

**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**

Dysertacja doktorska

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

**Promotor pomocniczy:** dr Jacek Polechoński

**KATOWICE 2023**

## Spis treści

<b>Wprowadzenie .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Teoretyczno-empiryczne podstawy problematyki badawczej w świetle literatury światowej .....</b>	<b>7</b>
1.1. Szybkość reakcji i jej uwarunkowania .....	7
1.2. Znaczenie szybkości reakcji u zawodników mieszanych sztuk walki .....	9
1.3. Metody oceny szybkości reakcji .....	10
1.4. Kształtowanie szybkości reakcji .....	12
1.5. Immersyjna wirtualna rzeczywistość i jej zastosowanie w sporcie .....	14
1.6. Trening z wykorzystaniem immersyjnej wirtualnej rzeczywistości .....	16
<b>2. Cel pracy, pytania i hipotezy badawcze .....</b>	<b>19</b>
<b>3. Uczestnicy badań i metody badawcze.....</b>	<b>20</b>
3.1. Charakterystyka uczestników badań .....	20
3.2. Narzędzia i procedury badawcze.....	21
3.2.1. Procedura oceny szybkości reakcji .....	22
3.2.2. Testy szybkości reakcji przeprowadzane w wirtualnej rzeczywistości.....	23
3.2.3. Testy szybkości reakcji przeprowadzane w środowisku rzeczywistym.....	28
3.2.4. Trening w wirtualnej rzeczywistości.....	31
3.3. Metody i narzędzia statystyczne .....	38
<b>4. Wyniki .....</b>	<b>40</b>
4.1. Porównanie wyników testów szybkości reakcji uzyskanych przez zawodników z grupy eksperymentalnej i kontrolnej przed rozpoczęciem interwencji treningowej.....	40
4.2. Wpływ treningu koordynacyjnego w wirtualnej rzeczywistości na szybkość reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej .....	41
4.2.1. Testy wykonywane w immersyjnej wirtualnej rzeczywistości .....	41
4.2.2. Testy wykonywane w środowisku rzeczywistym .....	47
4.3. Wyniki testów szybkości reakcji zawodników z grupy kontrolnej.....	51
4.3.1. Testy wykonywane w immersyjnej wirtualnej rzeczywistości .....	51
4.3.2. Testy wykonywane w środowisku rzeczywistym .....	57
4.4. Porównanie wyników testów szybkości reakcji uzyskanych przez zawodników z obu grup podczas badań kontrolnych i końcowych .....	61
4.4.1. Zestawienie i analiza przyrostów bezwzględnych szybkości reakcji.....	61
4.4.2. Graficzne przedstawienie przyrostów względnych szybkości reakcji .....	64
4.4.2.1. Testy wykonywane w immersyjnej wirtualnej rzeczywistości .....	64

4.4.2.2. Testy wykonywane w środowisku rzeczywistym .....	69
<b>5. Dyskusja .....</b>	<b>73</b>
<b>6. Wnioski.....</b>	<b>80</b>
<b>Streszczenie .....</b>	<b>82</b>
<b>Summary .....</b>	<b>85</b>
<b>Spis rycin.....</b>	<b>88</b>
<b>Spis tabel .....</b>	<b>94</b>
<b>Piśmiennictwo .....</b>	<b>95</b>

## Wykaz skrótów użytych w dysertacji

AVGs – aktywne gry video

CRT – czas reakcji złożonej

d – różnica średnich arytmetycznych

G<sub>E</sub> – grupa eksperymentalna

G<sub>K</sub> – grupa kontrolna

HMD – autonomiczne gogle do projekcji wirtualnej rzeczywistości

ICC – współczynnik korelacji wewnątrzklasowej

KZM – koordynacyjne zdolności motoryczne

LR – lewa ręka

MMA – mieszane sztuki walki

MT – czas ruchu prostego

n – liczba badanych

NFB – trening neurofeedback

p – poziom istotności statystycznej

RL – środowisko rzeczywiste

PR – prawa ręka

RT – czas reakcji

SD – odchylenie standardowe

SRT – czas reakcji prostej

t - czas

<sup>t</sup> – wartość p z testu t-studenta

<sup>U</sup> – wartość p z testu U Manna-Whitneya

VR – wirtualna rzeczywistość

$\bar{x}$  – średnia arytmetyczna

## 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 wyprostowania 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 & Róžańska, 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. Teoretyczno-empiryczne podstawy problematyki badawczej w świetle literatury światowej

