

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

mgr Alan Langer

**Wpływ treningu koordynacyjnego w immersyjnej wirtualnej
rzeczywistości na szybkość reakcji zawodników mieszanych sztuk
walki**

Autoreferat rozprawy doktorskiej

Promotor: prof. dr hab. Adam Maszczyk

Promotor pomocniczy: dr Jacek Polechoński

KATOWICE 2023

Spis treści

Wprowadzenie.....	3
1. Cel pracy, pytania i hipotezy badawcze.....	4
2. Metodologia badań	5
2.1. Charakterystyka badanej grupy	5
2.2. Narzędzia i procedury badawcze	6
2.2.1. Procedura oceny szybkości reakcji.....	7
2.2.2. Testy szybkości reakcji przeprowadzane w wirtualnej rzeczywistości.....	7
2.2.3. Testy szybkości reakcji przeprowadzane w środowisku rzeczywistym	11
2.2.4. Trening koordynacyjny w wirtualnej rzeczywistości	13
2.3. Metody statystyczne	17
3. Wyniki.....	18
3.1. Porównanie wyników testów szybkości reakcji uzyskanych przez zawodników z grupy eksperymentalnej i kontrolnej przed rozpoczęciem interwencji treningowej	18
3.2. Wpływ treningu koordynacyjnego w wirtualnej rzeczywistości na szybkość reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej.....	19
3.2.1. Testy wykonywane w immersyjnej wirtualnej rzeczywistości	19
3.2.2. Testy wykonywane w środowisku rzeczywistym.....	23
3.3. Wyniki testów szybkości reakcji zawodników z grupy kontrolnej	25
3.3.1. Testy wykonywane w immersyjnej wirtualnej rzeczywistości	25
3.3.2. Testy wykonywane w środowisku rzeczywistym.....	28
3.4. Porównanie wyników testów szybkości reakcji uzyskanych przez zawodników z obu grup podczas badań kontrolnych i końcowych	29
4. Wnioski	32
Piśmiennictwo	33

Wprowadzenie

W ostatnich latach nastąpił gwałtowny rozwój technologii wirtualnej rzeczywistości (VR), która znajduje zastosowanie w różnych dziedzinach życia człowieka, między innymi: edukacji, wojsku, medycynie, rozrywce czy sporcie (Ahir i in., 2020). Jej potencjał zaczyna być dostrzegany w kontekście możliwości promocji i uprawiania prozdrowotnej aktywności fizycznej (Cao i in., 2021; Dębska i in., 2019; Polechoński i in., 2020; Zhou, 2020), wykorzystania w wychowaniu fizycznym (Zhang i in., 2021) czy treningu funkcji poznawczych (Bauer & Andringa, 2020; Wojciechowski i in., 2021). Ta nowoczesna technologia zaczyna także być stosowana w sporcie do oceny zdolności motorycznych (Langer i in., 2022; Polechoński & Langer, 2022; Vahle i in., 2021) i umiejętności ruchowych (Gray, 2017; Michalski i in., 2019; Tirp i in., 2015) oraz jako narzędzie treningowe zawodników na różnym poziomie doświadczenia (Akbaş i in., 2019; Neumann i in., 2018)

Trening, oparty na wirtualnej rzeczywistości, ma wiele potencjalnych zalet. Jedną z nich jest możliwość symulowania różnych sytuacji występujących podczas rywalizacji sportowej i treningu w bezpiecznym i powtarzalnym środowisku (Michalski i in., 2019). Wykorzystanie treningu w wirtualnym środowisku prowadzi do poprawy rezultatów sportowych w realnym świecie (Neumann i in., 2018). Z większości opublikowanych badań z tego zakresu wynika, że interwencje treningowe w VR przynoszą wymierne efekty (Michalski i in., 2019). Wirtualne środowisko staje się więc miejscem do treningu umiejętności i zdolności motorycznych oraz narzędziem do ich kształtowania (Richlan i in., 2022). Wydaje się również, że technologia VR może być przydatna do tworzenia precyzyjnych i obiektywnych narzędzi oceniających trudną do diagnozowania sferę koordynacyjnych zdolności motorycznych. Szczególnie problematyczna jest analiza czynności ruchowych związanych z podejmowaniem szybkich decyzji, ze względu na konieczność dokonywania pomiarów w bardzo krótkich odcinkach czasu. Dlatego do oceny szybkości reakcji na bodźce od kilkadziesiąt lat wykorzystuje się technologię komputerową, która pozwala na precyzyjną rejestrację parametrów dynamicznie wykonywanych ruchów (Holden i in., 2019). VR daje w tym zakresie jeszcze większe możliwości. Dzięki odpowiednim urządzeniom wskazującym i prawie nieograniczonym możliwościom projektowania wirtualnego środowiska można w nim stwarzać warunki do wykonywania i oceny różnorodnych czynności ruchowych. W ostatnim czasie podjęto pierwsze udane próby opracowania narzędzi badawczych do oceny reakcji prostej i złożonej na bodźce świetlne w VR (Polechoński & Langer, 2022). Powodzeniem zakończyły się także próby odwzorowania w VR popularnego testu na szybkość reakcji, jakim jest chwyt opadającej linijki (Langer i in., 2022). Oba narzędzia zostały poddane ocenie rzetelności pomiarowej, która okazała się zbliżona do popularnych testów komputerowych. Technologia VR pozwala także na tworzenie specjalistycznych aplikacji do oceny bardziej specyficznych czynności ruchowych, które mają odzwierciedlenie w działalności sportowej. Nieopublikowane jeszcze badania własne, przeprowadzone w grupie 34 zawodników MMA, dowodzą, że zaimplementowany do VR test szybkości reakcji oparty na ocenie wzorca

wyprostu kończyny górnej, może stanowić rzetelne narzędzie pomiarowe (Raport cząstkowy z realizacji Etapu nr 1. Projektu nr POIR.01.01.01-00-0365/20). Należy podkreślić, że ten fundamentalny wzorzec ruchowy jest punktem wyjścia do wykonywania bardziej złożonych czynności ruchowych w różnych dyscyplinach sportowych. VR daje więc możliwość oceny nie tylko motoryki małej, która odnosi się głównie do sprawności ręki, ale również motoryki dużej, która odzwierciedla sprawność ruchową całego ciała (Stelmasiak & Różańska, 2021).

Obok oceny poprawności ruchu, pomiar szybkości reakcji ma istotne znaczenie dla trenerów różnych dyscyplin sportowych, gdyż ocenia podstawowe parametry jakości zachowania motorycznego (Gierczuk & Ljach, 2012). Zdolność szybkiej reakcji jest istotna dla efektywności wielu działań ruchowych w sporcie (Raczek i in., 2003). Jej znaczenie szczególnie można zauważyć w sportach walki, w których szybkość reakcji uznawana jest za predyktor przyszłych sukcesów sportowych (Darby i in., 2014).

Powyższe fakty skłaniają do podejmowania badań związanych z kształtowaniem i diagnozowaniem zdolności szybkiego reagowania w oparciu o technologię VR. Stały się również inspiracją do podjęcia badań opisanych w niniejszej pracy, których głównym celem jest ocena wpływu treningu koordynacyjnego w VR na szybkości reakcji zawodników MMA w wirtualnej i realnej rzeczywistości.

1. Cel pracy, pytania i hipotezy badawcze

Celem pracy jest ocena wpływu treningu koordynacyjnych zdolności motorycznych zawodników mieszanych sztuk walki (MMA) w VR na poziom ich szybkości reakcji ocenianej testami wykonywanymi w wirtualnym i rzeczywistym środowisku.

Realizację tak sformułowanego celu badań sprowadzono do poszukiwania odpowiedzi na następujące pytania badawcze:

1. Czy kilkutygodniowy (4 lub 8 tygodni) trening koordynacyjny w wirtualnym środowisku poprawi szybkość reakcji prostej i złożonej zawodników MMA w VR?
2. Czy kilkutygodniowy (4 lub 8 tygodni) trening koordynacyjny w VR poprawi szybkość reakcji prostej i złożonej zawodników MMA w środowisku rzeczywistym?
3. Czy długość okresu treningowego w VR warunkuje poziom szybkości reakcji prostej i złożonej zawodników MMA?

Po dokonaniu przeglądu literatury i analizy obecnego stanu wiedzy przyjęto poniższe hipotezy badawcze:

1. Kilkutygodniowy (4 lub 8 tygodni) trening koordynacyjny w wirtualnym środowisku spowoduje istotną poprawę szybkości reakcji prostej i złożonej zawodników MMA w VR.

2. Kilkutygodniowy (4 lub 8 tygodni) trening koordynacyjny w VR spowoduje istotną poprawę szybkości reakcji prostej i złożonej zawodników MMA w środowisku rzeczywistym.
3. Ośmiotygodniowy trening koordynacyjny w VR spowoduje większą poprawę poziomu szybkości reakcji prostej i złożonej u zawodników MMA, od treningu trwającego cztery tygodnie.

Pozytywna weryfikacja postawionych hipotez badawczych będzie oznaczać, że ćwiczenia koordynacyjne wykonywane w wirtualnym środowisku są skutecznym narzędziem treningowym dla osób uprawiających MMA.

2. Metodologia badań

2.1. Charakterystyka badanej grupy

Badania zostały przeprowadzone w studiu treningowym MMA & Performance w Świętochłowicach, mieszczącym się przy ul. Katowickiej 30B. Łącznie w badaniach wzięło udział 36 zawodników MMA (wiek $30,889 \pm 5,148$ lat, wysokość ciała $177,347 \pm 8,142$ cm, masa ciała $80,078 \pm 11,196$ kg, staż treningowy $5,556 \pm 2,348$ lat) trenujących w tym samym klubie. Pomiary antropometryczne wykonano na początku badań wstępnych. Wszyscy zawodnicy mierzeni byli boso oraz w stroju sportowym. Pomiary masy ciała (kg) przeprowadzono na elektrycznej wadze Lookin' Body 120 z oprogramowaniem w wersji 2.0.0.4 z dokładnością do 0,1 kg. Badania wysokości ciała (cm) przeprowadzono antropometrem z dokładnością do 0,1 cm. Wszyscy zawodnicy byli objęci jednakowym planem treningowym oraz byli pod opieką jednego trenera prowadzącego. Uczestnicy musieli spełnić następujące kryteria włączenia: minimalny staż treningowy wynoszący 3 lata, maksymalny staż treningowy wynoszący 10 lat, wiek chronologiczny w przedziale 18 – 40 lat, deklarowana praworęczność, dobry ogólny stan zdrowia, brak przeciwwskazań do udziału w badaniach (w szczególności niewystępowanie choroby lokomocyjnej, epizodów padaczkowych, wrażliwości na migające światło), brak ograniczeń fizycznych (np. urazów), niewykonywanie intensywnych wysiłków fizycznych w okresie dwunastu godzin poprzedzających badania oraz niestosowanie leków, które mogłyby wpłynąć na szybkość reakcji. Uczestnicy zostali powiadomieni o celu badań oraz szczegółowo poinformowani o ich przebiegu. Badania były realizowane w oparciu o wcześniej zatwierdzoną przez Komisję Bioetyczną Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach procedurę dotyczącą uprawiania i diagnozowania aktywności fizycznej w środowisku immersyjnej wirtualnej rzeczywistości (Uchwała nr 9/2018). Każdy z uczestników wziął udział w badaniach dobrowolnie oraz miał możliwość rezygnacji z nich w dowolnym momencie.

Uczestnicy zostali w sposób losowy podzieleni na 2 grupy: eksperymentalną (G_E – zawodnicy trenujący w VR) i kontrolną (G_K) – zawodnicy nie wykonujący treningu w VR. Tabela 1 przedstawia charakterystykę badanych zawodników, z której wynika, że w każdym podanym parametrze obie grupy nie różnią się statystycznie od siebie.

Tabela 1. Prezentacja podstawowych danych opisowych grupy eksperymentalnej i kontrolnej

Zmienna	G _E (n=18)		G _K (n=18)		d	p
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD		
Wiek [lat]	32,556	5,943	29,222	3,655	3,333	0,051 ^t
Masa ciała [kg]	80,328	12,165	79,828	10,487	0,500	0,825 ^U
Wysokość ciała [cm]	178,317	8,012	176,378	8,384	1,939	0,537 ^U
Staż treningowy [lat]	5,667	2,114	5,444	2,617	0,222	0,335 ^U

Legenda: G_E - grupa eksperymentalna, G_K - grupa kontrolna, n - liczba badanych, \bar{x} - średnia arytmetyczna; SD - odchylenie standardowe; d - różnica średnich arytmetycznych; p - poziom istotności statystycznej; różnice istotne statystycznie oznaczono pogrubioną czcionką, ^t - wartość p z testu t-studenta; ^U - wartość p z testu U Manna-Whitneya

2.2. Narzędzia i procedury badawcze

Aplikacje treningowe i testy motoryczne w VR zastosowane w badaniach zostały stworzone wspólnie z zespołem badawczy w ramach projektu nr POIR.01.01.01-00-0365/20 „Opracowanie metod badania oraz kształtowania zdolności koordynacyjnych wraz z dedykowanym zestawem metod treningowych w boksie w oparciu o wykorzystanie wirtualnej rzeczywistości” finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Wszyscy zawodnicy wykonali badania wstępne, kontrolne i końcowe. Składały się one z pomiarów szybkości reakcji: testy wykonywane w VR, klasyczne testy komputerowe, z wykorzystaniem lampek treningowych BlazePod oraz chwyt opadającej linijki. Badania kontrolne odbyły się po czterech tygodniach treningu. Całkowity czas trwania eksperymentu wynosił osiem tygodni i zakończył się badaniami końcowymi. W tym okresie wszyscy zawodnicy uczestniczyli w treningach MMA. Grupy kontrolna i eksperymentalna trenowały na zajęciach grupowych trwających 90 minut, które odbywały się cztery razy w tygodniu. Grupa eksperymentalna brała dodatkowo udział w trzydziestominutowych treningach w VR, dwa razy w tygodniu. Grupa kontrolna nie uczestniczyła w dodatkowych treningach kształtujących szybkość reakcji.

Treningi MMA składały się z 15 minutowej rozgrzewki, 45 minutowej części głównej oraz 30 minutowej sesji sparingowej. Rozgrzewka była przeprowadzana zgodnie z protokołem RAMP (Jeffreys, 2007), który obejmuje etapy: podniesienie temperatury ciała (ang. Raise), aktywacja i mobilizacja (ang. Activate and Mobilize) oraz pobudzenie (ang. Potentiate). Część główna składała się z ćwiczeń uderzeń z zapasami (ang. Striking and Wrestling), grapplingu z uderzeniami (ang. Grappling and Striking) oraz zapasów z grapplingiem (ang. Wrestling and Grappling), czyli technik charakterystycznych dla MMA (Jeff Davidson i in., 2021). Sesja sparingowa składała się z pięciu pięciominutowych rund MMA, kickboxingu albo ju-jitsu. Po każdej rundzie zawodnicy odpoczywali 1 minutę. Dobór charakteru sparingu uzależniony był od tematu głównego prowadzonych zajęć. Obie grupy brały udział w jednakowych sesjach treningowych MMA pod nadzorem tego samego trenera prowadzącego.

