  
im. Jerzego Kukuczki w Katowicach**

mgr Magdalena Kowalczyk

**WPLYW TRENINGU EEG BIOFEEDBACK NA SZYBKOSC REAKCJI  
WZROKOWEJ ZAWODNIKÓW JUDO**

Rozprawa na stopień doktora nauk o kulturze fizycznej

**Promotor:** dr hab. Adam Maszczyk, prof. AWF

**Promotor pomocniczy:** dr n. med. Elżbieta Kmiecik – Małecka

**Katowice 2019**

## Spis treści

<b>Wprowadzenie</b> .....	5
<b>1. Problematyka badawcza w świetle literatury światowej</b> .....	7
1.1 Zdolność samoregulacji procesów psychofizjologicznych i koncentracji uwagi w kontekście zwiększania efektywności i szybkości przetwarzania bodźców wzrokowych zawodników .....	7
1.2 Znaczenie szybkości reakcji dla powodzenia walki judo .....	9
1.3 Czynniki determinujące czas reakcji oraz metody jego kształtowania w sporcie .....	10
1.4 Trening biofeedback i jego zastosowanie w sporcie.....	13
1.5 Trening neurofeedback – główne założenia oraz przebieg sesji szkoleniowych.....	16
1.5.1 Zastosowanie treningu EEG biofeedback w sporcie w kontekście zwiększania efektywności zawodników.....	21
<b>2. Cel badań i problematyka badawcza</b> .....	25
2.1 Cel badań .....	26
2.2 Pytania badawcze.....	26
2.3 Hipotezy badawcze .....	27
<b>3. Materiał i metody badań</b> .....	27
3.1 Charakterystyka badanych .....	27
3.2 Procedury badawcze .....	28
3.2.1 Trening EEG biofeedback.....	28
3.2.2 Testy szybkości reakcji wzrokowej .....	29
3.2.3 Cykle badań.....	30
3.3 Metody i narzędzia statystyczne .....	31
<b>4. Wyniki badań</b> .....	32
4.1 Analizy wstępne – statystyki opisowe w grupie eksperymentalnej i kontrolnej .....	32
4.2 Zależności międzygrupowe badanych zmiennych określających wyniki testów diagnostycznych wartości fal theta i beta przed sesjami EEG biofeedback .....	36
4.3 Zależności międzygrupowe badanych zmiennych określających wyniki testów diagnostycznych szybkości reakcji przed sesjami EEG biofeedback.....	42
4.4 Różnice międzygrupowe badanych zmiennych określających wartości fal theta i beta po kolejnych sesjach treningowych EEG biofeedback .....	46
4.5 Różnice międzygrupowe badanych zmiennych określających wyniki testów diagnostycznych szybkości reakcji po sesjach EEG biofeedback .....	54

4.6 Różnice pomiędzy badanymi zmiennymi określającymi wyniki testów diagnostycznych czasów reakcji przed i po przeprowadzonych treningach EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej .....	62
4.7 Wyznaczanie wielkości zarejestrowanych czasów reakcji prostej i złożonej podczas testów diagnostycznych przed i po sesjach EEG biofeedback z uwzględnieniem wszystkich cykli w grupie eksperymentalnej .....	68
4.8 Porównanie różnic pomiędzy kolejno zastosowanymi procedurami treningu EEG biofeedback, a uzyskanymi wynikami czasów reakcji złożonych i prostych w grupie eksperymentalnej .....	72
4.9 Modele regresyjne wyznaczające istotne statystycznie predykatory uzyskanych czasów reakcji prostych i złożonych w badanych grupach eksperymentalnej i kontrolnej zawodników judo podczas testów komputerowych i w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego .....	77
<b>5. Dyskusja .....</b>	<b>87</b>
<b>6. Wnioski.....</b>	<b>94</b>
<b>Streszczenie .....</b>	<b>96</b>
<b>Summary .....</b>	<b>98</b>
<b>Spis rycin .....</b>	<b>100</b>
<b>Spis tabel.....</b>	<b>103</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>108</b>

## **Wykaz skrótów użytych w dysertacji**

BFB – Biofeedback

NFB - Neurofeedback

RT – Czas reakcji

WST – Wiedeński System Testowy

OZ – oczy zamknięte

OO – oczy otwarte

KONC – koncentracja uwagi

Y1\_IC-CRPK – Czas reakcji prostej w pierwszym cyklu badań, test komputerowy

Y1\_IC-CRZK – Czas reakcji złożonej w pierwszym cyklu badań, test komputerowy

Y1\_IIC-CRPK - Czas reakcji protej w drugim cyklu badań, test komputerowy

Y1\_IIC-CRZK - Czas reakcji złożonej w drugim cyklu badań, test komputerowy

Y1\_IIIC-CRPK - Czas reakcji protej w trzecim cyklu badań, test komputerowy

Y1\_IIIC-CRZK - Czas reakcji złożonej w trzecim cyklu badań, test komputerowy

Y1\_IVC-CRPK - Czas reakcji protej w czwartym cyklu badań, test komputerowy

Y1\_IVC-CRZK - Czas reakcji złożonej w czwartym cyklu badań, test komputerowy

Y2\_IC-CRPW – Czas reakcji prostej w pierwszym cyklu badań, Wiedeński System Testowy

Y2\_IC-CRZW - Czas reakcji złożonej w pierwszym cyklu badań, Wiedeński System Testowy

Y2\_IIC-CRPW - Czas reakcji prostej w drugim cyklu badań, Wiedeński System Testowy

Y2\_IIC-CRZW - Czas reakcji złożonej w drugim cyklu badań, Wiedeński System Testowy

Y2\_IIIC-CRPW - Czas reakcji prostej w trzecim cyklu badań, Wiedeński System Testowy

Y2\_IIIC-CRZW - Czas reakcji złożonej w trzecim cyklu badań, Wiedeński System Testowy

Y2\_IVC-CRPW - Czas reakcji prostej w czwartym cyklu badań, Wiedeński System Testowy

Y2\_IVC-CRZW- Czas reakcji złożonej w czwartym cyklu badań, Wiedeński System Testowy

## **Wprowadzenie**

Głównym zadaniem procesu treningowego jest dążenie do maksymalizacji osiągnięć sportowców poprzez doskonalenie ich umiejętności (technicznych, taktycznych) oraz podnoszenie poziomu ich przygotowania motorycznego. Wymaga on zatem ciągłego doskonalenia m.in. poprzez modyfikowanie metod szkoleniowych oraz wprowadzanie nowych, innowacyjnych rozwiązań, umożliwiających rozbudzenie i pełne wykorzystywanie potencjału drzemącego w sportowcach. Wyrównany poziom przygotowania sprawnościowego, technicznego i taktycznego zawodników sprawia, że coraz większą rolę w drodze do osiągnięcia wysokich wyników sportowych odgrywa trening mentalny, czyli psychologiczne wspomaganie sportowców. Zdobyć tzw. przewagę mentalną nad przeciwnikiem – a więc rozwijanie optymalnej mobilizacji nie tylko fizycznej, ale również psychicznej zawodników – niejednokrotnie decyduje o ostatecznym wyniku rywalizacji sportowej, a także pozytywnie wpływa na proces szkolenia sportowców, zwiększając m.in. efektywność działań podejmowanych w celu doskonalenia ich sprawności.

Badania z zakresu psychologii sportu szeroko analizują poszczególne aspekty wydajności zawodników, starając się jednocześnie wyodrębnić te, które w największym stopniu oddziałują na osiągnięcie optymalnych wyników sportowych. Ustalono, że głównymi psychologicznymi determinantami sukcesu są umiejętności z zakresu zarządzania poziomem pobudzenia, samokontroli emocji, zdolności koncentracji i relaksacji, a także samoświadomość zawodnika (Krane i Williams 2006, Gould i Maynard 2009, Gould i wsp. 2002, Anderson i wsp. 2014). Udowodniono również, że każda zmiana stanu mentalnego człowieka wiąże się z określonymi reakcjami fizjologicznymi organizmu. To wzajemne oddziaływanie na siebie czynników psychologicznych i fizjologicznych opisane zostało w literaturze jako zasada psychofizjologii (Green i wsp. 1970). Uważa się, że osiągnięcie równowagi emocjonalnej przez sportowca warunkuje optymalną aktywację jego układu nerwowego, prowadzącą do wzrostu jego umiejętności adaptacyjnych i funkcji poznawczych. Dotychczasowe ustalenia naukowe potwierdzają, że zdolność samokontroli i samoregulacji stanów psychicznych i fizjologicznych zawodnika prowadzi do poprawy jego ogólnej wydajności (Dupee i wsp. 2015, Anderson i wsp. 2014, Jones i wsp. 2007, Ravizza 2006). To z kolei wskazuje na potrzebę uwzględnienia w treningu umiejętności psychologicznych sportowców obydwu tych komponentów (Edmonds i Tenenbaum 2011, Harrison 2011, Williams i Harris 2006).

Jedną z innowacyjnych metod integrujących naukę kontrolowania stanów emocjonalnych z regulowaniem fizjologicznej odpowiedzi organizmu jest zastosowanie, wciąż jeszcze mało poznanego w sporcie, treningu EEG biofeedback. Celem niniejszej pracy jest poszerzenie dotychczasowej wiedzy dotyczącej skuteczności zastosowania szkolenia neurofeedback w sporcie wyczynowym, a także opracowanie optymalnego protokołu treningowego, wykorzystującego elektroencefalografię (EEG) oraz biologiczne sprzężenie zwrotne w celu zwiększania koncentracji oraz poprawy czasów reakcji u judoków.

## **1. Problematyka badawcza w świetle literatury światowej**

Badania nad wydajnością sportową zawodników wykazały, że odpowiednie stosowanie strategii kontroli zarządzania emocjami prognozuje lepsze rezultaty podczas rywalizacji (Krane i Williams 2006). Niewłaściwy stan mentalny sportowców może bowiem negatywnie wpływać na ich funkcjonowanie oraz wywoływać dysonans pomiędzy ich rzeczywistym potencjałem, a wynikami osiąganymi w sporcie. Często zdarza się, że zawodnicy, mimo atrybutów technicznych, taktycznych czy fizycznych, nie są w stanie w pełni wykorzystać swoich możliwości. Powodem obniżonej wydajności są zazwyczaj problemy z odpowiednią samoregulacją procesów psychofizjologicznych, które uniemożliwiają zawodnikom optymalne dostosowanie się do wymagań konkurencji. Badania dowodzą, że konsekwencjami niewłaściwego poziomu pobudzenia układu nerwowego mogą być m.in. zaburzenia koncentracji uwagi (Janelle i wsp. 1999), obniżona sprawność motoryczna (Eysenck i wsp. 2007) oraz wydłużony czas odpowiedzi na bodźce (Decroix i wsp. 2016). Skutki podwyższonego napięcia psychicznego znajdują także swoje odzwierciedlenie w zapisie EEG oraz w innych zmiennych fizjologicznych, takich jak m.in. częstość akcji serca, oddechów, napięcie mięśniowe czy temperatura skóry.

Badania przeprowadzone na australijskich elitarnych sportowcach potwierdziły, że poprawa samoregulacji procesów psychofizjologicznych znacząco pomogła w nauce osiągania przez nich optymalnego stanu działania (Anderson i wsp. 2014), opisywanego w literaturze jako tzw. stan przepływu (flow) (Jordanova i Demerdzieva 2010). Wyzwaniem, przed którym stoją trenerzy i psychologie sportu jest zatem opracowanie i wdrożenie w proces szkolenia zawodników efektywnych metod dążących do rozwijania umiejętności samoregulacji psychofizjologicznej tak, aby wspomóc ich w uzyskiwaniu optymalnego, indywidualnego stanu pobudzenia, umożliwiającego osiągnięcie szczytowej wydajności, zarówno podczas treningów jak i zawodów, zgodnie z ich rzeczywistym potencjałem.

### **1.1 Zdolność samoregulacji procesów psychofizjologicznych i koncentracji uwagi w kontekście zwiększania efektywności i szybkości przetwarzania bodźców wzrokowych zawodników**

Zdolność do uzyskiwania pożądanego stanu psychofizjologicznego przez zawodnika wpływa na zwiększenie jego koncentracji oraz motywacji, a także umożliwia osiągnięcie optymalnego pobudzenia układu nerwowego, odpowiedzialnego za regulację oraz integrację

działania całego organizmu stosownie do zmian zachodzących w otoczeniu (Gracz i Sankowski 2007). Dzięki temu usprawnieniu ulegają procesy odbioru różnego typu bodźców z poszczególnych receptorów oraz wzrasta zdolność do szybkiego reagowania na nie pobudzeniem.

Dotychczasowe ustalenia naukowe sugerują, że większa wytrzymałość psychiczna zawodnika – w tym jego zdolność do skupiania uwagi pod presją konkurencji – znacząco wpływa na poprawę rezultatów podczas rywalizacji (Golby i wsp. 2003, Nicholls i wsp. 2009, Jones i wsp. 2007, Thelwell i wsp. 2010). Znaczenie koncentracji i wytrwałości w kontekście osiągnięcia najwyższych wyników sportowych podkreślają również sami trenerzy i zawodnicy (Moran 1996, Robazza i Bartoli 1998, Gould i wsp. 2002, Gould i wsp. 1993, Jones i wsp. 2007). Zapaśnicy, będący medalistami Igrzysk Olimpijskich w Seulu, utrzymywali, że w osiągnięciu ich sukcesu pomogły im szeroko stosowane strategie kontroli emocjonalnej, wywołujące ich zwiększoną koncentrację uwagi oraz podnoszące zdolność do szybkiego reagowania na zmieniające się dynamicznie sytuacje w trakcie walki (Orlick i Partington 1988). Sportowcy olimpijscy, którzy nie odnieśli znaczących sukcesów w swojej dyscyplinie twierdzili natomiast, że nie byli wystarczająco przygotowani, aby skutecznie radzić sobie z czynnikami rozpraszającymi (Orlick i Partington 1987).

Subiektywne odczucia zawodników potwierdzają badania naukowe, które wskazują na znaczącą rolę umiejętności samokontroli i samoregulacji emocjonalnej w kontekście zwiększania koncentracji, a także zdolności przetwarzania wzrokowego i szybkiego formułowania odpowiedzi motorycznych w zmiennych warunkach. Zakłócenie równowagi autonomicznego układu nerwowego oraz związane z tym osłabienie procesów uwagi, zdecydowanie utrudniają zawodnikom optymalne podejmowanie aktywności, zmuszając do podwyższonego wysiłku w celu uzyskania podobnej skuteczności. W konsekwencji zaburzony zostaje automatyzm działania, co powoduje wyraźny spadek wydajności sportowej (Taylor i wsp. 2008). Wiadomo również, że niewłaściwy poziom skupienia zawodnika zwiększa jego podatność na bodźce rozpraszające, powodując wydłużenie jego czasów reakcji i opóźnienie podejmowanych odpowiedzi motorycznych. To z kolei może przesądzić o ostatecznym wyniku rywalizacji. Nie ulega zatem wątpliwości, że umiejętność selektywnej uwagi, umożliwiająca koncentrację tylko na najistotniejszych, z punktu widzenia wykonania zadania, bodźcach jest istotną cechą elitarnych sportowców (Gould i wsp. 2002).

Naukowcy sugerują, że przebieg procesów uwagi zawodników zmienia się w miarę nabierania przez nich doświadczenia sportowego (Neumann i Thomas 2011). Wykazano, że sportowcy rugby rywalizujący na poziomie międzynarodowym



charakteryzowali się lepszą koncentracją niż zawodnicy krajowi (Golby i Sheard 2004). Do podobnych wniosków doszedł również Atkinson (2013), który analizując związek kontroli emocjonalnej piłkarzy na różnych poziomach zaawansowania stwierdził, że doświadczenie zawodnika wiązało się z lepszą równowagą psychofizjologiczną (Atkinson 2013). Wiele badań potwierdza także, że wysoka koncentracja i związana z nią wzmożona czujność zawodników, osiągnięta w warunkach optymalnego pobudzenia ich układu nerwowego, usprawnia przebieg procesów poznawczych oraz wpływa na skrócenie ich czasów reakcji (Kaur i wsp. 2006, Rietjens i wsp. 2005, Decroix i wsp. 2016, Le Meur i wsp. 2013).

W sporcie, takim jak judo, gdzie uwaga wizualna oraz jej wkład w proces podejmowania decyzji i planowania właściwej odpowiedzi motorycznej ma kluczowe znaczenie dla powodzenia działań zawodnika, wysoki poziom koncentracji i zdolność do szybkiego reagowania na bodźce wizualne jest szczególnie ważna. Dlatego też wskazanym jest, aby w procesie treningowym judoków dążyć do doskonalenia umiejętności właściwego skupiania uwagi oraz szybkiego jej odzyskiwania po rozproszeniu, aby usprawnić ich mechanizmy przetwarzania wzrokowego oraz poprawić czas reagowania na bodźce.

## **1.2 Znaczenie szybkości reakcji dla powodzenia walki judo**

Szybkość należy do zbioru cech motorycznych stanowiących podstawę kompleksowego wytrenowania zawodnika niemal w każdej dyscyplinie sportu. W judo ma ona znaczenie szczególne ze względu na konieczność jej przejawiania w złożonych, zmiennych warunkach.

Szybkość definiowana jest jako zdolność do wykonywania ruchów w jak najkrótszych dla danych warunków jednostkach czasu (Sozański 1999). Wyrażana jest ona poprzez trzy parametry: czas reakcji, czas ruchu prostego oraz częstotliwość ruchów. Każdy z ww. elementów składowych ma określony wpływ na ogólny poziom szybkości reprezentowany przez zawodnika. Na etapie treningu specjalistycznego największą wagę przywiązuje się do kształtowania tych parametrów, które są szczególnie istotne dla danej dyscypliny sportu. W judo – ze względu na konieczność szybkiego i adekwatnego działania w odpowiedzi na dynamicznie zmieniające się warunki, takie jak m.in. przemieszczenie przeciwnika oraz poszczególne ruchy jego ciała – ważne jest doskonalenie czasów reakcji judoków jako jednego z elementów ich treningu szybkości.

Wysoka sprawność procesów spostrzegania oraz dobrze funkcjonujące mechanizmy bezzwłocznej i precyzyjnej odpowiedzi zawodnika na obserwowane sytuacje w czasie rywalizacji, umożliwiają zaskoczenie rywala, wyprzedzenie jego działań oraz narzucenie własnej inicjatywy w czasie pojedynku. Sprzyja to z kolei zaburzeniu wypracowanych

schematów walki przeciwnika, ułatwia realizację własnych zadań taktycznych oraz może prowadzić do zdobycia przewagi podczas rywalizacji. To jednak nie jedyny powód, który skłania trenerów do poszukiwania efektywnych metod kształtowania szybkości, w tym doskonalenia czasów reakcji na bodźce wzrokowe, wśród zawodników tej dyscypliny.

Niedawne zmiany w przepisach judo, wprowadzające bardziej rygorystyczne kary za brak aktywności zawodników podczas rywalizacji sprawiają, że judocy muszą podejmować działania ofensywne coraz szybciej. Brak możliwości wygrania walki jedynie poprzez kary nałożone na przeciwnika (*shido*) w sytuacji, kiedy zawodnik nie przeprowadził żadnych akcji punktowanych (*waza – ari*) również wskazują kierunek zmian zachodzących w tym sporcie, zmierzający do zdobywania zwycięstwa na podstawie precyzyjnie i szybko wykonywanych technik, a nie tylko samych przewinień przeciwnika. Skrócenie czasu walk z 5 min. do 4 min. to kolejny element wprowadzonych modyfikacji, skłaniający judoków do podejmowania częstszej aktywności w ataku oraz unikania przyjmowania postawy pasywnej. Tendencja zmierzająca do wzrostu dynamiki walk w judo sprawia, że przewagę zdobywać będą sportowcy prezentujący wysoki poziom przygotowania szybkościowego o dobrze rozwiniętych mechanizmach percepcji wzrokowej. To z kolei inicjuje potrzebę usprawniania przebiegu procesów przetwarzania informacji związanych z wyborem optymalnej i szybkiej odpowiedzi motorycznej na obserwowane działania przeciwnika, a także rozwijanie umiejętności samoregulacji procesów psychofizjologicznych sportowców, umożliwiającej efektywne wykorzystanie tych umiejętności podczas rywalizacji.

### **1.3 Czynniki determinujące czas reakcji oraz metody jego kształtowania w sporcie**

Czas reakcji (RT) stanowi miarę szybkości przetwarzania ośrodkowego układu nerwowego człowieka i odzwierciedla poziom koordynacji nerwowo – mięśniowej, przez co uważany jest za ważny wskaźnik ludzkiej wydajności. Pod pojęciem czasu reakcji rozumie się okres, jaki upływa od momentu prezentacji bodźca do momentu zapoczątkowania ruchu w odpowiedzi na niego (Madden 2001). Jest to proces, który przebiega wieloetapowo, począwszy od powstania pobudzenia w receptorze ( $t_1$ ), poprzez jego przekazanie do ośrodkowego układu nerwowego (OUN) ( $t_2$ ), a następnie do ośrodka ruchowego, gdzie po uformowaniu sygnału wykonawczego ( $t_3$ ) i przekazaniu go do mięśnia ( $t_4$ ), następuje jego pobudzenie, zmiana jego napięcia i zainicjowanie ruchu ( $t_5$ ). Można zatem przedstawić go według wzoru:  $T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$  (gdzie  $T$  = czas reakcji) (Sozański i wsp. 2015). Istnieją metody umożliwiające doskonalenie czasów reakcji, jednak przyjmuje się,

że szybkość przewodzenia nerwów czuciowych oraz ruchowych ( $t_2$  i  $t_4$ ) jest wartością względnie stałą, która nie zmienia się pod wpływem treningu (Sozański 1999).

Luce i Welford opisali trzy typy reakcji: reakcję prostą (jeden bodziec – jedna odpowiedź), różnicową (dwa lub więcej bodźców przy konieczności reakcji tylko na jeden z nich) oraz reakcję z wyborem (różne reakcje na różne bodźce) (Welford 1980, Luce 1986). Ich pomiarów dokonuje się za pomocą specjalnych urządzeń rejestrujących czas odpowiedzi z dokładnością do 0,01 lub 0,001 sek.

Szybkość reakcji zawodnika uzależniona jest od wielu czynników, wśród których wymienia się m.in. wiek i płeć. Sterkowicz i wsp. (2012) wykazali, że judocy należący do kategorii juniorów uzyskiwali lepsze minimalne czasy reakcji złożonej niż seniorzy (Sterkowicz i wsp. 2012), co potwierdza wcześniejsze ustalenia naukowe sugerujące, że wraz z wiekiem stopniowo wzrasta czas odpowiedzi na bodźce (Deary 2011). Analiza danych empirycznych wykazała również, że czas reakcji uzależniony jest od płci i że jest on dłuższy u kobiet. Badania przeprowadzone wśród judoków wykazały, że zawodniczki tej dyscypliny sportu charakteryzowały się wolniejszą reakcją na bodźce niż mężczyźni (Sterkowicz i wsp. 2009). Podobne wnioski przedstawili Der i Deary (2006), obserwując wolniejsze inicjowanie ruchów po ekspozycji bodźca wśród kobiet (Der i Deary 2006). Najnowsze badania również potwierdzają powyższe ustalenia (Jain i wsp. 2015, Nikam i wsp. 2012, Ghisletta 2018).

Stopień doświadczenia sportowego oraz aktywność fizyczna to kolejne elementy rozpatrywane w literaturze w kontekście oddziaływania na szybkość odpowiedzi motorycznej. Wykazano, że elitarni zawodnicy sportów walki mieli lepsze średnie czasy reakcji z wyborem niż ich mniej zaawansowani współzawodnicy (Grushko i wsp. 2016), co może sugerować, że wieloletnie treningi korzystnie wpływają na sprawność procesów przetwarzania impulsów. Podobne dane uzyskano badając grupę szermierzy, gdzie stopień doświadczenia sportowego wyraźnie korelował z krótszymi czasami reakcji (Williams i Walmsley 2000).

Zaobserwowano, że osoby podejmujące regularną aktywność fizyczną znacznie szybciej reagują na pojawiające się bodźce niż ludzie prowadzący siedzący tryb życia (Nakamoto i Mori 2008, Jain i wsp. 2015). Ghuntla i wsp. (2012) wykazali, że koszykarze prezentowali szybsze czasy reakcji niż grupa kontrolna składająca się z osób nietreningujących (Ghuntla i wsp. 2012). Sprawniejsze funkcjonowanie układu nerwowego zawodników oraz związane z tym szybsze przetwarzanie przez nich bodźców można tłumaczyć większymi

umiejętnościami koncentracji uwagi, lepszą koordynacją mięśniową oraz szybkością i dokładnością działania, które cechują doświadczonych sportowców (Gavkare i wsp. 2013).

Niektóre badania wykazały również istotne statystycznie, chociaż niewielkie różnice w funkcjonowaniu poznawczym między osobami prawo i leworęcznymi (Shelton i wsp. 2010, Nikam i wsp. 2012, Al-Hashel i wsp. 2016). Eckner i wsp. (2010) zaobserwowali, że piłkarze leworęczni charakteryzowali się krótszymi średnimi czasami reakcji w porównaniu z zawodnikami praworęcznymi (Eckner i wsp. 2010), co jest zgodne z wcześniejszymi wynikami uzyskanymi przez Dane i Erzurumluoglu (2003) wśród szczypiornistów, które sugerowały, że osoby leworęczne mogą mieć wrodzone predyspozycje związane z szybszym przetwarzaniem bodźców wzrokowych (Dane i Erzurumluoglu 2003).

Do czynników wpływających na czas reakcji zalicza się również rodzaj i intensywność działającego bodźca oraz stopień złożoności zadania. Shelton i Kumar (2010) porównali czas przetwarzania informacji wzrokowych i słuchowych wśród sportowców i ustalili, że reakcje na bodźce dźwiękowe wywoływały szybszą odpowiedź (Shelton i Kumar 2010). Doniesienia te potwierdziły również późniejsze analizy naukowców (Jain i wsp. 2015). Ustalono, że średni czas reakcji prostej na bodźce wzrokowe wynosi ok. 180 – 200 ms, natomiast na bodźce słuchowe ok. 140 – 180 ms (Thompson i wsp. 1992). Różnice w czasie przetwarzania informacji pochodzących z tych dwóch analizatorów wynikają prawdopodobnie z faktu, że impulsy wizualne docierają do mózgu wolniej (20 – 40 ms) niż wrażenia słuchowe (8 – 10 ms) (Kemp 1973, Shelton i Kumar 2010). U sportowców powyższe wartości mogą ulec skróceniu, wiadomo jednak, że ze względu na określony minimalny czas potrzebny do przetworzenia bodźca przez system nerwowy, nie mogą być one krótsze niż 0,08 – 0,10 s (Sozański i wsp. 2015).

Czas reakcji złożonej, gdzie poziom trudności zadania jest wyższy i wymaga podejmowania różnorodnych działań w odpowiedzi na pojawiające się bodźce powoduje, że jest on dłuższy od czasu reakcji prostej, niezależnie od tego, czy prezentowany jest sygnał wizualny, dźwiękowy, czuciowy czy mieszany. Nie bez znaczenia jest również stopień natężenia sygnału. Froeberg (1907) ustalił, że dłuższe ekspozowanie impulsów wzrokowych inicjuje szybszą reakcję (Froeberg 1907), natomiast Wells (1913) zaobserwował podobne zależności w przypadku bodźców słuchowych (Wells 1913). Potwierdziły to późniejsze badania, w których stwierdzono, że im słabszy jest sygnał wizualny, tym dłuższy czas odpowiedzi na niego (Luce 1986).

Ustalono również, że czas reakcji zawodników ulega poprawie po wykonaniu serii ćwiczeń, co sugeruje, że rozgrzewka i właściwie pobudzenie organizmu może pozytywnie

wpływać na zdolność do szybkiego reagowania (Sterkowicz i wsp. 2009, Lambourne i Tomporowski 2010, Cojocariu 2011). Ważny jest jednak poziom natężenia wysiłku. W kilku badaniach odnotowano bowiem wydłużenie czasów reakcji wśród zawodników po przeprowadzeniu intensywnego treningu, w związku z narastającymi problemami z koncentracją oraz pogorszeniem funkcji poznawczych w wyniku zmęczenia (Rietjens i wsp. 2005, Le Meur i wsp. 2013, Decroix i wsp. 2016). To natomiast wskazuje, że czas reakcji uzależniony jest również od wielkości obciążenia, które według ustaleń Guiziani wpływa na poprawę szybkości działania, gdy znajduje się na poziomie 20 – 60%, a obniża tę zdolność po przekroczeniu wartości 80% (Guiziani 2006). Ponadto stwierdzono także, że optymalny stan pobudzenia emocjonalnego zawodników wpływa na skrócenie czasów reakcji, natomiast w sytuacji nadmiernego napięcia lub rozluźnienia wydłuża się czas ich odpowiedzi motorycznej (Broadbent 1971, Welford 1980). To z kolei potwierdza istotną rolę doskonalenia procesów samokontroli i samoregulacji psychofizjologicznej zawodników w kontekście zwiększania ich koncentracji i skracania czasu reagowania na bodźce.

Istotą treningu szybkości reakcji są zazwyczaj ćwiczenia polegające na systematycznym, wielokrotnym reagowaniu na prezentowane sygnały. W zależności od rodzaju reakcji – prostej lub złożonej – oraz rodzaju czynnika pobudzającego (wzrokowego, czuciowego, słuchowego lub mieszanego), wyznaczane są zadania zróżnicowane pod względem rodzaju i natężenia bodźca oraz sposobu odpowiedzi na niego (np. eksponowanie kilku różnych impulsów przy konieczności reagowania tylko na jeden z nich lub podejmowanie odmiennych reakcji na poszczególne bodźce).

Dotychczasowe ustalenia naukowe wskazują na słaby wskaźnik wytrenowalności czasu reakcji, jako jednego z elementów treningu szybkości zawodnika. Umiarkowana skuteczność metod wykorzystywanych do tej pory w kształtowaniu tej cechy skłania do poszukiwania nowych, innowacyjnych rozwiązań. Jednym z nich może być zastosowanie treningu EEG biofeedback w szkoleniu sportowców.

#### **1.4 Trening biofeedback i jego zastosowanie w sporcie**

Trening biofeedback (BFB, biologiczne sprzężenie zwrotne) to metoda szkoleniowo – terapeutyczna, polegająca na dostarczaniu badanemu, za pomocą specjalistycznego oprzyrządowania, bieżących informacji o zmianach fizjologicznych zachodzących w jego organizmie (Schwartz i Andrasik 2017). Dzięki obiektywnym pomiarom dokonywanym i przekazywanym osobie trenującej w czasie rzeczywistym może ona samodzielnie kontrolować i optymalizować procesy, które do tej pory przebiegały poza jej świadomością,

podnosząc tym samym swoją dotychczasową wydajność. Rejestrowane zmiany fizjologiczne prezentowane są w formie dźwiękowej lub multimedialnej na ekranie monitora, co ułatwia właściwą samoregulację poziomu pobudzenia. Biofeedback nie jest więc tylko biernym pomiarem, ale procesem aktywnego, świadomego nabywania umiejętności rozpoznawania i kontrolowania własnych stanów emocjonalnych oraz towarzyszących im reakcji fizjologicznych organizmu. Nowoczesna technologia pozwala na monitorowanie i regulowanie takich autonomicznych funkcji biologicznych, jak m.in. aktywność bioelektryczna mózgu (EEG biofeedback, neurofeedback), reakcja elektrodermalna skóry (biofeedback GSR), rytm i długość oddechów (biofeedback oddechowy), zmienność rytmu zatokowego (biofeedback HRV), napięcie mięśniowe (biofeedback EMG), czy temperatura ciała (biofeedback temperaturowy) (Thompson i Thompson 2003). Badania nad skutecznością treningu biofeedback prowadzono już w latach sześćdziesiątych, jednak ograniczały się one głównie do praktyki medycznej. Głównym inicjatorem zastosowania tej technologii w sporcie był Leonard Zaichkowsky, który zaproponował jej wykorzystanie w celu poprawy wydajności zawodników (Zaichkowsky 1975).

Przegląd literatury wskazuje, że sportowcy mogą nauczyć się świadomego kontrolowania procesów fizjologicznych w celu optymalizacji funkcji ich organizmu. Początkowe badania obejmujące pomiary elektrycznego przewodzenia skóry, przeprowadzone wśród lekkoatletów w celu określenia optymalnego stanu ich pobudzenia wykazały, że zarówno zbyt wysokie, jak i zbyt niskie wartości tego parametru wiązały się z obniżoną wydajnością. To z kolei doprowadziło do wniosku, że zdolność utrzymywania oporności elektrycznej skóry na określonym poziomie może przyczynić się do zwiększenia wydajności sportowej (Gracz 1977). Pozytywny wpływ łączenia różnych rodzajów szkolenia biofeedback obserwowany był wśród sportowców wielu dyscyplin, w tym u pływaków, którzy po treningu poprawili swoją wydajność pływania i biegania, podczas gdy grupa kontrolna, nieobjęta interwencją, nie wykazała podobnych zmian (Bar – Eli i Blumenstrein 2004). Wykorzystanie ww. technologii okazało się także przydatne w szkoleniu tenisistów, którzy zwiększyli dokładność wykonywanej przez siebie zagrywki w wyniku podjętej interwencji (Galloway 2011).

Przeprowadzono również wiele analiz związanych z oceną skuteczności zastosowania treningu biofeedback opartego na samokontroli częstości akcji serca i oddechu w kontekście podnoszenia efektywności działań podejmowanych przez zawodników. Zauważono, że wprowadzenie treningu biofeedback HRV u elitarnych zapaśników spowodowało znaczącą poprawę ich czasów reakcji na skutek opanowania przez nich

umiejętności utrzymywania optymalnego rytmu serca (Vaschillo i wsp. 1998). Podobne wyniki uzyskano w grupie koszykarzy, gdzie pod wpływem biofeedbacku HRV w grupie eksperymentalnej stwierdzono istotną poprawę czasu odpowiedzi na bodźce w porównaniu z grupą placebo oraz kontrolną (Paul i wsp. 2012). Nauka właściwego regulowania częstości akcji serca oraz oddechu w wyniku otrzymywanego sprzężenia zwrotnego przyniosła także znaczący wzrost osiągnięć u młodego golfisty, który po interwencji poprawił swoje zdolności radzenia sobie ze stresem konkurencji (Lagos i wsp. 2008). Badania te rozwinęto w 2011 r., gdzie potwierdzono skuteczność zastosowania metody biofeedback w szkoleniu golfistów, dostrzegając efekty już po czterech sesjach treningowych (Lagos i wsp. 2011). Szerokiej analizy danych dokonali w swoim badaniu także Raymond i wsp. (2005), przydzielając tancerzy do trzech grup badawczych o różnych interwencjach. Pierwsza grupa otrzymała szkolenie HRV biofeedback, druga – neurofeedback według protokołu alfa/theta, a trzecia – kontrolna – nie została objęta żadnymi działaniami. Okazało się, że obie grupy, w których zastosowano biologiczne sprzężenie zwrotne wykazały wzrost wydajności oraz poprawy techniki tańca, natomiast grupa bez interwencji pozostała na poziomie wyjściowym, nie wykazując istotnych zmian (Raymond i wsp. 2005).

Badania wskazują również, że zwiększanie samoświadomości i integracji psychofizjologicznej zawodnika, poprzez łączenie nauki kontrolowania różnych parametrów fizjologicznych w zakresie podejmowanego szkolenia, wiąże się z pozytywnymi skutkami dla jego wydajności. Triumf włoskiej drużyny piłkarskiej na Mistrzostwach Świata w 2006 r. przypisywany jest właśnie wdrożeniu takiego zintegrowanego treningu biofeedback (pod nazwą „Mind Room”) w plan szkoleniowy zawodników (Wilson i wsp. 2006). Stwierdzono, że umiejętność osiągnięcia i utrzymywania optymalnej równowagi psychofizjologicznej mogła pomóc Włochom w finale m.in. w wytrzymaniu presji rzutów karnych, decydujących o ostatecznym zwycięstwie z Francją.

Analiza zależności pomiędzy zdolnością samoregulacji zawodników, a ich rankingiem światowym, przeprowadzona przez Dupee i wsp. (2015) wykazała, że lepsze zarządzanie fizjologią i emocjami wyraźnie koreluje z osiąganymi wynikami sportowymi. Zawodnicy, którzy nie potrafili kontrolować swojej reakcji na stres i ulegali rozproszeniu, zajmowali niższe miejsca w klasyfikacji ogólnej (Dupee i wsp. 2015). W subiektywnej ocenie sportowców natomiast zastosowanie treningu biofeedback i neurofeedback pozwoliło im na dostrzeżenie oraz zrozumienie związku zachodzącego pomiędzy ich stanem emocjonalnym a fizjologiczną odpowiedzią organizmu,

a także pozytywnie wpłynęło na ich zdolność samoregulacji tych procesów (Dupee i wsp. 2016). Ponadto zawodnicy zauważyli, że umiejętności nabyte w czasie przeprowadzanych interwencji z zastosowaniem biologicznego sprzężenia zwrotnego były dla nich przydatne i pomocne zarówno podczas treningów, jak i zawodów sportowych.

Trwające od kilkudziesięciu lat badania wykazały, że zastosowanie metody biofeedback w treningu sportowym może zoptymalizować proces nabywania i doskonalenia umiejętności przez zawodników (Caird i wsp. 1999, Peper i Schmidt - Shapiro 1983, Bar – Eli i wsp. 2002, Strack 2003, Dekker i wsp. 2014), a także wspomóc ich w osiągnięciu tzw. stanu automatycznego, niezbędnego do przejawiania maksymalnej wydajności zarówno podczas treningów, jak i zawodów. Ze względu na udowodnioną skuteczność szkolenia biofeedback w uzyskiwaniu i świadomym kontrolowaniu równowagi psychofizjologicznej, technologia ta cieszy się obecnie coraz większym zainteresowaniem wśród sportowców, trenerów i psychologów sportu, jako obiecująca metoda kształtowania umiejętności psychologicznych zawodników.

Ustalono, że każda zmiana stanu psychicznego człowieka powoduje również zmiany w aktywności bioelektrycznej jego mózgu, które są obserwowane w zapisie EEG. Wczesne badania potwierdziły natomiast, że można nauczyć się świadomego rozpoznawania i kontrolowania tej aktywności, w celu osiągnięcia optymalnego poziomu pobudzenia (Kamiya 1968). W kontekście tych ustaleń szczególnie interesująca wydaje się być zatem metoda EEG biofeedback, która może wspomóc proces kształtowania, niezwykle ważnej w sporcie wyczynowym, umiejętności selektywnej uwagi, wpływającej na szybkość przetwarzania bodźców i efektywność działania zawodników.