## 1.1. Szybkość reakcji i jej uwarunkowania

Szybkość reakcji według koncepcji Raczka (2010) zalicza się do grupy koordynacyjnych zdolności motorycznych (KZM), czyli zdeterminowanych głównie neurosensorycznymi i psychicznymi procesami sterująco-regulującymi oraz kognitywnymi predyspozycjami, które zdeterminowane są genetycznie, ale i kształtowane przez czynniki środowiskowe. Do tej grupy motorycznych właściwości człowieka zalicza się również zdolności: sprzężenia, różnicowania, równowagi, orientacji, rytmizacji oraz dostosowania motorycznego.

Szybkość reakcji składa się z czasu reakcji (ang. reaction time, RT), czyli odstępu czasu między zadziałaniem bodźca a zainicjowaniem odpowiedniej reakcji, oraz czasu ruchu prostego (ang. movement time, MT) (Balkó i in., 2016). Często szybkość reakcji jest utożsamiana z czasem reakcji. Dzieje się tak, gdy nie jest brany pod uwagę czas ruchu prostego (Brenner & Smeets, 2019). Przykładem są testy komputerowe, w których odpowiedzi na bodźce polegają na wciśnięciu odpowiedniego klawisza na klawiaturze (Klocek i in., 2002).

Czas reakcji jest procesem, który przebiega wieloetapowo, począwszy od powstania pobudzenia w receptorze ( $t_1$ ), poprzez jego przekazanie do ośrodkowego układu nerwowego ( $t_2$ ), 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 to przedstawić za pomocą wzoru:  $RT = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$  (Boloban i in., 2010). Przyjmuje się, że szybkość przewodzenia nerwów czuciowych i ruchowych ( $t_2$  i  $t_4$ ) jest wartością względnie stałą, która nie zmienia się pod wpływem treningu (Sozański, 1999). W zależności od różnorodności występujących bodźców, na które człowiek jest ekspozowany, wyróżnia się czas reakcji prostej (ang. simple reaction time, SRT) oraz czas reakcji złożonej (z wyboru) (ang. choice reaction time, CRT). W pierwszym przypadku występuje jeden sygnał i wymagana na niego odpowiedź. Reakcja złożona wiąże się natomiast z koniecznością różnej odpowiedzi na dwa lub więcej bodźców (Colman, 2015). Uważa się, że najdłuższym segmentem przetwarzania informacji jest faza identyfikacji bodźca (Harmenberg i in., 1991). Liczba przetwarzanych bodźców wydłuża RT, co zostało udowodnione przez wielu badaczy (Heirani i in., 2012). Wspomniana zależność jest związana z prawem Hicksa, zgodnie z którym zwiększenie liczby wyborów powiększa logarytmicznie czas podjęcia decyzji. (Gignac & Vernon, 2004). W związku z tym czas reakcji złożonej, gdzie poziom trudności