2.2.1. Procedura oceny szybkości reakcji

Wszystkie badania składały się z następujących kolejno po sobie testów:

1. Klasyczny test w VR – reakcja prosta prawa ręka (PR)
2. Klasyczny test w VR – reakcja prosta lewa ręka (LR)
3. Klasyczny test w VR – reakcja złożona
4. Chwył opadającej linijki w VR – reakcja prosta PR
5. Chwył opadającej linijki w VR – reakcja prosta LR
6. Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja prosta PR
7. Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja prosta LR
8. Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja złożona
9. Klasyczny test komputerowy - reakcja prosta PR
10. Klasyczny test komputerowy - reakcja prosta LR
11. Klasyczny test komputerowy - reakcja złożona
12. Wyprost kończyny górnej (BlazePod) - reakcja prosta PR
13. Wyprost kończyny górnej (BlazePod) - reakcja prosta LR
14. Wyprost kończyny górnej (BlazePod) - reakcja złożona
15. Chwył opadającej linijki – reakcja prosta PR
16. Chwył opadającej linijki – reakcja prosta LR

W każdym z wyżej wymienionych testów, badani wykonywali jedną serię próbną składającą się z sześciu powtórzeń. Następnie wykonywali jedną serię właściwą, składającą się z dwunastu powtórzeń. Po zakończeniu jednego testu zawodnik przechodził do wykonania kolejnego w podanej kolejności. Każdy bodziec pojawiał się w zrandomizowanych odstępach czasu (2-6 s). Badania przeprowadzono zgodnie z metodyką pomiarową proponowaną przez Klocka i in. (2002) . Dla każdej próby wyliczano średnią arytmetyczną, pomijając dwie skrajne wartości. Ponadto w komputerowym teście reakcji złożonej założono, że gdy badany popełni cztery błędy, wynik należy uznać za niewiarygodny i odrzucić. Taki sam warunek został przyjęty do wszystkich testów reakcji złożonej. W badaniach własnych taka sytuacja jednak nie nastąpiła.

2.2.2. Testy szybkości reakcji przeprowadzane w wirtualnej rzeczywistości

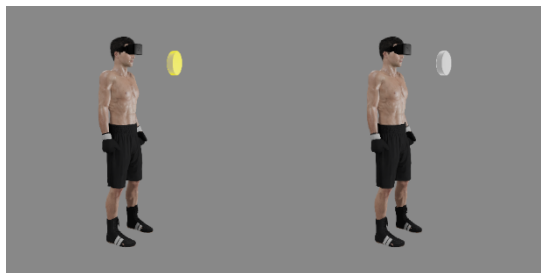
Zawodnicy biorący udział w badaniu doświadczyli wcześniej VR, jednak żaden z nich nie deklarował systematycznego korzystania z tej technologii. Uczestnicy nie korzystali również wcześniej z oprogramowania wykorzystanego w badaniach do oceny szybkości reakcji. Do projekcji wirtualnej rzeczywistości podczas badań wykorzystano bezprzewodowy zestaw VR Oculus Quest 2 (Facebook Technologies, LLC. 1 Hacker Way, Menlo Park, CA 94025, USA) składający się z mocowanego na głowie

projektora w postaci gogli (ang. Head Mounted Display, HMD) o rozdzielczości 3664 x 1920 pikseli (1832 x 1920 na oko) i częstotliwością odświeżania wynoszącą 90Hz. HMD umożliwia trójwymiarowe pole widzenia, a tzw. system śledzący odwzorowuje ruchy głowy. W skład zestawu dodatkowo wchodzi dwa bezprzewodowe kontrolery (ryc. 1). Przed rozpoczęciem testów osoby badane poinstruowano odnośnie obsługi sprzętu do projekcji VR oraz prawidłowego korzystania z aplikacji. Podczas testu, badani zostali poproszeni o informację w przypadku odczuwania dyskomfortu związanego z chorobą lokomocyjną występującą podczas przebywania w VR. Żaden z badanych nie zakomunikował przeprowadzającemu badanie wystąpienia jakichkolwiek negatywnych symptomów podczas wykonywania testów.

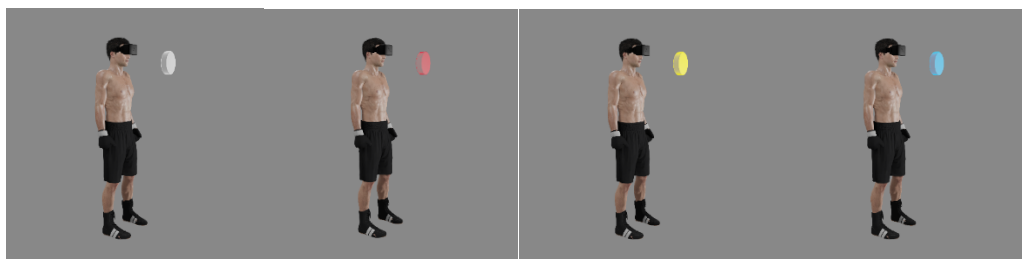


Ryc. 1. Uczestnik badań podczas wykonywania jednego z testów szybkości reakcji w VR z wykorzystaniem zestawu Oculus Quest 2

Pierwszy test „Klasyczny test w VR – reakcja prosta” oceniał szybkość reakcji prostej prawej i lewej ręki zawodników MMA w VR na bodziec wzrokowy. Zadaniem badanych było reagowanie na rozświetlenie się wirtualnego dysku (średnica 20 cm), który znajdował się przed nimi w odległości 30 cm, poprzez naciśnięcie palcem wskazującym na przycisk kontrolera (trigger) (ryc. 2). Testowana ręka trzymała kontroler tak, aby palec wskazujący znajdował się na dedykowanym dla niego przycisku. Test reakcji prostej wykonywany był osobno dla prawej i lewej ręki. Drugi test „Klasyczny test w VR – reakcja złożona” wykonywany był w bardzo podobny sposób do pierwszego. Podczas oceny reakcji złożonej możliwe były jednak trzy różne odpowiedzi na sygnał. W przypadku, gdy dysk rozświetlał się na żółto, badany wciskał przycisk kontrolera trzymanego w prawej ręce prawym palcem wskazującym. Gdy zaświecił się na niebiesko, zawodnik naciskał na przycisk kontrolera trzymanego w lewej ręce lewym palcem wskazującym, natomiast na kolor czerwony badany nie reagował (ryc. 3). Testy odbywały się w swobodnej pozycji stojącej, stopy ustawione na szerokość bioder, kończyny górne wzdłuż tułowia. Obliczana była szybkość reakcji, czyli czas jaki upłynął od momentu zadziałania bodźca do momentu wciśnięcia przez osobę badaną przycisku kontrolera. W przypadku reakcji złożonej podawane były również błędne decyzje badanego.



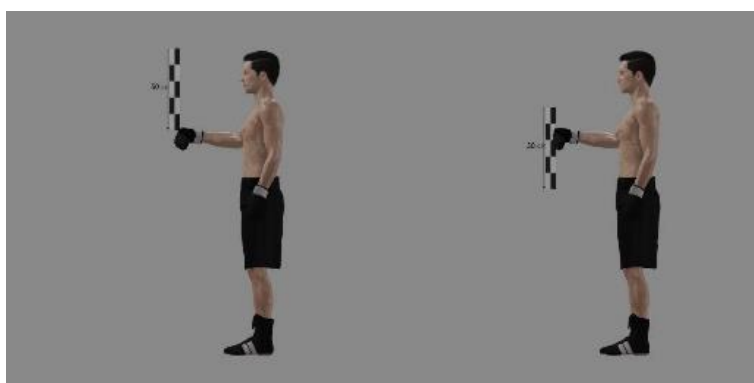
Ryc. 2. Wizualizacja testu „Klasyczny test w VR – reakcja prosta PR”



Ryc. 3. Wizualizacja testu „Klasyczny test w VR – reakcja złożona”

Szczegółowy opis ww. „klasycznych” testów szybkości reakcji w VR znajduje się w pracy Polechońskiego i Langer (2022), gdzie autorzy zamieścili również wyniki oceny ich rzetelności i trafności, która została przeprowadzona w grupie zawodników MMA.

Kolejnym testem przeprowadzonym w wirtualnym środowisku był „Chwyć opadającą linijkę – reakcja prosta”. Zawodnicy wykonywali odwzorowany chwyt opadającej linijki w środowisku VR. Zawodnicy przyjmowali pozycję stojącą z kończyną górną ugiętą w stawie łokciowym. Testowana ręka trzymała kontroler tak, aby palec wskazujący znajdował się na dedykowanym dla niego przycisku. Badany miał za zadanie wcisnąć przycisk, gdy wirtualna linijka zaczynała opadać w dół, aby ją zatrzymać (ryc. 4). Linijka przemieszczała się w dół z przyspieszeniem równym przyspieszeniu grawitacyjnemu ($9,8 \text{ m/s}^2$).



Ryc. 4. Wizualizacja testu „Chwyć opadającą linijkę w VR – reakcja prosta PR”

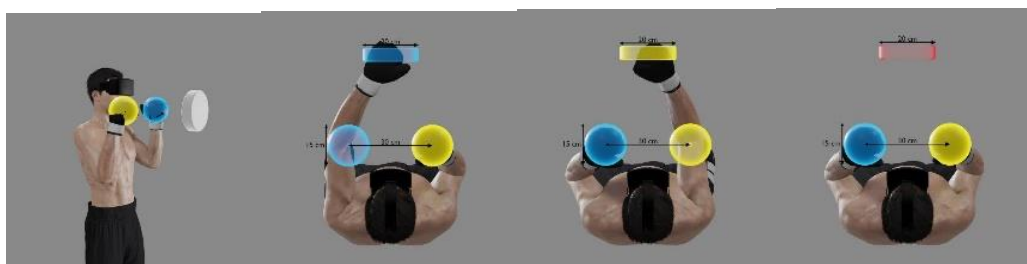
Szczegółowy opis ww. testu znajduje się w pracy Langer i in. (2022), gdzie autorzy zamieścili również wyniki oceny jego rzetelności i trafności, która została przeprowadzona w grupie zawodników MMA.

Ostatnimi przeprowadzonymi testami w wirtualnej rzeczywistości były „Wyprost kończyny górnej w VR - reakcja prosta” oraz „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja złożona”. Zadaniem badanych było reagowanie na rozświetlenie się wirtualnego dysku (średnica 20 cm), który znajdował się przed nimi w

odległości 30 cm. Reakcją badanego było wykonanie dynamicznego wyprostu ramienia i przecięcie powierzchni dysku powodując jego rozbitcie (ryc. 5). Test odbywał się w pozycji stojącej, stopy ustawione na szerokość bioder, kończyny górne zgięte w stawach łokciowych, ustawione pionowo, ręce zaciśnięte na uchwytach kontrolerów trzymany na wysokości brody (garda bokserska z symetrycznymi ustawionymi ramionami, bez rotacji tułowia). W celu precyzyjnego ustawienia pozycji kończyn górnych, zostały wygenerowane dwie półprzezroczyste kule o średnicy 15 cm, w ich środek osoba badana wkładała ręce, co powodowało zmianę ich koloru. Test reakcji prostej wykonywany był osobno dla prawej i lewej ręki. Drugi test „Wyprost kończyny górnej w VR - reakcja złożona” wykonywany był w bardzo podobny sposób do pierwszego. Podczas oceny reakcji złożonej możliwe były jednak trzy różne odpowiedzi na sygnał. W przypadku, gdy dysk rozświetlał się na żółto, badany wykonywał wyprost prawego ramienia, gdy zaświecił się na niebiesko zawodnik wykonywał wyprost lewego ramienia, natomiast na kolor czerwony badany nie reagował (ryc. 6). Obliczana była szybkość reakcji oraz obie jej składowe (czas reakcji i czas ruchu). Czas reakcji liczony był od momentu rozświetlenia się dysku do momentu przecięcia ręką powierzchni kuli pięścią, w której znajdowała się pięść. Czas ruchu prostego, to czas jaki upłynął od przecięcia powierzchni kuli pięścią do momentu, gdy ręka przecięła powierzchnię tarczy. W przypadku reakcji złożonej podawane były również błędne decyzje badanego.



Ryc. 5. Wizualizacja testu „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja prosta PR”



Ryc. 6. Wizualizacja testu „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja złożona”

Rzetelność testów szybkości reakcji opartych na wyproście kończyny górnej potwierdzona została w grupie 34 zawodników MMA z wykorzystaniem procedury korelacji wewnątrzklasowej (Raport cząstkowy z realizacji Etapu nr 1. Projektu nr POIR.01.01.01-00-0365/20). W przypadku testu szybkości reakcji prostej prawej ręki współczynnik korelacji wewnątrzklasowej (ICC) kształtował się na poziomie 0,788, dla szybkości reakcji prostej lewej ICC był równy 0,743, natomiast najwyższą jego wartość stwierdzono w teście szybkości reakcji złożonej (ICC=0.908).

2.2.3. Testy szybkości reakcji przeprowadzane w środowisku rzeczywistym

Do przeprowadzenia badań szybkości reakcji w środowisku rzeczywistym (RL) zastosowano kilka odmiennych testów, które różniły się przede wszystkim metodą pomiaru i rodzajem zadania ruchowego, które zawodnicy mieli wykonać. W pierwszej kolejności uczestnicy badań wykonywali klasyczny test komputerowy (Klocek i in., 2002), który polegał na naciskaniu odpowiednich przycisków na klawiaturze komputera w chwili pojawienia się na ekranie bodźców świetlnych (białe kwadraty) (ryc.7). Test reakcji prostej wykonywany był oddzielnie dla prawej i lewej ręki. Badani naciskali na oznaczony klawisz klawiatury (spacja) palcem wskazującym, gdy biały kwadrat pojawił się na środku ekranu. W przypadku testu reakcji złożonej białe kwadraty mogły pojawiać się w trzech miejscach (lewa strona, prawa strona lub środek ekranu). Osoby badane naciskały na oznaczone przyciski klawiatury odpowiednio: lewym (litera „A”) lub prawym palcem wskazującym (litera „L”), gdy kwadrat pojawiał się po bokach ekranu lub dowolnym kciukiem na spację, gdy wyświetlił się na środku (ryc. 8). Wynikiem był czas reakcji mierzony od momentu pojawienia się kwadratu na ekranie monitora do momentu naciśnięcia odpowiedniego przycisku na klawiaturze połączonej przewodem z komputerem. Opisywany test był walidowany pod względem trafności i rzetelności przez jego autorów (Klocek i in., 2002). Został również poddany ocenie rzetelności w badaniach własnych, w grupie zawodników MMA. Szczegółowy opis tych badań znajduje się w pracy Polechońskiego i Langer (2022).