### **1.5 Trening neurofeedback – główne założenia oraz przebieg sesji szkoleniowych**

Neurofeedback (NFB, EEG biofeedback) jest narzędziem umożliwiającym kształtowanie zdolności samoregulacji poszczególnych wzorców fal mózgowych, odpowiedzialnych za określone stany emocjonalne jednostki oraz za jej wydajność poznawczą (Hammond 2011). Analiza sygnałów EEG, rejestrowanych za pomocą elektrod umieszczonych na skórze głowy osoby badanej, przyjmuje przystępną dla trenującego postać graficzną, która wyświetlana jest na ekranie monitora, stanowiąc w ten sposób informację zwrotną na temat bieżących zmian zachodzących w jego umyśle. Istotą metody EEG biofeedback jest założenie, że aktywność bioelektryczna mózgu stanowi odzwierciedlenie stanów emocjonalnych badanego oraz że aktywność tę można kontrolować i modyfikować pod wpływem treningu (Thompson 2003). Przyjmując, że określone



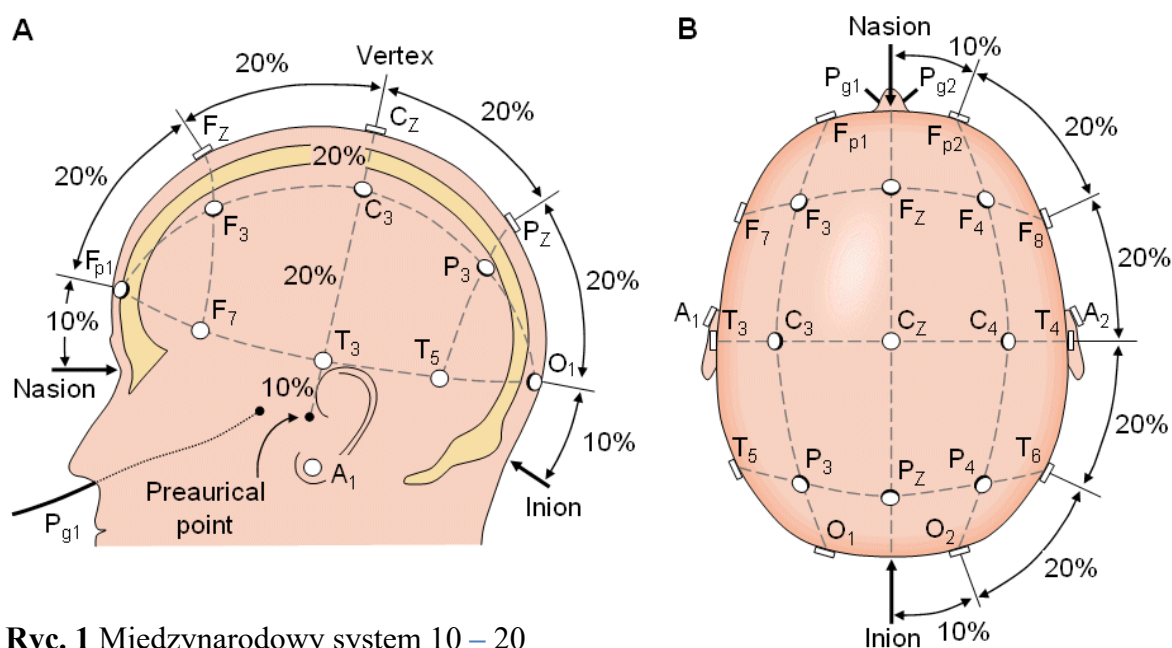
częstotliwości poszczególnych fal mózgowych mogą odpowiadać konkretnym stanom emocjonalnym, na podstawie zapisu EEG możemy określić aktualny poziom pobudzenia osoby badanej. Dzięki temu możliwe jest zaplanowanie odpowiedniego treningu, polegającego na dokonaniu modyfikacji w zakresie częstotliwości wybranych fal mózgowych (hamowanie lub ich wzmacnianie w określonych zakresach) tak, aby zawodnik opanował umiejętność generowania określonych cykli aktywności bioelektrycznej mózgu, odpowiedzialnych za osiągnięcie stanu optymalnej koncentracji i gotowości do wykonania określonego zadania.

Zapis EEG podczas treningu neurofeedback koncentruje się na analizie aktywności pięciu głównych zakresów częstotliwości: delta (1 – 3 Hz), theta (4 – 8 Hz), alfa (8 – 12 Hz), SMR (13 – 15 Hz) oraz beta, którą dzieli się na tzw. niską betę – beta 1 (13 – 21 Hz) oraz wysoką betę – beta 2 (21 – 34 Hz) (Pacheco 2016). Aktywność każdego pasma częstotliwości związana jest z określonym poziomem pobudzenia układu nerwowego. Przyjmuje się, że fale wolne (poniżej 10 Hz) – w zależności od ich częstotliwości – stają się dominujące podczas snu, w stanach zmęczenia, rozkojarzenia, a także podwyższonej kreatywności, rozluźnienia i relaksacji. Fale szybkie (powyżej 13 Hz), takie jak beta 1, związane są z kolei z koncentracją uwagi i wysoką aktywnością umysłową, sprzyjającą zwiększonej percepcji wzrokowej oraz efektywności działania. Nadmierne emocje, stres i pobudzenie pojawiają się natomiast przy dominującej aktywności fal beta 2. Ich długotrwały wzrost związany z przewlekłym napięciem emocjonalnym powoduje obniżenie aktywności pozostałych fal, wpływając negatywnie na funkcje poznawcze, kontrolę emocji i wydajność działania. Zakres wzmacnianych i hamowanych częstotliwości ustala się indywidualnie, na podstawie analizy danych uzyskanych podczas badania EEG tak, aby w procesie treningowym osiągnąć umiejętność wytwarzania optymalnych dla każdego zawodnika wzorców fal mózgowych, prowadzących do wzrostu jego wydajności.

Badanie EEG polega na monitorowaniu zmian potencjału elektrycznego związanego z aktywnością neuronów kory mózgowej za pomocą elektrod umieszczanych w określonych obszarach skóry głowy osoby badanej. Różnice napięcia wykrywane pomiędzy elektrodami, wyrażane w mikrowoltach, ulegają odpowiedniemu wzmocnieniu i próbkowaniu, dzięki czemu uzyskane dane przybierają postać cyfrową, gotową do przetworzenia przez specjalistyczne oprogramowanie komputerowe. Powstały w ten sposób zapis EEG podlega następnie filtrowaniu, dzięki któremu możliwe jest wyselekcjonowanie tylko tych częstotliwości fal mózgowych, które są istotne z punktu widzenia ustanowionych celów

treningowych, a także wyeliminowanie powstałych artefaktów, osiągających bardzo niskie (poniżej 0,5 Hz) lub bardzo wysokie częstotliwości (powyżej 50 Hz).

Elektrody umieszczane są za pomocą pasty klejąco – przewodzącej lub żelu przewodzącego w określonych punktach głowy, zgodnie z międzynarodowym systemem 10 – 20 (Ryc. 1), określającym dziesięć i dwudziestoprocentowe odległości pomiędzy standardowymi punktami orientacyjnymi czaszki: nasion, inion, vertex i preaurical (Jasper 1958). Dzięki odpowiednim pomiarom i obliczeniom wyznaczane są w ten sposób miejsca rejestracji sygnału w trzech płaszczyznach: strzałkowej, czołowej oraz poprzecznej. W zależności od umiejscowienia elektrod, oznaczone są one liczbami parzystymi (prawa strona), nieparzystymi (lewa strona) lub literą „z” (część środkowa). Pozostałe oznaczenia odnoszą się natomiast do poszczególnych obszarów głowy: czołowego (F), centralnego (C), ciemieniowego (P), potylicznego (O) oraz skroniowego (T).



Ryc. 1 Międzynarodowy system 10 – 20

Rejestracja EEG wymaga zastosowania co najmniej trzech odprowadzeń, składających się z elektrody czynnej (+), elektrody odniesienia (–) oraz uziemienia, dzięki którym wykrywane są zmiany potencjałów pomiędzy dwoma punktami (dodatnim a ujemnym). W zależności od rozmieszczenia elektrod, otrzymujemy zapis referencyjny, gdy elektroda czynna (+) umieszczana jest w jednym wybranym punkcie na skórze głowy badanego, a elektroda odniesienia (–) w miejscu względnie nieaktywnym (np. płatek ucha, wyrostek sutkowy) lub zapis sekwencyjny w przypadku, gdy obydwie elektrody czynnie rejestrują aktywność elektryczną kory mózgowej. W większości przypadków wykorzystuje się jednak

układ referencyjny, który daje pewność, że otrzymany pomiar pochodzi z obszaru znajdującego się bezpośrednio pod elektrodą. Ważne jest również ustalenie miejsca rejestracji sygnału. Podczas diagnozy jednokanałowej zazwyczaj jest to punkt Cz ze względu na jego korzystną lokalizację, pozwalającą na zminimalizowanie zakłóceń związanych z ruchem szczęki, gałek ocznych czy mruganiem, a także odpowiednie oddalenie od elektrody odniesienia, znajdującej się np. na płątku ucha. Miejsce rejestracji oraz układ elektrod podczas treningu neurofeedback ustala się natomiast w odniesieniu do wyznaczonych celów szkolenia.

Pierwsze doniesienia dotyczące zastosowania elektroencefalografii (EEG) w sporcie pochodzą z lat pięćdziesiątych. Przeprowadzone w tym czasie badania wśród zawodników boksu, pozwoliły na analizę zmian mózgowych, zachodzących pod wpływem długotrwałego narażenia na urazy głowy (Busse i Silverman 1952). Zwiększono w ten sposób możliwości skutecznej diagnozy i kontroli stanu zdrowia sportowców. To jednak niejedyne zastosowanie metody EEG w dziedzinie sportu. Elektroencefalografia pozwala również na rejestrację ważnych, z punktu widzenia wydajności sportowej, procesów korowych, towarzyszących optymalnemu wykonywaniu czynności, tworząc w ten sposób charakterystyczny profil EEG zawodnika, odpowiadający jego najwyższej skuteczności. Dyscypliny sportowe, w których występują idealne warunki do pomiaru EEG ze względu na występowanie momentu bezruchu przed podjęciem decydującego działania, takie jak m.in. strzelectwo, łucznictwo, golf, pozwoliły naukowcom na wyodrębnienie optymalnych wzorców fal mózgowych związanych ze zwiększoną efektywnością zawodników (Salazar i wsp. 1990, Babiloni i wsp. 2008, Doppelmayr i wsp. 2008). Stwierdzono także, że wzrost mocy alfa wiąże się ze zmniejszeniem aktywności neuronów w obszarach jej występowania oraz że stymulowanie tej częstotliwości w lewej półkuli mózgu powoduje dominację wizualno – przestrzennych procesów prawej półkuli, co z kolei pozytywnie koreluje ze wzrostem wydajności m.in. w sportach odpartych na różnych technikach strzeleckich (Salazar i wsp. 1990). Ustalenia te poszerzyły zasób wiedzy dotyczącej mechanizmów związanych z osiągnięciem szczytowej wydajności, umożliwiając ukierunkowanie treningu neurofeedback na naukę osiągnięcia określonej aktywności psychofizjologicznej w celu optymalizacji funkcji poznawczych, wzrokowo – ruchowych i sensomotorycznych sportowców.

Wiele przeprowadzonych do tej pory badań wykazało, że istnieją różnice psychofizjologiczne pomiędzy zawodnikami elitarnymi i mniej zaawansowanymi. Inną aktywację mózgową obserwowano również w sytuacjach zwiększonej i zmniejszonej

efektywności ich działania (Crews i Landers 1993, Haufler i wsp. 2000, Hillman i wsp. 2000, Radlo i wsp. 2002, Milton i wsp. 2007). Udowodniono, że wysoko wykwalifikowani zawodnicy charakteryzują się niższą aktywnością i wysiłkiem korowym niż zawodnicy mniej doświadczeni oraz że lepsza wydajność jest wynikiem zmniejszenia aktywacji lewej półkuli mózgu i, towarzyszącej jej, zwiększonej automatyzacji ruchów (Hatfield i wsp. 2006). Analizy zapisów EEG wykazały, że elitarni sportowcy podczas wykonywania zadania angażują tylko te obszary mózgu, które są ściśle związane z daną czynnością, hamując jednocześnie aktywność pozostałych rejonów (Deeny i wsp. 2009). Po zakończeniu zadania natomiast wykazują większy wzrost częstotliwości związanych z osiągnięciem pożądanego stanu relaksacji. Niektórzy autorzy uważają jednak, że dokonywanie modyfikacji częstotliwości poszczególnych fal mózgowych jest bardziej efektywnym działaniem niż akcentowanie roli aktywacji określonych półkul mózgowych podczas treningu (Vernon 2005). Wczesne badania przeprowadzone wśród siatkarzy sugerowały także różnice we wzorcach fal mózgowych w sytuacjach skupienia i rozproszenia ich uwagi (Wilson i wsp. 1985). Ustalenia te potwierdzają, że wytworzenie przez zawodnika optymalnego stanu psychofizjologicznego przed wykonaniem określonego zadania może w znaczącym stopniu oddziaływać na skuteczność jego działania.

Zastosowanie metody EEG w sporcie wiąże się jednak z pewnymi trudnościami, obejmującymi pozyskiwanie danych pochodzenia mózgowego, wolnych od artefaktów związanych z napięciem mięśniowym, poceniem się, czy niekontrolowanym przemieszczaniem się elektrod, które nasilają się, gdy osoba badana znajduje się w ruchu. To sprawia, że konieczne jest zapewnienie odpowiednich warunków pomiaru oraz ściśle przestrzeganie określonych zasad rejestracji sygnału. Istotne znaczenie w eliminowaniu występowania większości zakłóceń ma przede wszystkim dokładny montaż elektrod, zapewniający ich stabilność oraz monitorowanie i utrzymywanie stałego, niskiego poziomu impedancji. Ważne jest również stworzenie optymalnych warunków pomiaru, które w połączeniu z nowoczesną technologią zapisu EEG, sprzyjają obniżeniu występowania artefaktów w trakcie rejestracji sygnału. Współczesne narzędzia pozwalają również na późniejsze oczyszczanie zapisu EEG z ewentualnych zakłóceń (Thompson i wsp. 2008).

Zastosowanie elektroencefalografii w sporcie stawia więc przed naukowcami pewne wyzwanie związane z uzyskiwaniem odpowiedniego zapisu EEG, jednak dzięki właściwemu planowaniu badań i zapewnieniu właściwych warunków pomiaru można skutecznie zmniejszać wpływ powstałych zakłóceń, otrzymując miarodajne wyniki.

### **1.5.1 Zastosowanie treningu EEG biofeedback w sporcie w kontekście zwiększania efektywności zawodników**

Badania naukowe nad skutecznością treningu neurofeedback szeroko analizują jego zastosowanie w praktyce klinicznej, szczególnie w aspekcie regulowania takich zaburzeń, jak m.in. deficyty uwagi występujące w zespole nadpobudliwości psychoruchowej (Arns i wsp. 2009), a także w leczeniu epilepsji (Sterman 2000) czy bezsenności (Cortoso i wsp. 2010). Zdecydowanie mniej publikacji na ten temat można natomiast znaleźć w dziedzinie sportu. Przeprowadzone dotąd badania wśród zawodników różnych dyscyplin sportowych wykazały jednak, że kształtowanie umiejętności wytwarzania określonych wzorców aktywności korowej w wyniku zastosowania treningu neurofeedback, korzystnie wpływa na zwiększanie ich efektywności, a także osiągnięte przez nich wyniki sportowe (Sherlin i wsp. 2015). Dotychczasowe ustalenia naukowców wskazują zatem, że metoda ta może stanowić cenne narzędzie w psychologii sportu w zakresie optymalizacji treningu mentalnego zawodników, poprzez kształtowanie ich zdolności do uzyskiwania właściwego poziomu pobudzenia układu nerwowego, umożliwiającego odpowiednią adaptację, koncentrację i automatyzm działania, mimo warunków podwyższonego stresu konkurencyjnego.

Przeprowadzenie 15 sesji szkoleniowych z zastosowaniem metody EEG biofeedback wśród strzelców karabinowych, w oparciu o protokoły SMR oraz alfa/theta, z jednoczesnym hamowaniem wysokich częstotliwości fal beta (beta2), spowodowało znaczącą poprawę ich celności w porównaniu z grupą kontrolną, nie biorącą udziału w treningu (Rostami i wsp. 2012). Zwiększoną precyzję strzelania wśród zawodników pod wpływem wzmacniania aktywności fal mózgowych alfa wykazali wcześniej również Domingues i wsp. (2008), co może sugerować, że stymulowanie tej częstotliwości korzystnie wpływa na optymalizację procesów wzrokowo – przestrzennych i motorycznych podczas strzelania (Domingues i wsp. 2008). W badaniach tych nie było jednak grupy kontrolnej, co stanowi pewnie ich ograniczenie. Pozytywny wpływ treningu neurofeedback zaobserwowano także wśród piłkarzy, gdzie po 12 sesjach szkoleniowych przeprowadzonych według protokołu alfa/theta uzyskano znaczącą poprawę wyników sportowych oraz zmniejszenie odczuwania lęku w grupie eksperymentalnej (Zadkhosh i wsp. 2017). Badania pilotażowe przeprowadzone z kolei wśród elitarnych gimnastyczek zasugerowały pozytywne relacje pomiędzy wzmacnianiem częstotliwości fal alfa wśród zawodniczek, a poprawą ich równowagi emocjonalnej (Dekker i wsp. 2014).

Wykazano, że trening EEG biofeedback, ukierunkowany na naukę relaksacji poprzez wzmocnienie fal alfa, przy jednoczesnym hamowaniu wysokich fal beta (beta2), wpłynął m.in. na skrócenie czasów reakcji u elitarnych kanadyjskich łyżwiarzy szybkich. W wyniku podjętej interwencji, będącej częścią treningu umiejętności psychologicznych zawodników, stanowiącego integralną część całego procesu szkoleniowego, odnieśli oni – zarówno indywidualnie jak i zespołowo – znaczące sukcesy podczas startu na Igrzyskach Olimpijskich w Vancouver w 2010 r. (Beauchamp i wsp. 2012).

Za pomocą metody EEG biofeedback kształtowano również zdolność osiągnięcia optymalnej aktywacji psychofizjologicznej, związanej ze zwiększoną koncentracją, percepcją wzrokową oraz lepszymi zdolnościami adaptacyjnym wśród innych elitarnych sportowców, przygotowujących się do występu na Igrzyskach Olimpijskich w 2010 r. Program szkoleniowy został zaplanowany w taki sposób, aby umożliwiał on kształtowanie umiejętności utrzymywania tzw. wąskiej i szerokiej uwagi przez zawodników, zdolność celowego, płynnego przechodzenia pomiędzy tymi dwoma stanami skupienia, a także osiągnięcia pełnej relaksacji po zakończeniu zadania. Za kluczowy element warunkujący osiągnięcie tych celów uznano utrzymywanie niskiego poziomu wysokich fal beta (beta2). Wyniki badania wykazały, że wszyscy zawodnicy nauczyli się rozpoznawać i regulować swoje stany pobudzenia, co w ocenie ich trenerów, wpłynęło z kolei na ich lepsze radzenie sobie ze stresem zarówno podczas treningów, jak i zawodów, oddziałując korzystnie na osiągnięte przez nich wyniki sportowe (Dupee i Werthner 2011).

Sherlin i wsp. (2013) przeprowadzili miesięczny trening neurofeedback wśród sześciu wysoko wykwalifikowanych baseballistów, obejmujący 15 sesji szkoleniowych. Analiza uzyskanych wyników wykazała, że zawodnicy zwiększyli swoją koncentrację uwagi, poprawili równowagę emocjonalną, a także jakość snu (Sherlin i wsp. 2013). Skuteczność szkolenia EEG biofeedback została również przeanalizowana w kontekście zwiększania wydajności gimnastyczek, gdzie podczas 10 sesji treningowych realizowanych przez okres pięciu tygodni wzmocniano fale SMR, przy jednoczesnym hamowaniu fal theta. Ponadto kontrolowano również zmienność rytmu serca, wykorzystując HRV biofeedback. Ocena dotycząca postępów zawodniczek dokonana przed i po przeprowadzeniu treningu wykazała poprawę ich efektywności (Perry i wsp. 2011). Analogiczny protokół szkoleniowy NFB, mający na celu zwiększanie aktywności rytmu czuciowo – ruchowego (SMR) i hamowanie fal wolnych theta zastosowano u tenisistów, rywalizujących na szczeblu krajowym, gdzie po zrealizowanym treningu uzyskano znaczącą poprawę ich wskaźników psychologicznych i fizjologicznych (Wilson i wsp. 2011). Badania dotyczące skuteczności

treningu neurofeedback w aspekcie zwiększania efektywności sportowców przeprowadzono również wśród golfistów, gdzie grupę eksperymentalną poddano szkoleniu zwiększającemu aktywność fal SMR. W wyniku podjętej interwencji zaobserwowano wzrost tej częstotliwości w zapisie EEG zawodników, która korelowała z ich podwyższoną efektywnością, przejawiającą się zmniejszeniem średniej odległości od dołka po wykonanym uderzeniu, a także większą powtarzalnością wyników. Nie odnotowano natomiast podobnych zmian w grupie kontrolnej, która nie została poddana szkoleniu (Cheng i wsp. 2015).

Landers i wsp. (1991) przeprowadzili badania wśród łuczników z zastosowaniem różnych protokołów treningu EEG biofeedback. Pierwsza grupa badawcza otrzymywała prawidłowe sprzężenie zwrotne, związane z korzystnym – z punktu widzenia zwiększania wydajności – obniżaniem aktywności lewej półkuli mózgu poprzez stymulowanie aktywności fal alfa. W drugiej grupie wzmacniano tę częstotliwość w przeciwnym obszarze, co, zgodnie z dotychczasową wiedzą, nie wpływa korzystnie na efektywność działania. Trzecia grupa, będąca grupą kontrolną, nie otrzymała żadnej interwencji. Uzyskane wyniki wykazały znaczącą poprawę celności u łuczników, otrzymujących szkolenie wzmacniające aktywność neuronalną mózgu w pożądanym jego obszarze, przy jednoczesnym braku zmian w grupie kontrolnej. Trening fal mózgowych w prawej półkuli natomiast spowodował istotny spadek wydajności zawodników, co potwierdza związek pomiędzy określoną aktywnością bioelektryczną mózgu sportowców a ich wydajnością (Landers i wsp. 1991).

Arns i wsp. (2008) w swoich badaniach opracowali protokoły treningowe neurofeedback w oparciu o indywidualne wzorce EEG golfistów, zarejestrowane podczas celnych trafień piłki. Na ich podstawie przeprowadzono następnie spersonalizowane szkolenia zawodników, służące nauce odtwarzania określonych wzorców fal mózgowych przed wykonaniem uderzenia. Podczas dwóch z czterech serii treningowych zawodnicy otrzymywali informacje zwrotne w momencie osiągnięcia oczekiwanego stanu pobudzenia. W pozostałych dwóch seriach udział sprzężenia zwrotnego został zredukowany. Analiza wyników wykazała, że golfiści znacząco polepszyli swoją celność, wytwarzając korzystne częstotliwości fal mózgowych podczas treningów opartych na informacjach zwrotnych – po ich wstrzymaniu natomiast nie obserwowano poprawy (Arns i wsp. 2008).

Badania Landersa i wsp. (1991) oraz Arnsa i wsp. (2008) prezentują dwa różne podejścia do treningu neurofeedback – jedno oparte na nauce odtwarzania wzorców fal mózgowych charakterystycznych dla elitarnych sportowców, odnoszących znaczące sukcesy, oraz drugie, dostosowujące protokoły treningowe do indywidualizowanych zapisów EEG zawodników, obserwowanych podczas ich zwiększonej efektywności działania.

Do tej pory nie stwierdzono, które podejście przynosi większe korzyści w kontekście poprawy wydajności w sporcie. Nie opracowano również jednoznacznych protokołów treningowych, które byłyby wyraźnie skorelowane z poprawą wybranych parametrów sprawności motorycznej zawodników – wiele obserwacji prowadzonych jest bowiem w kontekście ogólnych osiągnięć sportowych, uzależnionych od wielu różnych czynników, co utrudnia jednoznaczne ich przypisanie zastosowaniu metody EEG biofeedback. Niewielka liczba badań przeprowadzonych do tej pory w sporcie uniemożliwia także jednoznaczną ocenę, który z treningów – koncentrujący się na stymulacji określonych obszarów mózgu czy zmianach wybranych częstotliwości fal mózgowych – jest bardziej korzystny w aspekcie zwiększania potencjału sportowców. Częstym ograniczeniem przeprowadzonych do tej pory analiz jest również mała liczebność próby, niewielka liczba sesji treningowych oraz krótki czas trwania interwencji. W niektórych badaniach brakuje również grup kontrolnych, które umożliwiłyby potwierdzenie skuteczności zastosowanego szkolenia. To z kolei wskazuje na potrzebę dalszego pogłębiania wiedzy z zakresu wykorzystania metody EEG biofeedback w procesie szkoleniowym zawodników w celu opracowania optymalnych protokołów treningowych, służących kształtowaniu ich poszczególnych zdolności motorycznych oraz zwiększania ich ogólnej wydajności w warunkach podwyższonego stresu, będącego nieodłącznym elementem sportu wyczynowego.



## 2. Cel badań i problematyka badawcza

Dotychczasowe ustalenia naukowe wskazują na zależność pomiędzy poziomem koncentracji sportowca a jego czasem reakcji. Uznano, że szybsze inicjowanie działania związane jest ze zwiększoną dostępnością zasobów uwagi (Abernethy 1988). Właściwe skupienie i ukierunkowane nastawienie ruchowe zawodnika znacząco wpływają bowiem na skrócenie czasu potrzebnego do powstania pobudzenia w receptorze, obniżając tym samym okres odpowiedzi na oddziałujące bodźce (Hsieh i wsp. 2007). Zdolność utrzymywania odpowiedniej koncentracji przez sportowca wpływa zatem na szybsze przetwarzanie przez niego informacji, a także umożliwia dokonywanie celowej, selektywnej analizy impulsów docierających do jego mózgu. Dzięki temu wszelkie jego działania ukierunkowane zostają wyłącznie na najistotniejsze bodźce, przy jednoczesnym ignorowaniu czynników pobocznych (Williams i wsp. 2010). Stan skupienia uwagi zawodnika jest jednak ściśle związany z poziomem pobudzenia jego układu nerwowego, który może zostać zakłócony przez różne czynniki, takie jak m.in. podwyższone napięcie psychiczne. Badania potwierdzają, że fizjologiczne skutki stresu sportowca mogą doprowadzić do pogorszenia jego ogólnej wydajności m.in. poprzez obniżenie poziomu jego koncentracji oraz związanej z nią szybkości i precyzji działania. Dekoncentracja oraz brak zdolności odzyskiwania stanu skupienia po rozproszeniu uznaje się z kolei za częstą przyczynę niepowodzeń sportowców (Landers i wsp. 1986). Dlatego też trening mentalny, obok treningu motorycznego, technicznego i taktycznego zawodnika, coraz częściej staje się światowym standardem stanowiącym zintegrowany element całego procesu szkoleniowego. To inicjuje potrzebę ciągłego rozwijania i wzbogacania dziedziny psychologii sportu o zastosowanie nowych, innowacyjnych rozwiązań służących zwiększaniu potencjału zawodnika m.in. poprzez minimalizowanie negatywnych skutków stresu oraz poprawę jego zdolności koncentracji.

Czas reakcji, będący miarą wydajności sensomotorycznej zawodnika, obejmuje zarówno centralne, jak i obwodowe komponenty i funkcje układu nerwowego. Prawidłowa jego koordynacja znacząco wpływa zatem nie tylko na usprawnienie samego procesu nabywania i doskonalenia umiejętności przez sportowca, ale także determinuje właściwe przetwarzanie przez niego informacji, zapewniając tym samym jego zwiększoną precyzyjność i szybkość reagowania na określone bodźce. Specyfika walki judo wymaga od zawodników wysokiej uwagi wzrokowej, która warunkuje optymalny czas odpowiedzi na zaobserwowane działania przeciwnika. Jest to zatem umiejętność, która może istotnie wpłynąć na zdobycie przez

judoków przewagi podczas rywalizacji. Przegląd literatury wskazuje jednak, że trening funkcji wzrokowych, wpływających na sprawność przebiegu mechanizmów percepcyjnych wciąż nie jest do końca usystematyzowany. Zagadnienia dotyczące kształtowania umiejętności szybkiego postrzegania takie jak m.in. dobór efektywnych metod, a także optymalna częstotliwość oraz długość poszczególnych jednostek treningowych wciąż pozostają w kwestii dociekań naukowych. To z kolei skłania do poszukiwania nowych rozwiązań dążących do udoskonalenia procesu kształtowania wspomnianej zdolności wśród zawodników. Jednym z nich może być zastosowanie metody EEG biofeedback w procesie szkoleniowym judoków w celu nauki świadomego kontrolowania i utrzymywania równowagi psychofizjologicznej ich organizmu, sprzyjającej zwiększaniu koncentracji i skracaniu czasów reagowania na bodźce wzrokowe.

## **2.1 Cel badań**

Badania ukierunkowane były na dwa zasadnicze cele. Pierwszym z nich była analiza wpływu poszczególnych treningów EEG biofeedback na szybkość reakcji zawodników judo. Drugim celem było natomiast określenie optymalnego treningu ze względu na ilości sesji oraz czas ich realizacji istotnie polepszającego szybkość reakcji badanych zawodników.

## **2.2 Pytania badawcze**

Uwzględniając cele prowadzonych badań, w pracy postawione zostały następujące pytania badawcze:

- 1) Czy przeprowadzone treningi EEG biofeedback istotnie statystycznie i w równym stopniu wpłynęły na szybkość reakcji wzrokowej w badanych grupach zawodników judo?
- 2) Który rodzaj postrzegania – proste czy złożone – wykazuje większą poprawę pod wpływem zastosowanych procedur treningu EEG biofeedback w badanych grupach zawodników judo?
- 3) Która z zastosowanych procedur treningowych EEG biofeedback istotnie wpływa na poprawę szybkości reakcji prostej oraz złożonej na bodźce wzrokowe w badanych grupach zawodników judo?

## **2.3 Hipotezy badawcze**

Analizując powyższe pytania badawcze oraz uwzględniając dotychczasowe ustalenia naukowe, sformułowano następujące hipotezy badawcze:

- 1) Wszystkie przeprowadzone treningi EEG biofeedback wpłynęły pozytywnie na szybkość reakcji wzrokowej, lecz każdy z nich – w zależności od ich częstotliwości oraz czasu trwania – w różnym stopniu.
- 2) Efektywność treningu EEG biofeedback jest większa w przypadku postrzegania wzrokowego o charakterze złożonym.
- 3) Czterominutowy trening EEG biofeedback o zmniejszonej częstotliwości sesji istotnie wpływa na polepszenie szybkości reakcji wzrokowej o charakterze złożonym, natomiast dziesięciominutowy trening o zwiększonej częstotliwości istotnie wpływa na polepszenie szybkości reakcji prostej.

## **3. Materiał i metody badań**

### **3.1 Charakterystyka badanych**

Badaniem objętych zostało 24 wybranych mężczyzn – zawodników kadry narodowej Polskiego Związku Judo w przedziale wiekowym 22 – 25 lat. Dobór do badań miał charakter mieszany. Ogólna liczba badanych (24 osoby) została wybrana celowo spośród zawodników kadry narodowej regionu południowego. W następnej kolejności grupa została losowo podzielona na dwie podgrupy: eksperymentalną (n=12) i kontrolną (n=12). Wszyscy badani poinformowani zostali o celach oraz przebiegu badań, a także o możliwości rezygnacji z uczestnictwa w nich na każdym etapie ich trwania. Badania uzyskały akceptację Uczelnianej Komisji Bioetycznej ds. Badań Naukowych przy Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach i były wykonywane w ramach grantów: N RSA3 03953, N RSA4 04054.

### **3.2 Procedury badawcze**

Badania przeprowadzone zostały w czterech cyklach zróżnicowanych pod względem częstotliwości oraz czasu trwania sesji EEG biofeedback zarówno w grupie kontrolnej, jak i eksperymentalnej.

W grupie eksperymentalnej każdy cykl badań obejmował 15 spotkań treningowych, po których następowała czterotygodniowa przerwa jako modyfikacja treningu Thompsona (Thompson 2003). Czas trwania sesji treningowych wynoszący w kolejnych seriach badań 10 minut i 4 minuty stanowił natomiast modyfikację treningu Dupee (Dupee i wsp. 2011). Podstawowym protokołem treningowym w grupie eksperymentalnej był trening theta/beta1, służący zwiększaniu koncentracji oraz osiągnięciu tzw. wąskiej uwagi przez zawodników.

Badania w grupie kontrolnej przebiegały według takiego samego schematu, jak w grupie eksperymentalnej i charakteryzowały się taką samą cyklicznością, czasem trwania i częstotliwością sesji treningowych EEG biofeedback. Procedura przygotowawcza do treningu była jednakowa dla obydwu grup, jednak w grupie kontrolnej zamiast realizowania protokołu theta/beta1, wyświetlana była symulacja EEG, niezależna od wytwarzanych wzorców fal mózgowych trenującego.

Przed rozpoczęciem pierwszego cyklu spotkań oraz po zakończeniu każdego kolejnego przeprowadzone zostały testy szybkości reakcji prostej oraz złożonej w obydwu grupach badawczych.

#### **3.2.1 Trening EEG biofeedback**

Trening neurofeedback wykonywany był przy użyciu oprogramowania Biograf Infiniti 6.0 oraz 5 – kanałowego urządzenia dekodującego ProComp5 z sensorem EEG, pozwalającego na odbiór wysokiej jakości sygnału o niskiej zawartości szumów. Jakość urządzenia potwierdzona została certyfikatem ISO oraz certyfikatem medycznym CE. Przed przystąpieniem do rejestracji sygnału EEG każdorazowo sprawdzano poziom impedancji elektrod oraz międzyelektrodowy za pomocą wbudowanego czujnika impedancji. Warunkiem rozpoczęcia diagnozy oraz treningu EEG biofeedback było uzyskanie poziomu impedancji poniżej 5 k $\Omega$  oraz pomiaru między elektrodami różniącego się od siebie nie więcej niż o 1 k $\Omega$ .

Każda sesja treningowa w poszczególnych cyklach została poprzedzona wykonaniem 3 – minutowej jednokanałowej diagnozy EEG z trzema odprowadzeniami o podłączeniu referencyjnym. W tym czasie osoba badana proszona była o wykonanie następujących czynności: pozostawanie w pozycji siedzącej z oczami otwartymi przez okres jednej minuty,

pozostawanie w pozycji siedzącej z oczami zamkniętymi przez okres jednej minuty, pozostanie w pozycji siedzącej z oczami otwartymi z dodatkowym zadaniem aktywizującym w postaci odliczania od tyłu co 7 od 100. W czasie diagnozy elektroda referencyjna umieszczana była na lewym płątku ucha, uziemienie na prawym, a elektroda aktywna w punkcie Cz, zgodnie z międzynarodowym systemem 10 – 20. Podczas treningu EEG biofeedback natomiast elektroda aktywna umieszczana była w punkcie C3, co umożliwiło realizację głównego celu szkolenia, jakim było kształtowanie zdolności utrzymywania optymalnej równowagi pomiędzy czynnością fal szybkich (beta) oraz fal wolnych (theta), odpowiedzialnych za osiągnięcie stanu koncentracji oraz skupienia przez zawodnika. W trakcie każdej sesji EEG biofeedback kontrolowany był również procent czasu powyżej progu, stanowiący główną miarę postępu badanego, co umożliwiło optymalizację poziomu trudności treningu dla każdego zawodnika.

### **3.2.2 Testy szybkości reakcji wzrokowej**

Wpływ treningu neurofeedback na szybkość reakcji wzrokowej zawodników judo sprawdzano za pomocą komputerowych testów reakcji prostej i złożonej oraz wybranych prób Wiedeńskiego Systemu Testowego (WST). Testy odbywały się w godzinach przedpołudniowych w warunkach umożliwiających koncentrowanie uwagi na wykonywanych zadaniach. Wszystkie próby powtarzane były dwukrotnie w odstępach 5 – minutowych, przy uwzględnieniu lepszego wyniku z dwóch pomiarów.

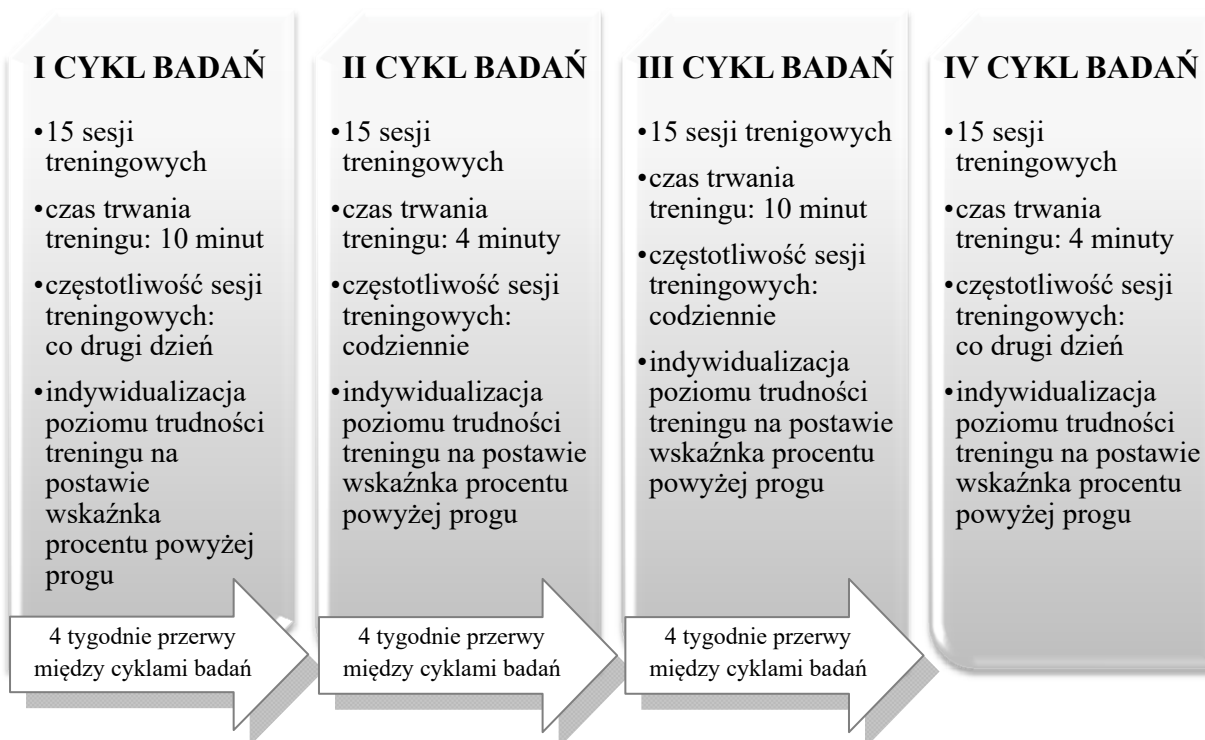
Komputerowy test szybkości reakcji prostej na bodźce wzrokowe polegał na jak najszybszym wciśnięciu określonego klawisza na klawiaturze prawą lub lewą ręką w momencie pojawienia się na ekranie monitora jasnego kwadratu. Zadanie sprawdzające szybkość reakcji złożonej natomiast wymagało jak najszybszego wciśnięcia klawisza na klawiaturze, odpowiadającego położeniu pojawiającego się na monitorze kwadratu – innego w przypadku jego umiejscowienia w prawym, lewym lub centralnym punkcie ekranu. W obydwu testach sygnał pojawiał się 10 razy w odstępach czasu wynoszących 2 – 6 sekund. Mierzono okres od momentu pojawienia się bodźca do momentu wciśnięcia klawisza z dokładnością do 0,001 s.