zadania jest większy i wymaga podejmowania różnorodnych działań w odpowiedzi na pojawiające się bodźce, jest dłuższy od czasu reakcji prostej, niezależnie od tego, czy generowany sygnał był wizualny, dźwiękowy, czuciowy czy mieszany (Shelton & Kumar, 2010). Shelton i Kumar (2010) porównali czas przetwarzania informacji wzrokowych i słuchowych wśród sportowców i ustalili, że reakcje na bodźce dźwiękowe wywoływały szybszą odpowiedź. Ten wniosek został potwierdzony późniejszymi badaniami (Jain i in., 2015). Na podstawie dostępnej literatury można przyjąć, że średni czas reakcji prostej na bodźce wzrokowe wynosi ok. 180 – 200 ms a na bodźce słuchowe ok. 140 – 180 ms (Thompson i in., 1992). Różnice wynikają z faktu, że impulsy wizualne docierają do mózgu wolniej (20 – 40 ms) niż wrażenia słuchowe (8 – 10 ms) (Kemp, 1973; Shelton & Kumar, 2010). U sportowców powyższe wartości mogą ulec skróceniu, jednak minimalny czas potrzebny do przetworzenia bodźca przez system nerwowy, nie może być krótszy niż 0,08 – 0,1 s (Sozański, 1999).

Szybkość reakcji uwarunkowana jest od wielu czynników, wśród których istotną rolę odgrywa wiek chronologiczny osoby badanej. Analizując dostępną literaturę można stwierdzić, że wraz z wiekiem wzrasta długość czasu reakcji zarówno wśród zawodników sztuk walki (Sterkowicz i in., 2012) jak i populacji nietreningowej (Deary i in., 2011).

RT jest istotnie warunkowany płcią. U kobiet reakcja na bodźce jest wolniejsza niż u mężczyzn (Jain i in., 2015). Opisywana zależność wystąpiła zarówno u osób trenujących taekwondo jak i nieaktywnych ruchowo (Tanyel, 2007). Przewagę mężczyzn nad kobietami pod względem szybkości reakcji potwierdzili również (Castellar i in., 2019) w grupie tenisistów stołowych. Ich badania wykazały dodatkowo krótszy MT u kobiet, co zwraca uwagę na potrzebę analizy obu wspomnianych parametrów w celu oceny szybkości reakcji.

Poziom szybkości reakcji jest uzależniony od aktywności fizycznej oraz rodzaju wykonywanych ćwiczeń. Alter (1998) zwraca uwagę, iż odpowiednia rozgrzewka może pozytywnie wpływać na przewodzenie nerwowe. Większość badaczy stwierdza, iż osoby prowadzące siedzący tryb życia, znacznie wolniej reagują na pojawiające się bodźce niż regularnie trenujący sportowcy (Jain i in., 2015; Nakamoto & Mori, 2008). Zawodnicy sportów walki na poziomie elitarnym uzyskiwali lepsze średnie czasy reakcji z wyborem niż ich mniej zaawansowani współzawodnicy (Grushko i in., 2016). Może to sugerować, iż wieloletnie treningi korzystnie wpływają na sprawność procesów przetwarzania impulsów. Podobne wyniki uzyskano w badaniach szermierzy (Williams & Walmsley, 2000). Autorzy odnotowali wyraźną dodatnią korelację pomiędzy stopniem doświadczenia sportowego zawodników i krótszymi czasami reakcji. Wspomnieć należy, że przeprowadzono



badania (Bianco i in., 2008), z których wynika, że zawodowi bokserzy prezentowali dłuższy SRT w porównaniu z mniej doświadczonymi zawodnikami. W przypadku reakcji złożonej nie zauważono różnic. Barcelos i in. (2009) stwierdzili również brak istotnych statystycznie różnic w SRT między siatkarzami a osobami, które nie uprawiały aktywności fizycznej. Podobne wyniki uzyskano w badaniach porównujących zawodowych graczy baseballu z amatorami (Kida i in., 2005).