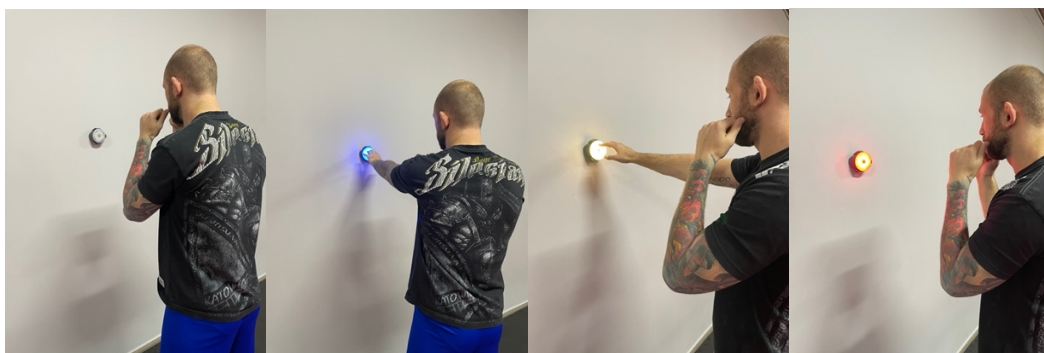


Ryc. 7. Klasyczny test komputerowy wykonywany przez osobę badaną



Ryc. 8. Wizualizacja bodźców świetlnych pojawiających się na ekranie w czasie klasycznych testów komputerowych do pomiaru szybkości reakcji prostej i złożonej

Innym testem wykorzystanym w badaniach był pomiar szybkości reakcji przeprowadzony z zastosowaniem zestawu lampek treningowych Blazepod (Play Coyotta Ltd, Tel Aviv, Israel). Zawodnicy przyjmowali pozycję stojącą, ze stopami ustawionymi na szerokości bioder w odległości 30 cm od lampki treningowej. Kończyny górne były zgięte w stawach łokciowych i ustawione pionowo, ręce zaciśnięte w pięści na wysokości brody (garda bokserska z symetrycznie ustawionymi ramionami, bez rotacji tułowia). Zadaniem osoby badanej było wykonanie dynamicznego wyprostowania kończyny górnej i dotknięcie lampki Blazepod w momencie zadziałania bodźca świetlnego. Ustanowiono trzy wysokości umieszczenia lampki w zależności od wzrostu zawodnika: 150 cm dla zawodników poniżej 160 cm wzrostu, 160 cm dla zawodników od 161 cm do 179 cm wzrostu oraz 170 cm dla wzrostu powyżej 180 cm. Trafienie było zaliczone, gdy ręka dotknęła powierzchni lampki, która w tym momencie gasła. Po wykonaniu ruchu wyprostowania ręka wracała do pozycji wyjściowej. Test reakcji prostej wykonywany był osobno dla prawej i lewej kończyny górnej. W przypadku testu reakcji złożonej procedura badawcza była bardzo podobna. Badani wykonywali wyprost kończyny prawej w momencie rozświetlenia się lampki na kolor żółty. Lewe ramię prostowali natomiast, gdy pojawił się kolor niebieski. Dodatkowo mieli powstrzymać się od wykonywania reakcji w chwili emisji światła czerwonego (ryc. 9). Wynikiem była szybkość reakcji, mierzona od momentu zadziałania bodźca świetlnego do momentu zgaśnięcia lampki po zetknięciu ręki z jej powierzchnią. Rzetelność testów szybkości reakcji opartych na dynamicznym wyprostowaniu kończyny górnej została potwierdzona w grupie 34 zawodników MMA z wykorzystaniem procedury korelacji wewnątrzklasowej (Langer & Polechoński, 2021). W przypadku testu szybkości reakcji prostej prawej ręki współczynnik korelacji wewnątrzklasowej kształtował się na poziomie 0,826, dla szybkości reakcji prostej lewej ręki ICC był równy 0,833, natomiast najniższą jego wartość stwierdzono w teście szybkości reakcji złożonej (ICC=0,777).



Ryc. 9. Zawodnik MMA wykonujący test „Wyprost kończyny górnej (Blazepod) – reakcja złożona”

Ostatnim testem oceniającym szybkość reakcji przeprowadzonym w środowisku rzeczywistym był chwyt opadającej linijki. Test odbywał się w pozycji stojącej, zgodnie z przyjętą metodyką (Anitha & Samuel, 2018). Zawodnicy mieli za zadanie złapać linijkę (o długości 50 cm), która opuszczana była przez badającego. Podczas próby testowana kończyna górna osoby badanej była zgięta w łokciu, a kciuk i palec wskazujący ręki znajdowały się w odległości około 5 cm od siebie po obu stronach linijki. Chwyt

następował poprzez złączenie kciuka i pozostałych palców. Badający trzymał linijkę pionowo i opuszczał starając się nie sygnalizować swojego zamiaru (ryc. 10). Wynik zapisywano w centymetrach, a następnie przeliczano na czas w milisekundach. Wykorzystano w tym celu formułę: $t = \sqrt{2d/g}$, wyprowadzoną ze wzoru: $d = \frac{1}{2} gt^2$, gdzie: d = dystans wyrażony w metrach, g = przyspieszenie grawitacyjne = $9,81 \text{ m/s}^2$, t = czas wyrażony w sekundach (Anitha & Samuel, 2018; Aranha i in., 2015; Eckner i in., 2011).



Ryc. 10. Zawodnik MMA wykonujący test „Chwył opadającej linijki – reakcja prosta LR”

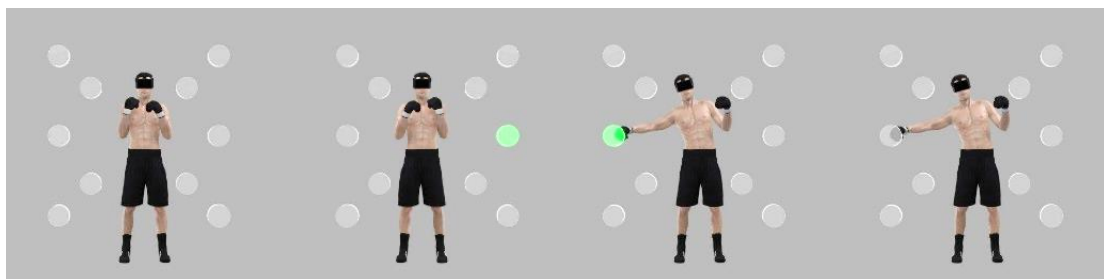
2.2.4. Trening koordynacyjny w wirtualnej rzeczywistości

Zawodnicy z grupy eksperymentalnej uczestniczyli w dwóch jednostkach treningowych w VR w tygodniu, które trwały po 30 minut każda. Trening polegał na uprawianiu aktywności fizycznej z wykorzystaniem siedmiu zaimplementowanych do VR aplikacji treningowych. Ćwiczenia w poszczególnych aplikacjach trwały trzy minuty, po czym następowała jednodominutowa przerwa przeznaczona na zmianę aplikacji. Cały cykl treningowy trwał osiem tygodni (16 jednostek treningowych w VR). Wykorzystane w badaniach programy treningowe zostały stworzone w ramach projektu badawczego (nr POIR.01.01.01-00-0365/20) i w założeniu miały kształtować podstawowe koordynacyjne zdolności motoryczne, do których, zgodnie z klasyfikacją proponowaną przez Raczka i in. (2001), należy zaliczyć: szybkość reakcji, orientację czasowo-przestrzenną, rytmizację, różnicowanie ruchów, dostosowanie motoryczne, łączenie ruchów i równowagę. Ze względów bezpieczeństwa celowo pominięto jednak trening równowagi w VR. Zgodnie z opisywanymi przez Raczka i in. (2003) metodyką kształtowania i doskonalenia koordynacyjnych zdolności motorycznych, podstawową metodą jest

celowo ukierunkowana zmienność ćwiczeń czyli różnorodność wykonywania ruchów oraz zmienność warunków ćwiczeń. Z praktycznego punktu widzenia, niezwykle trudno wyodrębnić poszczególne zdolności koordynacyjne, z tego powodu podczas tworzenia wykorzystanych programów treningowych zastosowano podejście syntetyczne. Poniżej zamieszczono ich opisy:

Gaszenie lampek (dysków) rozmieszczonych na współśrodkowych kwadratach – trening szybkości reakcji

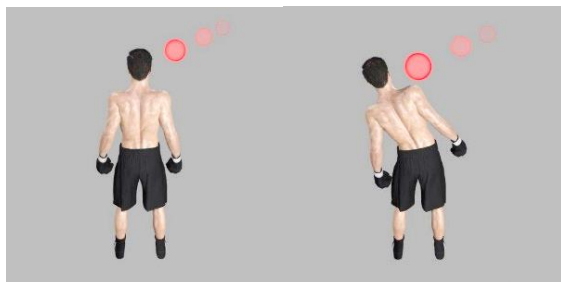
Zawodnik w swobodnej pozycji, ze stopami ustawionymi na szerokość bioder, z kończynami górnymi zgiętymi w stawach łokciowych i ustawionymi pionowo na wysokości brody (garda bokserska z symetrycznie ustawionymi ramionami) znajduje się przed wirtualnymi dyskami rozmieszczonymi na współśrodkowych kwadratach zawieszonymi w przestrzeni. Kwadraty mają wymiary: 150x150 cm (większy) oraz 90x90 cm (mniejszy). Dolne krawędzie ustawione są 35 cm powyżej podłogi. W każdym rogu mniejszego i większego kwadratu rozmieszczone są dyski, które mogą się rozświetlać. Dyski znajdują się także pośrodku pionowych boków większego kwadratu. Użytkownik znajduje się w takiej odległości od kwadratów, aby móc swobodnie sięgać do każdego z dysków. Zadaniem ćwiczącego jest gaszenie rozświetlonych dysków (ryc. 11). Zawodnik może gasić je jedną wybraną przez siebie ręką bądź obiema. Dodatkowo wyświetlał się kolor rozpraszający, na który nie należało reagować. Użytkownik po zakończeniu ćwiczenia mógł odczytać wynik średniego czasu szybkości reakcji, wyrażonego w ms oraz liczbę nieprawidłowo wykonanych reakcji.



Ryc. 11. Wizualizacja treningu „Gaszenie lampek (dysków) rozmieszczonych na współśrodkowych kwadratach” w VR

Unikanie nadlatujących piłeczek – trening szybkości reakcji

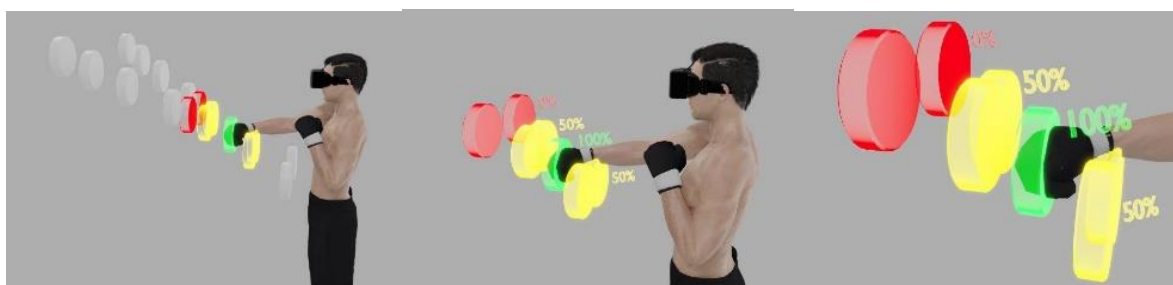
Zawodnik ma za zadanie wykonywać uniki w prawą lub lewą stronę przed nadlatującą z oddali w kierunku głowy piłeczką (ryc.12). Piłeczka jest koloru czerwonego, aby była widoczna dla użytkownika. Dozwolona jest swobodna postawa stającą zarówno z rękami ustawionymi w gardzie bokserskiej, jak i zwisającymi swobodnie wzdłuż tułowia. Użytkownik modyfikuje trudność wykonania zadania poprzez wybór prędkości poruszania się piłeczek oraz częstotliwości generowania kolejnych piłeczek. Zawodnik po zakończeniu ćwiczenia jest informowany o średnim czasie szybkości reakcji wyrażonym w ms oraz liczbie ewentualnych trafień w głowę.



Ryc. 12. Wizualizacja treningu „Unikanie nadlatujących piłeczek – trening szybkości reakcji” w VR

Celowanie w pokrywające się dyski – trening zdolności orientacji czasowo-przestrzennej

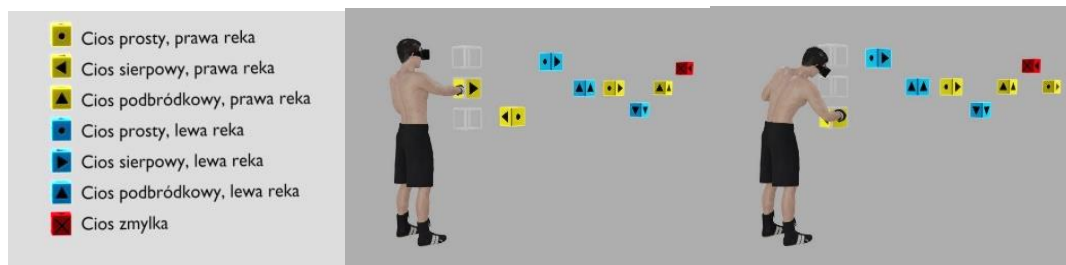
Zawodnik ustawiony w swobodnej pozycji stojącej z kończynami górnymi ustawionymi w gardzie bokserskiej. W kierunku użytkownika nadlatują z oddali jednocześnie dwa dyski. Trajektoria poruszających się przedmiotów jest taka, że bezpośrednio przed osobą trenującą tory ich poruszania się krzyżują, a kule nachodzą na siebie. Zadaniem ćwiczącego jest trafienie dysków prawą lub lewą ręką w momencie, gdy pokryją się ze sobą (ryc. 13). Wynik stanowi średnia precyzja uderzeń wyrażona w procentach pokrycia się ze sobą kul w momencie uderzenia. Najwyżej punktowane jest trafienie w momencie, gdy dwie kule nachodzą na siebie (stają się współśrodkowe).



Ryc. 13. Wizualizacja treningu „Celowanie w pokrywające się dyski – trening zdolności orientacji czasowo-przestrzennej” w VR

Rytmiczne uderzanie w figury – trening zdolności rytmizacji

Ćwiczący stoi przed zawieszonymi w przestrzeni trzema półprzezroczystymi sześcianami, gotowy do zadawania ciosów rękami. W kierunku zawieszonych w przestrzeni przezroczystych figur (tzw. „meta”) przemieszczają się z oddali identyczne kolorowe figury. Zadaniem użytkownika jest uderzanie w sześcian w momencie, gdy poruszająca się figura dociera do „mety”, czyli się z nią pokryje. Sześciany nachodzą na siebie w rytm utworu muzycznego, a narysowane na nich symbole wskazują, jaki cios należy wykonać. Możliwe są różne warianty uderzeń: prawy lub lewy sierpowy, prawy lub lewy prosty i prawy lub lewy podbródkowy (ryc. 14). Oceniane jest każde uderzenie, a wynik końcowy stanowi średnia procentowa zgodności czasu zadanych ciosów z czasem pełnego pokrycia się figur.