Za pomocą urządzenia do badania szybkości reakcji (RT), będącego składową Wiedeńskiego Systemu Testowego, sprawdzano reakcję prostą za bodźce wzrokowe. Zadaniem osoby badanej było jak najszybsze przeniesienie dłoni z tzw. „klawisza spoczynku” i wciśnięcie „klawisza reakcji” w momencie zapalenia się żółtej diody. Na podstawie otrzymanych danych obliczono średnią szybkość reakcji w sekundach.

Szybkość reakcji złożonej natomiast sprawdzana była za pomocą urządzenia do badania decyzji (DG), gdzie wykonywana próba wymagała jak najszybszego wciśnięcia odpowiedniego klawisza – uzależnionego od koloru zapalającej się diody – w momencie pojawienia się bodźca. Program wskazywał wszystkie reakcje prawidłowe, nieprawidłowe, średnią szybkości reakcji oraz odchylenie standardowe średniej szybkości reakcji. Sygnał pojawiał się 15 razy.

### 3.2.3 Cykle badań

Pierwszy cykl badań obejmował 15 sesji treningowych odbywających się co drugi dzień. Czas trwania treningu wynosił 10 minut. Druga seria badań, która odbyła się po czterotygodniowej przerwie, charakteryzowała się zwiększoną częstotliwością spotkań oraz zmniejszonym czasem ich trwania, gdzie sesje treningowe przeprowadzane były codziennie, a czas trwania pojedynczego treningu wynosił 4 minuty. W trzecim cyklu badań, poprzedzonym miesięczną przerwą – podobnie jak w cyklu drugim – treningi odbywały się każdego dnia, jednak ich czas trwania zwiększony został do 10 minut. Ostatnia, czwarta seria badań poprzedzona stałą przerwą, obejmowała 4 – minutowe sesje treningowe odbywające się do drugi dzień. Podczas każdego spotkania monitorowano procent czasu powyżej progu, który przesuwany był odpowiednio w górę lub w dół dla fali wzmacnianej i hamowanej tak, aby poziom trudności treningu był optymalny i dostosowany do indywidualnych postępów zawodnika (ryc.2).



Ryc. 2 Cykle badań

### 3.3 Metody i narzędzia statystyczne

Do oceny poziomu analizowanych zmiennych zastosowano statystyki opisowe: średnia arytmetyczna, odchylenie standardowe i współczynnik zmienności.

Normalność rozkładu zmiennych została sprawdzona testem Shapiro – Wilka. Test jednorodności wariancji Levene'a zastosowano w celu weryfikacji jednorodności zmiennych i ustalenia narzędzi statystycznych. Wyniki przeprowadzonych testów jednoznacznie określiły, iż zmienne posiadały rozkład normalny lub zbliżony do normalnego ( $p > 0.05$ ).

Zbadana jednorodność wariancji testem Levene'a w grupach przed treningami wykazała brak podobieństw, czyli jednorodności dla wszystkich zmiennych. Wartości zmiennych w obydwu grupach po treningach w teście Levene'a również były jednorodne.

W celu uzyskania odpowiedzi dotyczącej testowania hipotez o braku różnic pomiędzy wartościami poszczególnych badanych zmiennych opisujących zależności międzygrupowe oraz wewnątrzgrupowe zastosowano analizę wariancji ANOVA.

Została zaprezentowana statystyka F i poziom istotności. Przyjęto poziom istotności z  $p < 0,05$ .

W przypadku stwierdzenia istotnych różnic wykonano testy post – hoc Tukeya dla równych licznosci (N).

Zależności pomiędzy zmienną zależną (poziom sportowy) a pozostałymi analizowanymi zmiennymi (predyktorami) zostały oszacowane z wykorzystaniem jednoczynnikowej analizy regresji grzbietowej. Model regresji przyjął następującą ogólną postać:

$$Y = \sum_{i=1}^k \alpha_j x_j + \xi Y$$

Wszystkie obliczenia zostały wykonane z zastosowaniem programu analitycznego Statistica 12.0 (Statsoft) oraz pakietu Excel (Microsoft Office 13).

## 4. Wyniki badań

### 4.1 Analizy wstępne – statystyki opisowe w grupie eksperymentalnej i kontrolnej

Sprawdzono rozkłady analizowanych zmiennych fal theta oraz beta uzyskanych podczas kolejnych pomiarów w grupach eksperymentalnej i kontrolnej. Zarówno parametry, jak i statystyki opisowe zmiennych pomiarowych dla badanych grup zaprezentowano w tabelach 1 – 8.

#### *Grupa eksperymentalna*

**Tabela 1** Parametry opisowe fal theta i beta w poszczególnych cyklach, badanie diagnozujące przy oczach otwartych (OO)

Zmienne	Cykl	$\bar{x}$	S	V
Theta	I	9,319	1,683	18,058
Beta		4,230	1,512	35,756
Theta	II	8,860	1,537	17,344
Beta		4,517	1,609	35,620
Theta	III	8,510	1,226	14,404
Beta		4,718	1,595	33,805
Theta	IV	7,702	1,088	14,128
Beta		5,184	1,590	30,680

**Tabela 2** Parametry opisowe fal theta i beta w poszczególnych cyklach, badanie diagnozujące przy oczach zamkniętych (OZ)

Zmienna	Cykl	$\bar{x}$	S	V
Theta	I	10,086	1,537	15,237
Beta		4,490	1,262	28,094
Theta	II	9,901	1,446	14,608
Beta		4,663	1,317	28,237
Theta	III	9,091	1,025	11,273
Beta		4,937	1,241	25,132
Theta	IV	8,824	1,039	11,770
Beta		4,935	1,266	25,640



**Tabela 3** Parametry opisowe fal theta i beta w poszczególnych cyklach, badanie diagnozujące sprawdzające koncentrację uwagi (KONC)

Zmienna	Cykl	$\bar{x}$	S	V
Theta	I	9,119	0,847	9,286
Beta		3,294	0,491	14,910
Theta	II	8,375	1,367	16,320
Beta		3,781	1,068	28,240
Theta	III	8,268	0,980	11,850
Beta		4,256	0,979	23,010
Theta	IV	7,876	1,051	13,351
Beta		4,329	0,982	22,683

**Tabela 4** Parametry opisowe fal theta i beta w poszczególnych cyklach, sesja EEG biofeedback

Zmienna	Cykl	$\bar{x}$	S	V
Theta	I	8,333	1,444	17,338
Beta		4,132	1,357	32,861
Theta	II	8,152	1,435	17,606
Beta		4,227	1,367	32,353
Theta	III	7,971	1,386	17,385
Beta		4,415	1,322	29,948
Theta	IV	7,834	1,413	18,037
Beta		4,519	1,309	28,96

**Grupa kontrolna**

**Tabela 5** Parametry opisowe fal theta i beta w poszczególnych cyklach, badanie diagnozujące przy oczach otwartych (OO)

Zmienna	Cykl	$\bar{x}$	S	V
Theta	I	9,769	1,121	11,473
Beta		2,811	0,556	19,778
Theta	II	9,751	1,107	11,356
Beta		2,813	0,554	19,123
Theta	III	9,554	1,099	11,497
Beta		2,827	0,542	19,170
Theta	IV	9,772	1,122	11,483
Beta		2,806	0,572	20,378

**Tabela 6** Parametry opisowe fal theta i beta w poszczególnych cyklach, badanie diagnozujący przy oczach zamkniętych (OZ)

Zmienna	Cykl	$\bar{x}$	S	V
Theta	I	9,576	0,750	7,835
Beta		3,270	0,578	17,683
Theta	II	9,468	0,734	7,750
Beta		3,336	0,569	17,060
Theta	III	10,176	0,872	8,567
Beta		3,096	0,340	10,988
Theta	IV	9,930	0,775	7,803
Beta		3,168	0,343	10,832

**Tabela 7** Parametry opisowe fal theta i beta w poszczególnych cyklach, badanie diagnozujące sprawdzające koncentrację uwagi (KONC)

Zmienna	Cykl	$\bar{x}$	S	V
Theta	I	9,119	0,847	9,286
Beta		3,294	0,491	14,910
Theta	II	9,061	0,831	9,173
Beta		3,263	0,478	14,656
Theta	III	8,519	1,013	11,889
Beta		4,086	0,858	20,996
Theta	IV	8,112	1,192	14,696
Beta		4,163	1,163	27,934

**Tabela 8** Parametry opisowe fal theta i beta w poszczególnych cyklach, sesja EEG biofeedback

Zmienna	Cykl	$\bar{x}$	S	V
Theta	I	9,189	0,817	8,894
Beta		3,193	0,473	14,800
Theta	II	9,141	0,816	8,926
Beta		3,225	0,479	14,840
Theta	III	9,122	0,845	9,266
Beta		3,201	0,448	14,011
Theta	IV	9,136	0,814	8,913
Beta		3,223	0,465	14,419

Analiza porównawcza statystyk opisowych wykazała, że w grupie eksperymentalnej największe bezwzględne zróżnicowanie wartości badanych parametrów wykazały zmienne:

- fale theta w I cyklu badań oraz fale beta w II cyklu badań podczas diagnozy przy oczach otwartych (odpowiednio  $S = 1,68$  i  $S = 1,61$ );
- fale theta w I i w II cyklu badań podczas diagnozy przy oczach zamkniętych (odpowiednio  $S = 1,54$  i  $S = 1,45$ );
- fale theta i beta w II cyklu badań podczas diagnozy z zadaniem dodatkowym wymagającym koncentracji uwagi (odpowiednio  $S = 1,37$  i  $S = 1,07$ );
- fale theta w I i w II cyklu podczas treningu EEG biofeedback (odpowiednio  $S = 1,44$  i  $S = 1,43$ ).

Analiza porównawcza statystyk opisowych wykazała, że w grupie kontrolnej największe bezwzględne zróżnicowanie wartości badanych parametrów wykazały zmienne:

- fale theta w I i w IV cyklu badań podczas diagnozy przy oczach otwartych (odpowiednio  $S = 1,22$  i  $S = 1,22$ );
- fale theta w I i w III cyklu badań podczas diagnozy przy oczach zamkniętych (odpowiednio  $S = 0,81$  i  $S = 0,79$ );
- fale theta i beta w IV cyklu badań podczas diagnozy z zadaniem dodatkowym wymagającym koncentracji uwagi (odpowiednio  $S = 1,19$  i  $S = 1,16$ );
- fale theta w I i w III cyklu badań podczas treningu EEG biofeedback (odpowiednio  $S = 0,82$  i  $S = 0,84$ ).

Największe względne zróżnicowanie w grupie eksperymentalnej wykazały natomiast zmienne:

- fale beta w I cyklu badań podczas diagnozy przy oczach otwartych ( $V = 35,76\%$ );
- fale beta w II cyklu badań podczas diagnozy przy oczach zamkniętych ( $V = 28,23\%$ );
- fale beta w II cyklu badań podczas diagnozy z zadaniem dodatkowym wymagającym koncentracji uwagi ( $V = 28,24\%$ );
- fale beta w I cyklu badań podczas treningu EEG biofeedback ( $V = 32,86\%$ ).

W grupie kontrolnej z kolei największe względne zróżnicowanie wykazały zmienne:

- fale beta w IV cyklu badań podczas diagnozy przy oczach otwartych (V=20,38%);
- fale beta w I cyklu badań podczas diagnozy przy oczach zamkniętych (V=17,68%);
- fale beta w IV cyklu badań podczas diagnozy z zadaniem dodatkowym wymagającym koncentracji uwagi (V=27,93%);
- fale beta w II cyklu badań podczas treningu EEG biofeedback (V=14,84%).

Podsumowując, wszystkie wariacje zmiennych miały rozkład normalny z niewielkimi odchyleniami lewo lub prawostronnymi, mieszczącymi się jednak w zakresach normalności.

#### 4.2 Zależności międzygrupowe badanych zmiennych określających wyniki testów diagnostycznych wartości fal theta i beta przed sesjami EEG biofeedback

Dla zmiennych przedstawionych w tabelach 9 – 11 analiza wariancji na poziomie istotności statystycznej  $p < 0,05$  wykazała, że nie można było odrzucić hipotezy o braku różnic pomiędzy wartościami badanych zmiennych w odniesieniu do grupy eksperymentalnej i kontrolnej.

Na rycinach 3 – 6 zaprezentowano graficzną interpretację wyników pomiarów poszczególnych zmiennych przed kolejnymi cyklami treningu EEG biofeedback.

**Tabela 9** Wynik analizy wariancji ANOVA w celu określenia istotnych różnic pomiędzy badanymi zmiennymi w odniesieniu do grup podczas diagnozy przy oczach otwartych (OO) przed poszczególnymi cyklami sesji EEG biofeedback

Zmienna	Cykl	F	p
Theta	I	0,595	0,449
Beta		0,887	0,356
Theta	II	2,661	0,117
Beta		0,28	0,602
Theta	III	1,494	0,234
Beta		0,012	0,914
Theta	IV	2,257	0,147
Beta		0,650	0,429

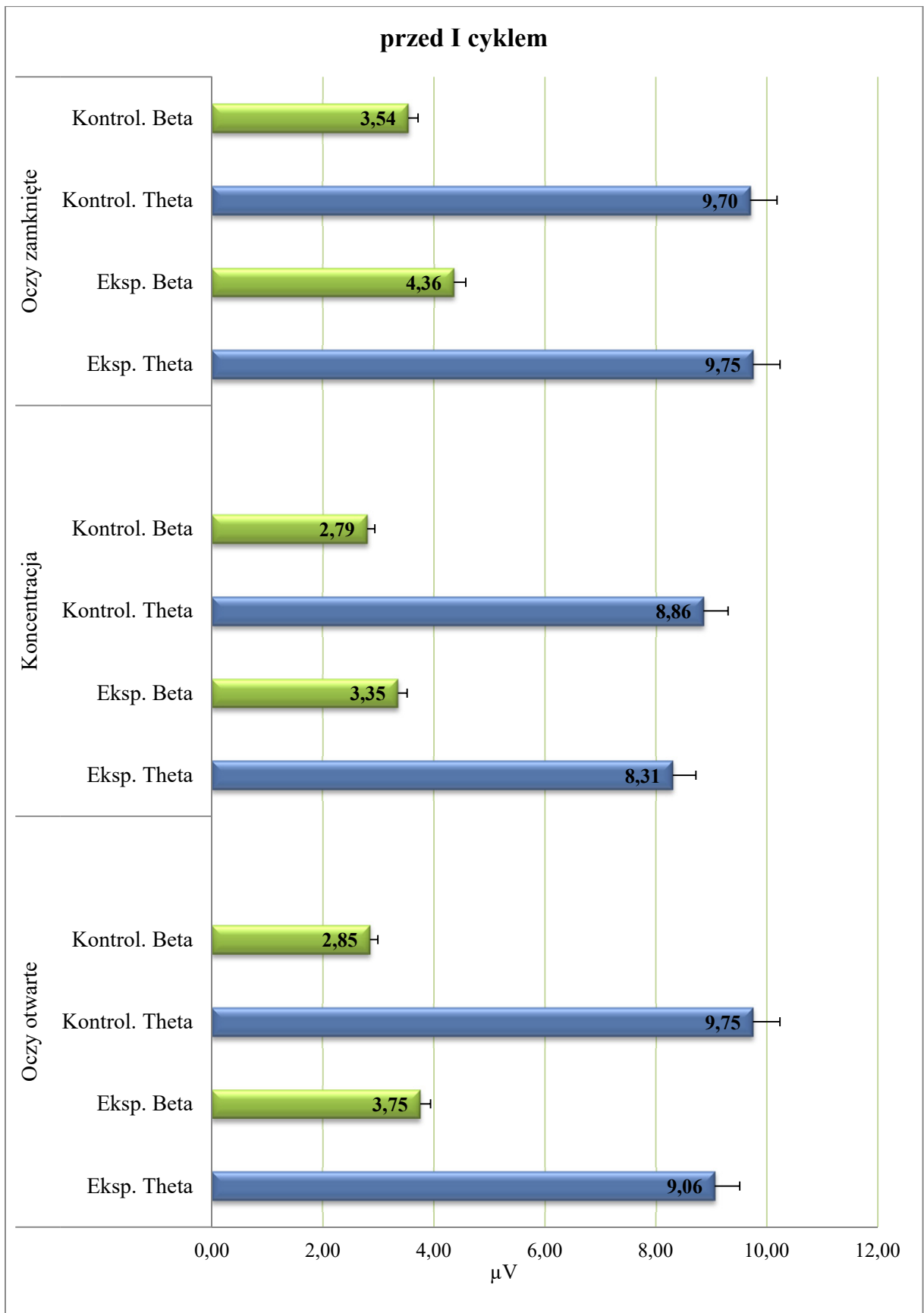
**Tabela 10** Wynik analizy wariancji ANOVA w celu określenia istotnych różnic pomiędzy badanymi zmiennymi w odniesieniu do grup podczas diagnozy przy oczach zamkniętych (OZ) przed poszczególnymi cyklami sesji EEG biofeedback

Zmienna	Cykl	F	p
Theta	I	0,776	0,388
Beta		1,87	0,185
Theta	II	0,856	0,365
Beta		1,17	0,291
Theta	III	3,342	0,081
Beta		1,348	0,258
Theta	IV	3,613	0,070
Beta		1,066	0,313

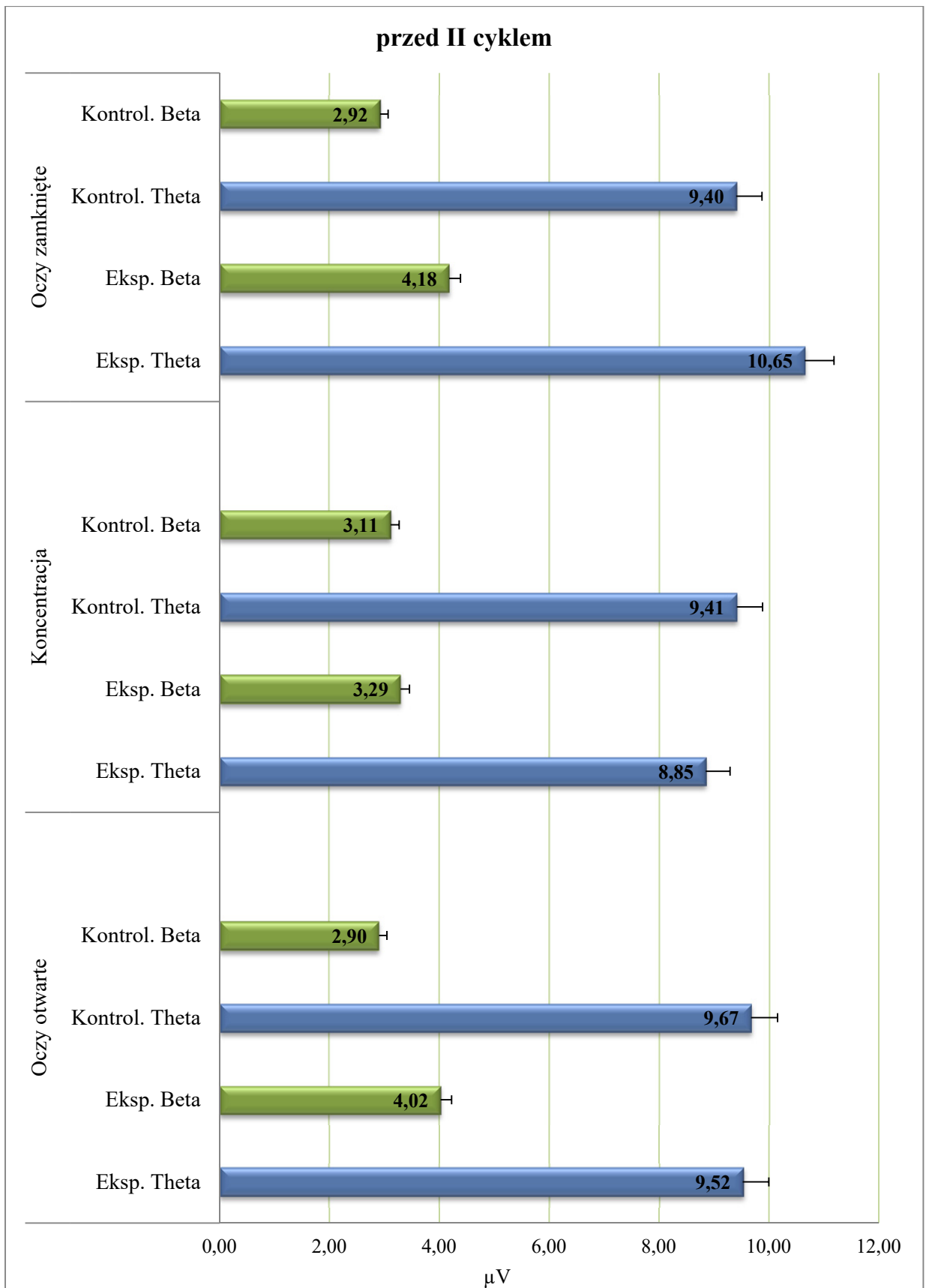
**Tabela 11** Wynik analizy wariancji ANOVA w celu określenia istotnych różnic pomiędzy badanymi zmiennymi w odniesieniu do grup podczas diagnozy koncentracji uwagi (KONC) przed poszczególnymi cyklami sesji EEG biofeedback

Zmienna	Cykl	F	p
Theta	I	0,653	0,428
Beta		0,961	0,338
Theta	II	2,204	0,152
Beta		2,352	0,139
Theta	III	0,382	0,543
Beta		0,204	0,656
Theta	IV	0,265	0,612
Beta		0,143	0,709

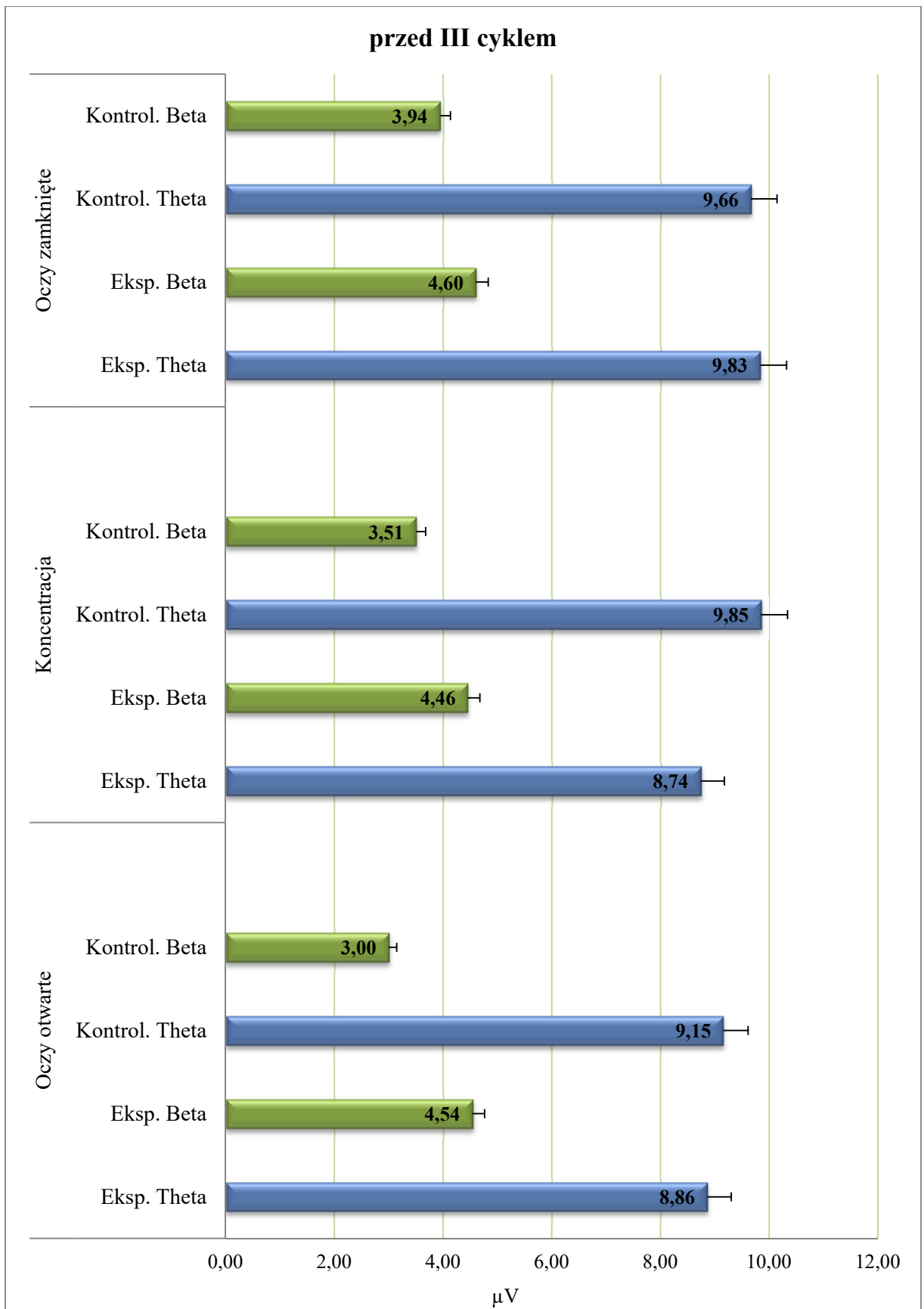
Nie zauważono istotnych statystycznie różnic pomiędzy grupą kontrolną i eksperymentalną w wynikach testów diagnostycznych przy oczach otwartych, zamkniętych oraz podczas wykonywania zadania wymagającego koncentracji uwagi.



**Ryc. 3** Wyniki pomiarów fal theta i beta przed I cyklem sesji EEG biofeedback

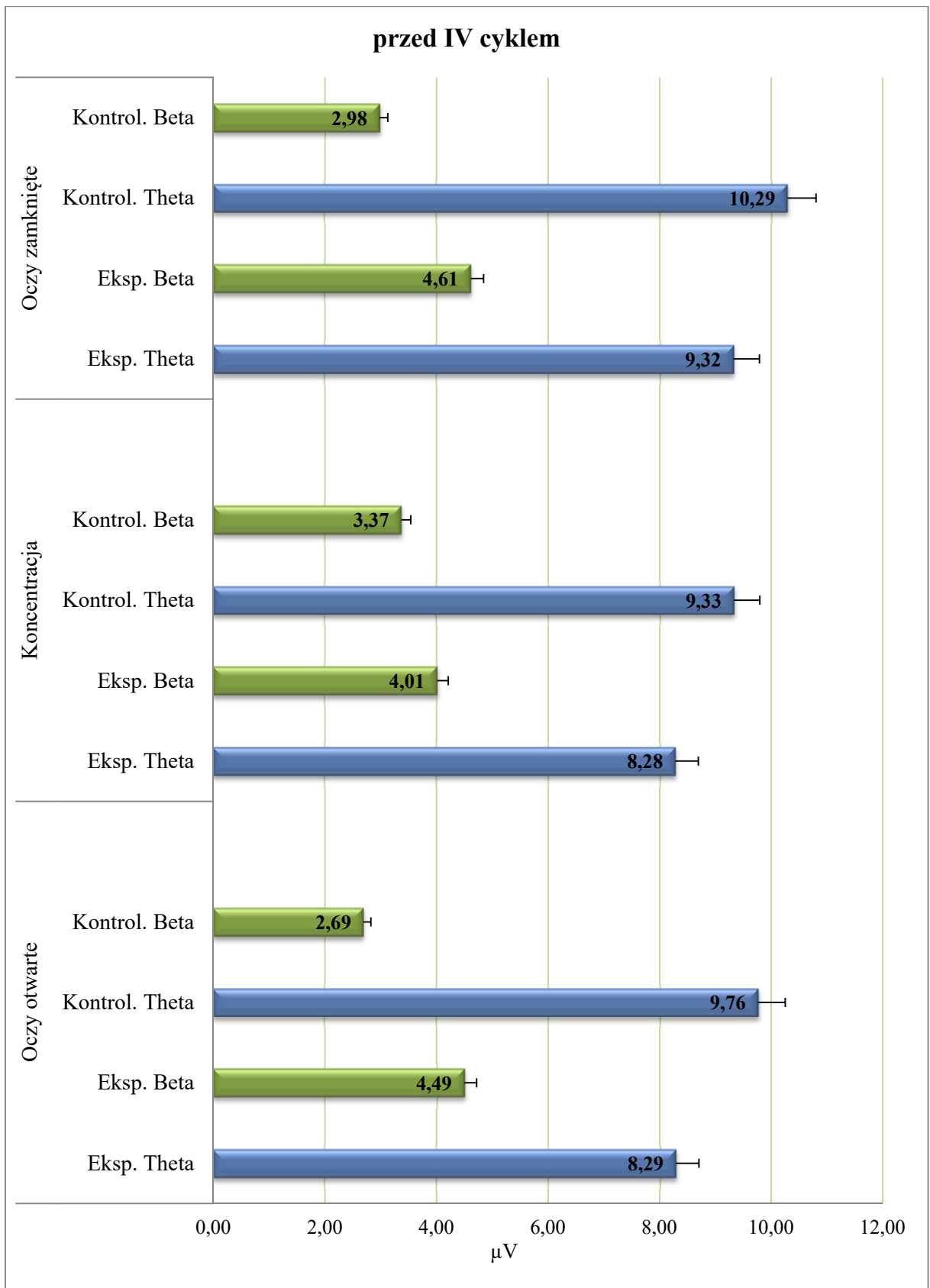


**Ryc. 4** Wyniki pomiarów fal theta i beta przed II cyklem sesji EEG biofeedback



**Ryc. 5** Wyniki pomiarów fal theta i beta przed III cyklem sesji EEG biofeedback





**Ryc. 6** Wyniki pomiarów fal theta i beta przed IV cyklem sesji EEG biofeedback

### 4.3 Zależności międzygrupowe badanych zmiennych określających wyniki testów diagnostycznych szybkości reakcji przed sesjami EEG biofeedback

W tabelach 12 – 13 oraz na rycinach 7 – 8 przedstawiono wyniki analizy wariancji na poziomie istotności statystycznej  $p < 0,05$ , która wykazała, że nie można było odrzucić hipotezy o braku różnic pomiędzy wartościami badanych zmiennych szybkości reakcji prostej i złożonej w odniesieniu do grupy eksperymentalnej i kontrolnej.

**Tabela 12** Wynik analizy wariancji ANOVA w celu określenia istotnych różnic pomiędzy badanymi zmiennymi szybkości reakcji prostej w odniesieniu do grup przed poszczególnymi cyklami treningu EEG biofeedback

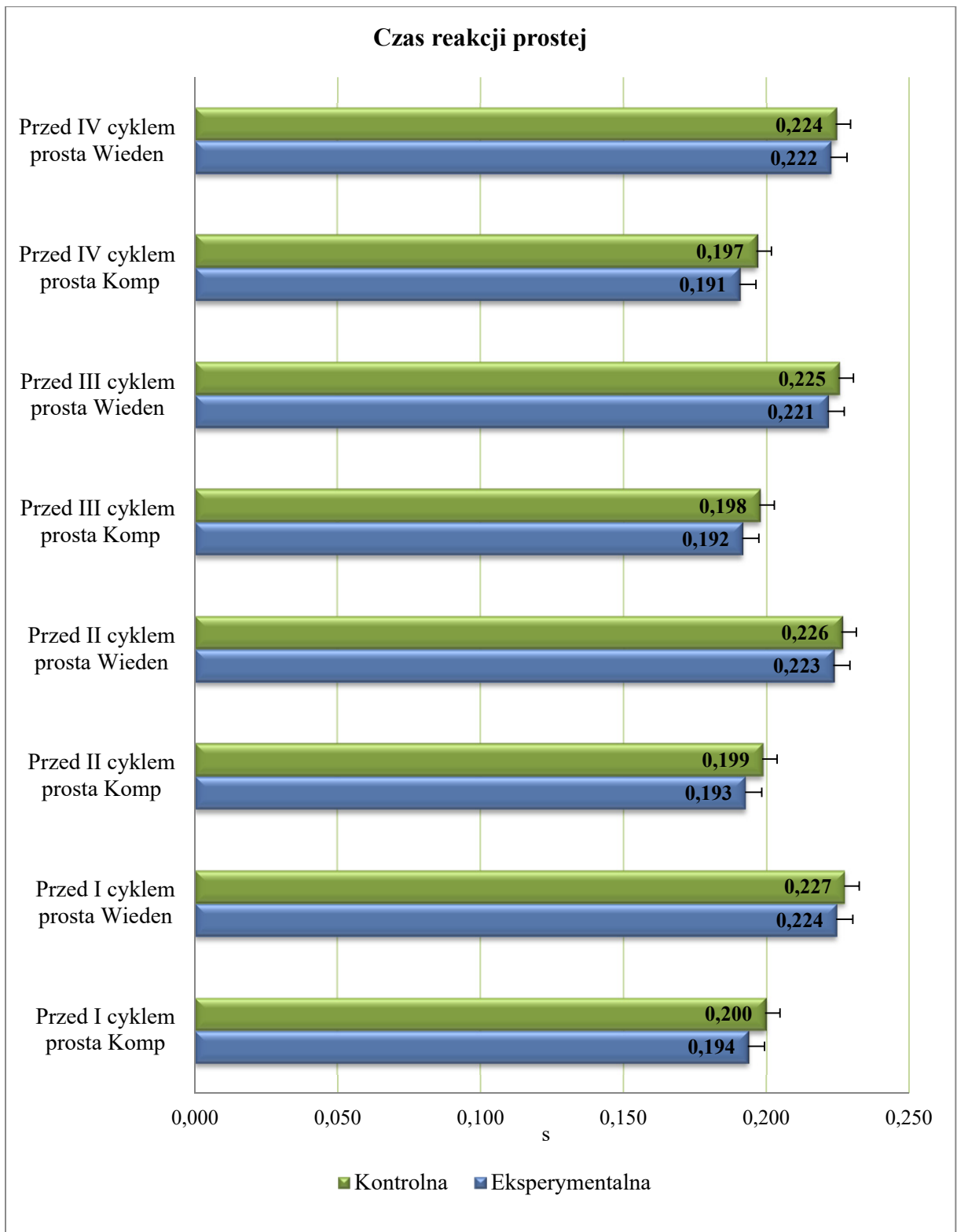
Zmienne	F	p
Przed I cyklem – reakcja prosta (test komputerowy)	1,753	0,199
Przed I cyklem – reakcja prosta (WST)	0,834	0,371
Przed II cyklem – reakcja prosta (test komputerowy)	1,753	0,199
Przed II cyklem – reakcja prosta (WST)	0,834	0,371
Przed III cyklem – reakcja prosta (test komputerowy)	1,753	0,199
Przed III cyklem – reakcja prosta (WST)	1,528	0,229
Przed IV cyklem – reakcja prosta (test komputerowy)	1,753	0,199
Przed IV cyklem – reakcja prosta (WST)	0,349	0,561

**Tabela 13** Wynik analizy wariancji ANOVA w celu określenia istotnych różnic pomiędzy badanymi zmiennymi szybkości reakcji złożonej w odniesieniu do grup przed poszczególnymi cyklami treningu EEG biofeedback

Zmienne	F	p
Przed I cyklem – reakcja złożona (test komputerowy)	0,449	0,510
Przed I cyklem – reakcja złożona (WST)	1,178	0,290
Przed II cyklem – reakcja złożona (test komputerowy)	0,449	0,510
Przed II cyklem – reakcja złożona (WST)	1,178	0,290
Przed III cyklem – reakcja złożona (test komputerowy)	0,449	0,510
Przed III cyklem – reakcja złożona (WST)	1,178	0,290
Przed IV cyklem – reakcja złożona (test komputerowy)	0,449	0,510
Przed IV cyklem – reakcja złożona (WST)	1,178	0,290

Nie zauważono istotnych statystycznie różnic pomiędzy grupą kontrolną i eksperymentalną w czasach reakcji prostej oraz złożonej zarówno podczas testów komputerowych, jak i wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego przed poszczególnymi cyklami sesji EEG biofeedback.

Ryciny 7 – 8 zawierają graficzną prezentację wyników czasów reakcji prostej oraz złożonej uzyskanych w grupie eksperymentalnej i kontrolnej przed rozpoczęciem każdego cyklu treningowego z zastosowaniem metody EEG biofeedback.



**Ryc. 7** Graficzna prezentacja wyników czasów reakcji prostej uzyskanych w grupie eksperymentalnej i kontrolnej przed rozpoczęciem każdego cyklu treningowego EEG biofeedback



**Ryc. 8** Graficzna prezentacja wyników czasów reakcji złożonej uzyskanych w grupie eksperymentalnej i kontrolnej przed rozpoczęciem każdego cyklu treningowego EEG biofeedback

#### 4.4 Różnice międzygrupowe badanych zmiennych określających wartości fal theta i beta po kolejnych sesjach treningowych EEG biofeedback

Analiza wariancji na poziomie istotności statystycznej  $p < 0,05$  dla zmiennych prezentowanych w tabelach 14 – 16 wykazała, że można było odrzucić hipotezę o braku różnic pomiędzy wartościami badanych zmiennych w odniesieniu do grupy eksperymentalnej i kontrolnej.

Zauważono istotne statystycznie różnice pomiędzy grupą kontrolną i eksperymentalną w wartościach thety i bety po poszczególnych cyklach sesji treningowych EEG biofeedback. Nie odnotowano różnic jedynie w wartościach fal theta po I cyklu szkoleniowym.