Można zatem założyć, że w niektórych dyscyplinach sportu czas reakcji nie jest głównym predyktorem sukcesu, gdyż duże znaczenie ma charakter danej dyscypliny. Wyróżnia się dyscypliny w których wykonywane techniki oparte są na otwartych strukturach ruchowych (ang. open skills sport), w których wymaga się od zawodników dynamicznego reagowania na nieprzewidywalne i zmieniające się sytuacje, występujące podczas rywalizacji sportowej (np. koszykówka, tenis, szermierka). Z drugiej strony dyscypliny z technikami opartymi o zamknięte struktury ruchowe (ang. closed skills sport) charakteryzują się przewidywalnymi i stabilnymi sytuacjami, gdzie zawodnicy wykonują czynności we własnym tempie (np. bieganie, pływanie) (Di Russo i in., 2010). Wyniki innych badań wykazały, że sportowcy uprawiający dyscypliny oparte na otwartych strukturach ruchowych lepiej radzą sobie z zadaniami kognitywnymi (Mann i in., 2007; Wang i in., 2013).

## **1.2. Znaczenie szybkości reakcji u zawodników mieszanych sztuk walki**

Szybka reakcja na bodźce odgrywa niezwykle istotną rolę w sztukach walki (Pavelka i in., 2020). Podczas pojedynku sportowcy reagują na siebie nawzajem przez cały czas trwania rywalizacji sportowej. Każdy zamach, uderzenie i krok przeciwnika wymagają szybkiej reakcji. Dlatego podczas walki potrzebna jest ciągła koncentracja na ruchach przeciwnika i podejmowanie decyzji w ułamku sekundy w zależności od sytuacji. Niewielkie opóźnienie w reakcji może zdecydować o przegraniu pojedynku. Wydaje się, że podniesienie poziomu szybkości reakcji powinno zwiększyć skuteczność wykonywanych technik.

Dyscypliną sportową, która łączy w sobie różne style walki i w ostatnich latach rozwija się dynamicznie (Jensen i in., 2013) są mieszane sztuki walki (MMA). Ze względu na połączenie wielu stylów walki, rywalizacja odbywa się w różnych płaszczyznach i pozycjach. Zawodnicy walczą w pozycji stojącej, klinczu oraz na ziemi. W MMA stosowane są techniki zaczerpnięte między innymi z kickboxingu, Muay Thai, zapasów, judo czy brazylijskiego jiu-jitsu (Gauthier, 2009). Pojedynek składa się z trzech rund, które w zależności od poziomu sportowego trwają trzy lub pięć minut. Walka na poziomie mistrzowskim,

najczęściej składa się z pięciu pięciominutowych rund. (Follmer i in., 2021). Na wynik pojedynku mają wpływ różne czynniki, takie jak poziom wytrzymałości tlenowej (Radovanovic i in., 2011; Yoon, 2002), siła maksymalna czy wydolność beztlenowa (La Bounty i in., 2011). Kluczowa jest właściwa percepcja, sprawne przetwarzanie i wybór odpowiedniej reakcji na działanie rywala (Gierczuk i in., 2012; Mirzaei i in., 2011). Na skuteczność działań ofensywnych i defensywnych, zarówno przy akcjach zapaśniczych (Isaev i in., 2016), jak i stójkowych (Moriarity i in., 2004) wpływa RT. Z tego powodu ważnym elementem przygotowania motorycznego osób uprawiających sporty walki jest kształtowanie szybkości reakcji (Balasubramaniam i in., 2015) oraz jej rzetelna ocena, która ma istotne znaczenie w procesie kontrolowania efektów treningowych u zawodników oraz podczas przewidywania ich przyszłych sukcesów sportowych.