Ryc. 14. Wizualizacja treningu „Rytmiczne uderzanie w figury – trening zdolności rytmizacji” w VR

Dopasowanie rozmiarów dysku do okręgu poprzez uderzanie z odpowiednią prędkością – trening zdolności różnicowania (różnicowanie prędkości ruchów kończyn górnych)

Zadaniem ćwiczącego jest wykonywanie uderzeń ramionami ze zmienną prędkością w dysk, który pod wpływem uderzeń zmienia swoje rozmiary. Ciosy zadawane z dużą prędkością zwiększają średnicę dysku w znacznym stopniu, natomiast wykonywane wolno powodują, że bryła powiększa się tylko w niewielkim stopniu lub jej rozmiar nie ulega zmianie (ryc. 15). W przypadku braku uderzeń rozmiar dysku zmniejsza do pierwotnych rozmiarów (z początku treningu). Celem ćwiczenia jest utrzymanie odpowiedniego obwodu bryły tak, aby wpasowała się w otaczający ją okrąg, którego średnica ulega zmianie. Gdy prędkość uderzeń jest odpowiednia obwód dysku jest zbliżony do obwodu okręgu. W takiej sytuacji dysk rozświetla się na zielono. W przypadku, gdy jego średnica zaczyna odbiegać od zadanej średnicy okręgu, kolor dysku zmienia się z zielonego na żółty, później na pomarańczowy i czerwony (ryc. 25). Wynik stanowi średnia bezwzględna różnica pomiędzy średnicą dysku i okręgu.



Ryc. 15. Wizualizacja treningu „Dopasowanie rozmiarów dysku do okręgu poprzez uderzanie z odpowiednią prędkością – trening zdolności różnicowania (różnicowanie prędkości ruchów kończyn górnych)” w VR

Dostosowanie pozycji do zmieniającego się tunelu – trening zdolności dostosowania motorycznego

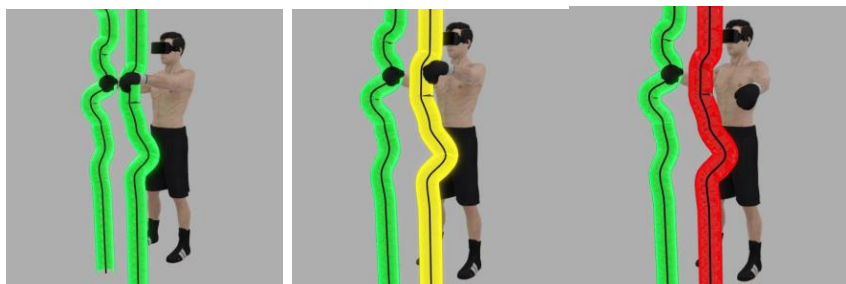
W kierunku osoby ćwiczącej przemieszcza się ściana z wydrążonym tunelem. Zadaniem użytkownika jest przyjmowanie takiej pozycji, aby jego ciało dopasowało się do kształtu i ustawienia otworu (ryc. 16). O poziomie zdolności dostosowania świadczy wyrażony w procentach stosunek czasu błędu (czas w jakim dochodziło do kontaktu ciała z obrysem otworu) do czasu trwania próby – błąd dostosowania.



Ryc. 16. Wizualizacja treningu „Dostosowanie pozycji do zmieniającego się tunelu – trening zdolności dostosowania motorycznego” w VR

Utrzymywanie rąk wewnątrz przemieszczających się linii – trening zdolności łączenia ruchów

Zawodnik ma za zadanie przyjąć postawę stojącą z rękami wewnątrz zobrazowanych w przestrzeni, zakrzywionych linii (torów). Początkowe nieruchome tory zaczynają się przysuwać pionowo w górę. Użytkownik ma za zadanie utrzymywanie rąk wewnątrz ich obrysu, dopasowując się do dynamicznie zmieniającego się ich kształtu (ryc. 17). Wymaga to od zawodnika jednoczesnego skoordynowania wykonywanych ruchów prawą i lewą kończyną górną. Oddalanie się rąk od środka linii powoduje zmianę ich koloru z zielonego na żółty, a później czerwony. Wynik zależy od precyzyjnego ruchu obu rąk, które powinny znajdować się jak najbliżej środka przemieszczających się zakrzywionych linii.



Ryc. 17. Wizualizacja treningu „Utrzymywanie rąk wewnątrz przemieszczających się linii – trening zdolności łączenia ruchów” w VR

2.3. Metody statystyczne

Uzyskane podczas badań dane pomiarowe przedstawiono z wykorzystaniem podstawowych miar statystyki opisowej. Normalność rozkładu szacowano testem Shapiro-Wilka. W celu weryfikacji jednorodności zmiennych i ustalenia narzędzi statystycznych zastosowano również test jednorodności wariancji Levene'a. Dla zmiennych posiadających rozkład normalny istotność różnic wyników grup niezależnych szacowano testem t-studenta, a w przypadkach braku jednorodności wariancji, zastosowano test t-studenta z niezależną estymacją wariancji. W sytuacji stwierdzenia braku rozkładu normalnego zastosowano natomiast test U Manna-Whitneya. Dokonując porównań grup zależnych wykorzystano odpowiednio: parametryczną analizę wariancji z powtórzonymi pomiarami lub nieparametryczną analizę

ANOVA Friedmana. Obliczenia poprzedzono dodatkowo oceną sferyczności za pomocą testu Mauchley'a. W przypadkach, w których nie stwierdzono tego założenia przed zastosowaniem analizy wariancji z powtórzonymi pomiarami zastosowano poprawkę Greenhouse-Geisser. Analizę wariancji uzupełniono testami post-hoc Tukeya. W przypadku analizy ANOVA Friedmana zastosowano testy post-hoc Dunna. Przyrosty względne danych pomiarowych wyrażono za pomocą przyrostów jednopodstawowych. Wnioskowanie statystyczne prowadzono przy przyjętym poziomie prawdopodobieństwa $p < 0,05$. Obliczenia wykonano wykorzystując oprogramowanie Statistica i SPSS.

Na wykresach zastosowano następujące oznaczenia: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; słupki błędów oznaczają SD.

3. Wyniki

3.1. Porównanie wyników testów szybkości reakcji uzyskanych przez zawodników z grupy eksperymentalnej i kontrolnej przed rozpoczęciem interwencji treningowej

Tabela 2 prezentuje uzyskane wyniki testów szybkości reakcji wykonanych przez zawodników z grupy eksperymentalnej i kontrolnej przed rozpoczęciem interwencji treningowej. Dokonując porównań międzygrupowych nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w przypadku żadnego z przeprowadzonych badań.

Tabela 2. Zestawienie wyników testów szybkości reakcji uzyskanych przez zawodników z grupy eksperymentalnej i kontrolnej w badaniach wstępnych

Nazwa testu	G_E (n=18)		G_K (n=18)		D	P
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD		
Klasyczny test w VR reakcja prosta PR [ms]	338,000	57,847	322,444	37,915	15,556	0,347 ^t
Klasyczny test w VR reakcja prosta LR [ms]	317,889	35,518	316,333	29,011	1,556	0,886 ^t
Klasyczny test w VR reakcja złożona [ms]	518,167	58,263	496,611	50,606	21,556	0,244 ^t
Chwyt opadającej linijki w VR reakcja prosta PR [ms]	290,833	16,954	288,778	13,220	2,056	0,688 ^t
Chwyt opadającej linijki w VR reakcja prosta LR [ms]	289,889	25,177	289,000	14,836	0,889	0,898 ^t
Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta PR (szybkość reakcji) [ms]	487,278	78,964	464,389	52,193	22,889	0,602 ^U
Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta PR (czas reakcji) [ms]	418,444	69,539	398,611	50,245	19,833	0,467 ^U

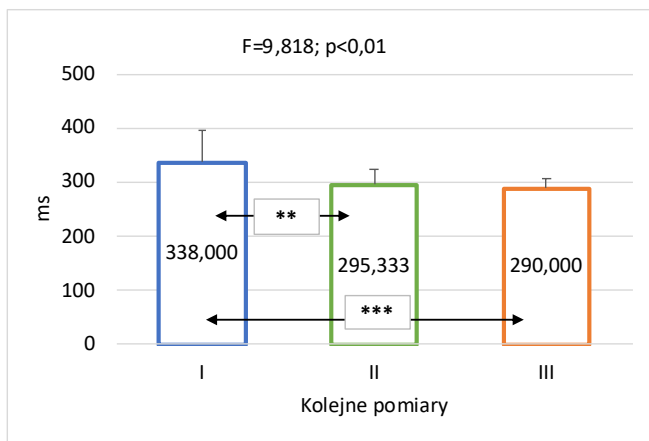
Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta PR (czas ruchu) [ms]	65,889	22,175	62,056	15,326	3,833	0,550 ^t
Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta LR (szybkość reakcji) [ms]	461,111	77,333	421,444	37,210	39,667	0,069 ^U
Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta LR (czas reakcji) [ms]	396,833	71,233	366,333	37,764	30,500	0,133 ^U
Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta LR (czas ruchu) [ms]	63,333	18,759	57,111	14,708	6,222	0,351 ^U
Wyprost kończyny górnej w VR reakcja złożona (szybkość reakcji) [ms]	601,167	117,854	568,944	57,683	32,223	0,788 ^U
Wyprost kończyny górnej w VR reakcja złożona (czas reakcji) [ms]	549,833	117,926	524,000	47,342	25,833	0,398 ^t
Wyprost kończyny górnej w VR reakcja złożona (czas ruchu) [ms]	52,833	21,528	48,333	16,095	4,500	0,658 ^U
Klasyczny test komputerowy reakcja prosta PR [ms]	300,278	53,797	283,111	30,298	17,167	0,359 ^U
Klasyczny test komputerowy reakcja prosta LR [ms]	288,444	27,361	281,722	24,764	6,722	0,527 ^U
Klasyczny test komputerowy reakcja złożona [ms]	443,778	55,949	440,556	41,988	3,222	0,846 ^t
Wyprost kończyny górnej (BlazePod) reakcja prosta PR [ms]	342,539	43,734	341,756	30,164	0,783	0,950 ^t
Wyprost kończyny górnej (BlazePod) reakcja prosta LR [ms]	337,911	38,985	331,139	28,909	6,772	0,477 ^U
Wyprost kończyny górnej (BlazePod) reakcja złożona [ms]	510,189	63,686	506,094	83,715	4,094	0,870 ^t
Chwyt opadającej linijki reakcja prosta PR [ms]	173,909	22,902	174,018	20,602	-0,109	0,988 ^t
Chwyt opadającej linijki reakcja prosta LR [ms]	180,411	20,870	176,599	20,332	3,812	0,582 ^t

Legenda: G_E - grupa eksperymentalna, G_K - grupa kontrolna, n - liczba badanych, \bar{x} - średnia arytmetyczna; SD - odchylenie standardowe; d - różnica średnich arytmetycznych; p - poziom istotności statystycznej; ^t - wartość p z testu t-studenta; ^U - wartość p z testu U Manna-Whitneya

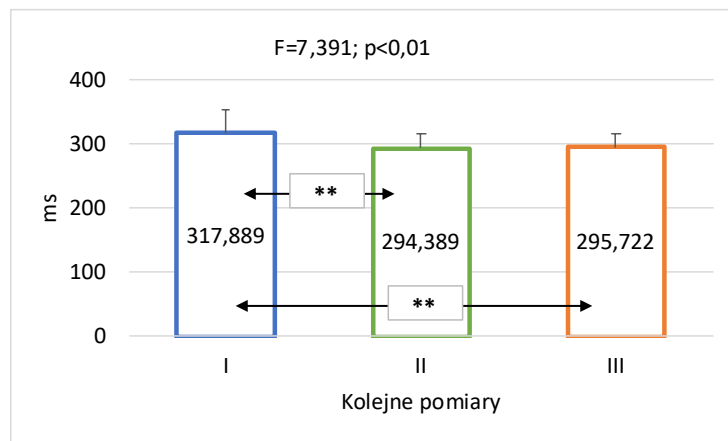
3.2. Wpływ treningu koordynacyjnego w wirtualnej rzeczywistości na szybkość reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej

3.2.1. Testy wykonywane w immersyjnej wirtualnej rzeczywistości

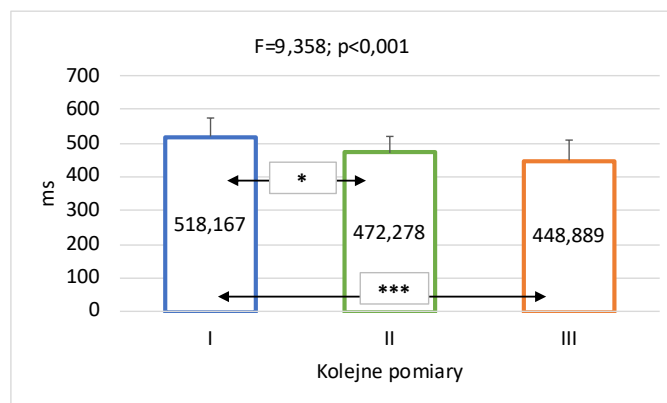
Przeprowadzona analiza wariancji z powtórzonymi pomiarami wykazała istotne oddziaływanie treningu w wirtualnym środowisku na szybkość reakcji ocenianej klasycznymi testami w VR. Po przeprowadzeniu porównań post-hoc okazało się, że istotnie statystycznie różnice uzyskanych rezultatów występują między I i II oraz I i III pomiarem w każdym z wykonywanych testów (ryc. 18, ryc. 19, ryc. 20).



Ryc. 19. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej prawej ręki ocenianej klasycznym

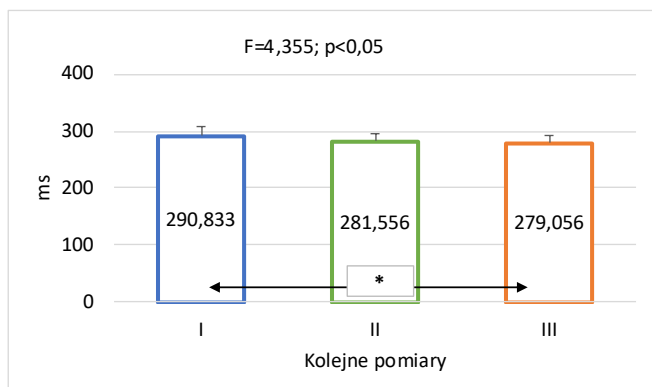


Ryc. 18. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej lewej ręki ocenianej klasycznym testem w VR

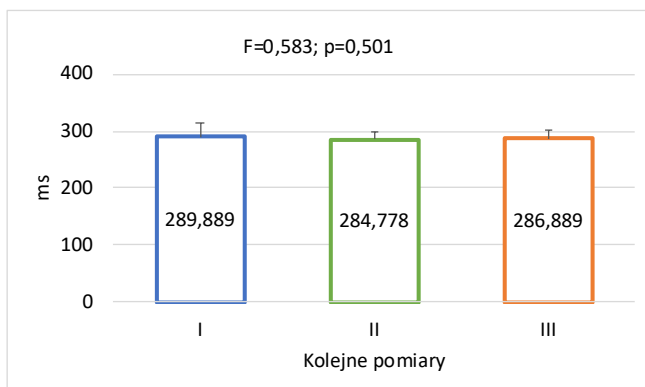


Ryc. 20. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji złożonej ocenianej klasycznym testem w VR

Trening w VR wpłynął również istotnie na wyniki testu „Chwyć opadającej linijki w VR – reakcja prosta” wykonywanego prawą ręką. Przy czym po przeprowadzeniu testów post-hoc istotne statystycznie różnice zaobserwowano jedynie między pomiarami I i III (ryc. 21). Wyniki analizy wariancji nie wskazują natomiast na istotny wpływ odbytego przez zawodników z grupy eksperymentalnej treningu w przypadku tego samego testu wykonywanego ręką lewą (ryc. 22).