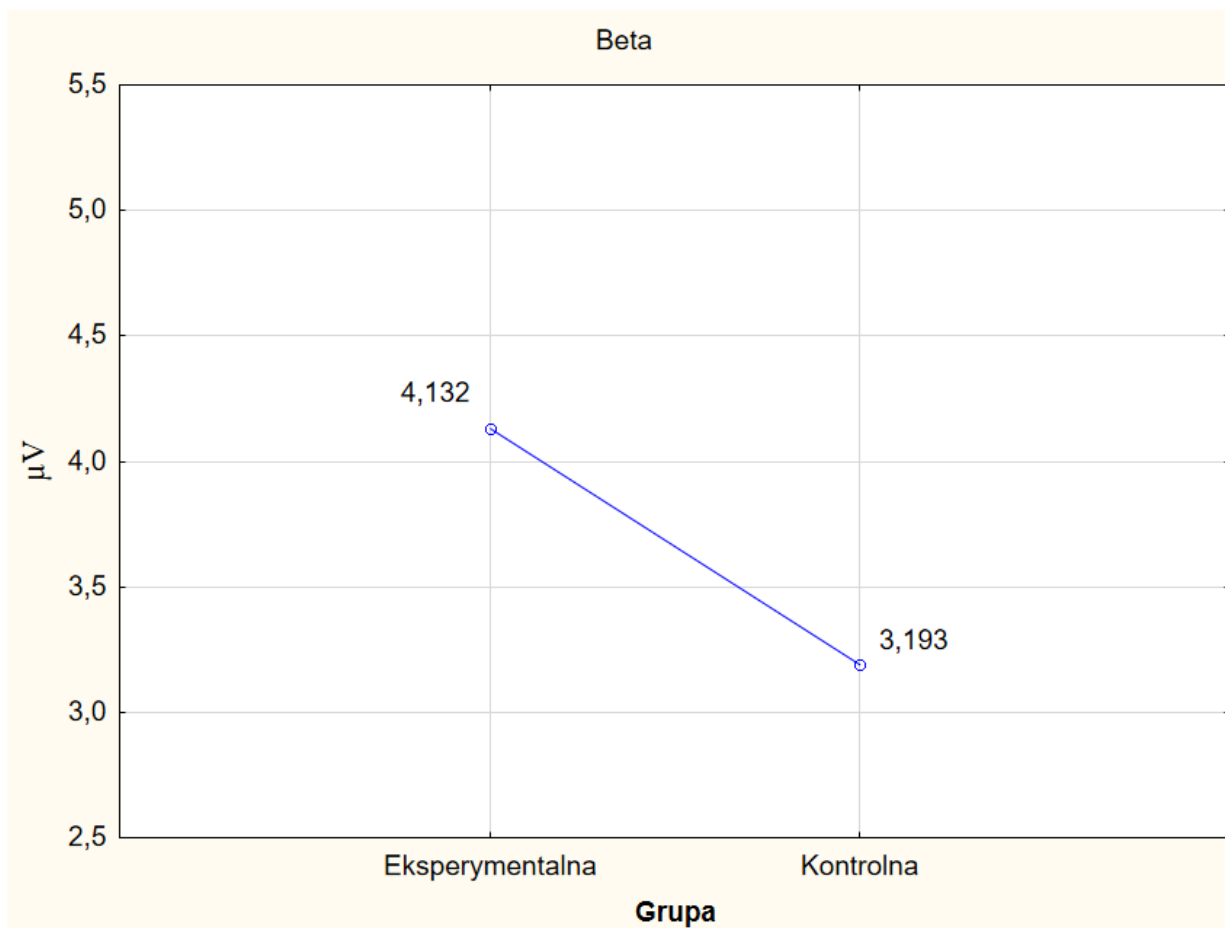
**Tabela 14** Wynik analizy wariancji ANOVA w celu określenia istotnych różnic pomiędzy badanymi zmiennymi określającymi wartości fal theta i beta po poszczególnych sesjach treningowych EEG biofeedback

Zmienne	Cykl	F	p
Theta	I	3,188	0,088
Beta		5,116	0,034
Theta	II	4,308	0,048
Beta		5,730	0,026
Theta	III	6,034	0,022
Beta		9,080	0,006
Theta	IV	7,647	0,011
Beta		10,463	0,004

Dla zmiennej beta po I cyklu treningu EEG biofeedback test post – hoc RIR Tukeya wykazał istotne statystycznie różnice pomiędzy grupą kontrolną i eksperymentalną (Tabela 15, Ryc. 9). Dla wartości fal theta po I cyklu nie zauważono istotnych różnic w wartościach w poszczególnych grupach.

**Tabela 15** Test post – hoc RIR Tukeya dla zmiennej beta po I cyklu w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Grupa	Eksperymentalna	Kontrolna
		4,132 $\mu\text{V}$
Eksperymentalna		0,034
Kontrolna	0,034	

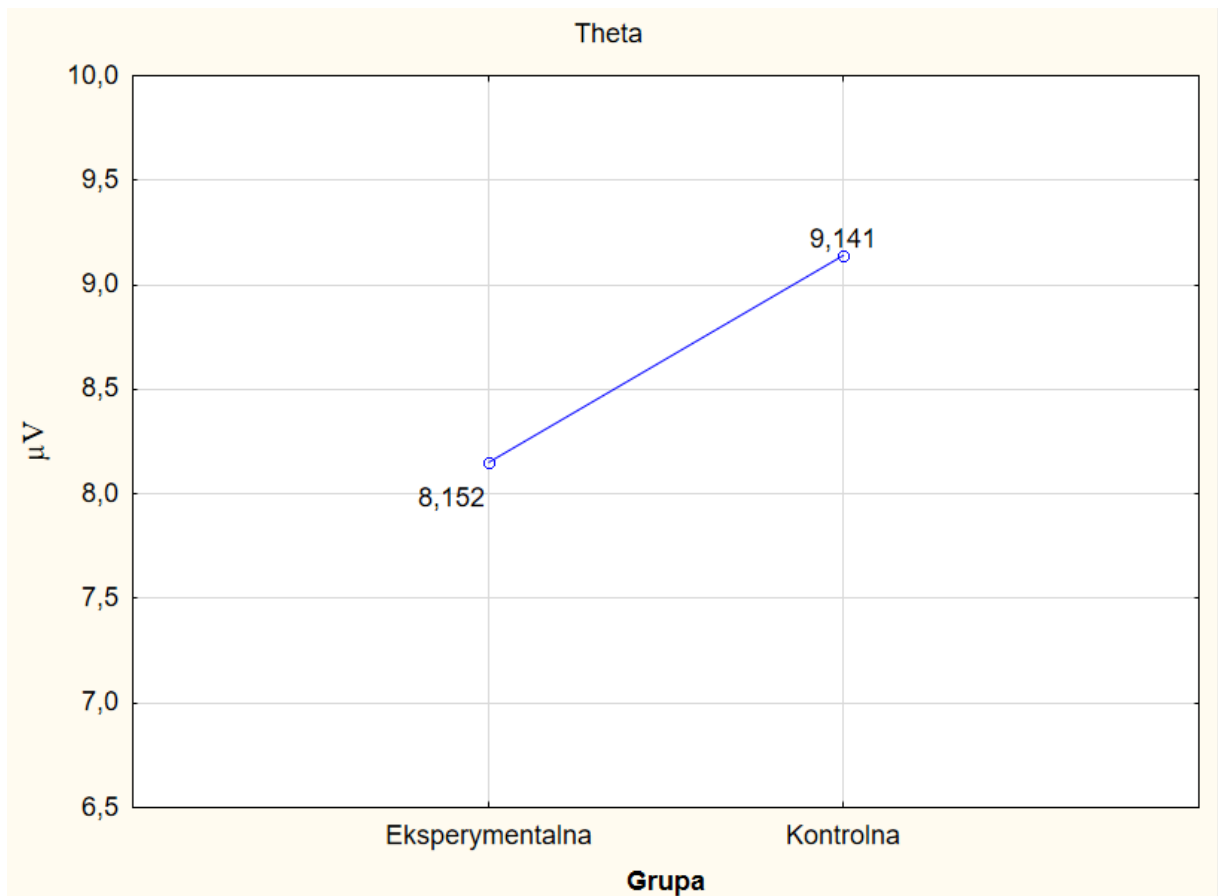


**Ryc. 9** Graficzna interpretacja różnic wartości beta po I cyklu treningów EEG biofeedback pomiędzy grupami kontrolną i eksperymentalną

Dla zmiennej theta po II cyklu test post – hoc RIR Tukeya wykazał istotne statystycznie różnice pomiędzy grupą kontrolną i eksperymentalną (Tabela 16, Ryc. 10).

**Tabela 16** Test post – hoc RIR Tukeya dla zmiennej theta po II cyklu treningów EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Grupa	Eksperymentalna	Kontrolna
		8,151 $\mu\text{V}$
Eksperymentalna		0,048
Kontrolna	0,048	



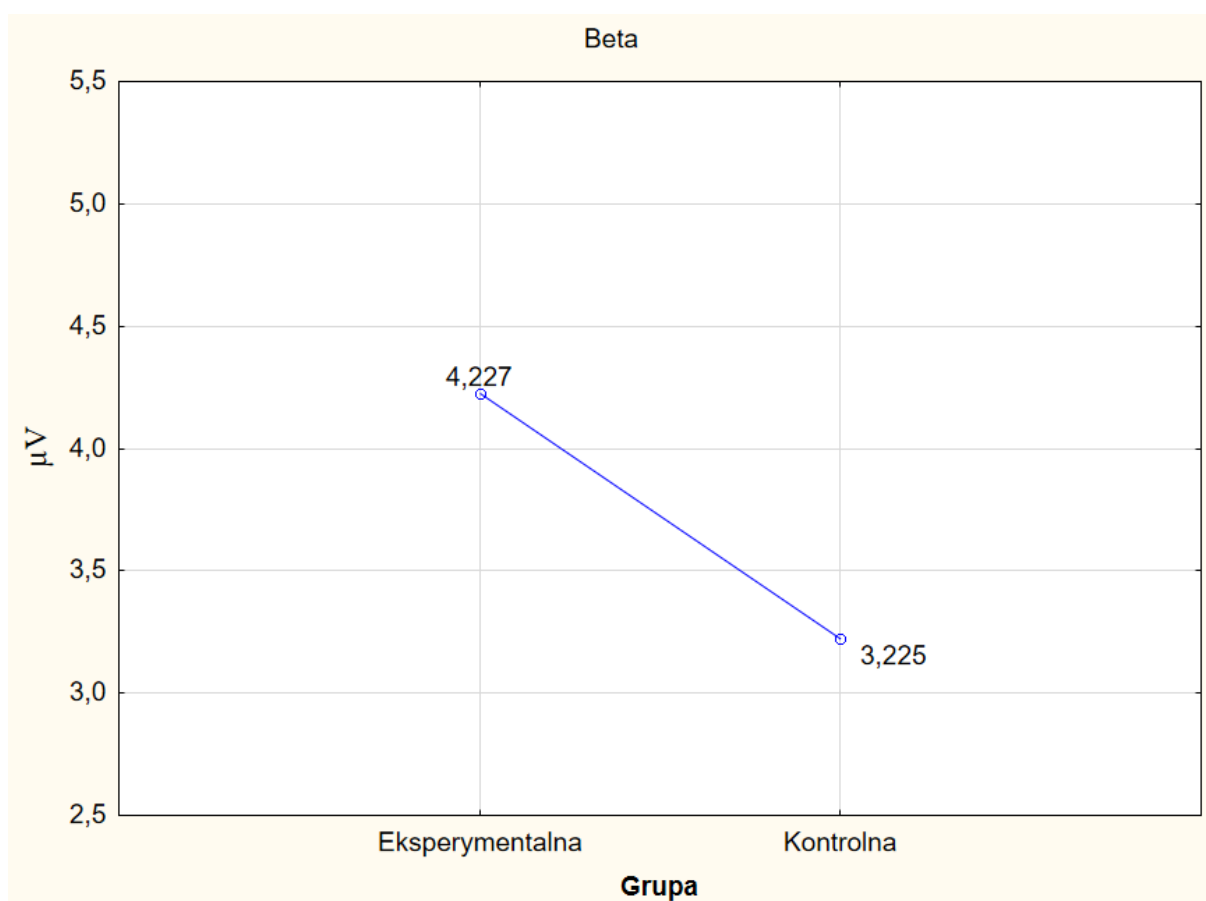
**Ryc. 10** Graficzna interpretacja różnic wartości fal theta po II cyklu treningów EEG biofeedback pomiędzy grupami kontrolną i eksperymentalną



Dla zmiennej beta po II cyklu treningów EEG biofeedback test post – hoc RIR Tukeya wykazał istotne statystycznie różnice pomiędzy grupą kontrolną i eksperymentalną (Tabela 17, Ryc. 11).

**Tabela 17** Test post – hoc RIR Tukeya dla zmiennej beta po II cyklu treningów EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Grupa	Eksperymentalna	Kontrolna
		4,227 $\mu V$
Eksperymentalna		0,026
Kontrolna	0,026	

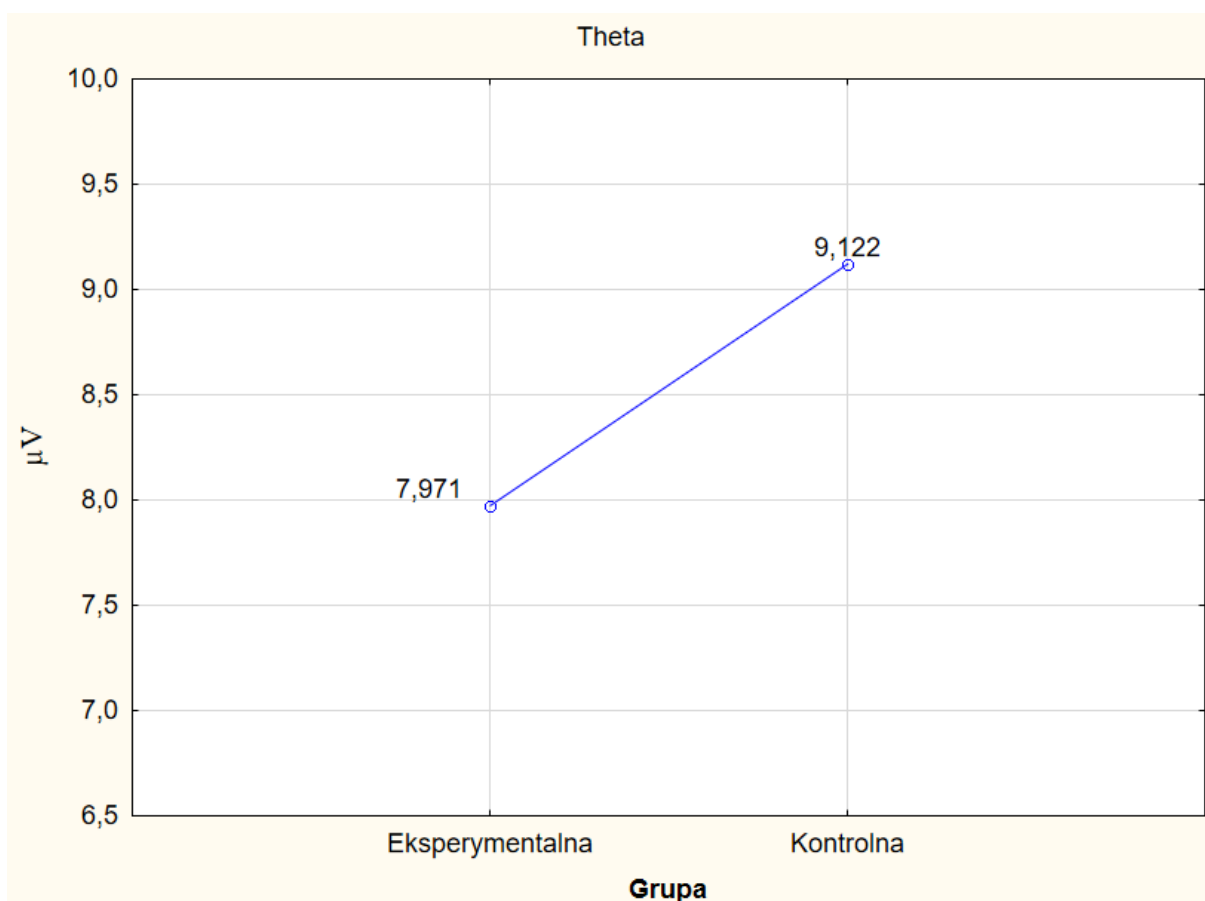


**Ryc. 11** Graficzna interpretacja różnic wartości fal beta po II cyklu treningów EEG biofeedback pomiędzy grupami kontrolną i eksperymentalną

Dla zmiennej theta po III cyklu treningów EEG biofeedback test post – hoc RIR Tukeya wykazał istotne statystycznie różnice pomiędzy grupą kontrolną i eksperymentalną (Tabela 18, Ryc. 12).

**Tabela 18** Test post – hoc RIR Tukeya dla zmiennej theta po III cyklu treningów EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Grupa	Eksperymentalna	Kontrolna
		7,971 $\mu\text{V}$
Eksperymentalna		0,023
Kontrolna	0,023	

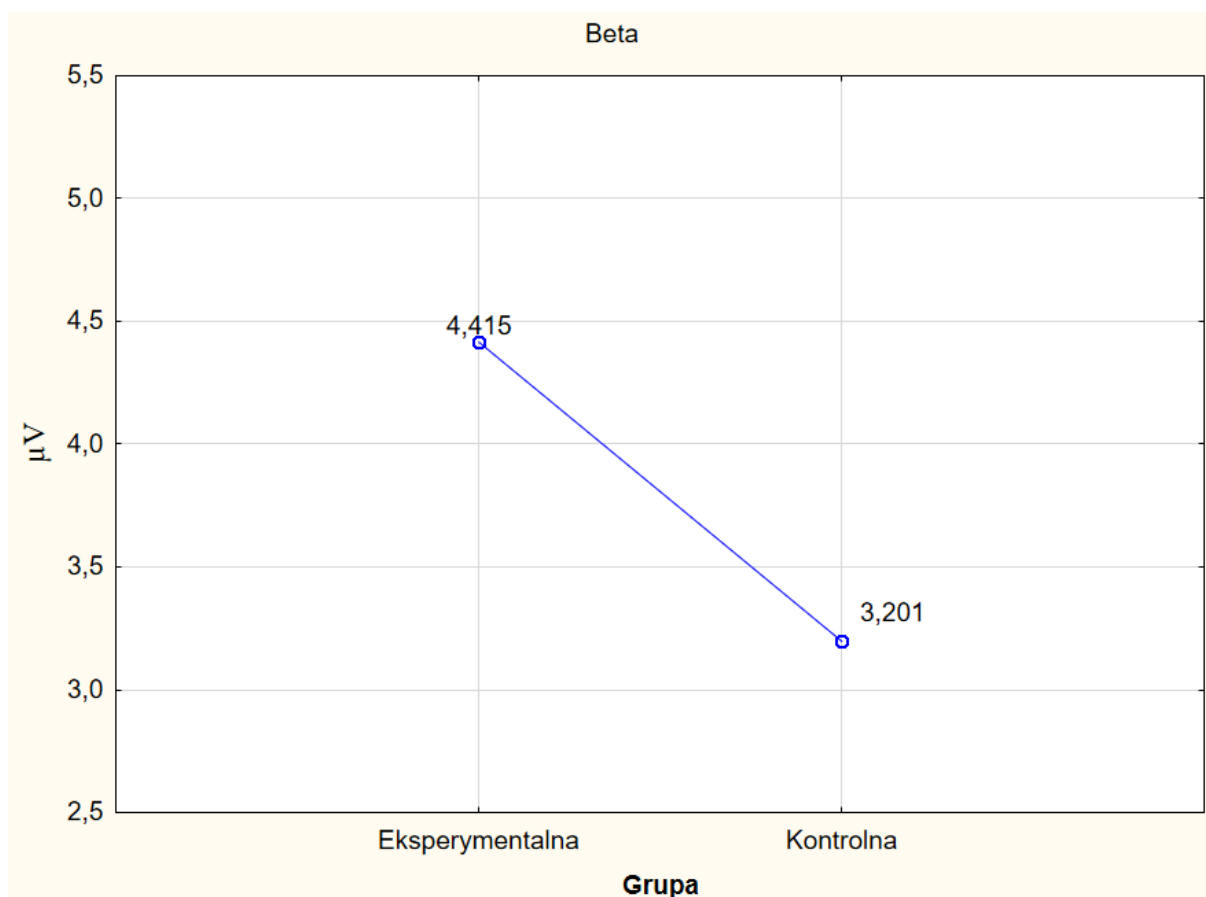


**Ryc. 12** Graficzna interpretacja różnic wartości fal theta po III cyklu treningów EEG biofeedback pomiędzy grupami kontrolną i eksperymentalną

Dla zmiennej beta po III cyklu treningów EEG biofeedback test post – hoc RIR Tukeya wykazał istotne statystycznie różnice pomiędzy grupą kontrolną i eksperymentalną (Tabela 19, Ryc. 13).

**Tabela 19** Test post – hoc RIR Tukeya dla zmiennej beta po III cyklu treningów EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Grupa	Eksperymentalna	Kontrolna
		4,415 $\mu\text{V}$
Eksperymentalna		0,007
Kontrolna	0,007	

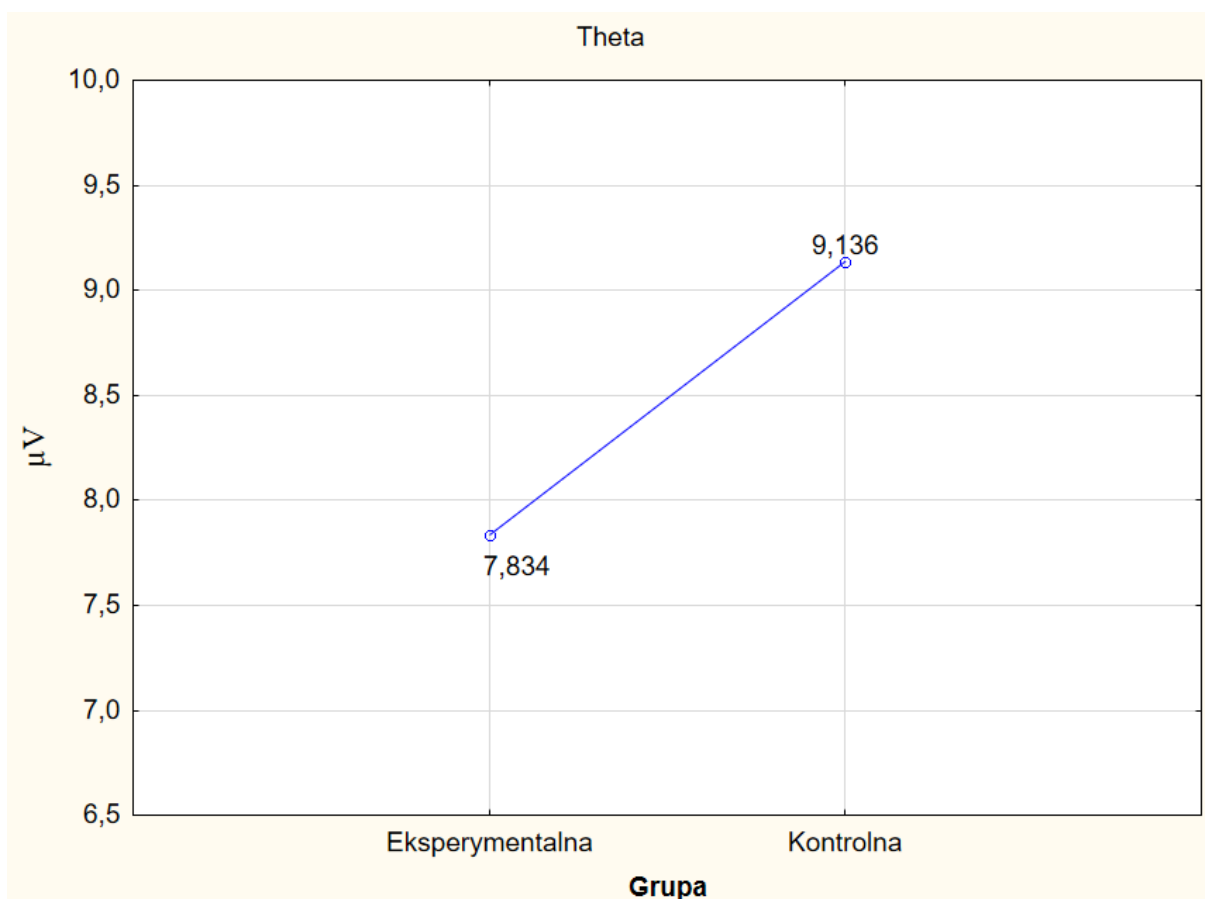


**Ryc. 13** Graficzna interpretacja różnic wartości fal beta po III cyklu treningów EEG biofeedback pomiędzy grupami kontrolną i eksperymentalną

Dla zmiennej theta po IV cyklu treningów EEG biofeedback test post – hoc RIR Tukeya wykazał istotne statystycznie różnice pomiędzy grupą kontrolną i eksperymentalną (Tabela 20, Ryc. 14).

**Tabela 20** Test post – hoc RIR Tukeya dla zmiennej theta po IV cyklu treningów EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Grupa	Eksperymentalna	Kontrolna
		7,834 $\mu\text{V}$
Eksperymentalna		0,011
Kontrolna	0,011	

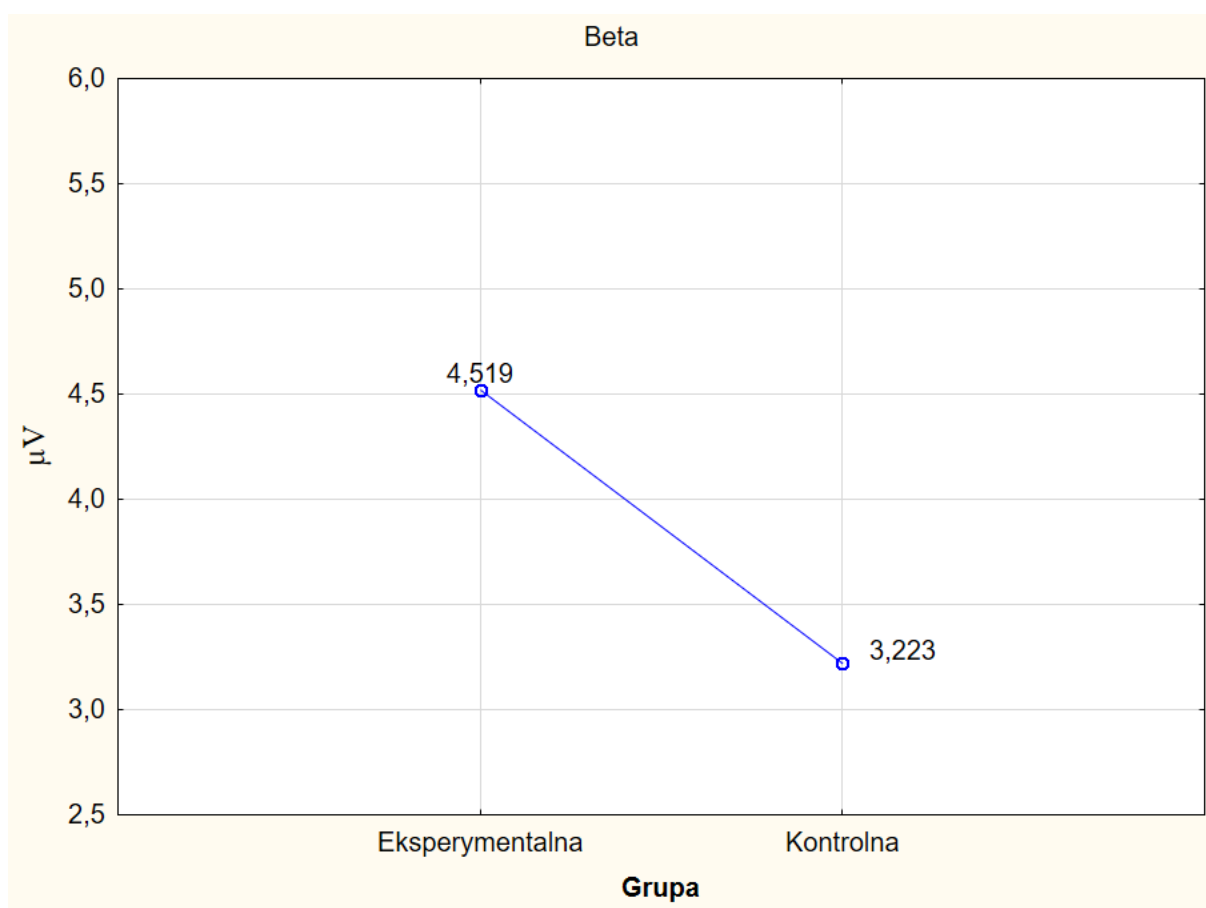


**Ryc. 14** Graficzna interpretacja różnic wartości fal theta po IV cyklu treningów EEG biofeedback pomiędzy grupami kontrolną i eksperymentalną

Dla zmiennej beta po IV cyklu treningów EEG biofeedback test post – hoc RIR Tukeya wykazał istotne statystycznie różnice pomiędzy grupą kontrolną i eksperymentalną (Tabela 21, Ryc. 15).

**Tabela 21** Test post – hoc RIR Tukeya dla zmiennej beta po IV cyklu treningów EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Grupa	Eksperymentalna	Kontrolna
		4,519 $\mu\text{V}$
Eksperymentalna		0,004
Kontrolna	0,004	



**Ryc. 15** Graficzna interpretacja różnic wartości fal beta po IV cyklu treningów EEG biofeedback pomiędzy grupami kontrolną i eksperymentalną

#### 4.5 Różnice międzygrupowe badanych zmiennych określających wyniki testów diagnostycznych szybkości reakcji po sesjach EEG biofeedback

W tabelach 22 – 30 przedstawiono wyniki analizy wariancji na poziomie istotności statystycznej  $p < 0,05$ , która wykazała, że można było odrzucić hipotezy o braku różnic w odniesieniu do grupy eksperymentalnej i kontrolnej pomiędzy wartościami badanych zmiennych szybkości reakcji prostej po przeprowadzonych treningach EEG biofeedback.

**Tabela 22** Wynik analizy wariancji ANOVA w celu określenia istotnych różnic pomiędzy badanymi zmiennymi szybkości reakcji prostej w odniesieniu do grup po poszczególnych cyklach sesji biofeedback

Zmienne	F	p
Po I cyklu – reakcja prosta (test komputerowy)	6,770	0,016
Po I cyklu – reakcja prosta (WST)	5,878	0,024
Po II cyklu – reakcja prosta (test komputerowy)	10,317	0,004
Po II cyklu – reakcja prosta (WST)	15,897	0,006
Po III cyklu – reakcja prosta (test komputerowy)	53,950	0,001
Po III cyklu – reakcja prosta (WST)	16,105	0,005
Po IV cyklu – reakcja prosta (test komputerowy)	27,120	0,003
Po IV cyklu – reakcja prosta (WST)	41,317	0,002

**Tabela 23** Test post – hoc RIR Tukeya dla komputerowego testu szybkości reakcji prostej po I cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Grupa	Eksperymentalna	Kontrolna
	0,186 s	0,196 s
Eksperymentalna		0,016
Kontrolna	0,016	

**Tabela 24** Test post – hoc RIR Tukeya dla testu szybkości reakcji prostej (WST) po I cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Grupa	Eksperymentalna	Kontrolna
		0,212 s
Eksperymentalna		0,024
Kontrolna	0,024	

**Tabela 25** Test post – hoc RIR Tukeya dla komputerowego testu szybkości reakcji prostej po II cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Grupa	Eksperymentalna	Kontrolna
		0,182 s
Eksperymentalna		0,004
Kontrolna	0,004	

**Tabela 26** Test post – hoc RIR Tukeya dla testu szybkości reakcji prostej (WST) po II cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Grupa	Eksperymentalna	Kontrolna
		0,214 s
Eksperymentalna		0,006
Kontrolna	0,006	

**Tabela 27** Test post – hoc RIR Tukeya dla komputerowego testu szybkości reakcji prostej po III cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Grupa	Eksperymentalna	Kontrolna
		0,198 s
Eksperymentalna		0,001
Kontrolna	0,001	

**Tabela 28** Test post – hoc RIR Tukeya dla testu szybkości reakcji prostej (WST) po III cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Grupa	Eksperymentalna	Kontrolna
		0,209 s
Eksperymentalna		0,005
Kontrolna	0,005	

**Tabela 29** Test post – hoc RIR Tukeya dla komputerowego testu szybkości reakcji prostej po IV cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Grupa	Eksperymentalna	Kontrolna
		0,177 s
Eksperymentalna		0,003
Kontrolna	0,003	

**Tabela 30** Test post – hoc RIR Tukeya dla testu szybkości reakcji prostej (WST) po IV cyklu w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Grupa	Eksperymentalna	Kontrolna
		0,207 s
Eksperymentalna		0,002
Kontrolna	0,002	

W tabelach 31 – 39 przedstawiono wyniki analizy wariancji na poziomie istotności statystycznej  $p < 0,05$ , która wykazała, że można było odrzucić hipotezy o braku różnic w odniesieniu do grupy eksperymentalnej i kontrolnej pomiędzy wartościami badanych zmiennych szybkości reakcji złożonej po przeprowadzonych treningach EEG biofeedback. Odnotowano istotne różnice w wartościach analizowanych zmiennych zarówno w teście komputerowym, jak i w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego w aspekcie grup, reakcji i cykli.



**Tabela 31** Wynik analizy wariancji ANOVA w celu określenia istotnych różnic pomiędzy badanymi zmiennymi szybkości reakcji złożonej w odniesieniu do grup przed poszczególnymi cyklami sesji EEG biofeedback

Zmienne	F	p
Po I cyklu – reakcja złożona (test komputerowy)	4,953	0,037
Po I cyklu – reakcja złożona (WST)	6,239	0,021
Po II cyklu – reakcja złożona (test komputerowy)	13,196	0,001
Po II cyklu – reakcja złożona (WST)	15,262	0,008
Po III cyklu – reakcja złożona (test komputerowy)	24,536	0,006
Po III cyklu – reakcja złożona (WST)	25,706	0,004
Po IV cyklu – reakcja złożona (test komputerowy)	51,839	0,001
Po IV cyklu – reakcja złożona (WST)	47,788	0,001

**Tabela 32** Test post – hoc RIR Tukeya dla komputerowego testu szybkości reakcji złożonej po I cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Grupa	Eksperymentalna	Kontrolna
	0,305 s	0,315 s
Eksperymentalna		0,037
Kontrolna	0,037	

**Tabela 33** Test post – hoc RIR Tukeya dla testu szybkości reakcji złożonej (WST) po I cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Grupa	Eksperymentalna	Kontrolna
	0,346 s	0,356 s
Eksperymentalna		0,021
Kontrolna	0,021	

**Tabela 34** Test post – hoc RIR Tukeya dla komputerowego testu szybkości reakcji złożonej po II cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Grupa	Eksperymentalna	Kontrolna
		0,299 s
Eksperymentalna		0,001
Kontrolna	0,001	

**Tabela 35** Test post – hoc RIR Tukeya dla testu szybkości reakcji złożonej (WST) po II cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Grupa	Eksperymentalna	Kontrolna
		0,339 s
Eksperymentalna		0,008
Kontrolna	0,008	

**Tabela 36** Test post – hoc RIR Tukeya dla komputerowego testu szybkości reakcji złożonej po III cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Grupa	Eksperymentalna	Kontrolna
		0,292 s
Eksperymentalna		0,006
Kontrolna	0,006	

**Tabela 37** Test post – hoc RIR Tukeya dla testu szybkości reakcji złożonej (WST) po III cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Grupa	Eksperymentalna	Kontrolna
		0,332 s
Eksperymentalna		0,004
Kontrolna	0,004	

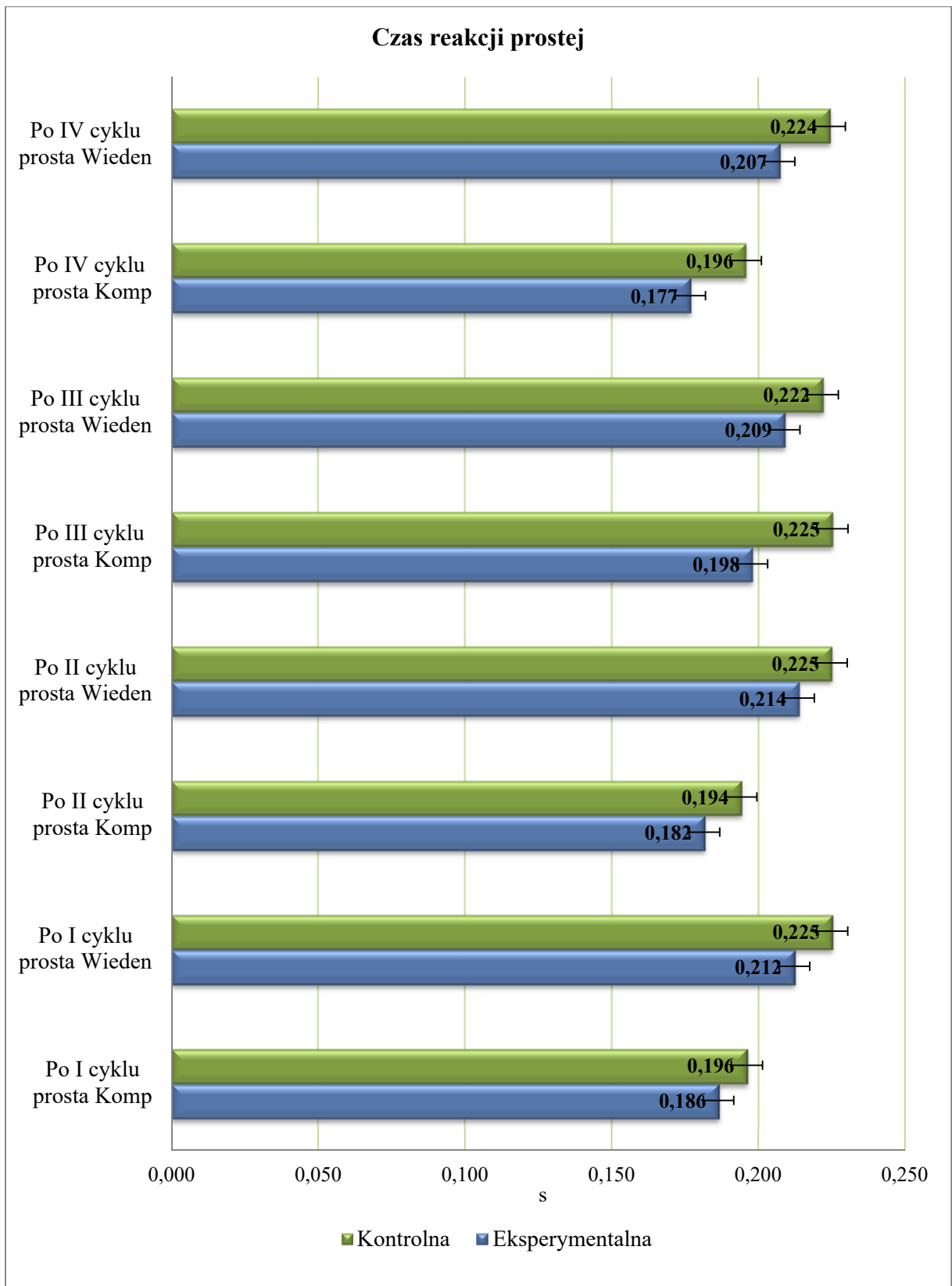
**Tabela 38** Test post – hoc RIR Tukeya dla komputerowego testu szybkości reakcji złożonej po IV cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

<b>Grupa</b>	Eksperymentalna	Kontrolna
		0,282 s
Eksperymentalna		0,001
Kontrolna	0,001	

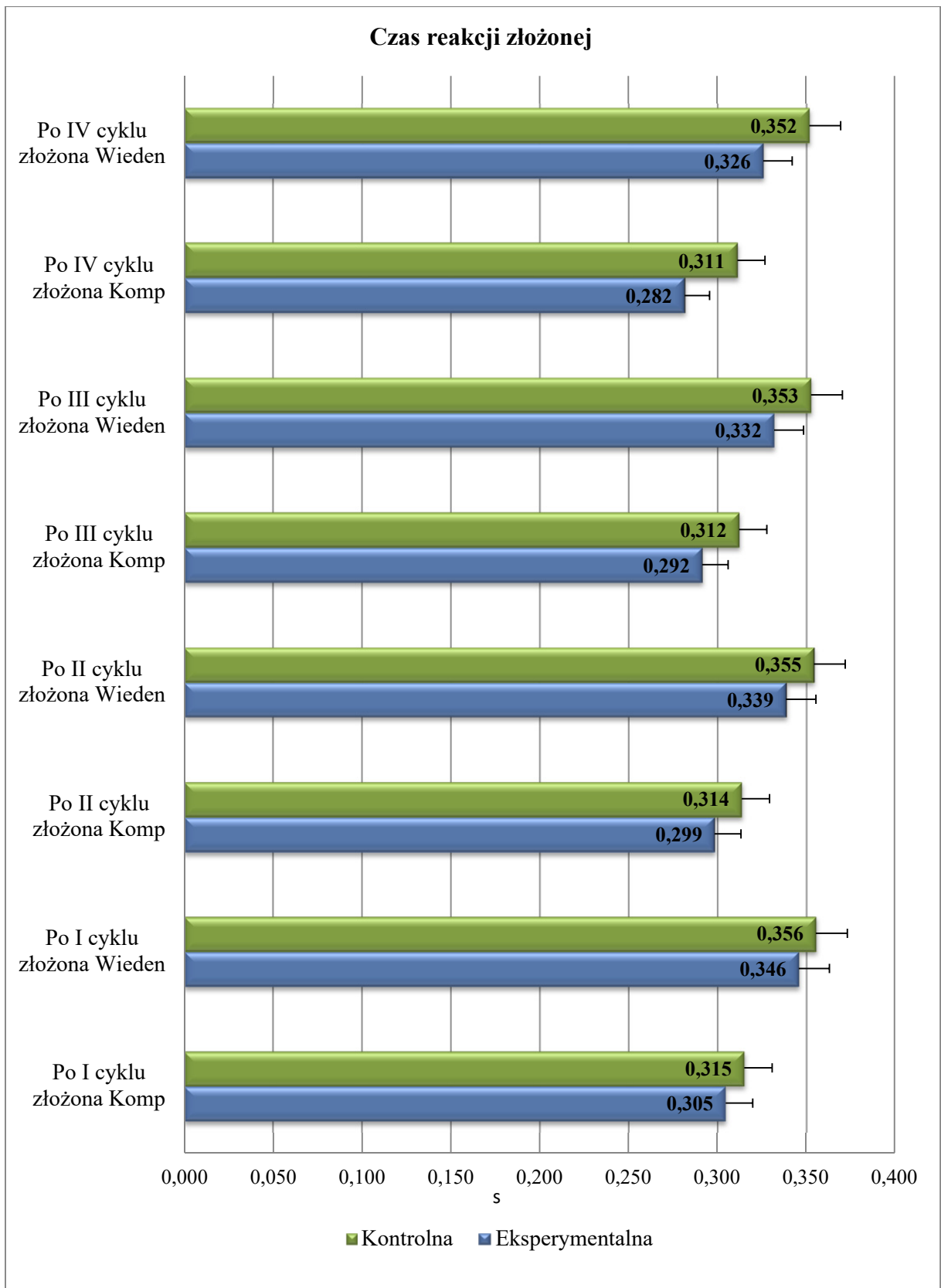
**Tabela 39** Test post – hoc RIR Tukeya dla testu szybkości reakcji złożonej (WST) po IV cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

<b>Grupa</b>	Eksperymentalna	Kontrolna
		0,326 s
Eksperymentalna		0,001
Kontrolna	0,001	

Ryciny 16 – 17 zawierają graficzną prezentację wyników czasów reakcji prostej i złożonej uzyskanych w grupie eksperymentalnej i kontrolnej po zakończeniu każdego cyklu treningowego metodą EEG biofeedback.