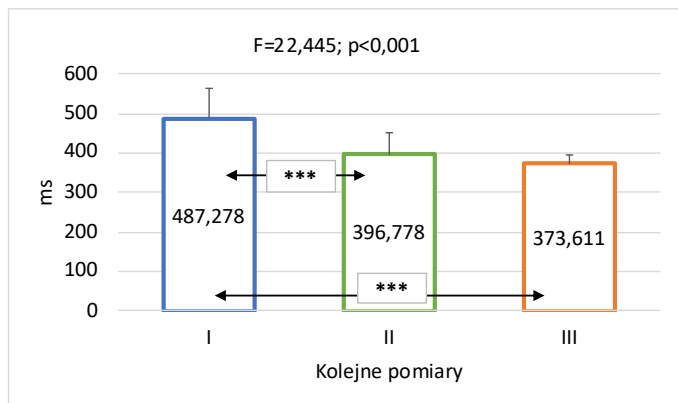


Ryc. 22. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej prawej ręki ocenianej chwytem opadającej linijki w VR

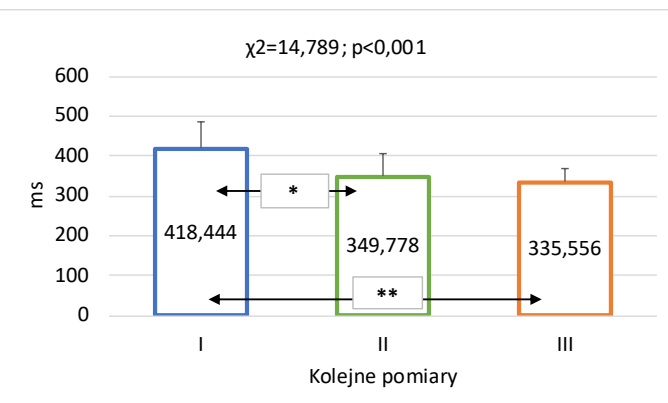


Ryc. 21. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej lewej ręki ocenianej chwytem opadającej linijki w VR

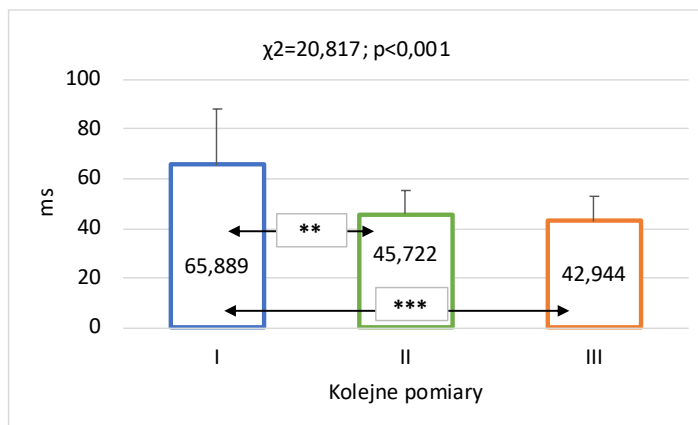
Z przeprowadzonych analiz wariancji wynika, że trening w VR wpłynął istotnie na szybkość reakcji prawej ręki i jej składowe oceniane testem „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja prosta PR”. Szczegółowe analizy post-hoc wskazują na znamienne statystyczną poprawę wyników po czterech i ośmiu tygodniach wykonywania treningu w VR w przypadku wszystkich ww. parametrów (ryc. 23, 24, 25).



Ryc. 23. Wpływ treningu w VR na szybkości reakcji prostej prawej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR

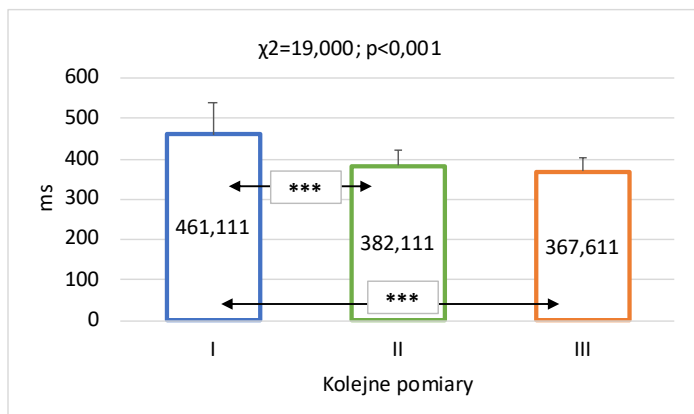


Ryc. 24. Wpływ treningu w VR na czas reakcji prostej prawej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR

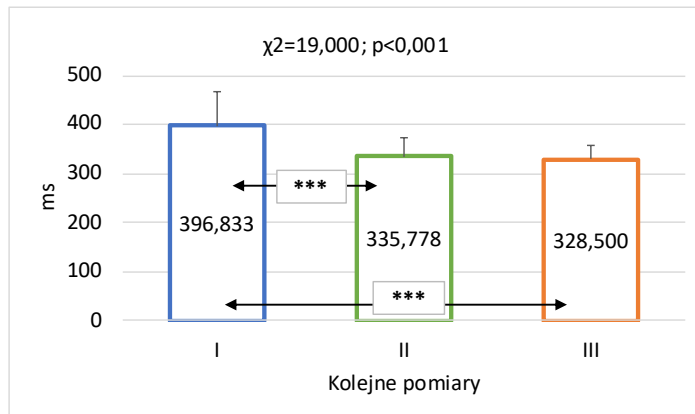


Ryc. 25. Wpływ treningu w VR na czas ruchu prawej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR – reakcja prosta

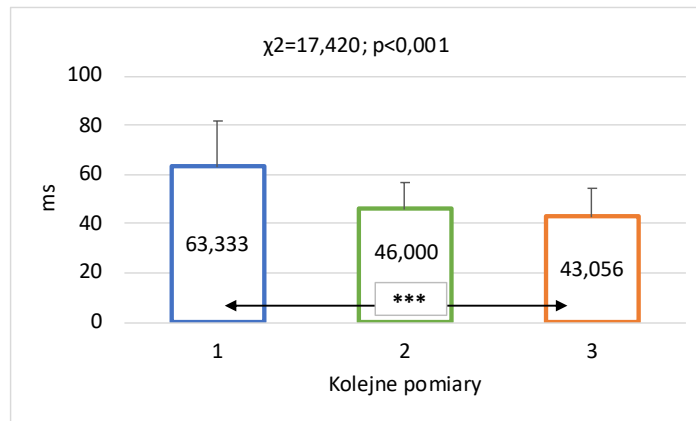
Na podstawie przeprowadzonego testu Friedmana można wnioskować, że trening VR istotnie oddziałuje na poprawę szybkości reakcji ręki lewej i jej składowych ocenianych testem „Wyprost kończyny górnej w VR”. Statystycznie istotną poprawę wyników zaobserwowano po ośmiu tygodniach interwencji treningowej (ryc. 26, 27, 28).



Ryc. 26. Wpływ treningu w VR na szybkości reakcji prostej lewej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR

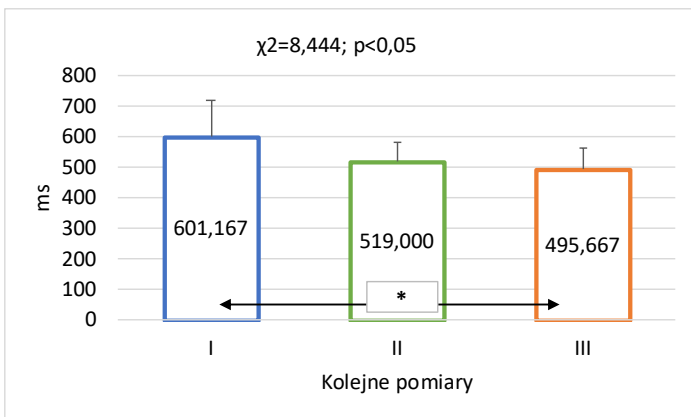


Ryc. 27. Wpływ treningu w VR na czas reakcji prostej lewej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR

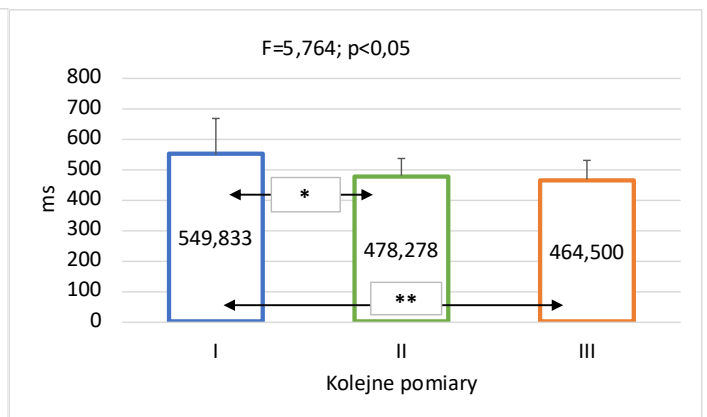


Ryc. 28. Wpływ treningu w VR na czas ruchu lewej ręki ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR – reakcja prosta

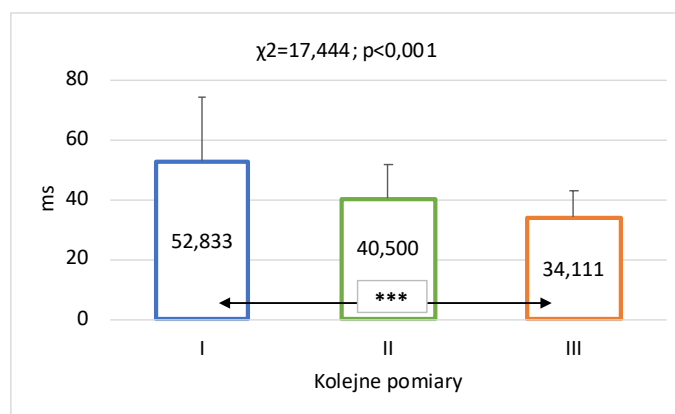
W przypadku szybkości reakcji złożonej i jej składowych (ryc. 29, 30, 31), analiza statystyczna wykazała istotną poprawę wszystkich parametrów po ośmiu tygodniach trwania interwencji treningowej. W przypadku czasu reakcji dodatkowo zauważono poprawę wyników po czterech tygodniach.



Ryc. 30. Wpływ treningu w VR na szybkości reakcji złożonej ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR



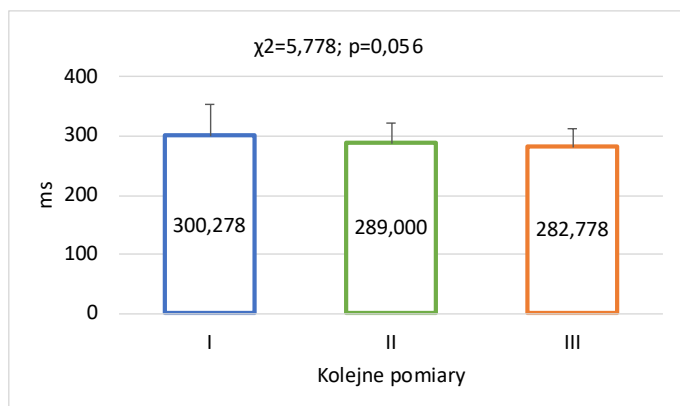
Ryc. 29. Wpływ treningu w VR na czas reakcji złożonej ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR



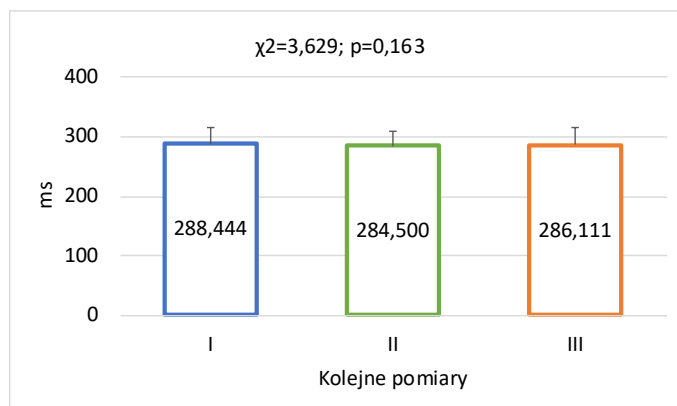
Ryc. 31. Wpływ treningu w VR na czas ruchu ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR – reakcja złożona

3.2.2. Testy wykonywane w środowisku rzeczywistym

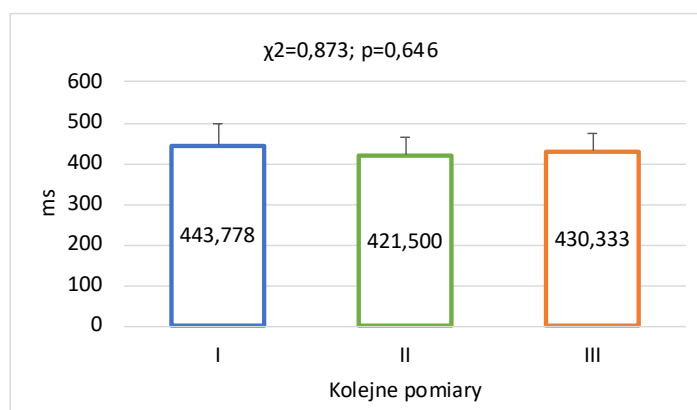
Z przeprowadzonej analizy wariancji Friedmana wynika, że trening koordynacyjny w VR przeprowadzony w grupie eksperymentalnej nie wpłynął istotnie na rezultaty wykonywanych przez zawodników testów komputerowych szybkości reakcji ręki prawej (ryc. 32) i lewej (ryc. 33) oraz reakcji złożonej (ryc. 34).