**Ryc. 16** Graficzna prezentacja wyników czasów reakcji prostej uzyskanych w grupie ekperymentalnej i kontrolnej po zakończeniu każdego cyklu treningowego EEG biofeedback



**Ryc. 17** Graficzna prezentacja wyników czasów reakcji złożonej uzyskanych w grupie eksperymentalnej i kontrolnej po zakończeniu każdego cyklu treningowego EEG biofeedback

Po przeprowadzeniu poszczególnych cykli treningowych metodą EEG biofeedback, zauważono istotne statystycznie różnice pomiędzy grupą kontrolną i eksperymentalną w wynikach czasów reakcji prostej oraz złożonej zarówno w testach komputerowych, jak i w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego. Można zatem przejść do analiz dotyczących grupy eksperymentalnej w celu znalezienia odpowiedzi na postawione pytania i hipotezy badawcze.

#### 4.6 Różnice pomiędzy badanymi zmiennymi określającymi wyniki testów diagnostycznych czasów reakcji przed i po przeprowadzonych treningach EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej

**Tabela 40** Wynik analizy testem T – Studenta w celu określenia istotności zmian szybkości reakcji prostej oraz złożonej w teście komputerowym

Zmienne	$\bar{X}$ [s]	S [s]	p
<b>Komputerowy test szybkości reakcji prostej</b>			
Przed I cyklem – reakcja prosta	0,194	0,012	0,004
Po I cyklu – reakcja prosta	0,186	0,010	
Przed II cyklem – reakcja prosta	0,223	0,006	0,001
Po II cyklu – reakcja prosta	0,214	0,005	
Przed III cyklem – reakcja prosta	0,192	0,012	0,001
Po III cyklu – reakcja prosta	0,170	0,006	
Przed IV cyklem – reakcja prosta	0,191	0,012	0,002
Po IV cyklu – reakcja prosta	0,177	0,008	
<b>Komputerowy test szybkości reakcji złożonej</b>			
Przed I cyklem – reakcja złożona	0,314	0,012	0,001
Po I cyklu – reakcja złożona	0,305	0,012	
Przed II cyklem – reakcja złożona	0,313	0,012	0,001
Po II cyklu – reakcja złożona	0,299	0,012	
Przed III cyklem – reakcja złożona	0,312	0,012	0,001
Po III cyklu – reakcja złożona	0,292	0,011	
Przed IV cyklem – reakcja złożona	0,311	0,012	0,001
Po IV cyklu – reakcja złożona	0,282	0,011	

Dla zmiennych czasu reakcji prostej oraz złożonej w teście komputerowym, prezentowanych w tabeli 40, analiza testem T – Studenta na poziomie istotności statystycznej  $p < 0,05$  wykazała, że można było odrzucić hipotezy o braku różnic pomiędzy wartościami badanych zmiennych przed i po zakończeniu poszczególnych cykli treningowych metodą EEG biofeedback.

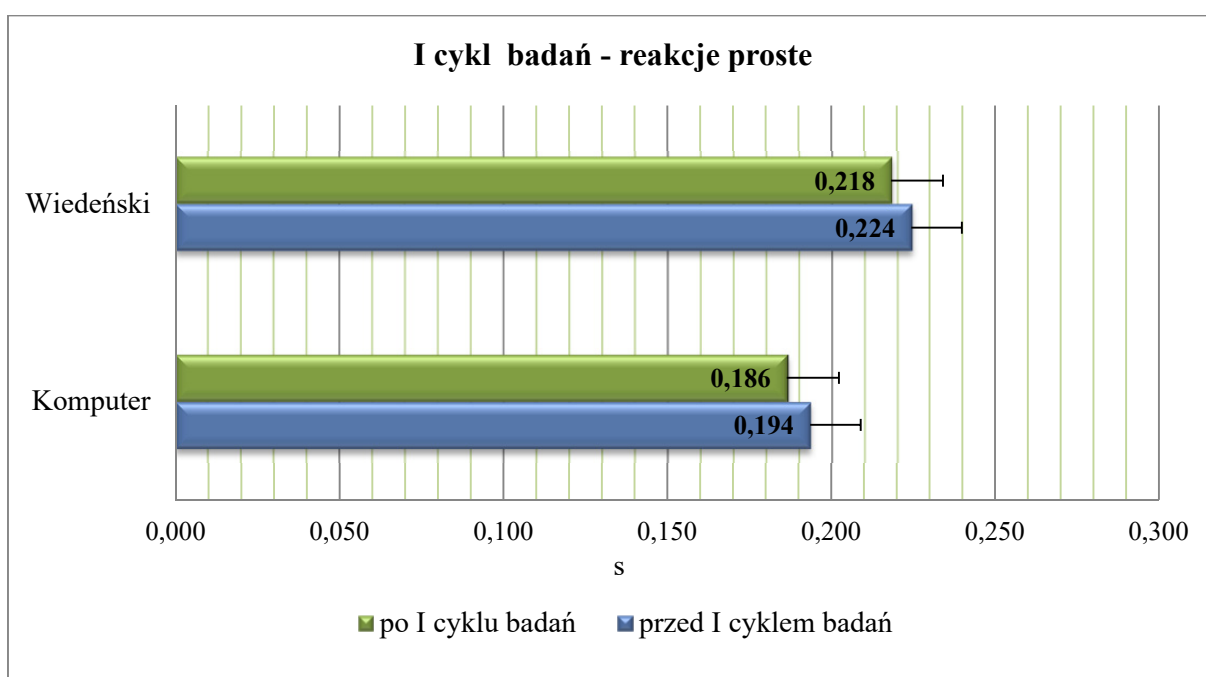
**Tabela 41** Wynik analizy testem T – Studenta w celu określenia istotności zmian szybkości reakcji prostej oraz złożonej w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego

Zmienne	$\bar{x}$ [s]	S [s]	p
<b>Testy szybkości reakcji prostej – Wiedeński System Testowy (WST)</b>			
Przed I cyklem – reakcja prosta	0,224	0,006	0,001
Po I cyklu – reakcja prosta	0,218	0,005	
Przed II cyklem – reakcja prosta	0,223	0,006	0,001
Po II cyklu – reakcja prosta	0,214	0,005	
Przed III cyklem – reakcja prosta	0,221	0,006	0,001
Po III cyklu – reakcja prosta	0,211	0,004	
Przed IV cyklem – reakcja prosta	0,222	0,006	0,001
Po IV cyklu – reakcja prosta	0,207	0,004	
<b>Testy szybkości reakcji złożonej – Wiedeński System Testowy (WST)</b>			
Przed I cyklem – reakcja złożona	0,354	0,011	0,001
Po I cyklu – reakcja złożona	0,346	0,01	
Przed II cyklem – reakcja złożona	0,353	0,01	0,001
Po II cyklu – reakcja złożona	0,339	0,009	
Przed III cyklem – reakcja złożona	0,352	0,011	0,001
Po III cyklu – reakcja złożona	0,332	0,007	
Przed IV cyklem – reakcja złożona	0,351	0,011	0,001
Po IV cyklu – reakcja złożona	0,326	0,006	

Dla zmiennych szybkości reakcji prostej oraz złożonej w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego, prezentowanych w tabeli 41, analiza testem T – Studenta na poziomie istotności statystycznej  $p < 0,05$  wykazała, że można było odrzucić hipotezy o braku różnic pomiędzy wartościami badanych zmiennych przed i po zastosowaniu poszczególnych cykli treningowych metodą EEG biofeedback.

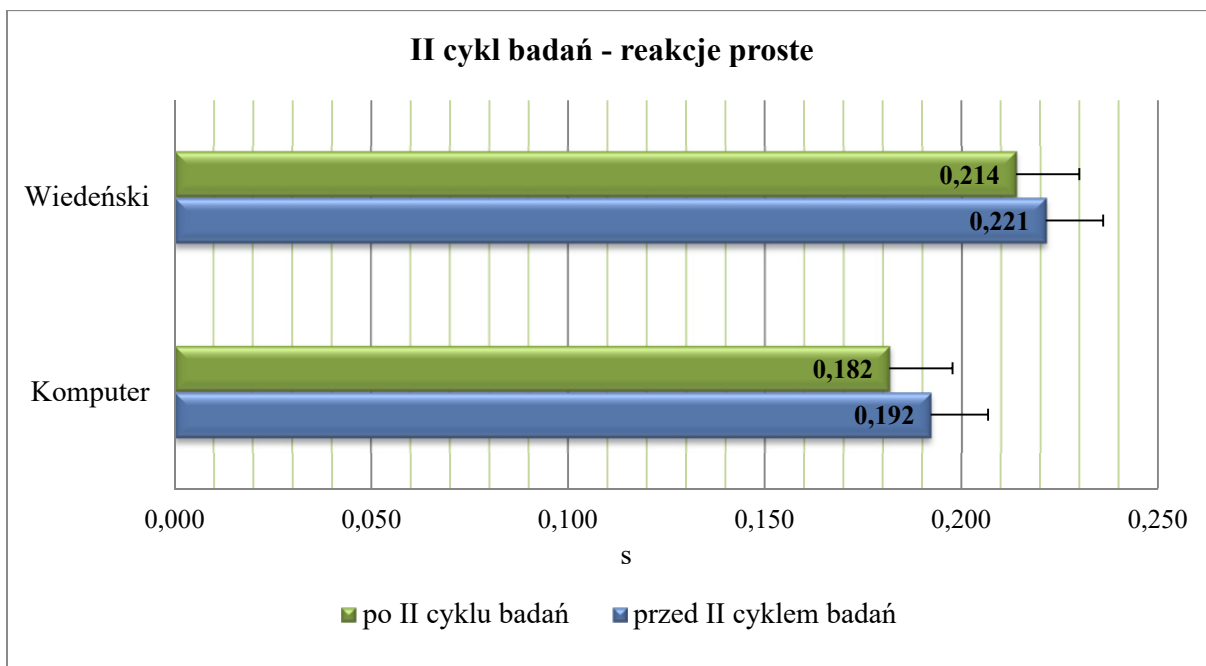
Ryciny 18 – 25 prezentują w sposób graficzny różnice w wynikach czasów reakcji prostej oraz złożonej uzyskanych przed i po przeprowadzeniu treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej.

### Czas reakcji prostej

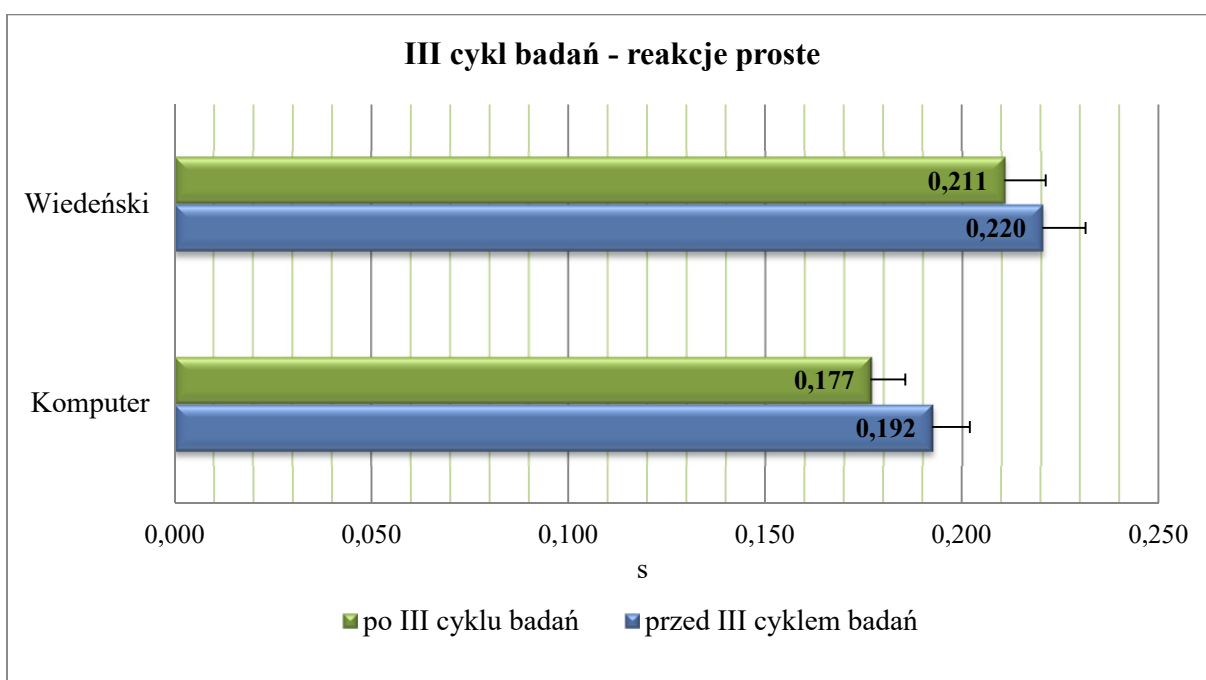


**Ryc. 18** Graficzna prezentacja różnic w wynikach czasów reakcji prostej uzyskanych przed i po I cyklu treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej

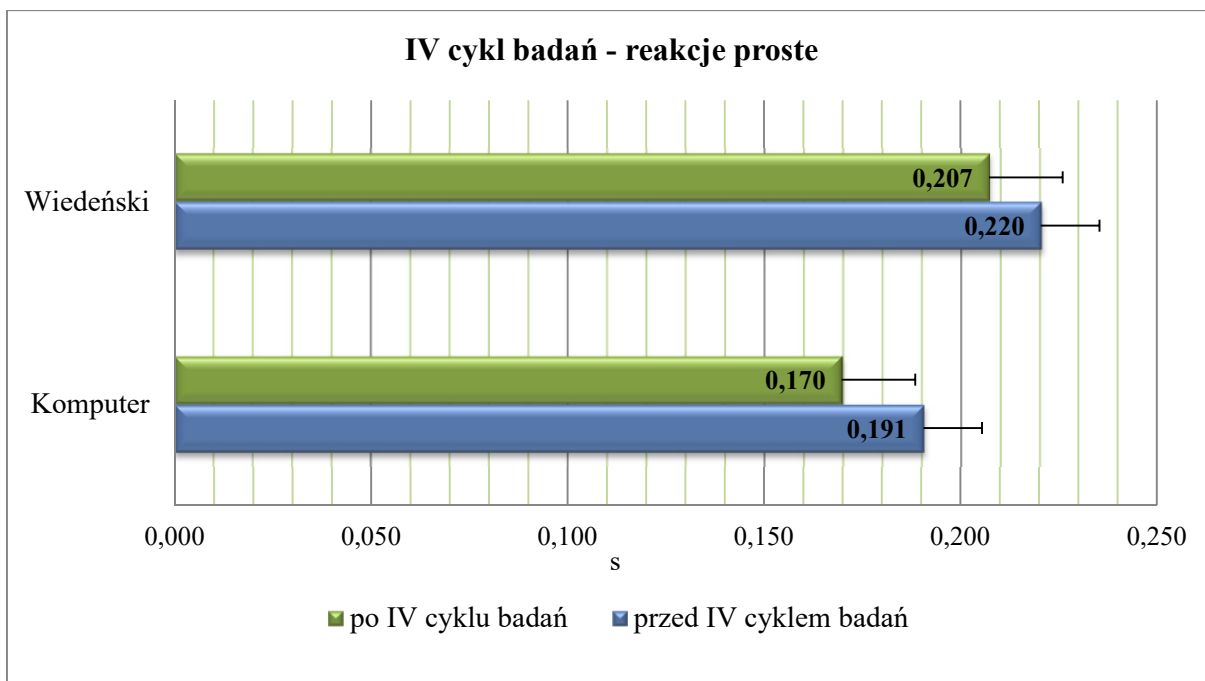




**Ryc. 19** Graficzna prezentacja różnic w wynikach czasów reakcji prostej uzyskanych przed i po II cyklu treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej

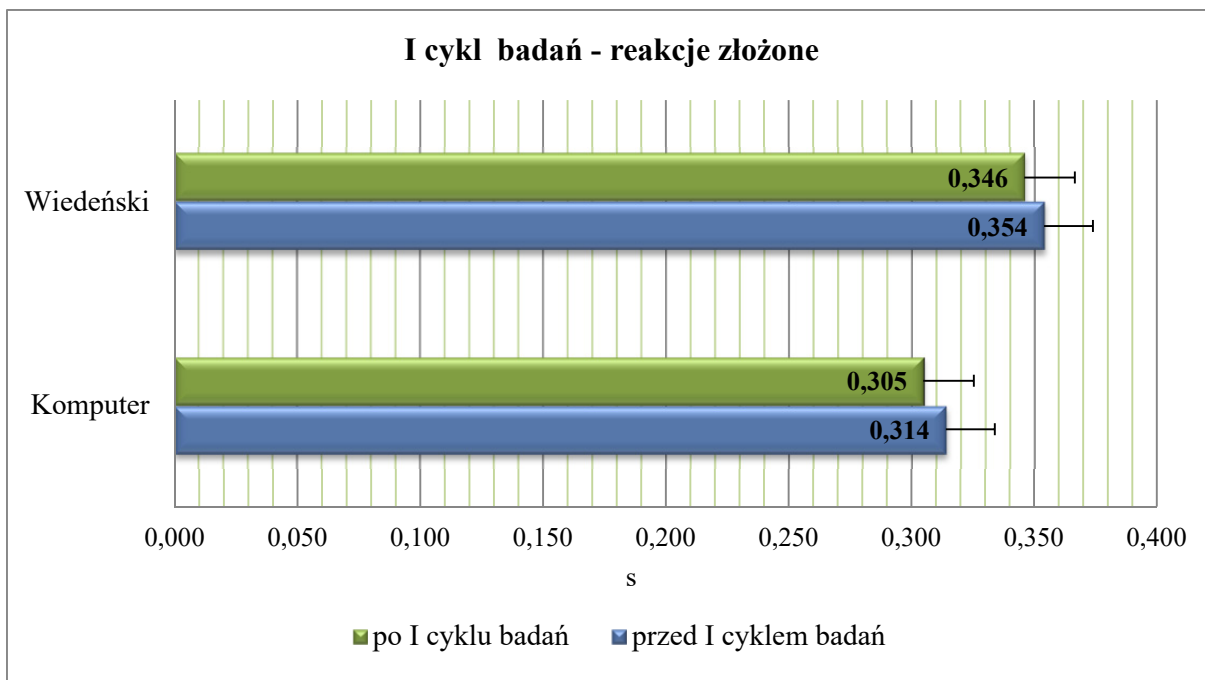


**Ryc. 20** Graficzna prezentacja różnic w wynikach czasów reakcji prostej uzyskanych przed i po III cyklu treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej

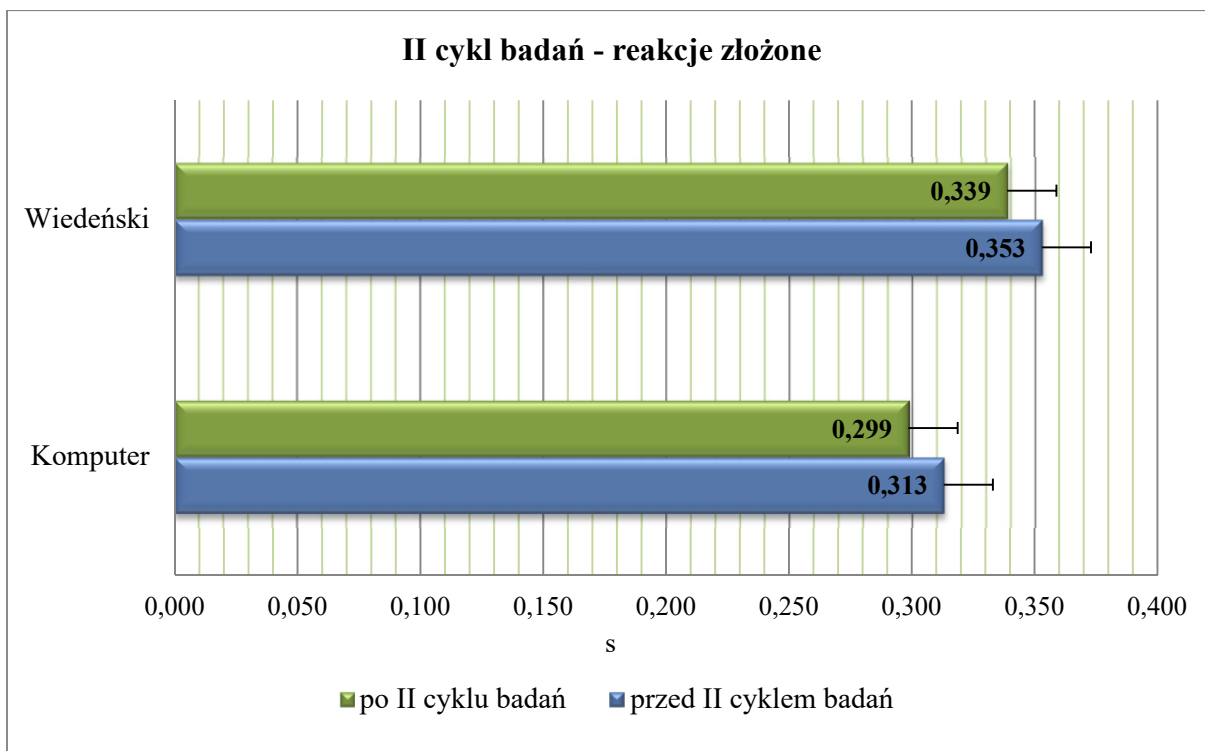


**Ryc. 21** Graficzna prezentacja różnic w wynikach czasów reakcji prostej uzyskanych przed i po IV cyklu treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej

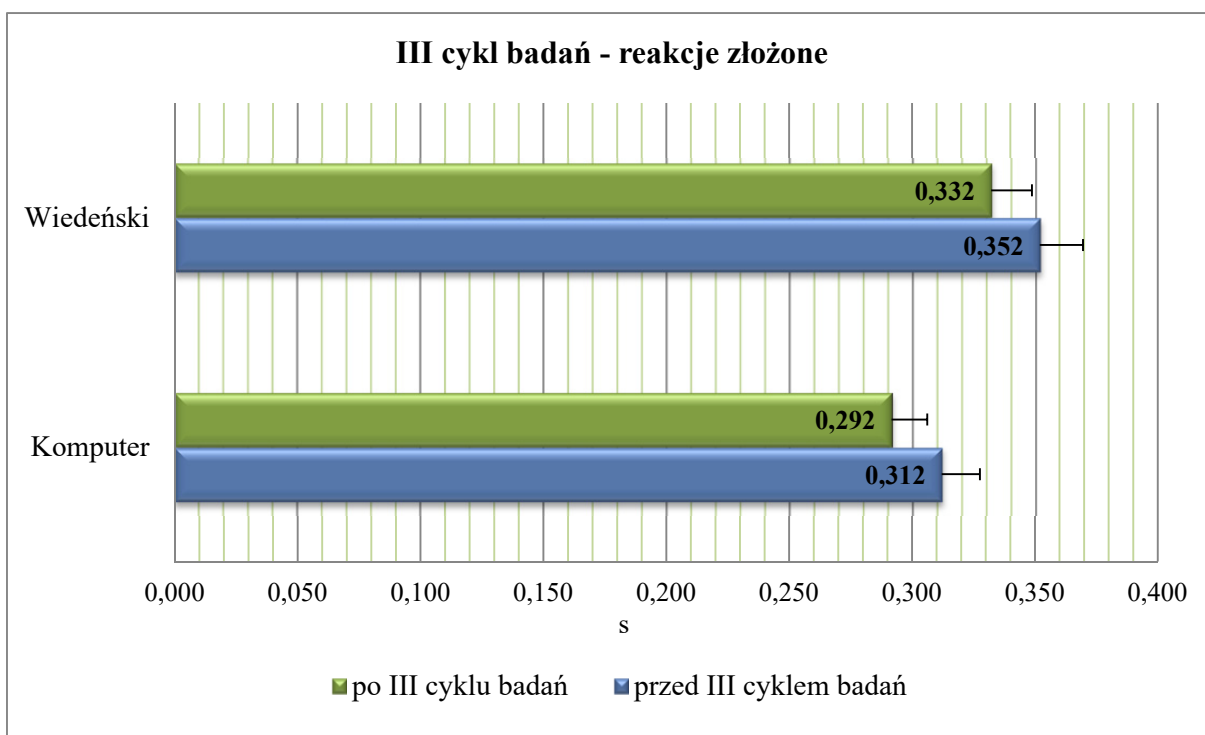
**Czas reakcji złożonej**



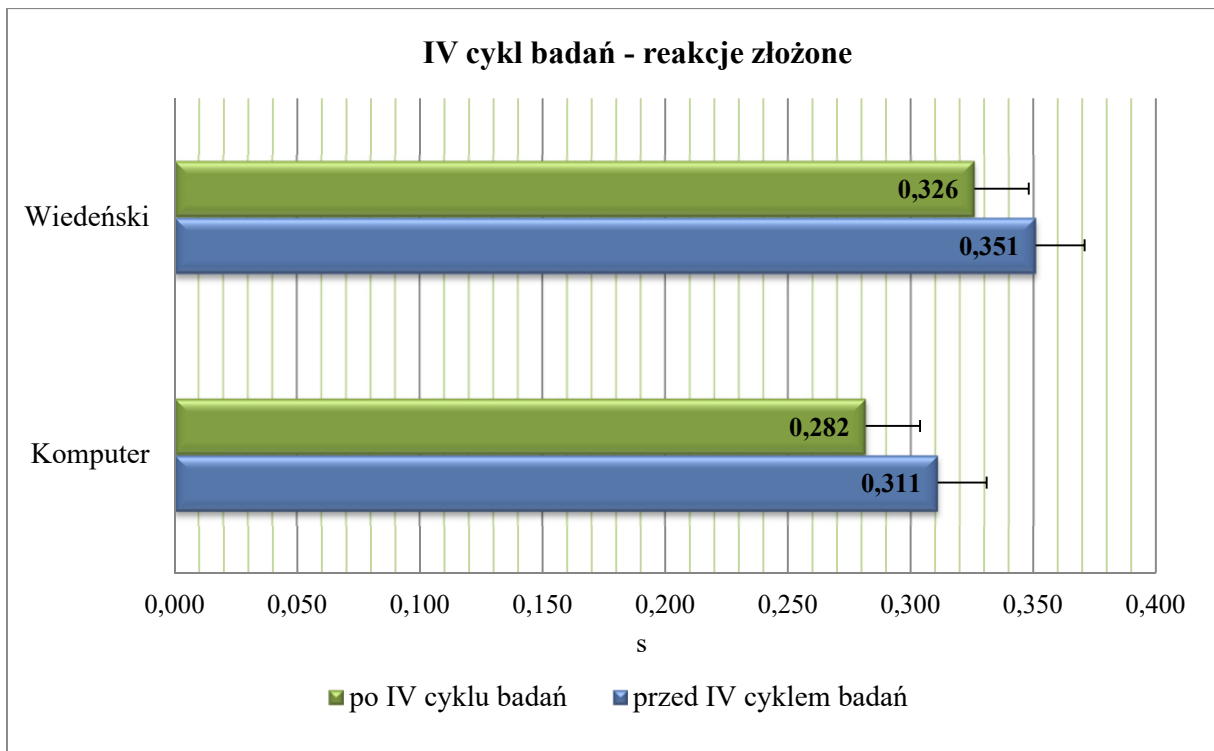
**Ryc. 22** Graficzna prezentacja różnic w wynikach czasów reakcji złożonej uzyskanych przed i po I cyklu treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej



**Ryc. 23** Graficzna prezentacja różnic w wynikach czasów reakcji złożonej uzyskanych przed i po II cyklu treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej



**Ryc. 24** Graficzna prezentacja różnic w wynikach czasów reakcji złożonej uzyskanych przed i po III cyklu treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej



**Ryc. 25** Graficzna prezentacja różnic w wynikach czasów reakcji złożonej uzyskanych przed i po IV cyklu treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej

#### **4.7 Wyznaczanie wielkości zarejestrowanych czasów reakcji prostej i złożonej podczas testów diagnostycznych przed i po sesjach EEG biofeedback z uwzględnieniem wszystkich cykli w grupie eksperymentalnej**

Tabele 42 – 43 prezentują zbiorcze wartości zmian w testach szybkości reakcji zarejestrowanych przed i po kolejnych cyklach treningowych metodą EEG biofeedback.

Ryciny 26 – 27 prezentują natomiast graficzną wizualizację przyrostów testowych czasów reakcji prostej oraz złożonej przed i po przeprowadzonych cyklach treningowych EEG biofeedback w testach komputerowych oraz w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego.

**Tabela 42** Wynik porównania czasów reakcji prostej uzyskiwanych przed i po poszczególnych cyklach treningowych EEG biofeedback w testach komputerowych oraz w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego

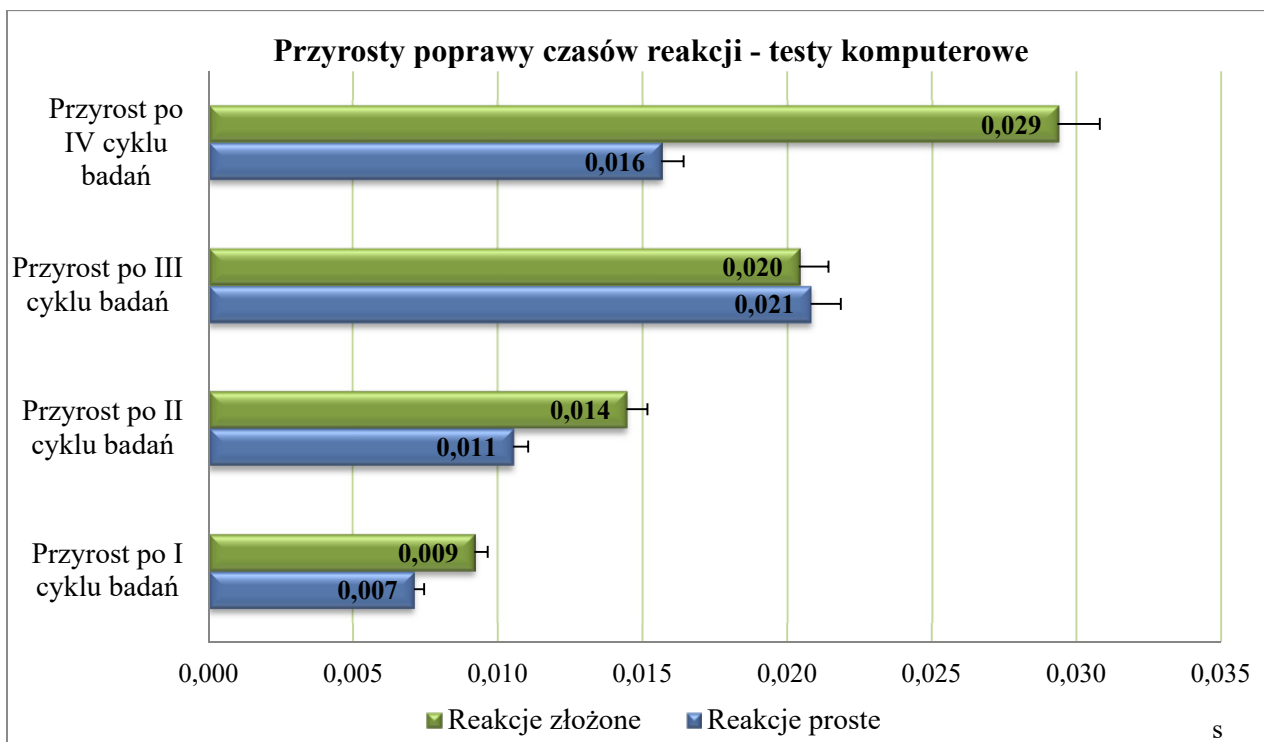
<b>Czas reakcji prostej</b>		
Czas reakcji prostej - testy komputerowe [s]		
<b>przed I cyklem badań</b>	<b>po I cyklu badań</b>	Przyrost absolutny [s]
<b>0,194</b>	<b>0,186</b>	<b>0,007</b>
Czas reakcji prostej - Wiedeński System Testowy [s]		
<b>przed I cyklem badań</b>	<b>po I cyklu badań</b>	
<b>0,224</b>	<b>0,218</b>	<b>0,006</b>
Czas reakcji prostej - testy komputerowe [s]		
<b>przed II cyklem badań</b>	<b>po II cyklu badań</b>	
<b>0,192</b>	<b>0,182</b>	<b>0,011</b>
Czas reakcji prostej – Wiedeński System Testowy [s]		
<b>przed II cyklem badań</b>	<b>po II cyklu badań</b>	
<b>0,221</b>	<b>0,214</b>	<b>0,008</b>
Czas reakcji prostej – testy komputerowe [s]		
<b>przed III cyklem badań</b>	<b>po III cyklu badań</b>	
<b>0,191</b>	<b>0,170</b>	<b>0,021#</b>
Czas reakcji prostej – Wiedeński System Testowy [s]		
<b>przed III cyklem badań</b>	<b>po III cyklu badań</b>	
<b>0,220</b>	<b>0,207</b>	<b>0,013</b>
Czas reakcji prostej – testy komputerowe [s]		
<b>przed IV cyklem badań</b>	<b>po IV cyklu badań</b>	
<b>0,192</b>	<b>0,177</b>	<b>0,016#</b>
Czas reakcji prostej – Wiedeński System Testowy [s]		
<b>przed IV cyklem badań</b>	<b>po IV cyklu badań</b>	
<b>0,220</b>	<b>0,211</b>	<b>0,010</b>

# zaznaczone najwyższe przyrosty absolutne

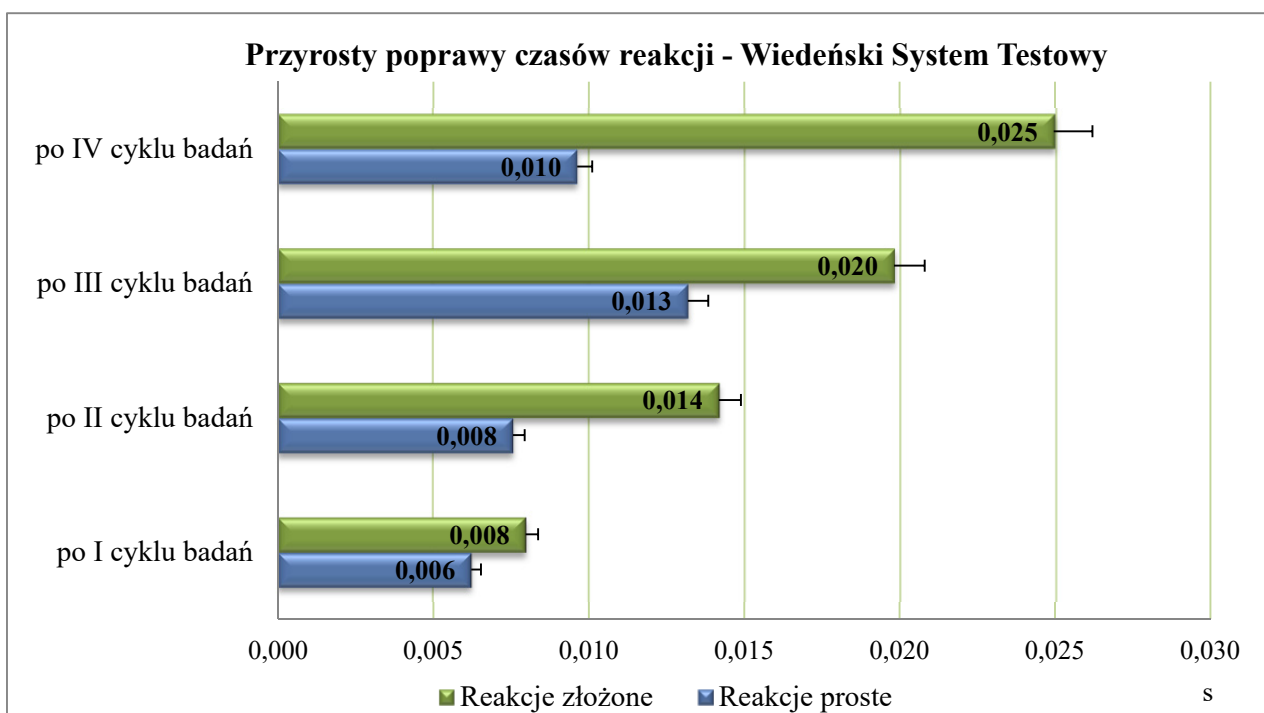
**Tabela 43** Wynik porównania czasów reakcji złożonej uzyskiwanych przed i po poszczególnych cyklach treningowych EEG biofeedback w testach komputerowych oraz w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego

<b>Reakcja złożona</b>		
Czas reakcji złożonej – testy komputerowe [s]		
<b>przed I cyklem badań</b>	<b>po I cyklu badań</b>	Przyrost absolutny [s]
<b>0,314</b>	<b>0,305</b>	<b>0,009</b>
Czas reakcji złożonej – Wiedeński System Testowy [s]		
<b>przed I cyklem badań</b>	<b>po I cyklu badań</b>	
<b>0,354</b>	<b>0,346</b>	<b>0,008</b>
Czas reakcji złożonej – testy komputerowe [s]		
<b>przed II cyklem badań</b>	<b>po II cyklu badań</b>	
<b>0,313</b>	<b>0,299</b>	<b>0,014</b>
Czas reakcji złożonej – Wiedeński System Testowy [s]		
<b>przed II cyklem badań</b>	<b>po II cyklu badań</b>	
<b>0,353</b>	<b>0,339</b>	<b>0,014</b>
Czas reakcji złożonej – testy komputerowe [s]		
<b>przed III cyklem badań</b>	<b>po III cyklu badań</b>	
<b>0,312</b>	<b>0,292</b>	<b>0,020</b>
Czas reakcji złożonej – Wiedeński System Testowy [s]		
<b>przed III cyklem badań</b>	<b>po III cyklu badań</b>	
<b>0,352</b>	<b>0,332</b>	<b>0,020</b>
Czas reakcji złożonej – testy komputerowe [s]		
<b>przed IV cyklem badań</b>	<b>po IV cyklu badań</b>	
<b>0,311</b>	<b>0,282</b>	<b>0,029#</b>
Czas reakcji złożonej – Wiedeński System Testowy [s]		
<b>przed IV cyklem badań</b>	<b>po IV cyklu badań</b>	
<b>0,351</b>	<b>0,326</b>	<b>0,025#</b>

# zaznaczone najwyższe przyrosty absolutne



**Ryc. 26** Wizualizacja przyrostów czasów reakcji prostej oraz złożonej po kolejnych cyklach treningowych metodą EEG biofeedback w testach komputerowych w grupie eksperymentalnej



**Ryc. 27** Wizualizacja przyrostów czasów reakcji prostej oraz złożonej po kolejnych cyklach treningowych metodą EEG biofeedback w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego w grupie eksperymentalnej

#### 4.8 Porównanie różnic pomiędzy kolejno zastosowanymi procedurami treningu EEG biofeedback, a uzyskanymi wynikami czasów reakcji prostych i złożonych w grupie eksperymentalnej

W tabelach 44 – 46 oraz na rycinach 28 – 29 przedstawiono wyniki analizy wariancji na poziomie istotności statystycznej  $p < 0,05$ , która wykazała, że można było odrzucić hipotezy o braku różnic w odniesieniu do grupy eksperymentalnej pomiędzy kolejnymi cyklami treningów EEG biofeedback, a uzyskiwanymi wynikami czasów reakcji prostej w testach komputerowych oraz w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego. Odnotowano istotne różnice pomiędzy badanymi zmiennymi szybkości reakcji prostej w odniesieniu do grupy eksperymentalnej przed poszczególnymi cyklami sesji EEG biofeedback.

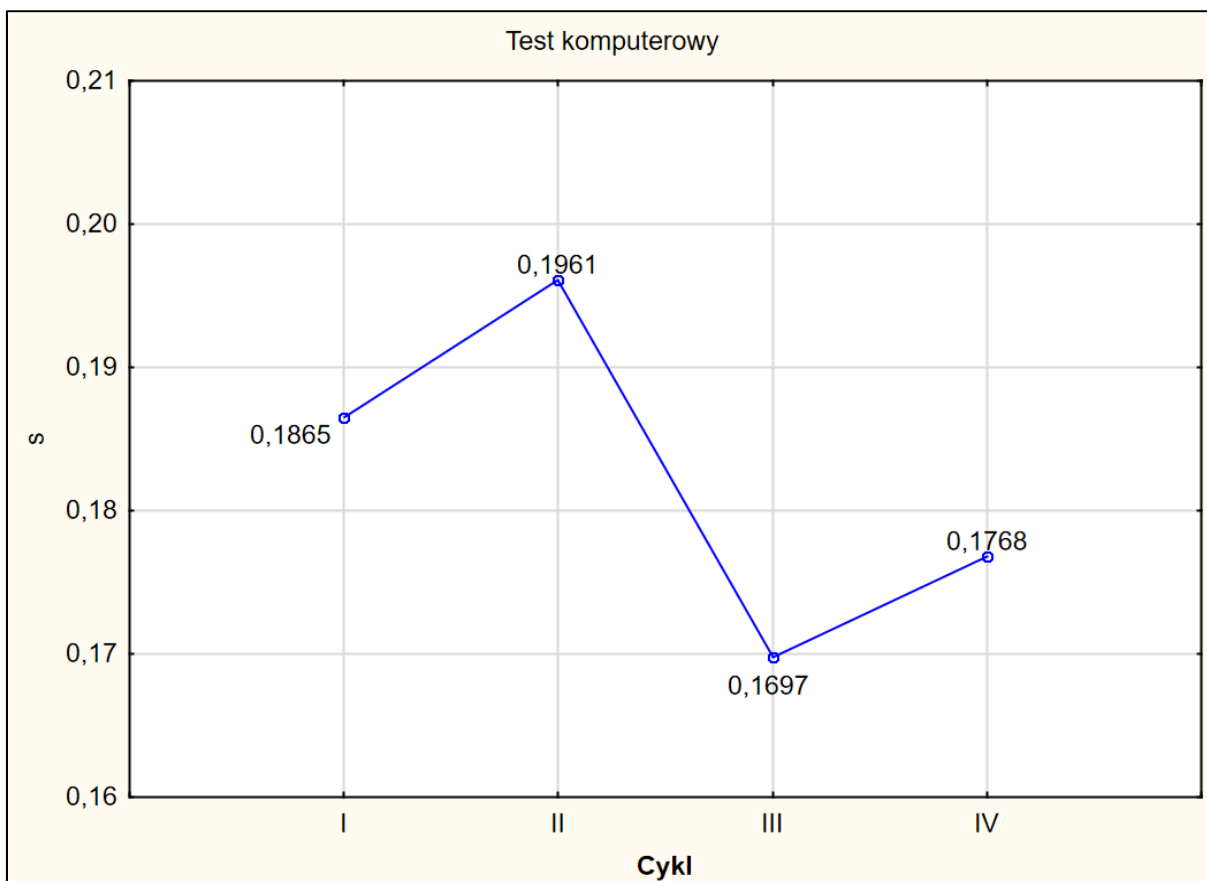
**Tabela 44** Wynik analizy wariancji ANOVA w celu określenia istotnych różnic pomiędzy badanymi zmiennymi szybkości reakcji prostej w odniesieniu do grupy eksperymentalnej przed poszczególnymi cyklami sesji EEG biofeedback

Zmienne	F	p
Test komputerowy – czas reakcji prostej	23,494	0,001
Wiedeński System Testowy – czas reakcji złożonej	13,276	0,003

**Tabela 45** Test post – hoc RIR Tukeya dla różnic w komputerowym teście szybkości reakcji prostej pomiędzy poszczególnymi cyklami treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Cykl treningowy	I 0,186 s	II 0,196 s	III 0,169 s	IV 0,177 s
I		0,030	0,002	0,030
II	0,030		0,002	0,002
III	0,002	0,002		0,166
IV	0,030	0,002	0,166	



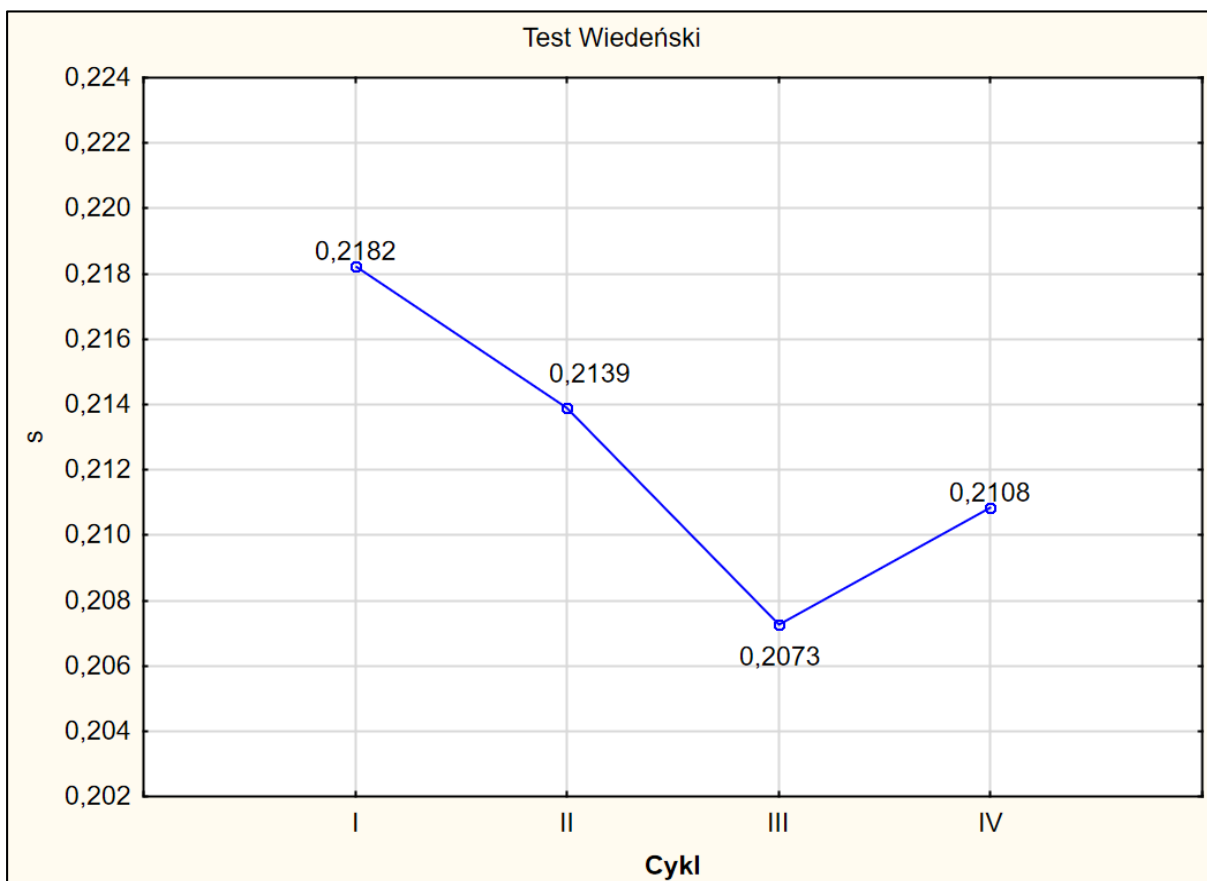


**Ryc. 28** Graficzna wizualizacja różnic w komputerowym teście szybkości reakcji prostej pomiędzy poszczególnymi cyklami treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej

Wynik analizy jednoznacznie wskazuje na istotne różnice pomiędzy zarejestrowanymi czasami reakcji prostej w teście komputerowym pomiędzy III i IV oraz I i II cyklem treningowym metodą EEG biofeedback. Istotne polepszenie czasu reakcji miało miejsce po III i IV cyklu.

**Tabela 46** Test post – hoc RIR Tukeya dla różnic w teście szybkości reakcji prostej w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego pomiędzy poszczególnymi cyklami treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Cykl treningowy	I	II	III	IV
	<b>0,218 s</b>	<b>0,214 s</b>	<b>0,207 s</b>	<b>0,211 s</b>
I		0,091	0,002	0,001
II	0,091		0,004	0,337
III	0,002	0,004		0,215
IV	0,001	0,337	0,215	



**Ryc. 29** Graficzna wizualizacja różnic w teście szybkości reakcji prostej w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego pomiędzy poszczególnymi cyklami treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej

Wynik analizy jednoznacznie wskazuje na istotne różnice pomiędzy uzyskiwanymi czasami reakcji prostej w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego pomiędzy III i IV a I cyklem treningu EEG biofeedback. Nie zauważono jednak istotnej różnicy pomiędzy IV a II cyklem szkoleniowym. Można jednoznacznie stwierdzić zatem, że istotne polepszenie czasu reakcji prostej miało miejsce po III i IV cyklu.

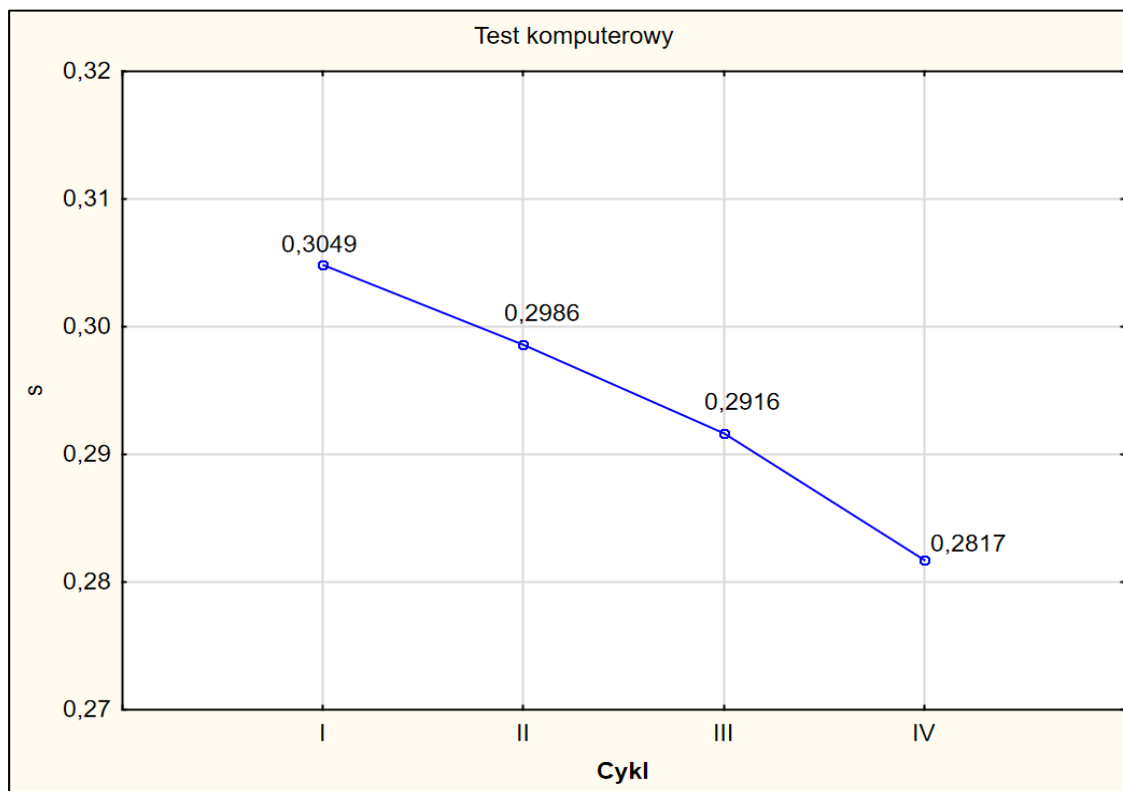
W tabelach 47 – 49 oraz na rycinach 30 – 31 przedstawiono analizę wariancji na poziomie istotności statystycznej  $p < 0,05$ , która wykazała, że można było odrzucić hipotezy o braku różnic w odniesieniu do grupy eksperymentalnej pomiędzy kolejnymi cyklami treningów EEG biofeedback, a uzyskiwanymi wynikami czasów reakcji złożonej w testach komputerowych oraz w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego. Odnotowano istotne różnice pomiędzy badanymi zmiennymi szybkości reakcji złożonej w odniesieniu do grupy eksperymentalnej przed poszczególnymi cyklami sesji EEG biofeedback.

**Tabela 47** Wynik analizy wariancji ANOVA w celu określenia istotnych różnic pomiędzy badanymi zmiennymi szybkości reakcji złożonej w odniesieniu do grupy eksperymentalnej przed poszczególnymi cyklami sesji EEG biofeedback

Zmienne	F	p
Test komputerowy – czas reakcji złożonej	9,002	0,009
Wiedeński System Testowy – czas reakcji złożonej	12,692	0,004

**Tabela 48** Test post – hoc RIR Tukeya dla różnic w komputerowym teście szybkości reakcji złożonej pomiędzy poszczególnymi cyklami treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Cykl treningowy	I 0,305 s	II 0,299 s	III 0,292 s	IV 0,282 s
I		0,544	0,035	0,002
II	0,544		0,454	0,004
III	0,035	0,454		0,162
IV	0,002	0,004	0,162	

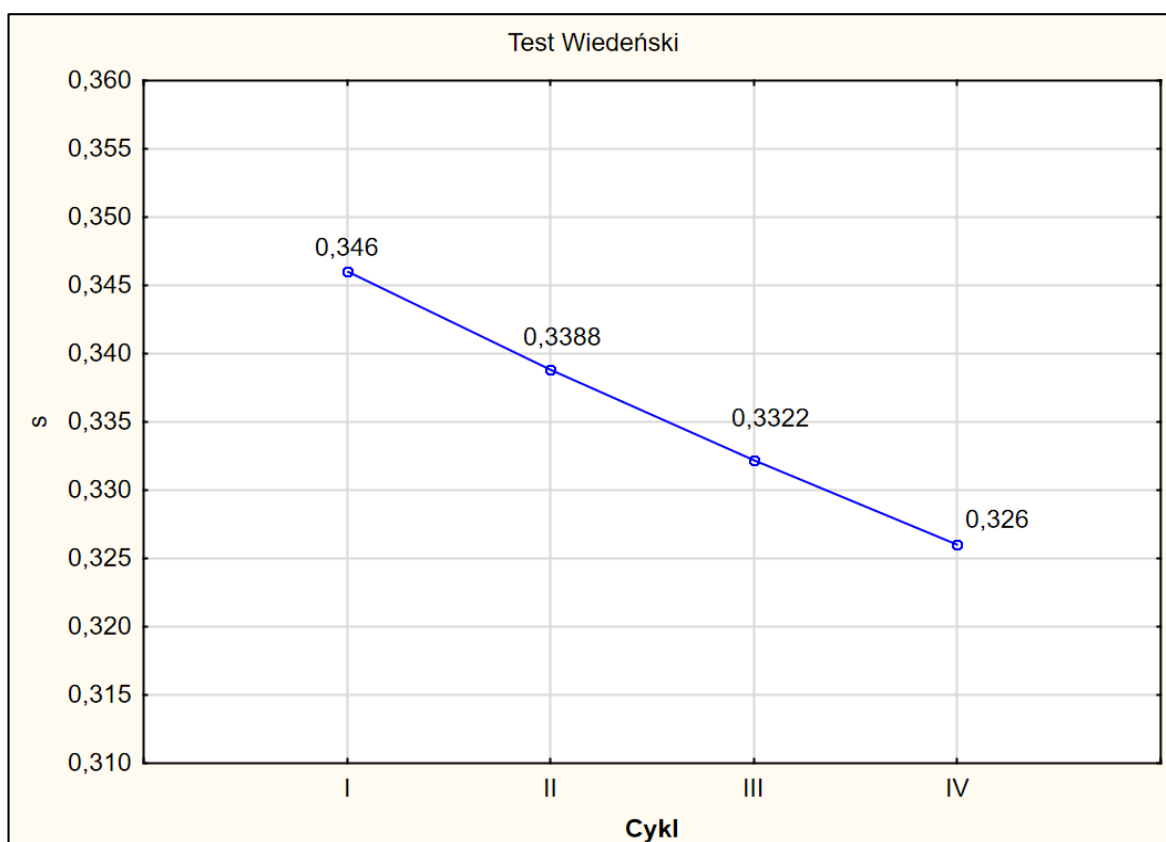


**Ryc. 30** Graficzna wizualizacja różnic w komputerowym teście szybkości reakcji złożonej pomiędzy poszczególnymi cyklami treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej

Wynik analizy wskazuje na istotne różnice pomiędzy zarejestrowanymi czasami reakcji złożonej w teście komputerowym pomiędzy III i IV a I cyklem treningowym metodą EEG biofeedback. Nie stwierdzono natomiast istotnej różnicy pomiędzy III a II oraz I i II cyklem szkoleniowym. Można stwierdzić zatem, że istotne polepszenie czasu reakcji miało miejsce po III serii szkoleniowej, a w szczególności po IV cyklu treningów metodą EEG biofeedback.

**Tabela 49** Test post – hoc RIR Tukeya dla różnic w teście szybkości reakcji złożonej w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego pomiędzy poszczególnymi cyklami treningowymi metodą EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej, z  $p < 0,05$

Cykl treningowy	I 0,346 s	II 0,339 s	III 0,332 s	IV 0,326 s
I		0,165	0,001	0,002
II	0,165		0,226	0,003
III	0,001	0,226		0,288
IV	0,002	0,003	0,288	



**Ryc. 31** Graficzna wizualizacja różnic w teście szybkości reakcji złożonej w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego pomiędzy poszczególnymi cyklami treningowymi metodą EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej

Wynik analizy wskazuje na istotne, liniowe różnice pomiędzy zarejestrowanymi czasami reakcji złożonej w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego pomiędzy III i IV a I cyklem treningu EEG biofeedback. Nie stwierdzono jednak istotnej różnicy pomiędzy III a II oraz I i II cyklem szkoleniowym. Można stwierdzić zatem, że istotne polepszenie czasu reakcji złożonej miało miejsce po III serii szkoleniowej, a w szczególności po IV cyklu treningów metodą EEG biofeedback.

#### **4.9 Modele regresyjne wyznaczające istotne statystycznie predykatory uzyskanych czasów reakcji prostej i złożonej w badanych grupach zawodników judo podczas testów komputerowych oraz w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego**

##### **Komputerowe testy szybkości reakcji**

Tabela 50 prezentuje wynik analizy regresji grzbietowej i wartości modelowe zmiennych niezależnych dla zmiennej zależnej Y1\_IC – CRPK z wartością funkcji  $F=15,23$  i  $p=0,036$ . Pozostałe zmienne niezależne tworzące optymalny wektor jako nieistotne statystycznie, nie znalazły się w modelu regresyjnym.

**Tabela 50** Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y1\_IC – CRPK

Zmienna	Beta	B	p
w. wolny		0,203	0,003
śr. theta	-0,296	-0,002	0,039

$$R^2 = 0,818$$

Analiza regresji wielorakiej grzbietowej postępującej dla zmiennej zależnej Y1\_IC – CRPK wyznaczyła, na podstawie określonych wartości poszczególnych istotnych w modelu zmiennych niezależnych, następującą postać funkcji regresji:

$$Y1\_IC - CRPK = 0,203 - 0,002 * \text{śr. theta}$$

Oznacza to, że jeżeli wartość zmiennej średniej fal theta wzrośnie o jednostkę to średnia wartość punktacji (Y1\_IC – CRPK) zmniejszy się o 0,002 s.

Jednocześnie analiza wykazała, że najważniejszym predyktorem dla zmiennej Y1\_IC – CRPK była średnia fal theta.

Tabela 51 prezentuje wynik analizy regresji i wartości modelowe zmiennych niezależnych dla zmiennej zależnej Y1\_IC – CRZK z wartością funkcji  $F=15,19$  i  $p=0,033$ .

Pozostałe zmienne niezależne tworzące optymalny wektor jako nieistotne statystycznie, nie znalazły się w modelu regresyjnym.

**Tabela 51** Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y1\_IC–CRZK

Zmienna	Beta	B	p
w. wolny		0,330	0,001
śr. theta	-0,339	-0,003	0,034

$$R^2 = 0,916$$

Analiza regresji wielorakiej grzbietowej postępującej dla zmiennej zależnej Y1\_IC – CRZK wyznaczyła na podstawie określonych wartości poszczególnych istotnych w modelu zmiennych niezależnych następującą postać funkcji regresji:

$$Y1\_IC - CRZK = 0,330 - 0,003 * \text{śr. theta}$$

Oznacza to, że jeżeli wartość zmiennej średniej fal theta wzrośnie o jednostkę to średnia wartość punktacji (Y1\_IC – CRZK) zmniejszy się o 0,003s.

Jednocześnie analiza wykazała, że najważniejszym predyktorem dla zmiennej Y1\_IC–CRZK była średnia fal theta.

Tabela 52 prezentuje wynik analizy regresji i wartości modelowe zmiennych niezależnych dla zmiennej zależnej Y1\_IIC – CRPK z wartością funkcji F=15,13 i p=030. Pozostałe zmienne niezależne tworzące optymalny wektor jako nieistotne statystycznie, nie znalazły się w modelu regresyjnym.

**Tabela 52** Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y1\_IIC – CRPK

Zmienna	Beta	B	p
w. wolny		0,198	0,001
śr. theta	-0,303	-0,002	0,031

$$R^2 = 0,840$$

Analiza regresji wielorakiej grzbietowej postępującej dla zmiennej zależnej Y1\_IIC – CRPK wyznaczyła na podstawie określonych wartości poszczególnych istotnych w modelu zmiennych niezależnych następującą postać funkcji regresji:

$$Y1\_IIC - CRPK = 0,198 - 0,002 * \text{śr. theta}$$

Oznacza to, że jeżeli wartość zmiennej średniej fal theta wzrośnie o jednostkę to średnia wartość punktacji (Y1\_IIC – CRPK) zmniejszy się o 0,002 s.

Jednocześnie analiza wykazała, że najważniejszym predyktorem dla zmiennej Y1\_IIC – CRPK była średnia fal theta.

Tabela 53 prezentuje wynik analizy regresji i wartości modelowe zmiennych niezależnych dla zmiennej zależnej Y1\_IIC – CRZK z wartością funkcji  $F=15,07$  i  $p=0,28$ . Pozostałe zmienne niezależne tworzące optymalny wektor jako nieistotne statystycznie, nie znalazły się w modelu regresyjnym.

**Tabela 53** Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y1\_IIC – CRZK

Zmienna	Beta	B	p
w. wolny		0,321	0,001
śr. theta	-0,348	-0,003	0,024

$$R^2 = 0,833$$

Analiza regresji wielorakiej grzbietowej postępującej dla zmiennej zależnej Y1\_IIC – CRZK wyznaczyła na podstawie określonych wartości poszczególnych istotnych w modelu zmiennych niezależnych następującą postać funkcji regresji:

$$Y1\_IIC - CRZK = 0,321 - 0,003 * \text{śr. theta}$$

Oznacza to, że jeżeli wartość zmiennej średniej fal theta wzrośnie o jednostkę to średnia wartość punktacji (Y1\_IIC – CRZK) zmniejszy się o 0,003s.

Jednocześnie analiza wykazała, że najważniejszym predyktorem dla zmiennej Y1\_IIC – CRZK była średnia fal theta.

Tabela 54 prezentuje wynik analizy regresji i wartości modelowe zmiennych niezależnych dla zmiennej zależnej Y1\_IIIC – CRPK z wartością funkcji  $F=15,05$  i  $p=026$ . Pozostałe zmienne niezależne tworzące optymalny wektor jako nieistotne statystycznie, nie znalazły się w modelu regresyjnym.

**Tabela 54** Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y1\_IIIC – CRPK

Zmienna	Beta	B	p
w. wolny		0,182	0,001
śr. theta	-0,359	-0,002	0,023

$$R^2 = 0,941$$

Analiza regresji wielorakiej grzbietowej postępującej dla zmiennej zależnej Y1\_IIC – CRPK wyznaczyła na podstawie określonych wartości poszczególnych istotnych w modelu zmiennych niezależnych następującą postać funkcji regresji:

$$Y1\_IIC - CRPK = 0,182 - 0,002 * \text{śr. theta}$$

Oznacza to, że jeżeli wartość zmiennej średniej fal theta wzrośnie o jednostkę to średnia wartość punktacji (Y1\_IIC – CRPK) zmniejszy się o 0,002 s.

Jednocześnie analiza wykazała, że najważniejszym predyktorem dla zmiennej Y1\_IIC – CRPK była średnia fal theta.

Tabela 55 prezentuje wynik analizy regresji i wartości modelowe zmiennych niezależnych dla zmiennej zależnej Y1\_IIC – CRZK z wartością funkcji  $F=15,15$  i  $p=0,27$ . Pozostałe zmienne niezależne tworzące optymalny wektor jako nieistotne statystycznie, nie znalazły się w modelu regresyjnym.

**Tabela 55** Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y1\_IIC – CRZK

Zmienna	Beta	B	p
w. wolny		0,312	0,001
śr. theta	-0,317	-0,003	0,029

$$R^2 = 0,910$$

Analiza regresji wielorakiej grzbietowej postępującej dla zmiennej zależnej Y1\_IIC – CRZK wyznaczyła na podstawie określonych wartości poszczególnych istotnych w modelu zmiennych niezależnych następującą postać funkcji regresji:

$$Y1\_IIC - CRZK = 0,312 - 0,003 * \text{śr. theta}$$

Oznacza to, że jeżeli wartość zmiennej średniej fal theta wzrośnie o jednostkę to średnia wartość punktacji (Y1\_IIC – CRZK) zmniejszy się o 0,003 s.

Jednocześnie analiza wykazała, że najważniejszym predyktorem dla zmiennej Y1\_IIC – CRZK była średnia fal theta.

Tabela 56 prezentuje wynik analizy regresji i wartości modelowe zmiennych niezależnych dla zmiennej zależnej Y1\_IVC – CRPK z wartością funkcji  $F=15,03$  i  $p=0,20$ . Pozostałe zmienne niezależne tworzące optymalny wektor jako nieistotne statystycznie, nie znalazły się w modelu regresyjnym.



**Tabela 56** Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y1\_IVC – CRPK

Zmienna	Beta	B	p
w. wolny		0,195	0,001
śr. theta	-0,394	-0,002	0,018

$$R^2 = 0,870$$

Analiza regresji wielorakiej grzbietowej postępującej dla zmiennej zależnej Y1\_IVC – CRPK wyznaczyła na podstawie określonych wartości poszczególnych istotnych w modelu zmiennych niezależnych następującą postać funkcji regresji:

$$Y1\_IVC - CRPK = 0,195 - 0,002 * \text{śr. theta}$$

Oznacza to, że jeżeli wartość zmiennej średniej fal theta wzrośnie o jednostkę to średnia wartość punktacji (Y1\_IVC – CRPK) zmniejszy się o 0,002 s.

Jednocześnie analiza wykazała, że najważniejszym predyktorem dla zmiennej Y1\_IVC – CRPK była średnia fal theta.

Tabela 57 prezentuje wynik analizy regresji i wartości modelowe zmiennych niezależnych dla zmiennej zależnej Y1\_IVC – CRZK z wartością funkcji  $F=15,53$  i  $p=039$ . Pozostałe zmienne niezależne tworzące optymalny wektor jako nieistotne statystycznie, nie znalazły się w modelu regresyjnym.

**Tabela 57** Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y1\_IVC – CRZK

Zmienna	Beta	B	p
w. wolny		0,300	0,001
śr. theta	-0,350	-0,003	0,045

$$R^2 = 0,809$$

Analiza regresji wielorakiej grzbietowej postępującej dla zmiennej zależnej Y1\_IVC – CRZK wyznaczyła na podstawie określonych wartości poszczególnych istotnych w modelu zmiennych niezależnych następującą postać funkcji regresji:

$$Y1\_IVC - CRZK = 0,300 - 0,003 * \text{śr. theta}$$

Oznacza to, że jeżeli wartość zmiennej średniej fal theta wzrośnie o jednostkę to średnia wartość punktacji (Y1\_IVC – CRZK) zmniejszy się o 0,003 s.

Jednocześnie analiza wykazała, że najważniejszym predyktorem dla zmiennej Y1\_IVC – CRZK była średnia fal theta.

### Wiedeński System Testowy

Tabela 58 prezentuje wynik analizy regresji i wartości modelowe zmiennych niezależnych dla zmiennej zależnej Y2\_IC – CRPW z wartością funkcji F=15,18 i p=026. Pozostałe zmienne niezależne tworzące optymalny wektor jako nieistotne statystycznie, nie znalazły się w modelu regresyjnym.

**Tabela 58** Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y2\_IC – CRPW

Zmienna	Beta	B	p
w. wolny		0,228	0,001
śr. theta	-0,318	-0,001	0,029

$$R^2 = 0,858$$

Analiza regresji wielorakiej grzbietowej postępującej dla zmiennej zależnej Y1\_IC – CRPW wyznaczyła na podstawie określonych wartości poszczególnych istotnych w modelu zmiennych niezależnych następującą postać funkcji regresji:

$$Y2\_IC - CRPW = 0,228 - 0,001 * \text{śr. theta}$$

Oznacza to, że jeżeli wartość zmiennej średniej fal theta wzrośnie o jednostkę to średnia wartość punktacji (Y1\_IC – CRPW) zmniejszy się o 0,001 s.

Jednocześnie analiza wykazała, że najważniejszym predyktorem dla zmiennej Y1\_IC – CRPW była średnia fal theta.

Tabela 59 prezentuje wynik analizy regresji i wartości modelowe zmiennych niezależnych dla zmiennej zależnej Y2\_IC – CRZW z wartością funkcji F=15,23 i p=029. Pozostałe zmienne niezależne tworzące optymalny wektor jako nieistotne statystycznie, nie znalazły się w modelu regresyjnym.

**Tabela 59** Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y2\_IC – CRZW

Zmienna	Beta	B	p
w. wolny		0,356	0,001
śr. beta	-0,312	-0,002	0,030

$$R^2 = 0,811$$

Analiza regresji wielorakiej grzbietowej postępującej dla zmiennej zależnej Y2\_IC – CRZW wyznaczyła na podstawie określonych wartości poszczególnych istotnych w modelu zmiennych niezależnych następującą postać funkcji regresji:

$$Y2\_IC - CRZW = 0,356 - 0,002 * \text{śr. beta}$$

Oznacza to, że jeżeli wartość zmiennej średniej fal beta wzrośnie o jednostkę to średnia wartość punktacji (Y2\_IC – CRZW) zmniejszy się o 0,002 s.

Jednocześnie analiza wykazała, że najważniejszym predyktorem dla zmiennej Y2\_IC – CRZW była średnia fal beta.

Tabela 60 prezentuje wynik analizy regresji i wartości modelowe zmiennych niezależnych dla zmiennej zależnej Y2\_IIC – CRPW z wartością funkcji F=15,33 i p=031. Pozostałe zmienne niezależne tworzące optymalny wektor jako nieistotne statystycznie, nie znalazły się w modelu regresyjnym.

**Tabela 60** Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y2\_IIC – CRPW

Zmienna	Beta	B	p
w. wolny		0,222	0,001
śr. theta	-0,321	-0,001	0,033

$$R^2 = 0,830$$

Analiza regresji wielorakiej grzbietowej postępującej dla zmiennej zależnej Y2\_IIC – CRPW wyznaczyła na podstawie określonych wartości poszczególnych istotnych w modelu zmiennych niezależnych następującą postać funkcji regresji:

$$Y2\_IIC - CRPW = 0,222 - 0,001 * \text{śr. theta}$$

Oznacza to, że jeżeli wartość zmiennej średniej fal theta wzrośnie o jednostkę to średnia wartość punktacji (Y2\_IIC – CRPW) zmniejszy się o 0,001 s.

Jednocześnie analiza wykazała, że najważniejszym predyktorem dla zmiennej Y2\_IIC – CRPW była średnia fal theta.

Tabela 61 prezentuje wynik analizy regresji i wartości modelowe zmiennych niezależnych dla zmiennej zależnej Y2\_IIC – CRZW z wartością funkcji F=15,01 i p=021. Pozostałe zmienne niezależne tworzące optymalny wektor jako nieistotne statystycznie, nie znalazły się w modelu regresyjnym.