Ryc. 33. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej prawej ręki ocenianej klasycznym testem komputerowym

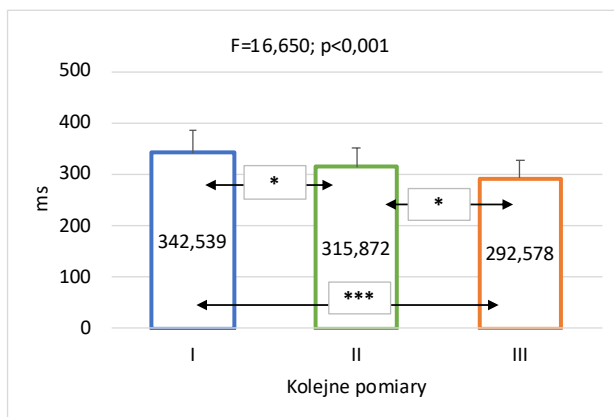


Ryc. 32. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej lewej ręki ocenianej klasycznym testem komputerowym

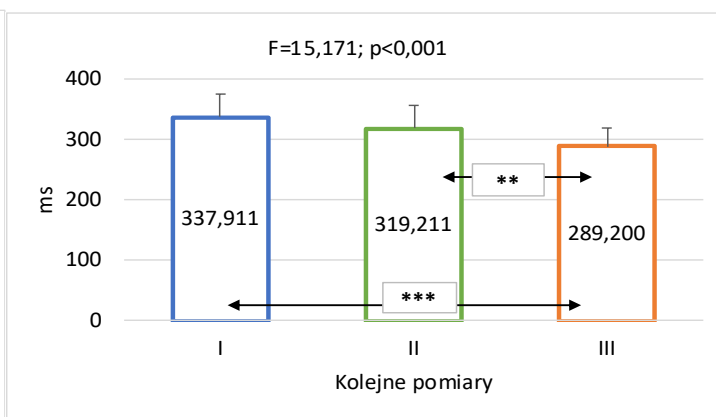


Ryc. 34. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji złożonej ocenianej klasycznym testem komputerowym

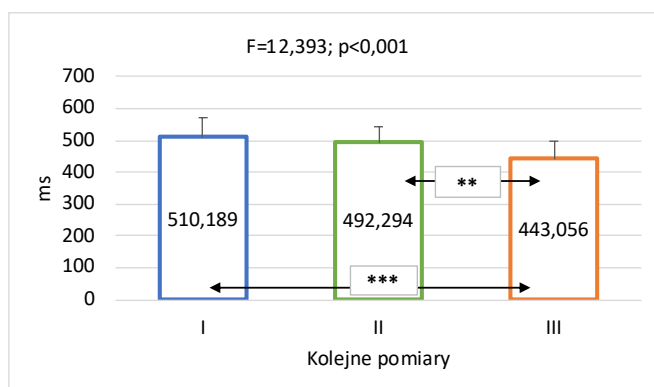
Z przeprowadzonej analizy wariancji z powtórzonymi pomiarami wynika, że trening koordynacyjny w VR istotnie wpłynął na szybkość reakcji prostej oraz złożonej zawodników MMA ocenianych testem „Wyprost kończyny górnej (BlazePod)”. Dla prawej ręki, testy post-hoc uwiaryściły znamienne różnice między wszystkimi wykonywanymi pomiarami (ryc. 35). W przypadku ręki lewej istotne różnice zaobserwowano między pomiarami I i III oraz II i III (ryc. 36). Taka sama zależność ujawniła się dla szybkości reakcji złożonej (ryc. 37).



Ryc. 35. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej prawej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej (BlazePod)

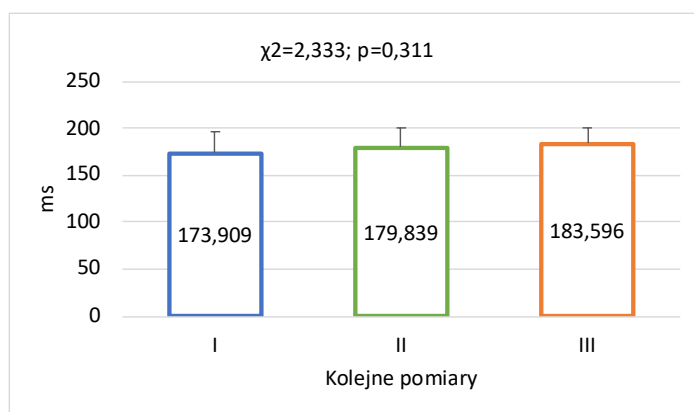


Ryc. 36. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej lewej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej (BlazePod)

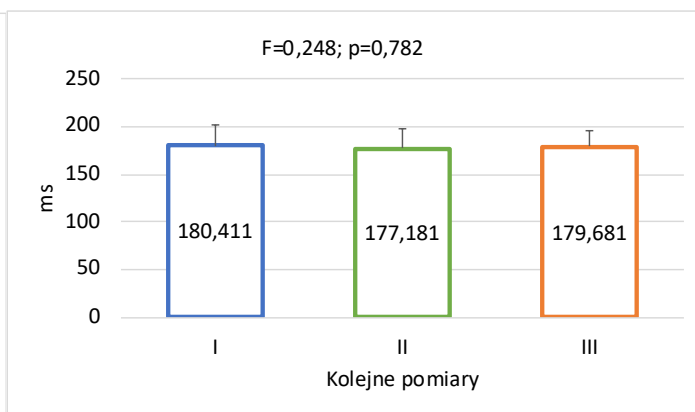


Ryc. 37. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji złożonej ocenianej wyprostem kończyny górnej (BlazePod)

Przeprowadzone analizy statystyczne nie wykazały istotnych różnic między kolejnymi pomiarami w przypadku testu „Chwyt opadającej linijki” zarówno dla prawej (ryc. 38), jak i lewej ręki (ryc. 39).



Ryc. 39. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej prawej ręki ocenianej chwytaniem opadającej linijki

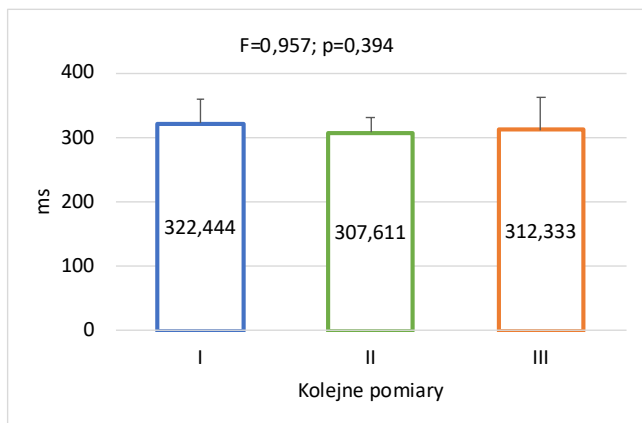


Ryc. 38. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej lewej ręki ocenianej chwytaniem opadającej linijki

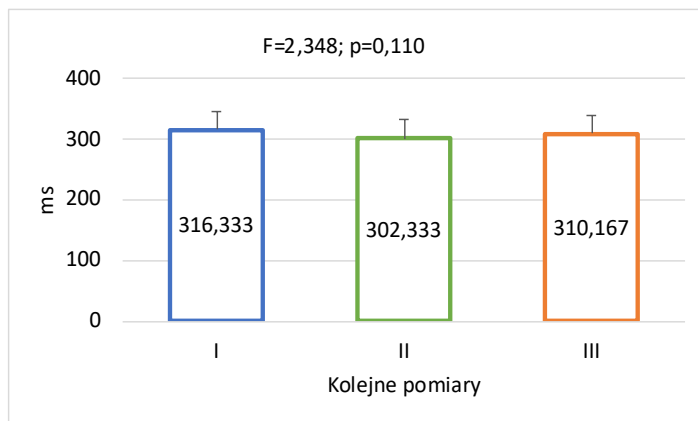
3.3. Wyniki testów szybkości reakcji zawodników z grupy kontrolnej

3.3.1. Testy wykonywane w immersyjnej wirtualnej rzeczywistości

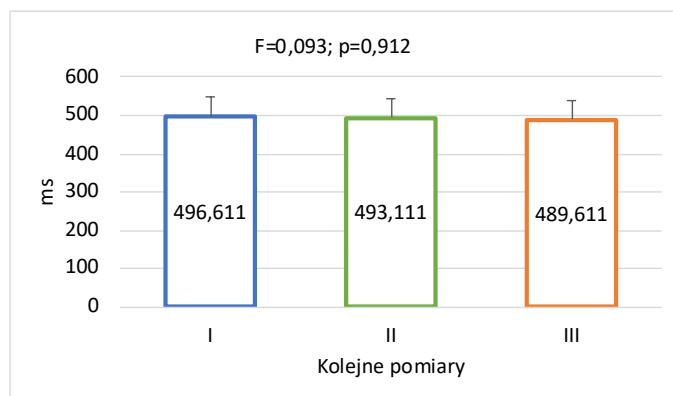
Na podstawie przeprowadzonej analizy wariancji można stwierdzić że wyniki „Klasycznych testów w VR” oceniających szybkość reakcji prawej (ryc. 40) i lewej ręki (ryc. 41) oraz reakcji złożonej (ryc. 42) odnotowane w kolejnych pomiarach nie różnią się od siebie istotnie statystycznie.



Ryc. 41. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej prawej ręki ocenianej klasycznym testem w VR

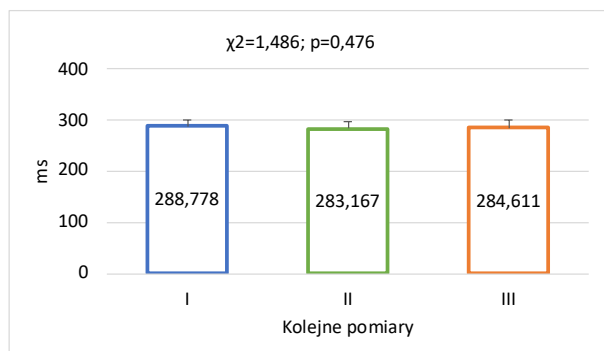


Ryc. 40. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej lewej ręki ocenianej klasycznym testem w VR

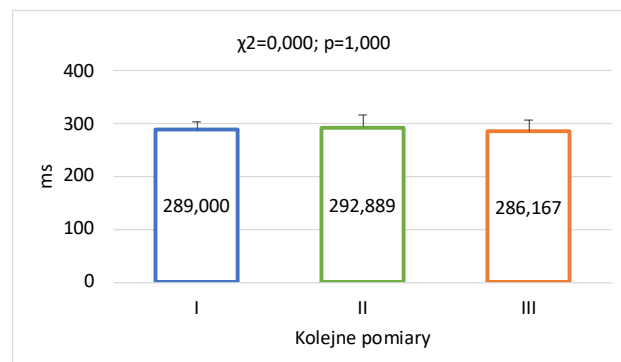


Ryc. 42. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji złożonej ocenianej klasycznym testem w VR

Również w testach „Chwytem opadającej linijki w VR” wykonywanych prawą (ryc. 43) i lewą ręką (ryc. 44), przeprowadzona analiza wariancji nie wykazała istotnych różnic między kolejnymi pomiarami w grupie kontrolnej.

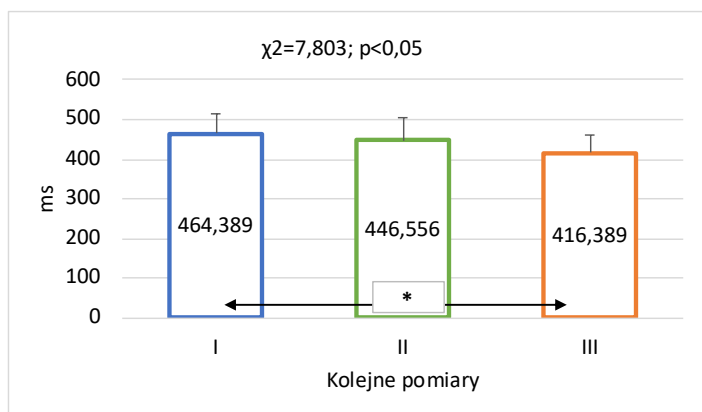


Ryc. 44. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej prawej ręki ocenianej chwytem opadającej linijki w VR

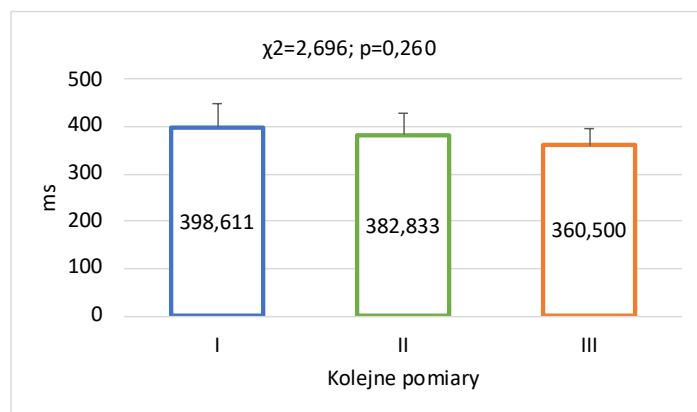


Ryc. 43. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej lewej ręki ocenianej chwytem opadającej linijki w VR

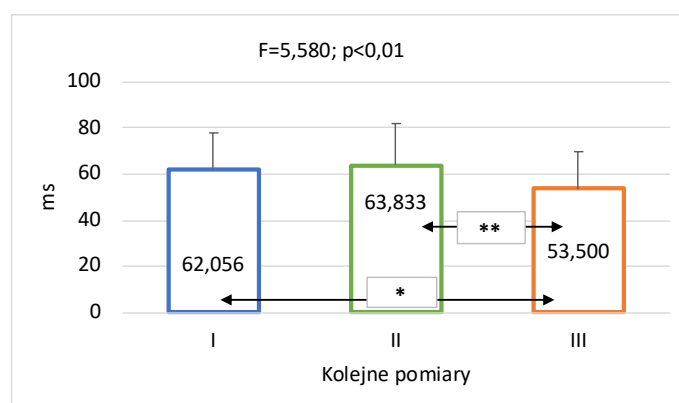
Istotne statystycznie różnice między pomiarami w grupie kontrolnej odnotowano natomiast w teście „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja prosta PR”. Z przeprowadzonych testów post-hoc wynika, że znamienna różnica wyników uwidoczniła się między I i III pomiarem w przypadku szybkości reakcji (ryc. 45) oraz w czasie ruchu prostego między I i III oraz II i III pomiarem (ryc. 46). Dla czasu reakcji nie wykazano istotnych różnic pomiędzy pomiarami (ryc. 47).



Ryc. 45. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej prawej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR

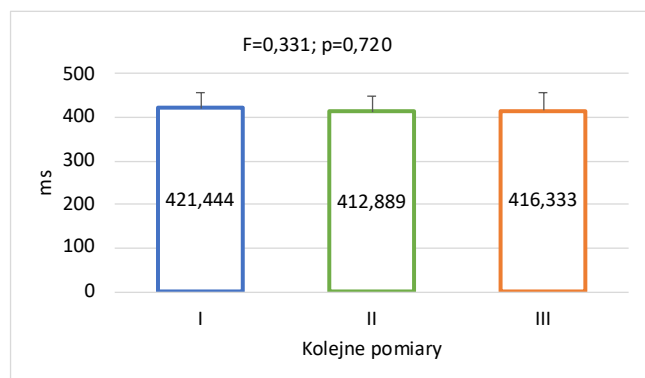


Ryc. 46. Wyniki kolejnych pomiarów czasu reakcji prostej prawej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR

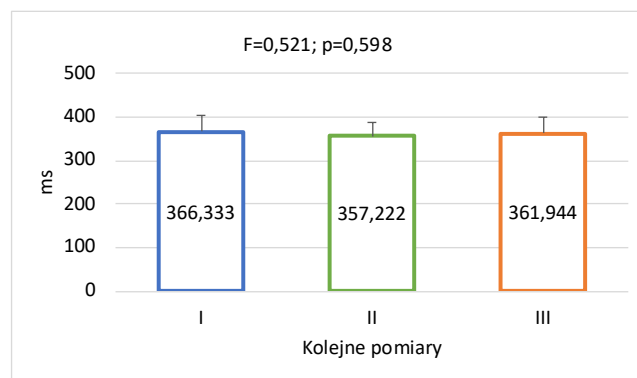


Ryc. 47. Wyniki kolejnych pomiarów czasu ruchu prawej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR – reakcja prosta

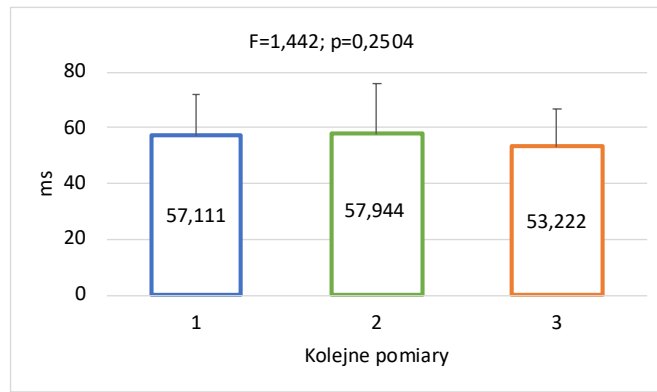
W przypadku „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja prosta LR” przeprowadzona analiza wariancji nie wykazała istotnych statystycznie różnic wyników pomiędzy pomiarami w grupie kontrolnej (ryc. 48, 49, 50).



Ryc. 49. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej lewej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR

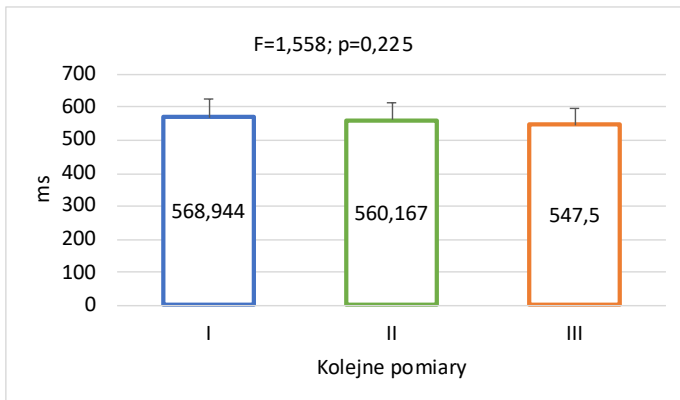


Ryc. 48. Wyniki kolejnych pomiarów czasu reakcji prostej lewej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR

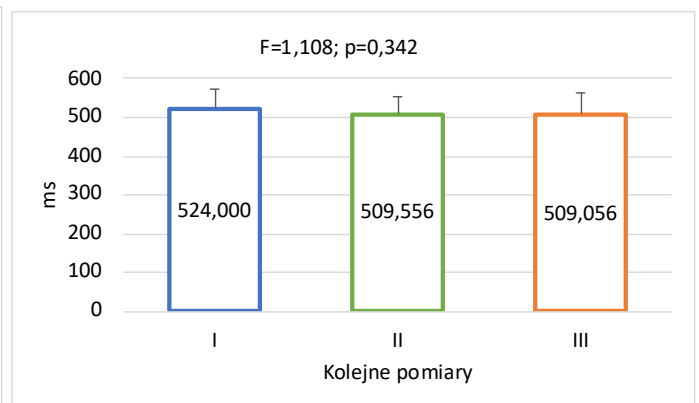


Ryc. 50. Wyniki kolejnych pomiarów czasu ruchu lewej ręki ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR – reakcja prosta

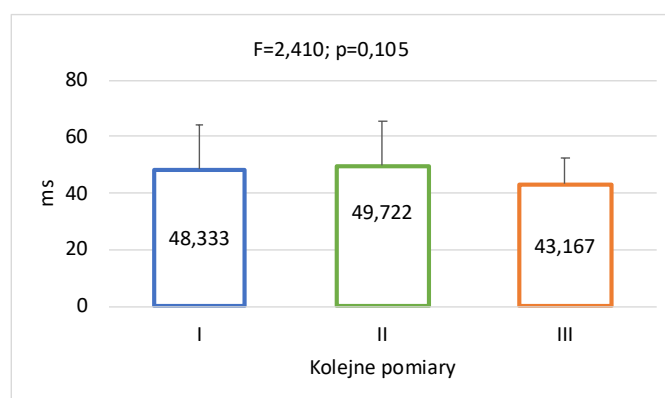
Również w przypadku oceny reakcji złożonej ocenianej testem „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja złożona” nie odnotowano istotnych statystycznie różnic między pomiarami (ryc. 51, 52, 53).



Ryc. 52. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji złożonej ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR



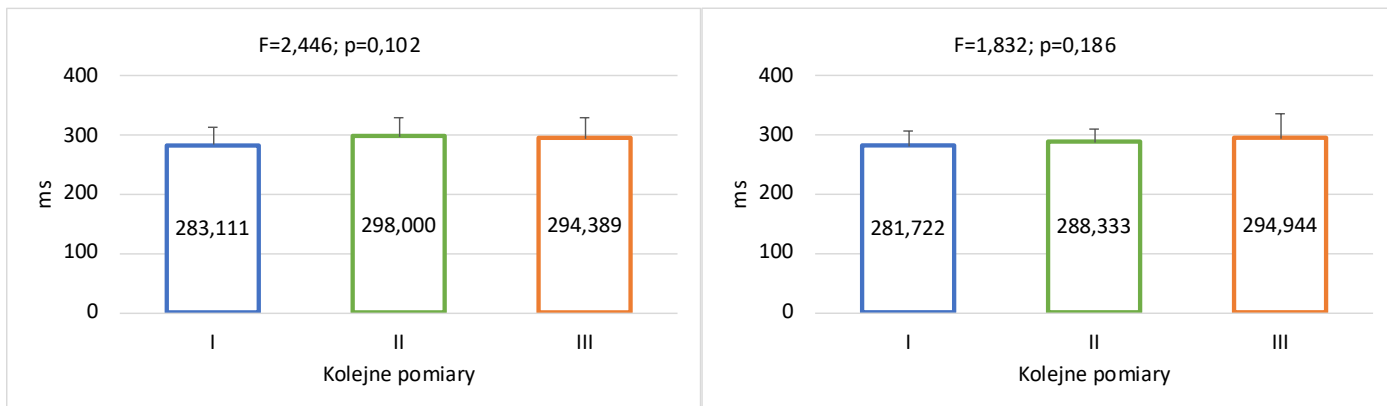
Ryc. 51. Wyniki kolejnych pomiarów czasu reakcji złożonej ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR



Ryc. 53. Wyniki kolejnych pomiarów czasu ruchu ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR – reakcja złożona

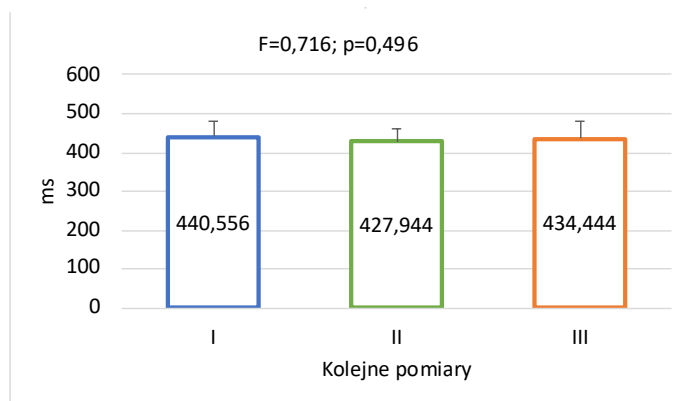
3.3.2. Testy wykonywane w środowisku rzeczywistym

Analiza wariancji z powtórzonymi pomiarami wyników uzyskiwanych w testach komputerowych w grupie kontrolnej wykazała, że w przypadku klasycznych testów komputerowych szybkości reakcji prawej (ryc. 54) i lewej ręki (ryc. 55) oraz reakcji złożonej (ryc. 56) rezultaty kolejnych pomiarów nie różniły się istotnie statystycznie od siebie.



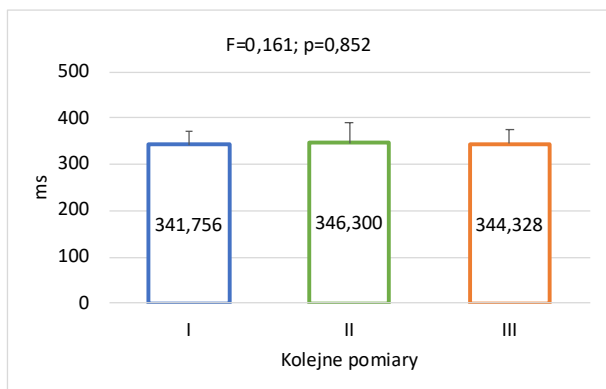
Ryc. 55. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej prawej ręki ocenianej klasycznym testem komputerowym

Ryc. 54. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej lewej ręki ocenianej klasycznym testem komputerowym

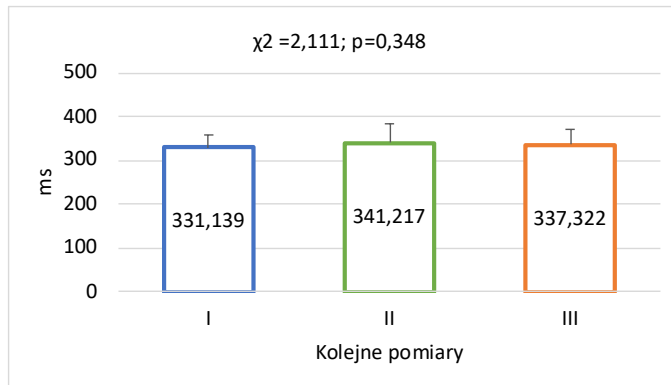


Ryc. 56. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji złożonej ocenianej klasycznym testem komputerowym

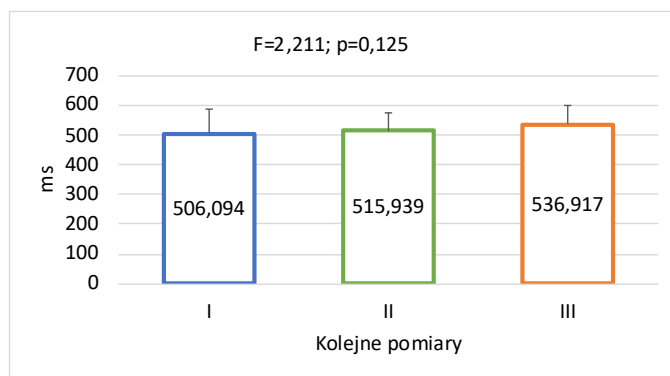
Analiza wariancji wyników testów wykonanych przez zawodników z grupy kontrolnej z zastosowaniem systemu lampek BlazePod wykazała brak istotnych statystycznie różnic między kolejnymi pomiarami dla prawej (ryc. 57) i lewej ręki (ryc. 58) oraz w przypadku reakcji złożonej (ryc. 59).



Ryc. 58. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej prawej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej (BlazePod)

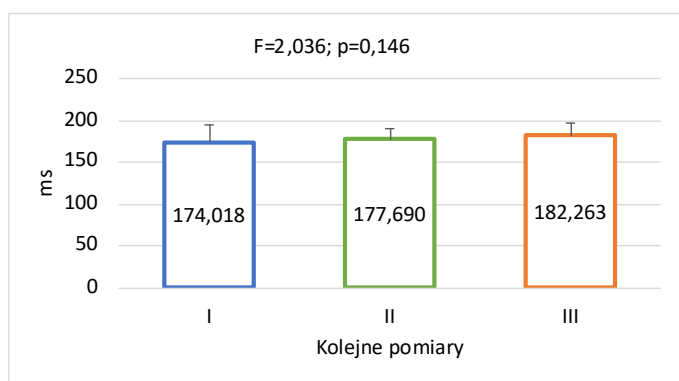


Ryc. 57. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej lewej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej (BlazePod)

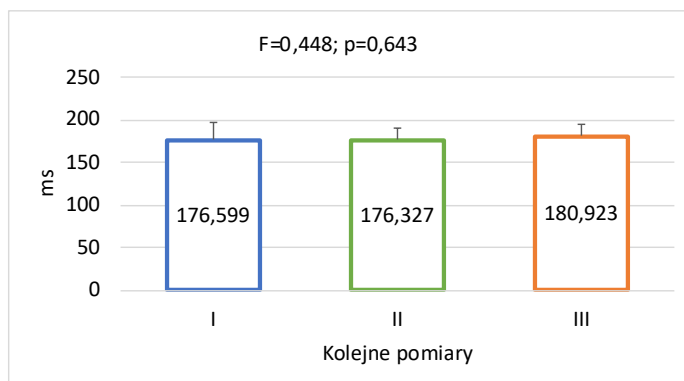


Ryc. 59. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji złożonej ocenianej wyprostem kończyny górnej (BlazePod)

Ostatnim testem przeprowadzonym w grupie kontrolnej był „Chwyt opadającej linijki”. W przypadku tego badania analiza wariancji wyników uzyskanych w kolejnych pomiarach ponownie nie wykazała istotnych różnic zarówno dla prawej (ryc. 60), jak i lewej ręki (ryc. 61).



Ryc. 60. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej prawej ręki ocenianej chwytaniem opadającej linijki



Ryc. 61. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej lewej ręki ocenianej chwytaniem opadającej linijki

3.4. Porównanie wyników testów szybkości reakcji uzyskanych przez zawodników z obu grup podczas badań kontrolnych i końcowych

W celu porównania wyników testów szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej i kontrolnej podczas badań kontrolnych i końcowych wyliczono różnice pomiędzy wynikami z I i II oraz I i III pomiaru (przyrosty absolutne – Δ) dla obu badanych grup. Wartości przyrostów zestawiono ze sobą, oceniając istotność ich różnic. Istotnie statystycznie różnice przyrostów szybkości reakcji między badanymi grupami dla I i II pomiaru uwidoczniły się w jedenastu testach (tab. 3), a w przypadku I i III pomiaru w dziesięciu testach (tab. 4).