**Tabela 61** Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y2\_IIC – CRZW

Zmienna	Beta	B	p
w. wolny		0,358	0,001
śr. theta	-0,388	-0,002	0,019

$$R^2 = 0,817$$

Analiza regresji wielorakiej grzbietowej postępującej dla zmiennej zależnej Y2\_IIC – CRZW wyznaczyła na podstawie określonych wartości poszczególnych istotnych w modelu zmiennych niezależnych następującą postać funkcji regresji:

$$Y2\_IIC - CRZW = 0,358 - 0,002 * \text{śr. theta}$$

Oznacza to, że jeżeli wartość zmiennej średniej fal theta wzrośnie o jednostkę to średnia wartość punktacji (Y2\_IIC – CRZW) zmniejszy się o 0,002 s.

Jednocześnie analiza wykazała, że najważniejszym predyktorem dla zmiennej Y2\_IIC – CRZW była średnia fal theta.

Tabela 62 prezentuje wynik analizy regresji i wartości modelowe zmiennych niezależnych dla zmiennej zależnej Y2\_IIC – CRPW z wartością funkcji  $F=12,19$  i  $p=0,21$ . Pozostałe zmienne niezależne tworzące optymalny wektor jako nieistotne statystycznie, nie znalazły się w modelu regresyjnym.

**Tabela 62** Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y2\_IIC – CRPW

Zmienna	Beta	B	p
w. wolny		0,221	0,001
śr. theta	-0,427	-0,001	0,014

$$R^2 = 0,822$$

Analiza regresji wielorakiej grzbietowej postępującej dla zmiennej zależnej Y2\_IIC – CRPW wyznaczyła na podstawie określonych wartości poszczególnych istotnych w modelu zmiennych niezależnych następującą postać funkcji regresji:

$$Y2\_IIC - CRPW = 0,221 - 0,001 * \text{śr. theta}$$

Oznacza to, że jeżeli wartość zmiennej średniej fal theta wzrośnie o jednostkę to średnia wartość punktacji (Y2\_IIC – CRPW) zmniejszy się o 0,001 s.

Jednocześnie analiza wykazała, że najważniejszym predyktorem dla zmiennej Y2\_IIC – CRPW była średnia fal theta.

Tabela 63 prezentuje wynik analizy regresji i wartości modelowe zmiennych niezależnych dla zmiennej zależnej Y2\_IIC – CRZW z wartością funkcji  $F=15,19$  i  $p=0,23$ . Pozostałe zmienne niezależne tworzące optymalny wektor jako nieistotne statystycznie, nie znalazły się w modelu regresyjnym.

**Tabela 63** Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y2\_IIC – CRZW

Zmienna	Beta	B	p
w. wolny		0,341	0,001
śr. beta	-0,352	-0,002	0,024

$$R^2 = 0,814$$

Analiza regresji wielorakiej grzbietowej postępującej dla zmiennej zależnej Y2\_IIC – CRZW wyznaczyła na podstawie określonych wartości poszczególnych istotnych w modelu zmiennych niezależnych następującą postać funkcji regresji:

$$Y2\_IIC - CRZW = 0,341 - 0,002 * \text{śr. beta}$$

Oznacza to, że jeżeli wartość zmiennej średniej fal beta wzrośnie o jednostkę to średnia wartość punktacji (Y2\_IIC – CRZW) zmniejszy się o 0,002 s.

Jednocześnie analiza wykazała, że najważniejszym predyktorem dla zmiennej Y2\_IIC – CRZW była średnia fal beta.

Tabela 64 prezentuje wynik analizy regresji i wartości modelowe zmiennych niezależnych dla zmiennej zależnej Y2\_IVC – CRPW z wartością funkcji  $F=15,02$  i  $p=0,19$ . Pozostałe zmienne niezależne tworzące optymalny wektor jako nieistotne statystycznie, nie znalazły się w modelu regresyjnym.

**Tabela 64** Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y2\_IVC – CRPW

Zmienna	Beta	B	p
w. wolny		0,216	0,001
śr. theta	-0,415	-0,001	0,016

$$R^2 = 0,819$$

Analiza regresji wielorakiej grzbietowej postępującej dla zmiennej zależnej Y2\_IVC–CRPW wyznaczyła na podstawie określonych wartości poszczególnych istotnych w modelu zmiennych niezależnych następującą postać funkcji regresji:

$$Y2\_IVC - CRPW = 0,216 - 0,001 * \text{śr. theta}$$

Oznacza to, że jeżeli wartość zmiennej średniej fal theta wzrośnie o jednostkę to średnia wartość punktacji (Y2\_IVC – CRPW) zmniejszy się o 0,001 s.

Jednocześnie analiza wykazała, że najważniejszym predyktorem dla zmiennej Y2\_IVC – CRPW była średnia fal theta.

Tabela 65 prezentuje wynik analizy regresji i wartości modelowe zmiennych niezależnych dla zmiennej zależnej Y2\_IV – CRZW z wartością funkcji F=15,01 i p=017. Pozostałe zmienne niezależne tworzące optymalny wektor, jako nieistotne statystycznie, nie znalazły się w modelu regresyjnym.

**Tabela 65** Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y2\_IV – CRZW

Zmienna	Beta	B	p
w. wolny		0,336	0,001
śr. beta	-0,444	-0,002	0,013

$$R^2 = 0,922$$

Analiza regresji wielorakiej grzbietowej postępującej dla zmiennej zależnej Y2\_IV – CRZW wyznaczyła na podstawie określonych wartości poszczególnych istotnych w modelu zmiennych niezależnych następującą postać funkcji regresji:

$$Y2\_IV - CRZW = 0,336 - 0,002 * \text{śr. beta}$$

Oznacza to, że jeżeli wartość zmiennej średniej fal beta wzrośnie o jednostkę to średnia wartość punktacji (Y2\_IV – CRZW) zmniejszy się o 0,002 s.

Jednocześnie analiza wykazała, że najważniejszym predyktorem dla zmiennej Y2\_IV – CRZW była średnia fal beta.

## 5. Dyskusja

Osiągnięcia sportowe są wynikiem długotrwałego, indywidualnie zaplanowanego i kompleksowego procesu treningowego, obejmującego przygotowanie techniczno – taktyczne, sprawnościowe oraz psychologiczne zawodnika. Aby system szkolenia sportowca spełniał swój podstawowy cel – a zatem prowadził do wzrostu wydajności sportowej zgodnie z rzeczywistym potencjałem zawodnika – wymaga on ciągłego doskonalenia, modyfikowania oraz poszerzania bazy wykorzystywanych narzędzi i metod treningowych. Wielu sportowców oraz trenerów podkreśla znaczenie aspektu psychologicznego w procesie treningowym zawodnika, uznając go za kluczowy element niezbędny do osiągnięcia sukcesów na najwyższym poziomie (Williams i Krane 2001). Właściwe przygotowanie mentalne sportowca wpływa korzystnie nie tylko na jego lepsze radzenie sobie pod presją konkurencji, ale także pomaga sprostać trudom treningu, ułatwiając utrzymywanie odpowiedniej motywacji oraz podwyższonej koncentracji mimo narastającego zmęczenia. To z kolei oddziałuje pozytywnie na zwiększanie efektywności treningowej. Przygotowanie psychologiczne w sporcie często jednak wciąż jest marginalizowane lub skoncentrowane wyłącznie na osiągnięciu psychicznej gotowości startowej zawodników, gdzie podejmowane interwencje realizowane są bezpośrednio przed samą rywalizacją. Praktyka psychologiczna rzadko wykorzystywana jest natomiast podczas całego procesu szkoleniowego sportowców w celu podnoszenia ich efektywności treningowej (Raalte i Petitpas 2009).

Ograniczone stosowanie technik przygotowania mentalnego w treningu zawodników może wynikać z faktu, że interwencje takie odbywają się przeważnie w warunkach laboratoryjnych, poza praktyką sportowca. Niektórzy poddają w wątpliwość, czy możliwe będzie efektywne wykorzystanie wyćwiczonych w ten sposób umiejętności podczas działań praktycznych zawodnika oraz w warunkach rywalizacji, mimo obiecujących wyników badań prezentowanych w tym zakresie. Ponadto zagadnienia związane z treningiem psychologicznym zostały opracowane głównie teoretycznie – wciąż brakuje natomiast przełożenia powstałych w ten sposób założeń na praktykę oraz szerszych badań naukowych dotyczących skuteczności jego zastosowania w różnych dyscyplinach sportu. Techniki służące zwiększaniu dyspozycji psychologicznych zawodników od wielu lat skupiają się przede wszystkim w obrębie ćwiczeń relaksacyjnych, poznawczo – behawioralnych oraz wyobraźniowych. Wykorzystywanie ciągle tych samych, tradycyjnych interwencji powoduje stagnację i niedostateczne standardy praktyki,

co wskazuje natomiast na potrzebę rozszerzenia i aktualizacji bazy empirycznej w tej dyscyplinie naukowej (Gardner 2009).

Wprowadzanie nowoczesnych technik zarządzania pobudzeniem w ramach treningu psychologicznego zawodników, takich jak m.in. szkolenie metodą EEG biofeedback oraz opracowanie optymalnych protokołów treningowych zwiększających potencjał zawodników może stanowić cenny wkład w rozwój dotychczasowej bazy narzędzi stosowanych w dziedzinie psychologii sportu. Przeprowadzone do tej pory badania wskazują, że sportowcy w wyniku treningu EEG biofeedback mogą nauczyć się generowania i utrzymywania określonej aktywności neuronalnej mózgu związanej z ich zwiększoną wydajnością. Mimo ogromnego potencjału, który dostrzeżono w zastosowaniu tej metody w sporcie wciąż niewiadomo jednak, jaka liczba i częstotliwość sesji treningowych umożliwi osiągnięcie i utrzymanie optymalnych efektów. Do tej pory nie opracowano również protokołów treningowych jednoznacznie potwierdzających skuteczność podjętej interwencji w kształtowaniu poszczególnych umiejętności zawodników, warunkujących ich sukces sportowy. Brakuje także szerszych analiz dotyczących wpływu zastosowania szkolenia neurofeedback w kontekście usprawnienia przebiegu procesów spostrzegania i szybkiego reagowania na bodźce.

Przegląd literatury światowej wskazuje, że częstym ograniczeniem dotychczasowych badań prowadzonych w tym zakresie jest tendencja do dokonywania analiz wyłącznie w kontekście ogólnych wyników sportowych, uzależnionych w znaczącym stopniu od wielu czynników niepsychologicznych, takich jak m.in. aktualna dyspozycja zawodnika (stan przetrenowania), jego przygotowanie sprawnościowe oraz techniczno – taktyczne, a także innych elementów zewnętrznych (np. decyzji sędziego). To uniemożliwia jednoznaczne stwierdzenie, czy i w jakim stopniu odniesiony sukces sportowy jest wynikiem podjętej interwencji. Brakuje zatem bardziej precyzyjnych pomiarów wydajności, odnoszących się do zindywidualizowanych standardów sukcesu monitorujących progres w zakresie konkretnych zdolności zawodnika (np. poprawy jego szybkości). Nieliczne badania przeprowadzone do tej pory w celu optymalizacji aktywności psychomotorycznej w sporcie pod wpływem zastosowania treningu EEG biofeedback skłaniają natomiast do dalszych analiz w tym zakresie.

Ze względu na istotne znaczenie szybkości reakcji wzrokowej zawodników judo w kontekście zwiększania ich efektywności podczas walki celem niniejszej pracy uczyniono zbadanie wpływu treningu EEG biofeedback, opartego na wzmacnianiu fal szybkich beta oraz hamowaniu fal wolnych theta, na sprawność ich przetwarzania wzrokowego.



Podjęto również próbę opracowania optymalnego – ze względu na czas trwania oraz częstotliwość sesji treningowych – szkolenia EEG biofeedback, ukierunkowanego na regulowanie poziomu koncentracji oraz doskonalenie uwagi wzrokowej judoków, prowadzącej do skrócenia ich czasów reakcji.

Istnieją przekonujące dowody sugerujące, że pasmo fal beta koreluje ze stanem zwiększonego przetwarzania uwagi wizualnej (Engel i Fries 2010), która ma kluczowe znaczenie w podejmowaniu decyzji i planowaniu reakcji (Janelle 2002). Autorzy wskazują również, że aktywność beta w korze ruchowej związana jest z uzyskiwaniem szybszych reakcji motorycznych w odpowiedzi na pojawiające się bodźce. W oparciu o powyższe ustalenia w niniejszych badaniach zdecydowano o realizacji protokołu treningowego theta/beta1 w celu doskonalenia szybkości reakcji wzrokowej judoków.

Badania przeprowadzone zostały wśród wyselekcjonowanej grupy zawodników – członków kardy narodowej Polskiego Związku Judo. Innowacyjnością zastosowanego treningu neurofeedback była jego realizacja w czterech cyklach, zróżnicowanych pod względem czasu trwania oraz częstotliwości poszczególnych sesji treningowych, dzięki czemu zapewnione zostały alternatywne warunki pomiaru umożliwiające wyłonienie najkorzystniejszej konfiguracji. Uzyskane w ten sposób wyniki poddano następnie szczegółowej analizie statystycznej, która pozwoliła na dokładną ocenę zastosowanych procedur treningowych w odniesieniu do uzyskiwanych czasów reakcji w obu grupach badawczych.

Badania wykazały, że zawodnicy z grupy eksperymentalnej na skutek realizacji protokołu theta/beta1 osiągnęli istotną statystycznie poprawę czasów reakcji prostej oraz złożonej po każdym cyklu treningowym. Nie zaobserwowano podobnych zmian w grupie kontrolnej. To potwierdza natomiast dotychczasowe ustalenia naukowe wskazujące, że sportowcy mogą nauczyć się generowania określonej aktywności neuronalnej mózgu, prowadzącej do zwiększenia ich wydajności (Engelbregt i wsp. 2016), a także uzupełnia istniejące analizy dotyczące pozytywnego wpływu zastosowania różnych odmian treningu biofeedback na percepcję wzrokową oraz skrócenie czasów reakcji zawodników (Christie i Werthner 2015).

Uzyskane wyniki są również zgodne z dotychczasowymi doniesieniami naukowców sugerującymi, że na skutek wzmocnienia aktywności fal beta1 oraz hamowania fal theta nad korą ruchową, usprawnieniu ulegają procesy związane z uwagą wzrokową. Już wczesne badania wykazały, że synchronizacja pasma beta tuż przed pojawieniem się bodźca była najsilniejszym predyktorem szybkości wykonania zadania (Townsend i Johnson 1979).

Trening EEG biofeedback zrealizowany wśród dwóch grup badawczych, gdzie pierwsza z nich wzmacniała fale theta, a druga hamowała tę częstotliwość, wykazały natomiast wzrost wydajności w zadaniu testowym po obniżeniu aktywności thety. Udowodniono w ten sposób również, że istnieje możliwość selektywnej zmiany częstotliwości wolnych fal mózgowych (Beatty i wsp. 1974). Ograniczeniem tego badania była jednak niewielka liczba sesji treningowych oraz brak monitorowania innych zmian aktywności neuronalnej, towarzyszącej obniżaniu stosunku fal theta, co uniemożliwiło stwierdzenie, czy obniżenie to powiązane było ze wzrostem alfy, bety lub kombinacji obydwu tych częstotliwości.

Badania Hanslmayra i wsp. (2007) wykazały, że percepcja bodźca związana była z niższą aktywacją w paśmie alfa oraz z większym zaangażowaniem częstotliwości fal beta i gamma. Stwierdzono, że na podstawie analizy ww. wartości można wnioskować o stanie uwagi wzrokowej badanego (Hanslmayr i wsp. 2007). Podobnych obserwacji dokonano rejestrując wzmożoną aktywność fal beta podczas okresu oczekiwania na bodziec (Basile i wsp. 2007). Późniejsze analizy także potwierdziły, że większa aktywacja w paśmie beta (szczególnie w obszarach ciemieniowych) przed ekspozycją bodźca wzrokowego związana była z krótszymi czasami reakcji (Kamiński i wsp. 2012).

Egner i Gruzelier (2004) sprawdzili efektywność zastosowania protokołów SMR i beta1 w kontekście poprawy zdolności percepcyjnych. Badani zostali podzieleni na trzy grupy – pierwsza wzmacniała fale SMR, druga – fale beta1, trzecia – kontrolna – natomiast nie została objęta żadną interwencją. Analiza uzyskanych wyników wykazała zwiększoną wrażliwość percepcyjną w grupie SMR oraz znaczące skrócenie czasów reakcji w grupie beta1, przy jednoczesnym braku istotnie statystycznych różnic w grupie kontrolnej (Egner i Gruzelier 2004). Ghaziri i wsp. (2013) po dokonaniu analizy wpływu szkolenia EEG biofeedback na zdolność utrzymywania koncentracji również stwierdzili wzrost wydajności uwagi wzrokowej i słuchowej na skutek stymulacji pasma beta1. Ponadto wykazali oni zmiany strukturalne w istocie białej i szarej na skutek podjętej interwencji neurofeedback, udowadniając skuteczność jej zastosowania (Ghaziri i wsp. 2013).

Powyższe ustalenia są zgodne z wynikami prezentowanymi w niniejszej pracy, które wykazały pozytywne oddziaływanie wzmacniania pasma beta1 w punkcie C3 w kontekście poprawy szybkości reakcji wzrokowej zawodników judo. Potwierdzają one również dotychczasowe doniesienia naukowców sugerujące, że aktywacja pasma beta podczas oczu otwartych w lewej półkuli może być predyktorem pomyślności treningowej (Cherapkina 2013).

Szkolenie EEG biofeedback, oparte na protokole beta1, przeprowadzone przez Gruzelię i wsp. (2006) w punkcie C3, spowodowało pozytywne zmiany w postaci obniżonej liczby popełnianych błędów oraz mniejszej zmienności czasów reakcji (Gruzelię i wsp. 2006). Podobnych obserwacji dokonano w niniejszej pracy, gdzie uzyskano korzystne modyfikacje czasów reakcji judoków po treningu EEG biofeedback, przeprowadzonym w punkcie C3, co potwierdza efektywne oddziaływanie interwencji opartej na wzmacnianiu fal beta1 w tym obszarze w kontekście kształtowania uwagi wzrokowej zawodników.

Zagadnienia związane z optymalną częstotliwością oraz czasem trwania sesji treningowych EEG biofeedback, umożliwiających osiągnięcie założonych celów szkoleniowych, wciąż pozostają jednak w kwestii dociekań naukowych. Dotychczasowe ustalenia dostarczają bowiem sprzecznych informacji w tym zakresie.

Doppelmayr i Weber (2011) przeprowadzili 30 sesji szkoleniowych neurofeedback w punktach C3 i C4 wśród dwóch grup badawczych, w celu sprawdzenia, czy możliwe będzie uzyskiwanie selektywnej aktywności fal mózgowych oraz czy podjęta interwencja wykaże poprawę w wykonywaniu określonych zadań poznawczych i twórczych. W tym celu w pierwszej grupie wzmacniano częstotliwości fal SMR, w drugiej natomiast uczono zachowywania optymalnego stosunku theta/beta poprzez realizowanie protokołu TBR. Włączono również pozorowaną grupę kontrolną, w której przeprowadzono trening EEG biofeedback z codziennymi zmianami stymulowanych pasm częstotliwości. Wyniki badań sugerowały jednak brak zmian w TBR oraz w żadnym z osobno analizowanych pasm aktywności theta i beta po miesiącu codziennych treningów. Korzystne efekty odnotowano tylko w grupie SMR, gdzie stwierdzono poprawę czasów reakcji w stosunku do dwóch pozostałych grup (Doppelmayr i Weber 2011). Badania te potwierdziły wcześniejsze ustalenia, które sugerowały korzystne zmiany w aktywności fal SMR już po ośmiu sesjach szkoleniowych przy jednoczesnym braku zmian częstotliwości theta w wyniku podjętej interwencji (Vernon i wsp. 2003).

Trening neurofeedback skoncentrowany na wzmacnianiu pasma beta1 i hamowaniu aktywności fal theta był również szeroko stosowany wśród dzieci z ADHD, gdzie z kolei już po pierwszych sesjach szkoleniowych uzyskiwano znaczący wzrost koncentracji uwagi, który utrzymywał się przez pół roku po interwencji (Leins i wsp. 2007). Podobnych obserwacji dokonano w innych analizach, które sugerowały zmniejszenie deficytów uwagi po 20 sesjach szkoleniowych według protokołu theta/beta1 wśród dzieci z nadpobudliwością psychoruchową (Levesque i wsp. 2006). Należy jednak uwzględnić,

że w przeciwieństwie do zdrowej populacji, dzieci z ADHD często mają zwiększony rytm theta, a realizacja protokołu theta/beta1 ma za zadanie zmianę patologicznie zwiększonej częstotliwości tego pasma. To tłumaczy rozbieżności w długości oraz ilości sesji szkoleniowych potrzebnych do uzyskania modyfikacji aktywności fal theta i sugeruje, że w zdrowej populacji zmiany w zakresie tego pasma mogą wymagać dłuższej interwencji.

Analiza różnic międzygrupowych badanych zmiennych określających wartości fal theta i beta po kolejnych sesjach szkoleniowych EEG biofeedback z zastosowaniem analizy wariancji ANOVA, prezentowanych w niniejszej pracy, wykazała istotne statystyczne różnice w aktywności poszczególnych częstotliwości fal mózgowych. Nie odnotowano różnicy wyłącznie w wartościach thety po pierwszym cyklu szkoleniowym, co może stanowić potwierdzenie powyższego założenia, sugerującego konieczność przeprowadzenia większej ilości sesji treningowych w celu uzyskania pożądanych zmian w wartościach fali theta u osób zdrowych.

Rozbieżności w długości, częstotliwości oraz ilości sesji treningowych koniecznych do osiągnięcia zamierzonych celów szkoleniowych wynikają przede wszystkim z indywidualnych różnic, dlatego też optymalnym rozwiązaniem jest opracowywanie spersonalizowanych interwencji EEG biofeedback dla każdego zawodnika. Ze względu na dużą liczbę badanych oraz szczegółowe obliczenia statystyczne zawarte w niniejszej pracy, wszystkie analizy przeprowadzone zostały w oparciu o uśrednione wartości wyników. Pozwoliło to na orientacyjne określenie optymalnego – pod względem długości oraz częstotliwości sesji szkoleniowych – treningu neurofeedback, prowadzącego do poprawy czasów reakcji judoków.

Dokonane analizy wykazały największą poprawę szybkości reakcji złożonej po czwartym cyklu treningowym, co sugeruje, że czterominutowe sesje EEG biofeedback o zmniejszonej częstotliwości istotnie wpływają na poprawę tej zdolności wśród zawodników. Największe skrócenie czasów reakcji prostej zaobserwowano natomiast po dziesięciominutowych treningach przeprowadzanych codziennie. Uzyskane wyniki można uzasadnić stopniem złożoności wykonywanego zadania – te o charakterze prostym, związane są z jedną, standardową odpowiedzią na określony sygnał. Stanowią one formę łatwiejszą i szybciej ulegają poprawie w wyniku treningu neurofeedback. Reakcje proste nie wymagają bowiem zaangażowania tylu ścieżek neuronowych, co reakcje złożone, przez co łatwiej jest uzyskać wystarczający wzrost efektywności transmisji synaptycznej pozwalający na poprawę czasów reagowania na pojedyncze bodźce (Ulrich i wsp. 1998, Badau i wsp. 2018). Zastosowanie konfiguracji szkolenia o zwiększonym czasie i częstotliwości sesji

szkoleniowych neurofeedback bez większych przerw wypoczynkowych wydaje się być zatem optymalnym rozwiązaniem w przypadku treningu ukierunkowanego na skrócenie czasów reakcji prostej. Chcąc uzyskać podobne efekty w zakresie czasów reakcji złożonej natomiast, gdzie zwiększeniu ulega ilość oddziałujących bodźców, a proces ich analizy staje się bardziej zaawansowany, konieczne staje się zaangażowanie i rozbudowanie bardziej złożonych sieci neuronowych (Hommel 1993, Nelken i wsp. 2008, Chen i wsp. 2017). Efekt taki obserwuje się zazwyczaj po dłuższym okresie treningu, z uwzględnieniem odpowiednich przerw wypoczynkowych, umożliwiających restrukturyzację i utrwalenie korzystnych zmian zachodzących pod wpływem treningu w połączeniach synaptycznych.

Największa poprawa wyników czasów reakcji złożonej w grupie eksperymentalnej uwidoczniła się po czwartym cyklu szkoleniowym, w którym zastosowano skrócony czas poszczególnych sesji treningowych oraz zmniejszoną ich częstotliwość, może również sugerować pewną analogię do zjawiska superkompensacji, obserwowanego podczas treningu ukierunkowanego na wzrost wydajności sportowej. Mimo, że w obydwu tych przypadkach działają odmienne mechanizmy odpowiedzialne za uzyskiwany wzrost efektywności, przeprowadzone w niniejszej pracy badania wykazały, że odpowiednie przerwy wypoczynkowe oraz zmienne natężenie i częstotliwość sesji treningowych podczas szkolenia metodą neurofeedback są równie istotne, co podczas treningów sprawnościowych sportowca i wpływają korzystnie na osiągnięcie wyznaczonych celów szkoleniowych.

## 6. Wnioski

Istotnym aspektem w judo jest zdolność wykonywania precyzyjnych ruchów ciała z jednoczesną kontrolą równowagi oraz zapewnienie szybkich i trafnych reakcji na nieoczekiwany atak przeciwnika. Wykorzystywanie różnorodnych technik opartych na otwartych strukturach ruchowych sprawia, że dyscyplinę tą zalicza się do najwyższego, trzeciego poziomu koordynacyjnej złożoności, gdzie czas reakcji – jako jeden z jej elementów składowych – odgrywa kluczową rolę. To potwierdza z kolei istotne znaczenie doskonalenia tej zdolności wśród judoków. Dążąc do rozwijania bazy metod szkoleniowych wykorzystywanych w treningu szybkości reakcji sportowców oraz zwiększania efektywności podejmowanych interwencji, postanowiono przeanalizować wpływ, wciąż mało poznanego w sporcie, treningu neurofeedback na zdolność koncentracji i skracanie czasów reakcji wzrokowej wśród zawodników tej dyscypliny sportu. Ze względu na brak szczegółowych badań przeprowadzonych dotychczas w tym zakresie w niniejszej pracy podjęto próbę wyznaczenia optymalnej konfiguracji szkolenia, wykorzystującego zjawisko biologicznego sprzężenia zwrotnego w celu osiągnięcia poprawy czasów reakcji wzrokowej u zaawansowanych zawodników, należących do kadry narodowej Polskiego Związku Judo.

Analiza wyników w grupie eksperymentalnej wykazała, że dzięki zastosowaniu treningu neurofeedback według protokołu theta/beta1, przy zachowaniu odpowiedniego czasu trwania oraz częstotliwości poszczególnych sesji szkoleniowych, można uzyskać istotnie statystycznie poprawy czasów reakcji na bodźce wzrokowe zawodników – zarówno w przypadku zadań o charakterze prostym, jak i złożonym. Nie zaobserwowano podobnych zmian w grupie kontrolnej.

Powyższe ustalenia pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Każdy z przeprowadzonych cykli treningowych z wykorzystaniem metody EEG biofeedback wywołał pozytywne zmiany w postaci skrócenia czasów reakcji wzrokowych badanych zawodników. W zależności od zastosowanej konfiguracji szkolenia zaobserwowano różny wpływ poszczególnych cykli treningowych EEG biofeedback na poprawę czasów reakcji prostej oraz złożonej.
2. Największą poprawę czasów reakcji uzyskano w przypadku zadań o charakterze złożonym, co wskazuje na dużą skuteczność treningu EEG biofeedback w doskonaleniu tej zdolności.
3. Największą efektywność treningu EEG biofeedback w doskonaleniu czasów reakcji złożonej zaobserwowano w wyniku przeprowadzenia czterominutowych

sesji szkoleniowych o zmniejszonej częstotliwości, natomiast dziesięciminutowy trening o zwiększonej częstotliwości okazał się najkorzystniejszą konfiguracją w przypadku doskonalenia szybkości reakcji prostej.

Za pewne ograniczenie przeprowadzonych badań można uznać analizy wyników w oparciu o wartości uśrednione – optymalnym rozwiązaniem byłaby bowiem indywidualna ocena zmian każdego zawodnika w wyniku podejmowanych interwencji i opracowanie na tej podstawie spersonalizowanych planów treningowych metodą neurofeedback. Liczebność próby w niniejszych badaniach oraz szczegółowe analizy statystyczne utrudniły jednak takie rozwiązanie i skłoniły do posługiwania się wartościami uśrednionymi. W kontekście grupowej analizy wyników przyszłe badania mogłyby również obejmować większą liczbę zawodników, co pozwoliłoby na jeszcze dokładniejsze określenie pewnych tendencji zmian obserwowanych pod wpływem szkolenia neurofeedback odbywającego się w poszczególnych konfiguracjach. Warto byłoby również sprawdzić, czy podobne efekty uzyskane pod wpływem przeprowadzonych interwencji EEG biofeedback w grupie zaawansowanych zawodników zaobserwowanoby również wśród mniej zaawansowanych, młodszych sportowców, charakteryzujących się mniejszym doświadczeniem treningowym. Ponadto włączenie – oprócz grupy pozorowanej – grupy kontrolnej nieobjętej żadną interwencją także byłoby korzystnym rozwiązaniem, umożliwiającym uniknięcie domniemania efektu placebo podczas oceny skuteczności przeprowadzonego cyklu szkoleniowego. Pozostaje zatem jeszcze wiele kierunków badań, które należałoby przeprowadzić, aby jak najdokładniej poznać oddziaływanie szkolenia metodą EEG biofeedback na efektywność treningową sportowców.

Trening neurofeedback w kontekście optymalizacji procesu treningowego zawodników oraz doskonalenia ich wybranych cech motorycznych stanowi wciąż dziedzinę mało poznaną. Przeprowadzone do tej pory badania wskazują jednak, że może być on efektywnym narzędziem umożliwiającym sportowcom osiągnięcie stanu równowagi psychofizjologicznej stanowiącej podstawę do wykorzystywania przez nich pełni swojego potencjału zarówno w warunkach treningu, jak i rywalizacji sportowej. Warto zatem wyznaczać nowe kierunki badań, które pozwolą na opracowanie optymalnych protokołów szkoleniowych metodą neurofeedback i przyczynią się do maksymalizacji wyników sportowych zawodników.

## Streszczenie

Różnorodność stosowanych metod treningowych, a także kompleksowe szkolenia zawodników, ukierunkowane zarówno na kształtowanie ich cech fizycznych, jak i psychologicznych powodują, że sport wyczynowy na przestrzeni lat zmienia się, rozwija. Rosnące wymagania oraz wyniki osiągnięte w poszczególnych dyscyplinach sportu inicjują ciągłą potrzebę poszukiwania nowych, innowacyjnych rozwiązań, pozwalających na wydobywanie pełni potencjału zawodników zarówno podczas treningów, jak i zawodów sportowych.

Uwzględniając istotne znaczenie aspektu psychologicznego w dążeniu do maksymalizacji osiągnięć sportowców oraz ograniczoną bazę metod stosowanych w tym zakresie, celem niniejszych badań było sprawdzenie wpływu treningu EEG biofeedback na szybkość reakcji wzrokowej zawodników judo oraz próba optymalizacji szkolenia mentalnego w aspekcie ilości sesji oraz czasu ich realizacji ukierunkowanego na istotne polepszenie czasów reakcji badanych zawodników.

W pracy postawione zostały następujące pytania badawcze:

- 1) Czy przeprowadzone treningi EEG biofeedback istotnie statystycznie i w równym stopniu wpłynęły na szybkość reakcji wzrokowej w badanych grupach zawodników judo?
- 2) Który rodzaj postrzegania – proste czy złożone – wykazuje większą poprawę pod wpływem zastosowanych procedur treningu EEG biofeedback w badanych grupach zawodników judo?
- 3) Która z zastosowanych procedur treningowych EEG biofeedback istotnie wpływa na poprawę szybkości reakcji prostej oraz złożonej na bodźce wzrokowe w badanych grupach zawodników judo?

Badaniem objętych zostało 24 zawodników kadry narodowej Polskiego Związku Judo w przedziale wiekowym 22 – 25 lat. Treningi EEG biofeedback prowadzono w czterech cyklach, zróżnicowanych pod względem częstotliwości oraz czasu trwania poszczególnych sesji szkoleniowych. Każdy cykl badań rozdzielony był czterotygodniową przerwą. Zarówno w grupie eksperymentalnej, jak i kontrolnej szkolenie przebiegało według takiego samego schematu i charakteryzowało się jednakową cyklicznością oraz czasem trwania. Podstawowym protokołem treningowym w grupie eksperymentalnej był trening theta/beta1, kształtujący zdolność koncentracji uwagi, grupa kontrolna natomiast odbywała trening



pozorowany za pomocą wyświetlanej symulacji EEG, niezależnej od wytwarzanych wzorców fal mózgowych. Przed rozpoczęciem pierwszego cyklu spotkań oraz po zakończeniu każdego kolejnego przeprowadzano testy szybkości reakcji prostej oraz złożonej w obydwu grupach badawczych w celu porównania uzyskiwanych rezultatów.

Badania wykazały, że zawodnicy z grupy eksperymentalnej na skutek realizacji protokołu theta/beta1 osiągnęli istotną statystycznie poprawę czasów reakcji prostej oraz złożonej po każdym cyklu treningowym. Największą poprawę szybkości reakcji złożonej uzyskano w wyniku zastosowania czterominutowego szkolenia EEG biofeedback odbywającego się co drugi dzień, natomiast największe skrócenie czasów reakcji prostej zaobserwowano po dziesięciominutowych treningach przeprowadzanych codziennie. Nie zaobserwowano podobnych zmian w grupie kontrolnej.

Szerokie analizy uzyskanych wyników wykazały, że dzięki zastosowaniu treningu neurofeedback według protokołu theta/beta1, przy zachowaniu odpowiedniego czasu trwania oraz częstotliwości poszczególnych sesji szkoleniowych, można uzyskać istotne statystycznie poprawy czasów reakcji na bodźce wzrokowe zawodników – zarówno w przypadku zadań o charakterze prostym, jak i złożonym.

## Summary

The diversity of applied training methods as well as complex training of athletes, channeled for improvement of physical and mental abilities cause significant progress in most sports. Increasing requirements and obtained achievements among many sport disciplines are initiating constant search for alteration of innovative solutions which allows to enhance athlete's potential during training competition.

Taking under consideration the significance of the mental aspects of maximizing an athlete's performance, and countering this with the currently limited base of applied methods in this field, the purpose of this research is the evaluation of EEG biofeedback training on the reaction speed of judo athletes together with an attempt to improve mental training in terms of the number of sessions and the time of their implementation, directed at significant improvement of the reaction times of the participating athletes.

In this experiment the following scientific research questions were formed:

- 1.) Did the EEG biofeedback training sessions statistically and equally impact the speed of visual response in the researched groups of judo players?
- 2.) Which types of perception – simple or complex – indicate improvement due to the applied EEG biofeedback training procedures in the researched groups of judo players?
- 3.) Which of the applied EEG biofeedback training procedures significantly improve simple and complex reaction speed to visual stimuli among in the researched groups of judo players?

The study included 24 elite judo athletes from the Polish National Judo Team aged 22 – 25 years old. EEG biofeedback training was administered in four cycles, differing in terms of frequency and time duration for each training session. Each training cycle was separated by a four week break. Both, the experimental and the control group followed the same training routine and were characterized by identical frequency and duration of sessions. Basic training protocol in the experimental group included theta/beta1 training, which was directed at developing concentration, while the control group conducted a sham training using the displayed EEG simulation. Before the start of the first and at the end of each training cycle measurements of „simple and complex” reaction speed were performed in order to compare the achieved results.

Research indicated that athletes from the experimental group, as a result of training sessions with the theta/beta1 protocol, achieved significant statistical improvement of simple

and complex reaction times after each training session. The most impressive increase in the speed of the complex reaction was observed as a result of an applied 4 minute EEG training conducted every other day while, on the other hand, the greatest reduction in simple response times was observed after ten minutes of training conducted each day. No similar changes were observed in the control group.

Extensive analysis of the obtained results showed that thanks to the use of neurofeedback training in accordance with the theta /beta1 protocol, while maintaining the appropriate duration and frequency of individual training sessions, statistically significant improvements in reaction time of athletes visual stimuli can be obtained.