Tabela 3. Zestawienie różnic pomiędzy wynikami z I i II pomiaru (przyrostów absolutnych – Δ) testów szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej (G_E) i kontrolnej (G_K)

Nazwa testu	G_E (n=18)		G_K (n=18)		D	P
	\bar{x} (I-II)	SD	\bar{x} (I-II)	SD		
Δ Klasyczny test w VR reakcja prosta PR [ms]	42,667	55,490	14,833	36,799	27,833	0,184 ^U
Δ Klasyczny test w VR reakcja prosta LR [ms]	23,500	32,876	14,000	31,466	9,500	0,395 ^t
Δ Klasyczny test w VR reakcja złożona [ms]	45,899	64,679	3,500	71,938	42,389	0,080 ^t
Δ Chwyt opadającej linijki w VR reakcja prosta PR [ms]	9,278	19,812	5,611	13,708	3,667	0,535 ^t
Δ Chwyt opadającej linijki w VR reakcja prosta LR [ms]	5,111	21,473	-3,899	27,262	9,000	0,229 ^U
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta PR (szybkość reakcji) [ms]	90,500	82,129	17,833	72,334	72,667	0,010^t
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta PR (czas reakcji) [ms]	68,667	77,001	15,778	67,797	52,889	0,020^U
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta PR (czas ruchu) [ms]	20,167	18,599	-1,778	14,238	21,944	0,000^t
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta LR (szybkość reakcji) [ms]	79,000	79,923	8,556	38,838	70,444	0,003^U
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta LR (czas reakcji) [ms]	61,056	73,063	9,111	31,819	51,944	0,012^U
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta LR (czas ruchu) [ms]	17,333	18,348	-0,833	13,512	18,167	0,002^t
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja złożona (szybkość reakcji) [ms]	82,167	128,655	8,778	46,353	73,389	0,040^U
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja złożona (czas reakcji) [ms]	71,556	127,209	14,444	40,573	57,111	0,117 ^U
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja złożona (czas ruchu) [ms]	12,333	20,897	-1,389	11,814	13,722	0,024^U
Δ Klasyczny test komputerowy reakcja prosta PR [ms]	11,278	37,019	-14,899	19,399	26,167	0,005^U
Δ Klasyczny test komputerowy reakcja prosta LR [ms]	3,944	10,554	-6,611	19,920	10,556	0,065 ^t
Δ Klasyczny test komputerowy reakcja złożona [ms]	22,278	53,101	12,611	42,599	9,667	0,562 ^t
Δ Wyprost kończyny górnej (BlazePod) reakcja prosta PR [ms]	26,667	32,345	-4,544	33,839	31,211	0,010^t
Δ Wyprost kończyny górnej (BlazePod) reakcja prosta LR [ms]	18,700	37,475	-10,078	32,436	28,778	0,022^t

Δ Wyprost kończyny górnej (BlazePod) reakcja złożona [ms]	17,894	59,292	-9,844	63,028	27,739	0,195 ^t
Δ Chwyt opadającej linijki reakcja prosta PR [ms]	-5,930	22,162	-3,672	15,404	-2,258	0,732 ^t
Δ Chwyt opadającej linijki reakcja prosta LR [ms]	3,230	18,283	0,273	23,732	2,958	0,812 ^U

Legenda: G_E – grupa eksperymentalna, G_K – grupa kontrolna, n – liczba badanych, \bar{x} - średnia arytmetyczna; SD – odchylenie standardowe; d – różnica średnich arytmetycznych; p – poziom istotności statystycznej; różnice istotne statystycznie oznaczono pogrubioną czcionką, ^t – wartość p z testu t-studenta; ^U – wartość p z testu U Manna-Whitneya

Tabela 4. Zestawienie różnic pomiędzy wynikami z I i III pomiaru (przyrostów absolutnych – Δ) testów szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej (G_E) i kontrolnej (G_K)

Nazwa wykonywanego testu badany parametr	G _E (n=18)		G _K (n=18)		D	P
	\bar{x} (I-III)	SD	\bar{x} (I-III)	SD		
Δ Klasyczny test w VR reakcja prosta PR [ms]	48,000	61,025	10,110	55,033	37,889	0,097 ^U
Δ Klasyczny test w VR reakcja prosta LR [ms]	22,167	26,831	6,167	22,998	16,000	0,071 ^t
Δ Klasyczny test w VR reakcja złożona [ms]	69,278	64,919	7,000	61,611	62,278	0,007^t
Δ Chwyt opadającej linijki w VR reakcja prosta PR [ms]	11,778	19,722	4,167	15,056	7,611	0,215 ^t
Δ Chwyt opadającej linijki w VR reakcja prosta LR [ms]	3,000	23,877	2,833	15,966	0,167	0,981 ^t
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta PR (szybkość reakcji) [ms]	113,667	85,974	48,000	70,288	65,667	0,011^U
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta PR (czas reakcji) [ms]	82,889	71,334	38,111	65,643	44,778	0,064 ^U
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta PR (czas ruchu) [ms]	22,944	17,418	8,556	14,724	14,389	0,014^t
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta LR (szybkość reakcji) [ms]	93,500	90,156	5,111	50,706	88,389	0,001^U
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta LR (czas reakcji) [ms]	68,333	72,637	4,389	43,943	63,944	0,004^t
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta LR (czas ruchu) [ms]	20,278	19,818	3,889	12,884	16,389	0,009^U
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja złożona (szybkość reakcji) [ms]	105,500	21,444	139,502	51,170	84,056	0,029^t
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja złożona (czas reakcji) [ms]	85,333	137,567	14,944	45,508	70,389	0,053 ^t
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja złożona (czas ruchu) [ms]	18,722	21,979	5,167	15,514	13,556	0,058 ^U

Δ Klasyczny test komputerowy reakcja prosta PR [ms]	17,500	50,532	-11,278	32,074	28,778	0,064 ^U
Δ Klasyczny test komputerowy reakcja prosta LR [ms]	2,333	26,600	-13,222	29,112	15,566	0,133 ^t
Δ Klasyczny test komputerowy reakcja złożona [ms]	13,444	49,862	-11,278	32,074	24,722	0,096 ^t
Δ Wyprost kończyny górnej (BlazePod) reakcja prosta PR [ms]	49,961	39,416	-2,572	29,746	52,533	0,000^t
Δ Wyprost kończyny górnej (BlazePod) reakcja prosta LR [ms]	48,711	39,248	-6,183	23,411	54,894	0,000^t
Δ Wyprost kończyny górnej (BlazePod) reakcja złożona [ms]	67,133	60,001	-30,822	67,842	97,956	0,000^t
Δ Chwyt opadającej linijki reakcja prosta PR [ms]	-9,687	23,722	-8,245	19,014	-1,442	0,846 ^t
Δ Chwyt opadającej linijki reakcja prosta LR [ms]	0,730	-4,323	20,482	24,226	5,053	0,516 ^t

Legenda: G_E – grupa eksperymentalna, G_K – grupa kontrolna, n – liczba badanych, \bar{x} – średnia arytmetyczna; SD – odchylenie standardowe; d – różnica średnich arytmetycznych; p – poziom istotności statystycznej; różnice istotne statystycznie oznaczono pogrubioną czcionką, ^t – wartość p z testu t-studenta; ^U – wartość p z testu U Manna-Whitneya

4. Wnioski

1. Pod wpływem treningu koordynacyjnego w wirtualnym środowisku dochodzi do poprawy szybkości reakcji prostej i złożonej na bodźce wzrokowe zawodników MMA ocenianych za pomocą różnych testów zaimplementowanych w VR. Istotne polepszenie wyników obserwuje się w większości zadań kontrolnych już po czterech tygodniach ćwiczeń, a w przypadku prawie wszystkich testów występuje ono po ośmiu tygodniach treningu.
2. Trening koordynacyjny w VR znamiennie poprawia szybkość reakcji prostej i złożonej na bodźce wzrokowe zawodników MMA ocenianych w środowisku realnym w oparciu o specyficzny dla tej dyscypliny sportowej wzorec wyprostu kończyny górnej. W przypadku oceny wpływu treningu koordynacyjnego w VR na poprawę badanych zdolności motorycznych za pomocą klasycznych testów komputerowych bazujących na małej motoryce (ruchy palców), mimo odnotowania szybszych reakcji sportowców, nie stwierdzono istotnej statystycznie poprawy wyników.
3. Długość okresu treningu koordynacyjnego w wirtualnym środowisku warunkuje poziom szybkości reakcji prostej i złożonej na bodźce wzrokowe zawodników MMA. W większości zadań testowych wyraźniejszą poprawę tych zdolności motorycznych stwierdzono po 8 niż po 4 tygodniach ćwiczeń.

Uzyskane rezultaty badań mogą sugerować kierunki dalszych poszukiwań badawczych i implikacji praktycznych:

1. Poprawa szybkości reakcji doświadczonych zawodników MMA pod wpływem stosunkowo krótkiej interwencji treningowej w VR pozwala sądzić, że ćwiczenia koordynacyjne wykonywane w wirtualnym środowisku są skutecznym narzędziem treningowym nawet dla zaawansowanych sportowców. Przepuszczalnie poprawa wyników w grupie osób mniej sprawnych fizycznie byłaby jeszcze bardziej wyraźna. Pogląd ten wymaga jednak empirycznej weryfikacji.
2. W związku z tym, że trening koordynacyjny w VR spowodował poprawę szybkości reakcji badanych sportowców, warto byłoby ocenić wpływ podobnej interwencji na pozostałe zdolności koordynacyjne zawodników MMA.

Piśmiennictwo

1. Ahir, K., Govani, K., Gajera, R., & Shah, M. (2020). Application on Virtual Reality for Enhanced Education Learning, Military Training and Sports. *Augmented Human Research*, 5(1), 7. <https://doi.org/10.1007/s41133-019-0025-2>
2. Akbaş, A., Marszałek, W., Kamieniarz, A., Polechoński, J., Słomka, K. J., & Juras, G. (2019). Application of Virtual Reality in Competitive Athletes – A Review. *Journal of Human Kinetics*, 69(1), 5–16. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0023>
3. Anitha, M., & Samuel, V. V. (2018). Reaction time in sitting and standing postures among typical young adults. *Physiotherapy - The Journal of Indian Association of Physiotherapists*, 12(2), 58. https://doi.org/10.4103/PJIAP.PJIAP_19_18
4. Aranha, V. P., Sharma, K., Samuel, A. J., Joshi, R., & P. Kumar, S. (2015). Reaction Time in Children by Ruler Drop Method: A Cross-Sectional Study Protocol. *Pediatric Education and Research*, 3(2), 61–66. <https://doi.org/10.21088/per.2321.1644.3215.3>
5. Bauer, A. C. M., & Andringa, G. (2020). The Potential of Immersive Virtual Reality for Cognitive Training in Elderly. *Gerontology*, 66(6), 614–623. <https://doi.org/10.1159/000509830>
6. Cao, L., Peng, C., & Dong, Y. (2021). Ellic's Exercise Class: Promoting physical activities during exergaming with immersive virtual reality. *Virtual Reality*, 25(3), 597–612. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00477-z>
7. Darby, D., Moriarity, J., Pietrzak, R., Kutcher, J., Mcaward, K., & Mccrory, P. (2014). Prediction of winning amateur boxers using pretournament reaction times. *The Journal Of Sports Medicine And Physical Fitness*, 54(3), 8.
8. Dębska, M., Polechoński, J., Mynarski, A., & Polechoński, P. (2019). Enjoyment and Intensity of Physical Activity in Immersive Virtual Reality Performed on Innovative Training Devices in

- Compliance with Recommendations for Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(19), 3673. <https://doi.org/10.3390/ijerph16193673>
9. Eckner, J. T., Kutcher, J. S., & Richardson, J. K. (2011). Between-Seasons Test-Retest Reliability of Clinically Measured Reaction Time in National Collegiate Athletic Association Division I Athletes. *Journal of Athletic Training*, 46(4), 409–414. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-46.4.409>
 10. Gierczuk, D., & Ljach, W. (2012). Evaluating the Coordination of Motor Abilities in Greco-Roman Wrestlers by Computer Testing. *Human Movement*, 13(4), 323–329. <https://doi.org/10.2478/v10038-012-0037-y>
 11. Gray, R. (2017). Transfer of Training from Virtual to Real Baseball Batting. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2017.02183>
 12. Holden, J., Francisco, E., Lensch, R., Tommerdahl, A., Kirsch, B., Zai, L., Dennis, R., & Tommerdahl, M. (2019). *Accuracy of different modalities of reaction time testing: Implications for online cognitive assessment tools*. <https://doi.org/10.1101/726364>
 13. Klocek, T., Spieszny, M., & Szczepanik, M. (2002). *Komputerowe testy zdolności koordynacyjnych*. Centralny Ośrodek Sportu.
 14. Langer, A., & Polechoński, J. (2021). *Czy lampki treningowe można stosować do trafnej i rzetelnej oceny szybkości reakcji zawodników mieszanych sztuk walki?* Jubileuszowa XXV Konferencja Naukowa: Aktywność ruchowa ludzi w różnym wieku.
 15. Langer, A., Polechoński, J., Polechoński, P., & Cholewa, J. (2022). Ruler Drop Method in Virtual Reality as an Accurate and Reliable Tool for Evaluation of Reaction Time of Mixed Martial Artists. *Sustainability*, 15(1), 648. <https://doi.org/10.3390/su15010648>
 16. Michalski, S. C., Szpak, A., & Loetscher, T. (2019). Using Virtual Environments to Improve Real-World Motor Skills in Sports: A Systematic Review. *Frontiers in Psychology*, 10. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2019.02159>
 17. Neumann, D. L., Moffitt, R. L., Thomas, P. R., Loveday, K., Watling, D. P., Lombard, C. L., Antonova, S., & Tremeer, M. A. (2018). A systematic review of the application of interactive virtual reality to sport. *Virtual Reality*, 22(3), 183–198. <https://doi.org/10.1007/s10055-017-0320-5>
 18. Polechoński, J., & Langer, A. (2022). Assessment of the Relevance and Reliability of Reaction Time Tests Performed in Immersive Virtual Reality by Mixed Martial Arts Fighters. *Sensors*, 22(13), 4762. <https://doi.org/10.3390/s22134762>
 19. Polechoński, J., Nierwińska, K., Kalita, B., & Wodarski, P. (2020). Can Physical Activity in Immersive Virtual Reality Be Attractive and Have Sufficient Intensity to Meet Health Recommendations for Obese Children? A Pilot Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 8051. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218051>
 20. Raczek, J., Juras, G., & Wa, Z. (2001). The diagnosis of motor coordination. *Journal of Human*

Kinetics, 6, 13.

21. Raczek, J., Mynarski, W., & Ljach, W. (2003). Kształtowanie i diagnozowanie koordynacyjnych zdolności motorycznych. *Katowice: AWF*.
22. Richlan, F., Weiß, M., Kastner, P., & Braid, J. (2022). *Virtual training, real effects: A systematic literature review on sports performance enhancement through interventions in virtual reality*. PsyArXiv. <https://doi.org/10.31234/osf.io/ckgm2>
23. Stelmasiak, I., & Różańska, M. (2021). Kształtowanie sprawności motorycznych dziecka w wieku przedszkolnym w aspekcie nauki pisania. *Kultura i Wychowanie*, 19(1), 87–107. https://doi.org/10.25312/2083-2923.19/2021_06ismr
24. Tirp, J., Steingröver, C., Wattie, N., Baker, J., & Schorer, J. (2015). Virtual realities as optimal learning environments in sport – A transfer study of virtual and real dart throwing. *Psychological Test and Assessment Modeling*, 57(1), 57–69.
25. Vahle, N. M., Unger, S., & Tomasik, M. J. (2021). Reaction Time-Based Cognitive Assessments in Virtual Reality – A Feasibility Study with an Age Diverse Sample. W *Studies in Health Technology and Informatics*. IOS Press. <https://doi.org/10.3233/SHTI210552>
26. Wojciechowski, A., Wiśniewska, A., Pyszora, A., Liberacka-Dwojak, M., & Juszczak, K. (2021). Virtual reality immersive environments for motor and cognitive training of elderly people – a scoping review. *Human Technology*, 17(2), Article 2. <https://doi.org/10.14254/1795-6889.2021.17-2.4>
27. Zhang, X., Shi, Y., & Bai, H. (2021). Immersive Virtual Reality Physical Education Instructional Patterns on the Foundation of Vision Sensor. *Journal of Sensors*, 2021, e7752447. <https://doi.org/10.1155/2021/7752447>
28. Zhou, S. (2020). Using Virtual Reality to Promote Physical Activity. *Journal of Software Engineering and Applications*, 13(11), Article 11. <https://doi.org/10.4236/jsea.2020.1311021>