## Spis rycin

<b>Ryc. 1</b> Międzynarodowy system 10 - 20.....	18
<b>Ryc. 2</b> Cykle badań .....	30
<b>Ryc. 3</b> Wyniki pomiarów fal theta i beta przed I cyklem sesji EEG biofeedback .....	38
<b>Ryc. 4</b> Wyniki pomiarów fal theta i beta przed II cyklem sesji EEG biofeedback.....	39
<b>Ryc. 5</b> Wyniki pomiarów fal theta i beta przed III cyklem sesji EEG biofeedback .....	40
<b>Ryc. 6</b> Wyniki pomiarów fal theta i beta przed IV cyklem sesji EEG biofeedback .....	41
<b>Ryc. 7</b> Graficzna prezentacja wyników czasów reakcji prostej uzyskanych w grupie eksperymentalnej i kontrolnej przed rozpoczęciem każdego cyklu treningowego EEG biofeedback.....	44
<b>Ryc. 8</b> Graficzna prezentacja wyników czasów reakcji złożonej uzyskanych w grupie eksperymentalnej i kontrolnej przed rozpoczęciem każdego cyklu treningowego EEG biofeedback.....	45
<b>Ryc. 9</b> Graficzna interpretacja różnic wartości beta po I cyklu treningów EEG biofeedback pomiędzy grupami kontrolną i eksperymentalną.....	47
<b>Ryc. 10</b> Graficzna interpretacja różnic wartości fal beta po II cyklu treningów EEG biofeedback pomiędzy grupami kontrolną i eksperymentalną .....	48
<b>Ryc. 11</b> Graficzna interpretacja różnic wartości fal beta po II cyklu treningów EEG biofeedback pomiędzy grupami kontrolną i eksperymentalną .....	49
<b>Ryc. 12</b> Graficzna interpretacja różnic wartości fal theta po III cyklu treningów EEG biofeedback pomiędzy grupami kontrolną i eksperymentalną .....	50
<b>Ryc. 13</b> Graficzna interpretacja różnic wartości fal beta po III cyklu treningów EEG biofeedback pomiędzy grupami kontrolną i eksperymentalną .....	51
<b>Ryc. 14</b> Graficzna interpretacja różnic wartości fal theta po IV cyklu treningów EEG biofeedback pomiędzy grupami kontrolną i eksperymentalną .....	52
<b>Ryc. 15</b> Graficzna interpretacja różnic wartości fal beta po IV cyklu treningów EEG biofeedback pomiędzy grupami kontrolną i eksperymentalną .....	53

<b>Ryc. 16</b> Graficzna prezentacja wyników czasów reakcji prostej uzyskanych w grupie eksperymentalnej i kontrolnej po zakończeniu każdego cyklu treningowego EEG biofeedback.....	60
<b>Ryc. 17</b> Graficzna prezentacja wyników czasów reakcji złożonej uzyskanych w grupie eksperymentalnej i kontrolnej po zakończeniu każdego cyklu treningowego EEG biofeedback.....	61
<b>Ryc. 18</b> Graficzna prezentacja różnic w wynikach czasów reakcji prostej uzyskanych przed i po I cyklu treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej.....	64
<b>Ryc. 19</b> Graficzna prezentacja różnic w wynikach czasów reakcji prostej uzyskanych przed i po II cyklu treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej.....	65
<b>Ryc. 20</b> Graficzna prezentacja różnic w wynikach czasów reakcji prostej uzyskanych przed i po III cyklu treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej .....	65
<b>Ryc. 21</b> Graficzna prezentacja różnic w wynikach czasów reakcji prostej uzyskanych przed i po IV cyklu treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej .....	66
<b>Ryc. 22</b> Graficzna prezentacja różnic w wynikach czasów reakcji złożonej uzyskanych przed i po I cyklu treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej .....	66
<b>Ryc. 23</b> Graficzna prezentacja różnic w wynikach czasów reakcji złożonej uzyskanych przed i po II cyklu treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej.....	67
<b>Ryc. 24</b> Graficzna prezentacja różnic w wynikach czasów reakcji złożonej uzyskanych przed i po III cyklu treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej .....	67
<b>Ryc. 25</b> Graficzna prezentacja różnic w wynikach czasów reakcji złożonej uzyskanych przed i po IV cyklu treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej .....	68
<b>Ryc. 26</b> Wizualizacja przyrostów czasów reakcji prostej oraz złożonej po kolejnych cyklach treningowych metodą EEG biofeedback w testach komputerowych w grupie eksperymentalnej.....	71
<b>Ryc. 27</b> Wizualizacja przyrostów czasów reakcji prostej oraz złożonej po kolejnych cyklach treningowych metodą EEG biofeedback w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego w grupie eksperymentalnej .....	71

<b>Ryc. 28</b> Graficzna wizualizacja różnic w komputerowym teście szybkości reakcji prostej pomiędzy poszczególnymi cyklami treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej.....	73
<b>Ryc. 29</b> Graficzna wizualizacja różnic w teście szybkości reakcji prostej w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego pomiędzy poszczególnymi cyklami treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej.....	74
<b>Ryc. 30</b> Graficzna wizualizacja różnic w komputerowym teście szybkości reakcji złożonej pomiędzy poszczególnymi cyklami treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej.....	75
<b>Ryc. 31</b> Graficzna wizualizacja różnic w teście szybkości reakcji złożonej w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego pomiędzy poszczególnymi cyklami treningowymi metodą EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej .....	76

## Spis tabel

<b>Tabela 1</b> Parametry opisowe fal theta i beta w poszczególnych cyklach, badanie diagnozujące przy oczach otwartych (OO) .....	32
<b>Tabela 2</b> Parametry opisowe fal theta i beta w poszczególnych cyklach, badanie diagnozujące przy oczach zamkniętych (OZ) .....	32
<b>Tabela 3</b> Parametry opisowe fal theta i beta w poszczególnych cyklach, badanie diagnozujące sprawdzające koncentrację uwagi (KONC) .....	33
<b>Tabela 4</b> Parametry opisowe fal theta i beta w poszczególnych cyklach, sesja EEG biofeedback .....	33
<b>Tabela 5</b> Parametry opisowe fal theta i beta w poszczególnych cyklach, badanie diagnozujące przy oczach otwartych (OO) .....	33
<b>Tabela 6</b> Parametry opisowe fal theta i beta w poszczególnych cyklach, badanie diagnozujące przy oczach zamkniętych (OZ) .....	34
<b>Tabela 7</b> Parametry opisowe fal theta i beta w poszczególnych cyklach, badanie diagnozujące sprawdzające koncentrację uwagi (KONC) .....	34
<b>Tabela 8</b> Parametry opisowe fal theta i beta w poszczególnych cyklach, sesja EEG biofeedback .....	34
<b>Tabela 9</b> Wynik analizy wariancji ANOVA w celu określenia istotnych różnic pomiędzy badanymi zmiennymi w odniesieniu do grup podczas diagnozy przy oczach otwartych (OO) przed poszczególnymi cyklami sesji EEG biofeedback .....	36
<b>Tabela 10</b> Wynik analizy wariancji ANOVA w celu określenia istotnych różnic pomiędzy badanymi zmiennymi w odniesieniu do grup podczas diagnozy przy oczach zamkniętych (OZ) przed poszczególnymi cyklami sesji EEG biofeedback .....	37
<b>Tabela 11</b> Wynik analizy wariancji ANOVA w celu określenia istotnych różnic pomiędzy badanymi zmiennymi w odniesieniu do grup podczas diagnozy koncentracji uwagi (KONC) przed poszczególnymi cyklami sesji EEG biofeedback .....	37
<b>Tabela 12</b> Wynik analizy wariancji ANOVA w celu określenia istotnych różnic pomiędzy badanymi zmiennymi szybkości reakcji prostej w odniesieniu do grup przed poszczególnymi cyklami treningu EEG biofeedback .....	42
<b>Tabela 13</b> Wynik analizy wariancji ANOVA w celu określenia istotnych różnic pomiędzy badanymi zmiennymi szybkości reakcji złożonej w odniesieniu do grup przed poszczególnymi cyklami treningu EEG biofeedback .....	43

<b>Tabela 14</b> Wynik analizy wariancji ANOVA w celu określenia istotnych różnic pomiędzy badanymi zmiennymi określającymi wartości fal theta i beta po poszczególnych sesjach treningowych EEG biofeedback .....	46
<b>Tabela 15</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla zmiennej beta po I cyklu w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	47
<b>Tabela 16</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla zmiennej theta po II cyklu treningów EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	48
<b>Tabela 17</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla zmiennej beta po II cyklu treningów EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	49
<b>Tabela 18</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla zmiennej theta po III cyklu treningów EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	50
<b>Tabela 19</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla zmiennej beta po III cyklu treningów EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	51
<b>Tabela 20</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla zmiennej theta po IV cyklu treningów EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	52
<b>Tabela 21</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla zmiennej beta po IV cyklu treningów EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	53
<b>Tabela 22</b> Wynik analizy wariancji ANOVA w celu określenia istotnych różnic pomiędzy badanymi zmiennymi szybkości reakcji prostej w odniesieniu do grup po poszczególnych cyklach sesji biofeedback .....	54
<b>Tabela 23</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla komputerowego testu szybkości reakcji prostej po I cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	54
<b>Tabela 24</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla testu szybkości reakcji prostej (WST) po I cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	55
<b>Tabela 25</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla komputerowego testu szybkości reakcji prostej po II cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	55
<b>Tabela 26</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla testu szybkości reakcji prostej (WST) po II cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	55
<b>Tabela 27</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla komputerowego testu szybkości reakcji prostej po III cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	55



<b>Tabela 28</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla testu szybkości reakcji prostej (WST) po III cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	56
<b>Tabela 29</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla komputerowego testu szybkości reakcji prostej po IV cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	56
<b>Tabela 30</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla testu szybkości reakcji prostej (WST) po IV cyklu w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	56
<b>Tabela 31</b> Wynik analizy wariancji ANOVA w celu określenia istotnych różnic pomiędzy badanymi zmiennymi szybkości reakcji złożonej w odniesieniu do grup przed poszczególnymi cyklami sesji EEG biofeedback .....	57
<b>Tabela 32</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla komputerowego testu szybkości reakcji złożonej po I cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	57
<b>Tabela 33</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla testu szybkości reakcji złożonej (WST) po I cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	57
<b>Tabela 34</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla komputerowego testu szybkości reakcji złożonej po II cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	58
<b>Tabela 35</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla testu szybkości reakcji złożonej (WST) po II cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	58
<b>Tabela 36</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla komputerowego testu szybkości reakcji złożonej po III cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	58
<b>Tabela 37</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla testu szybkości reakcji złożonej (WST) po III cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	58
<b>Tabela 38</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla komputerowego testu szybkości reakcji złożonej po IV cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	59
<b>Tabela 39</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla testu szybkości reakcji złożonej (WST) po IV cyklu sesji EEG biofeedback w grupach kontrolnej i eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	59
<b>Tabela 40</b> Wynik analizy testem T – Studenta w celu określenia istotności zmian szybkości reakcji prostej oraz złożonej w teście komputerowym .....	62
<b>Tabela 41</b> Wynik analizy testem T – Studenta w celu określenia istotności zmian szybkości reakcji prostej oraz złożonej w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego .....	63

<b>Tabela 42</b> Wynik porównania czasów reakcji prostej uzyskiwanych przed i po poszczególnych cyklach treningowych EEG biofeedback w testach komputerowych oraz w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego.....	69
<b>Tabela 43</b> Wynik porównania czasów reakcji złożonej uzyskiwanych przed i po poszczególnych cyklach treningowych EEG biofeedback w testach komputerowych oraz w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego.....	70
<b>Tabela 44</b> Wynik analizy wariancji ANOVA w celu określenia istotnych różnic pomiędzy badanymi zmiennymi szybkości reakcji prostej w odniesieniu do grupy eksperymentalnej przed poszczególnymi cyklami sesji EEG biofeedback.....	72
<b>Tabela 45</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla różnic w komputerowym teście szybkości reakcji prostej pomiędzy poszczególnymi cyklami treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	72
<b>Tabela 46</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla różnic w teście szybkości reakcji prostej w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego pomiędzy poszczególnymi cyklami treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	73
<b>Tabela 47</b> Wynik analizy wariancji ANOVA w celu określenia istotnych różnic pomiędzy badanymi zmiennymi szybkości reakcji złożonej w odniesieniu do grupy eksperymentalnej przed poszczególnymi cyklami sesji EEG biofeedback.....	75
<b>Tabela 48</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla różnic w komputerowym teście szybkości reakcji złożonej pomiędzy poszczególnymi cyklami treningów EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	75
<b>Tabela 49</b> Test post – hoc RIR Tukeya dla różnic w teście szybkości reakcji złożonej w wybranych próbach Wiedeńskiego Systemu Testowego pomiędzy poszczególnymi cyklami treningowymi metodą EEG biofeedback w grupie eksperymentalnej, z $p < 0,05$ .....	76
<b>Tabela 50</b> Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y1_IC – CRPK.....	77
<b>Tabela 51</b> Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y1_IC–CRZK.....	78
<b>Tabela 52</b> Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y1_IIC – CRPK .....	78
<b>Tabela 53</b> Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y1_IIC – CRZK .....	79
<b>Tabela 54</b> Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y1_IIC – CRPK .....	79
<b>Tabela 55</b> Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y1_IIC – CRZK.....	80
<b>Tabela 56</b> Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y1_IVC – CRPK.....	81

<b>Tabela 57</b> Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y1_IVC – CRZK.....	81
<b>Tabela 58</b> Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y2_IC – CRPW .....	82
<b>Tabela 59</b> Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y2_IC – CRZW.....	82
<b>Tabela 60</b> Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y2_IIC – CRPW.....	83
<b>Tabela 61</b> Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y2_IIC – CRZW .....	84
<b>Tabela 62</b> Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y2_IIC – CRPW .....	84
<b>Tabela 63</b> Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y2_IIC – CRZW .....	85
<b>Tabela 64</b> Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y2_IVC – CRPW .....	85
<b>Tabela 65</b> Podsumowanie regresji grzbietowej dla Y2_IV – CRZW .....	86

## Bibliografia

1. Abernethy B. Dual – task methodology and motor skills research: some applications and methodological constraints. *Journal of Human Movement Studie.* 1988; 14(3): 101 – 132.
2. Al – Hashel J. Y., Ahmed S.F., Al – Mutairi H., Hassan S., Al – Awadhi N., Al – Saraji M. Association of Cognitive Abilities and Brain Lateralization among Primary School Children in Kuwait. *Neuroscience Journal.* 2016; 6740267.
3. Anderson R., Hanrahan S. J., Mallett C. J. Investigating the optimal psychological state for peak performance in Australian elite athletes. *Journal of Applied Sport Psychology.* 2014; 26: 318 – 333.
4. Arns M. W., Kleinnijenhuis M., Fallahpour K., Breteler R. Golf performance enhancement by means of real – life neurofeedback training based on personalized event – locked EEG Profiles. *Journal of Neurotherapy.* 2008; 11(4): 11 – 18.
5. Arns M., de Ridder S., Strehl U., Breteler M., Coenen A. Efficacy of neurofeedback treatment in ADHD: The effects on inattention, impulsivity and hyperactivity: A meta – analysis. *Clinical Electroencephalography and Neuroscience.* 2009; 40: 180–189.
6. Atkinson M. Mental toughness and hardiness at different levels of football. *Sport Psychology and Coaching.* 2013.
7. Babiloni C., Del Percio C., Iacoboni M., Infarinato F., Lizio R., Marzano N., Crespi G., Dassù F., Pirritano M., Gallamini M., Eusebi F. Golf putt outcomes are predicted by sensorimotor cerebral EEG rhythms. *The Journal of Physiology.* 2008; 586(1): 131 – 9.
8. Badau D., Baydil B., Badau A. Differences among three measures of reaction time based on hand laterality in individual sports. *Sports.* 2018; 6(45): 1 – 6.
9. Bar – Eli M., Blumenstein B. Performance enhancement in swimming: The effect of mental training with biofeedback. *Journal of Science, Medicine and Sport.* 2004; 7(4): 454 – 464.
10. Bar – Eli M., Dreshman R., Blumenstein B., Weinstein Y. The effect of mental training with biofeedback on the performance of young swimmers. *Applied Psychology: An International Review.* 2002; 51(4): 567 – 581.
11. Beauchamp M. K., Harvey R. H., Beauchamp P. H. An Integrated Biofeedback and Psychological Skills Training Program for Canada’s Olympic Short – Track Speedskating Team. *Journal of Clinical Sport Psychology.* 2012; 6(1): 67 – 84.
12. Broadbent D. E. Decision and Stress. *Academic Press. London.* 1971.
13. Busse E. W., Silverman A. J. Electroencephalographic changes in professional boxers. *Journal of the American Medical Association.* 1952; 149(17): 1522 – 1525.

14. Caird S. J., McKenzie A. D., Sleivert G. G. Biofeedback and relaxation techniques improve running economy in subelite long distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1999; 31(5): 717 – 722.
15. Chen X., Beck J. M., Pearson J. M. Neuron's eye view: Inferring features of complex stimuli from neural responses. *PLoS Computational Biology*. 2017; 13(8): e1005645.
16. Cheng M. Y., Huang C. J., Chang Y. K., Koester D., Schack T., Hung T. M. Sensorimotor Rhythm Neurofeedback Enhances Golf Putting Performance. *Journal of Sport Exercise Psychology*. 2015; 37(6): 626 – 636.
17. Cherapkina L. Neurofeedback Successfulness and Electroencephalogram Changes in Sportsmen of Different Qualification. *Journal of Novel Physiotherapies*. 2013; 3:145.
18. Christie S., Werthner P. Prestart Psychophysiological Profile of a 200 – m Canoe Athlete: A Comparison of Best and Worst Reaction Times. *Biofeedback*. 2015; 43(2):73 – 83.
19. Cojocariu A., Honceriu C. The effect of the specific training upon the values of the choice reaction time at the level of the upper limbs in the lawn tennis (16 –18 – year – old). *Revista Sport si Societate*. 2011; 79: 79 – 84.
20. Cortoos A., De Valck E., Arns M., Breteler M. H., Cluydts R. An exploratory study on the effects of tele – neurofeedback and tele – biofeedback on objective and subjective sleep in patients with primary insomnia. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2010; 35: 125 – 134.
21. Crews D., Landers D. Electroencephalographic measures of attentional patterns prior to the golf putt. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1993; 17: 332 – 338.
22. Dane S., Erzurumluoglu A. Sex and handedness differences in eye – hand visual reaction times in handball players. *International Journal of Neuroscience*. 2003; 113(7): 923 – 929.
23. Deary I. J., Liewald D., Nissan J. A free, easy – to – use, computer – based simple and four – choice reaction time programme: the Deary – Liewald reaction time task. *Behavior Research Methods*. 2011; 43(1): 258 – 268.
24. Decroix L., Piacentini M. F., Rietjens G., Meusen R. Monitoring physical and cognitive overload during a training camp in professional female cyclists. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2016; 11(7): 933 – 939.
25. Deeny S. P., Haufler A. J., Saffer M., Hatfield B. D. Electroencephalographic coherence during visuomotor performance: A comparison of cortico – cortical communication in experts and novices. *Journal of Motor Behavior*. 2009; 41: 106 – 116.
26. Dekker M., Van den Berg B., Denissen A., Sitskoorn M., Van Boxtel G. Feasibility of eyes open alpha power training for mental enhancement in elite gymnasts. *Journal of Sport Sciences*. 2014; 32(16): 1550 – 1560.

27. Der G., Deary I. J. Age and sex differences in reaction time in adulthood: results from the United Kingdom Health and Lifestyle Survey. *Psychology and Aging*. 2006; 21(1): 62 – 73.
28. Domingues C. A., Machado S., Cavaleiro E. G., Furtad V., Cagy M., Ribeiro P., Piedade R. Alpha absolute power: Motor learning of practical pistol shooting. *Arquivos de Neuro – Psiquiatria*. 2008; 66(2B): 336 – 340.
29. Doppelmayr M., Finkenzeller T., Sauseng P. Frontal midline theta in the pre – shot phase of rifle shooting: differences between experts and novices. *Neuropsychologia*. 2008; 46(5): 1463 – 1467.
30. Dupee M., Forneris T., Werthner P. Perceived Outcomes of a Biofeedback and Neurofeedback Training Intervention for Optimal Performance: Learning to Enhance Self – Awareness and Self – Regulation With Olympic Athletes. *The Sport Psychologist*. 2016; 30(4): 339 – 349.
31. Dupee M., Werthner P. Managing the stress response: The use of bio/neurofeedback with Olympic level athletes. *Biofeedback*. 2011; 39(3): 92 – 94.
32. Dupee M., Werthner P., Forneris T. A preliminary study on the relationship between athletes' ability to self – regulate and world ranking. *Biofeedback*. 2015; 43(2): 57 – 63.
33. Eckner J. T., Kutcher J. S., Richardson J. K. Pilot evaluation of a novel clinical test of reaction time in National Collegiate Athletic Association Division I football players. *Journal of Athletic Training*. 2010; 45: 327 – 332.
34. Edmonds W. A., Tenenbaum G. Case studies in applied psychophysiology: Neurofeedback and biofeedback treatments for advances in human performance. *Wiley – Blackwell*. 2011.
35. Egner T., Gruzelier J. H. EEG Biofeedback of low beta band components: frequency – specific effects on variables of attention and event – related brain potentials. *Clinical Neurophysiology*. 2004; 115(1): 131 – 139.
36. Engel A. K., Fries P. Beta – band oscillations – signaling the status quo? *Current Opinion in Neurobiology*. 2010; 20(2): 156 – 165.
37. Engelbregt H. J., Keeser D., van Eijk L., Suiker E. M., Eichhorn D., Karch S., Deijen J. B., Pogarell O. Short and long – term effects of sham – controlled prefrontal EEG – neurofeedback training in healthy subjects. *Clinical Neurophysiology*. 2016; 127(4): 1931 – 1937.
38. Eysenck M. W., Derakshan N., Santos R., Calvo M. G. Anxiety and cognitive performance: Attentional control theory. *Emotion*. 2007; 7(2): 336 – 353.
39. Froeberg S. The relation between the magnitude of stimulus and the time of reaction. *Archives of Psychology*. 1907; No. 8.
40. Galloway S. M. The effect of biofeedback on tennis service accuracy. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*. 2011; 9(3): 251 – 266.

41. Gardner F., Efficacy, mechanisms of change and the scientific development of sport psychology. *Journal of Clinical Sport Psychology*. 2009; 3: 139 – 155.
42. Gavkare A. M., Nanaware N. L., Surdi A. D. Auditory reaction time, visual reaction time and whole body reaction time in athletes. *Indian Medical Gazette*. 2013; 6: 214 – 219.
43. Ghaziri J., Tucholka A., Larue V., Blanchette – Sylvestre M., Reyburn G., Gilbert G., Lévesque J., Beauregard M. Neurofeedback training induces changes in white and gray matter. *Clinical EEG and Neuroscience*. 2013; 44(4): 265 – 272.
44. Ghisletta P., Renaud O., Fagot D., Lecerf T., De Ribaupierre A. Age and sex differences in intra – individual variability in a simple reaction time task. *International Journal of Behavioral Development*. 2018; 42(2): 294 – 299.
45. Ghuntla T. P., Mehta H. B., Gokhale P. A., Shah C. J. A comparative study of visual reaction time in basketball players and healthy controls. *National Journal of Integrated Research Medicine*. 2012; 3(1): 49 – 51.
46. Golby J., Sheard M., Lavalley D. A cognitive behavioural analysis of mental toughness in national rugby league football teams. *Perceptual and motor skills*. 2003; 96: 455 – 462.
47. Golby J., Sheard M. Mental toughness and hardiness at different levels of rugby league. *Personality and Individual Differences*. 2004; 37: 933 – 942.
48. Gould D., Dieffenbach K., Moffett A. Psychological characteristics and their development in Olympic champions. *Journal of Applied Sport Psychology*. 2002; 14(3): 172 – 204.
49. Gould D., Eklund R. C., Jackson S. A. Coping strategies used by U.S. Olympic wrestlers. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 1993; 64(1): 83 – 93.
50. Gould D., Maynard I. Psychological preparation for the Olympic games. *Journal of Sport Sciences*. 2009; 27: 1393 – 1408.
51. Gracz J. The cutaneous – galvanic reaction as an indicator of pre – start emotional intensity. *Przegląd Psychologiczny*. 1977; 20(1):117 – 129.
52. Gracz J., Sankowski T., Psychologia aktywności sportowej. *Akademia Wychowania Fizycznego im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu*. Poznań, 2007.
53. Green E., Green A., Walters E. Voluntary control of internal states: Psychological and physiological. *Journal of Transpersonal Psychology*. 1970; 9(1): 1 – 26.
54. Grushko A. I., Bochaver K., Shishkina A., Kabanov D., Konstantinova M., Vavaev A., Kasatkin V. Psychological and psychophysiological profile in combat sports. *Revista de Artes Marciales Asiáticas*. 2016; 11(2): 70 – 71.

55. Gruzelier J., Egner T., Vernon D. Validating the efficacy of neurofeedback for optimizing performance. In Neuper C., Klimesch W. (Eds.). *Event – related dynamics of brain oscillations: Progress in brain research*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier. 2006; 159: 421 – 432.
56. Guizani S. M., Tenenbaum G., Bouzaouach I., Kheder A. B., Feki Y., Bouaziz M. Information – processing under incremental levels of physical loads: comparing racquet to combat sports. *Journal of Sports Medicine Physical Fitness*. 2006; 46(2): 335 – 343.
57. Hammond D. C. What is neurofeedback: An update. *Journal of Neurotherapy*. 2011; 15(4): 305 – 336.
58. Hanslmayr S., Aslan A., Staudigl T., Klimesch W., Herrmann C. S., Bauml K., Prestimulus oscillations predict visual perception performance between and within subjects. *NeuroImage*. 2007; 37(4): 1465 – 1473.
59. Harrison R. J. Peak performance in sport: Identifying ideal performance states and developing athletes' psychological skills. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*. 2011; 1(S): 3 – 18.
60. Hatfield B., Haufler A., Spalding T. A cognitive neuroscience perspective on sport performance. In Acevedo E. O., Ekkekakis P. (Eds.). *Psychobiology of Physical Activity*. 2006; 221 – 240.
61. Haufler A. J., Spalding T. W., Santa Maria D. L., Hatfield B. D. Neuro – cognitive activity during a self – paced visuospatial task: Comparative EEG profiles in marksmen and novice shooters. *Biological Psychology*. 2000; 53: 131 – 160.
62. Hillman C. H., Appareis R. J., Janelle C. M., Hatfield B. D. An electrocortical comparison of executed and rejected shots in skilled marksmen. *Biological Psychology*. 2000; 52: 71 – 83.
63. Hommel B. The relationship between stimulus processing and response selection in the Simon task: Evidence for a temporal overlap. *Psychological Research*. 1993; 55: 280 – 290.
64. Hsieh Y. H., Lin C. J., Chen H. C. Effect of vibration on visual display terminal work performance. *Perceptual and Motor Skills*. 2007; 105(3): 1055 – 1058.
65. Jain A., Bansal R., Kumar A., Singh K. D. A comparative study of visual and auditory reaction times on the basis of gender and physical activity levels of medical first year students. *International Journal of Applied and Basic Medical Research*. 2015; 5: 124 – 127.
66. Janelle C. M. Anxiety, Arousal and visual attention: A mechanistic account of performance variability. *Journal of Sports Sciences*. 2002; 20: 237 – 251.
67. Janelle C. M., Singer R. N., Williams A. M. External distraction and attentional narrowing: Visual search evidence. *Journal of Sport and Exercise Psychology*. 1999; 21: 70 – 91.



68. Jasper H. H. The ten – twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. 1958; 10: 371 – 375.
69. Jones G., Hanton S., Connaughton D. A framework for mental toughness in the world’s best performers. *The Sport Psychologist*. 2007; 21: 243 – 264.
70. Jordanova N. P., Demerdzieva A. Biofeedback training for peak performance in sport: Case study. *Macedonian Journal of Medical Sciences*. 2010; 3(2): 113 – 118.
71. Kamiński J., Brzezicka A., Gola M., Wróbel A. Beta band oscillations engagement in human alertness process. *International Journal of Psychophysiology*. 2012; 85(1): 125 – 128.
72. Kamiya J. Conscious control of brain waves. *Psychology Today*. 1968; 1: 56 – 60.
73. Kaur P., Paul M., Sandhu J. S. Auditory and visual reaction time in athletes, healthy controls, and patients of type I diabetes mellitus: A comparative study. *International Journal of Diabetes in Developing Countries*. 2006; 26: 112 – 5.
74. Kemp B. J. Reaction Time of Young and Elderly Subjects in Relation to Perceptual Deprivation and Signal – on Versus Signal – off Condition. *Developmental Psychology*. 1973; 8(2): 268 – 272.
75. Krane V., Williams J. M. Psychological characteristics of peak performance. In Williams J. M. (Eds.). *Applied sport psychology: Personal growth to peak performance*. 2006; 5: 207 – 227.
76. Lagos L., Vaschillo E., Vaschillo B., Lehrer P., Bates M., Pandina R. Heart rate variability biofeedback as a strategy for dealing with competitive anxiety: A case study. *Biofeedback*. 2008; 36(3): 109 – 115.
77. Lagos L., Vaschillo E., Vaschillo B., Lehrer P., Bates M., Pandina R. Virtual reality – assisted heart rate variability biofeedback as a strategy to improve golf performance: A case study. *Biofeedback*. 2011; 39(1): 15 – 20.
78. Lambourne K., Tomporowski P. The effect of exercise – induced arousal on cognitive task performance: a meta – regression analysis. *Brain Research*. 2010; 1341: 12 – 24.
79. Landers D. M., Boutcher S. H., Wang M. Q. A psychological study of archery performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 1986; 57: 236 – 244.
80. Landers D. M., Petruzzello S. J., Salazar W., Crews D. J., Kubitz K. A., Gannon T. L., Han M. The influence of electrocortical biofeedback on performance in pre – elite archers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1991; 23: 123 – 129.
81. Le Meur Y., Hausswirth C., Natta F., Couturier A., Bignet F., Vidal P. P. A multidisciplinary approach to overreaching detection in endurance trained athletes. *Jornal of Applied Physiology*. 2013; 114(3): 411 – 420.
82. Le’vesque J., Beauregard M., Mensour B. Effect of neurofeedback training on the neural substrates of selective attention in children with attention – deficit/ hyperactivity disorder: a functional magnetic resonance imaging study. *Neuroscience Letters*. 2006; 394(3): 216 – 221.

83. Leins U., Goth G., Hinterberger T., Klinger C., Rumpf N., Strehl U. Neurofeedback for children with ADHD: A comparison of SCP and Theta = Beta protocols. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2007; 32(2): 73 – 88.
84. Luce R. D. Response Times: Their Role in Inferring Elementary Mental Organization. *New York: Oxford University Press*. 1986.
85. Madden D. J. Speed and timing of behavioural processes. In Birren J. E., Schaie K. W. (Eds.) Handbook of the psychology of aging. *Academic Press*. 2001; 5: 288 – 312.
86. Milton J., Solodkin A., Hlstick P., Small S. L. The mind of expert motor performance is cool and focused. *Neuroimage*. 2007; 35: 804 – 813.
87. Moran A. P. The psychology of concentration in sports performers; A cognitive analysis. *Psychology press*. 1996.
88. Nakamoto H., Mori S. Sport – specific decision – making in a Go/NoGo reaction task: Difference among nonathletes and baseball and basketball players. *Perceptual and Motor Skills*. 2008; 106: 163 – 70.
89. Nelken I., Nodal F. R., Bizley J. K., Ahmed B. Responses of Auditory Cortex to Complex Stimuli: Functional Organization Revealed Using Intrinsic Optical Signals. *Journal of Neurophysiology*. 2008; 99(4): 1928 – 41.
90. Neumann D. L., Thomas P. R. Cardiac and respiratory activity and golf putting performance under attentional focus instructions. *Psychology of Sport and Exercise*. 2011; 12(4): 451 – 459.
91. Nicholls A. R. Polman R. C. J., Backhouse S. H., Levy, A. R. Mental toughness in sport: Achievement level, gender, age, experience and sport type differences. *Personality and Individual Differences*. 2009; 47(1): 73 – 75.
92. Nikam L. H., Gadkari J. V. Effect of age, gender and body mass index on visual and auditory reaction times in Indian population. *Indian Journal of Physiology Pharmacology*. 2012; 56(1): 94 – 99.
93. Orlick T., Partington J. Mental links to excellence. *The Sport Psychologist*. 1988; 2: 105 – 130.
94. Orlick T., Partington J. The sport psychology consultant: Analysis of critical components as viewed by Canadian Olympic athletes. *The Sport Psychologist*. 1987; 1(1): 4 – 17.
95. Pacheco N. C. Neurofeedback for Peak Performance Training. *Journal of Mental Health Counseling* 2016; 38(2): 116 – 123.
96. Paul M., Garg K., Singh Sandhu J. Role of Biofeedback in Optimizing Psychomotor Performance in Sports. *Asian Journal of Sports Medicine*. 2012; 3(1): 29 – 40.
97. Peper E., Schmid – Shapiro A. B. The use of electrodermal biofeedback for peak performance training. *Somatics*. 1983; 4(3): 16 – 18.
98. Perry F. D., Shaw L., Zaichkowsky L. Biofeedback and neurofeedback in sports. *Biofeedback*. 2011; 39(3): 95 – 100.

99. Raalte J., Petitpas A. Sport psychology service provision at elite international competitions. In Hung T., Lidor R., Hackfort D. (Eds.) *Psychology of Sport Excellence. Fitness Information Technology*. 2009; 45 – 52.
100. Radlo S. J., Steinberg G. M., Singer R. M., Barba D. A., Melinkov A. The influence of an attentional focus strategy on alpha brain wave activity, heart rate, and dart throwing performance. *International Journal of Sport Psychology*. 2002; 33: 205 – 217.
101. Ravizza K. Increasing awareness for sport performance. In Williams J. M. (Eds.), *Applied sport psychology: Personal growth to peak performance*. 2006; 5: 228 – 239.
102. Raymond J., Sajid I., Parkinson L. A., Gruzelier J. H. Biofeedback and dance performance: A preliminary investigation. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2005; 30(1): 65 – 73.
103. Rietjens G. J., Kuipers H., Adam J. J., Saris W. H., van Breda E., van Hamond D., Keizer H. A. Physiological, biochemical and psychological markers of strenuous training – induced fatigue. *International Journal of Sports Medicine*. 2005; 26(1): 16 – 26.
104. Robazza C., Bortoli, L. Mental preparation strategies of Olympic archers during competition: An exploratory investigation. *High Abilities Studies*. 1998; 9(2): 219 – 235.
105. Rostami R., Sadeghi H., Karami K., Abadi M., Salamati P. The Effect of Neurofeedback on the Improvement of Rifle Shooters' Performance. *Journal of Neurotherapy*. 2012; 16(4): 264 – 269.
106. Salazar W., Landers D. M., Petruzzello S. J., Myungwoo H., Crews D. J., Kubitz K. A. Hemispheric asymmetry, cardiac response, and performance in elite archers. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 1990; 61(4): 351 – 359.
107. Schwartz M. S., Andrasik F. (Eds.). *Biofeedback: A practitioner's guide*. (4th ed.). 2017.
108. Shelton J., Kumar G. P. Comparison between auditory and visual Simple reaction times. *Neuroscience and Medicine*. 2010; 1(01): 30 – 32.
109. Sherlin L. H., Larson N. C., Sherlin R. M. Developing a performance brain training™ approach for baseball: A process analysis with descriptive data. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2013; 38(1): 29 – 44.
110. Sherlin, L. H., Ford N., Baker A. R., Troesch J. Observational Report of the Effects of Performance Brain Training in Collegiate Golfers. *Biofeedback*. 2015; 43(2): 64 – 72.
111. Sozański H. (red.), Sadowski J. (red.), Czerwiński J. (red.) *Podstawy teorii i terminologii treningu sportowego: praca zbiorowa. Tom II. Akademia Wychowania Fizycznego im. Józefa Piłsudskiego w Warszawie*. Warszawa, 2015.

112. Sozański H. Podstawy teorii treningu sportowego. *Biblioteka trenera*. Warszawa, 1999.
113. Sterkowicz S., Lech G., Jaworski J., Ambroży T. Coordination motor abilities of judo contestants at different age. *Journal of Combat Sports and Martial Arts*. 2012; 1(2): 5 – 10 .
114. Sterkowicz S., Rukasz W., Weiss P. Changes in reaction time with consideration of gender and specific judo effort. In Diego Scardone (Eds.) *The International Association of Judo Researchers*. Rotterdam, 2009.
115. Sterman M. B. Basic concepts and clinical findings in the treatment of seizure disorders with EEG operant conditioning. *Clinical Electroencephalography*. 2000; 31(1): 45 – 55.
116. Strack B. W. Effect of heart rate variability (HRV) biofeedback on batting performance in baseball. *Dissertation Abstracts International: Section B: The Sciences and Engineering*. 2003; 1540.
117. Taylor M. K., Gould D., Rolo C. Performance strategies of U.S. Olympians in practice and competition. *High Ability Studies*. 2008; 19: 15 – 32.
118. Thelwell R. C., Such B. A., Weston N. J. V., Such J. D., Greenlees I. A. Developing mental toughness: Perceptions of elite female gymnasts. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*. 2010; 8(2): 170 – 188.
119. Thompson M., Thompson L. The neurofeedback book: An introduction to basic concepts in applied psychophysiology. *Wheat Ridge, CO: Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2003.
120. Thompson P. D., Colebatch J. G., Brown P., Rothwell J. C., Day B. L., Obeso J. A., Marsden C.D. Voluntary Stimulus Sensitive Jerks and Jumps Mimicking Myoclonus or Pathological Startle Syndromes. *Movement Disorders*, 1992; 7(3): 257 – 262.
121. Thompson T., Steffert T., Ros T., Leach J., Gruzelier J. EEG applications for sport and performance. *Methods*. 2008; 45(4): 279 – 288.
122. Townsend R. E., Johnson L. C. Relation of frequency – analyzed EEG to monitoring behavior. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. 1979; 47(3): 272 – 279.
123. Ulrich R., Rinkenauer G., Miller J. Effects of stimulus duration and intensity on simple reaction time and response force. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1998; 24(3): 915 – 928.
124. Vaschillo E .G., Vysochin Y. V., Rische N. RSA biofeedback as an effective relaxation method. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 1998; 23(2): 136 – 137.
125. Vernon D. J. Can neurofeedback training enhance performance? An evaluation of the evidence with implications for future research. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2005; 30(4): 347 – 64.

126. Vernon D., Egner T., Cooper N., Compton T., Neilands C., Sheri A., Gruzelier J. The effect of training distinct neurofeedback protocols on aspects of cognitive performance. *International Journal of Psychophysiology*. 2003; 47(1): 75 – 85.
127. Welford A.T. Choice reaction time: Basic concepts. In: Welford A.T. (Eds.) *Reaction Times*. Academic Press. 1980; 73 – 128.
128. Wells G. R., The influence of stimulus duration on reaction time. *Psychological Monographs*. 1913; 15(5): i–69.
129. Williams J. M., Harris D. V. Relaxation and energizing techniques for regulation of arousal. In Williams J. M. (Eds.) *Applied sport psychology: Personal growth to peak performance*. 2006; 5: 285 – 305.
130. Williams J. M., Krane V. Psychological characteristics of peak performance. In Williams J. M. (Eds.) *Applied sport psychology: Personal growth to peak performance* 2001; 4: 137 – 147.
131. Williams J. M., Nideffer R. M., Wilson V. E., Sagal M. S., Peper E. Concentration and strategies for controlling it. In Williams J.M. (Eds.) *Applied sport psychology: Personal growth to peak performance*. Boston: McGraw – Hill Higher Education. 2010; 6: 336 – 358.
132. Williams L. R. T., Walmsley A. Response amendment in fencing: Differences between elite and novice subjects. *Perceptual and Motor Skills*. 2000; 91(1): 131 – 142.
133. Wilson E., Peper E., Moss D. „The Mind Room" in Italian Soccer Training: The Use of Biofeedback and Neurofeedback for Optimum Performance. *Biofeedback*. 2006; 34(3): 79 – 81.
134. Wilson V. E., Ainsworth M., Bird E. I. Assesment of attentional abilities In Male volleyball athletes. *International Journal of Sport Psychology*. 1985; 16(4): 296 – 306.
135. Wilson V., Thompson M., Thompson L., Peper E. Using EEG for enhancing performance: Arousal, attention, self talk, and imagery. In: Strack B. W., Linden M. K., Wilson V. E. *Biofeedback & neurofeedback applications in sport psychology*. Wheat Ridge. Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback. 2011: 199 – 233.
136. Zadkhosh S. M., Zandi H. G., Hemayattalab R. The effects of Neurofeedback on Anxiety decrease and Athletic performance Enhancement. *Applied Psychological Research Quarterly*. 2017; 7(4): 21 – 37.
137. Zaichkowsky L. D. Combating stress: What about relaxation and biofeedback? *Movement*. 1975; 1: 309 – 312.