### **1.3. Metody oceny szybkości reakcji**

Istnieją różne metody oceny szybkości reakcji na bodźce. Jedną z nich są aplikacje internetowe, takie jak Human Benchmark czy Hit-the-dots Reaction Test (Badau i in., 2018). Human Benchmark (<https://humanbenchmark.com>) oferuje użytkownikom sprawdzenie czasu reakcji prostej na bodziec wizualny, poprzez naciśnięcie przycisku myszki komputerowej w momencie zmiany koloru ekranu. Z kolei w przypadku aplikacji Hit-the-dots (<https://webbrowsertools.com/hit-the-dot/>) pomiar RT polega na jak najszybszym wskazaniu zapalających się na ekranie punktów. Nie są to najdokładniejsze metody badawcze, ze względu na opóźnienia wynikające z przesyłania danych przez sieć internetową. Duże znaczenie ma także umiejętność obsługiwanie przeglądarki internetowej i myszki komputerowej. RT często ocenia się za pomocą testów typu Red and Green Light (Gavkare i in., 2013), które polegają na reagowaniu lub powstrzymaniu się od reakcji w zależności od koloru generowanego światła. Obecnie można znaleźć w internecie ([https://www.psychtoolkit.org/experiment-library/experiment\\_deary\\_liewald](https://www.psychtoolkit.org/experiment-library/experiment_deary_liewald)) wiele eksperymentów do samodzielnego przeprowadzenia. Jednym z nich jest test komputerowy o nazwie Deary-Liewald task, który mierzy zarówno SRT jak i CRT w sposób rzetelny, a wyniki korelują z istniejącymi testami laboratoryjnymi (Deary i in., 2011).

Popularnym i łatwym w przeprowadzeniu testem oceniającym szybkość reakcji jest chwyt opadającej linijki. Eckner i in. (2009) dokonali walidacji tego prostego narzędzia do szacowania czasu reakcji. Oceniając RT u 65 zdrowych osób w średnim wieku 45,5 lat z dominującą prawą ręką, określili ICC na poziomie 0,92. Badania innych autorów dotyczące tego testu, również wykazywały zbliżone rezultaty (Anitha & Samuel, 2018; van Schooten i in.,

2019). Chwył opadającej linijki został wykorzystany w badaniach własnych przeprowadzonych na 28 zawodnikach MMA (Langer i in., 2022). Stwierdzono rzetelność pomiaru na poziomie  $ICC=0,852$  dla lewej ręki i  $ICC=0,734$  dla prawej ręki.

Wyżej wymienionymi narzędziami nie można jednak ocenić poziomu szybkości reakcji we wzorcach ruchowych charakterystycznych dla danej dyscypliny sportowej. Do projektowania testów oceniających szybkość odpowiedzi motorycznej (ang. motor response) coraz częściej wykorzystuje się systemy oświetlenia emitującego impulsy świetlne (Rauter i in., 2018; Shieh i in., 2020). Zapalającą się lampkę wykorzystano podczas testów zawodowych bokserów oceniających RT w czasie wykonywania ciosów prostych (Loturco i in., 2015). W tym badaniu zawodnicy mieli za zadanie reagować na pojawiające się bodźce świetlne, wykonując uderzenia bokserskie: lewy prosty oraz prawy prosty w głowę manekina treningowego. Wykorzystano świetlny sensor Smart-Speed (Fusion Sport) który umieszczony był z tyłu i nad barkiem manekina. RT obliczany był jako odstęp czasu od zapalenia się lampki do zainicjowania ruchu przez nadgarstek ręki wykonującej uderzenie osoby badanej. Wykorzystano do tego zamontowany na rękawicy bokserskiej sensor ruchu Smart-Shoxx (Fusion Sport). Rzetelność przeprowadzonego testu w tym badaniu wyniosła  $ICC=0,93$  (lewy prosty) oraz  $ICC=0,91$  (prawy prosty), co wskazuje na wysoką rzetelność pomiarową. Kolejne badania oceniające RT, wykorzystujące wzorce ruchowe charakterystyczne dla sportów walki, zostały przeprowadzone przez Neto i in. (2009). Zawodnicy Kung Fu wykonywali uderzenia wewnętrzną częścią dłoni i pięścią. Oceniano moc i precyzję ruchów oraz czas reakcji. Do obliczenia RT zastosowano analizę nagrania z dwóch szybkich kamer rejestrujących uderzenia z częstotliwością 2500 Hz. We wspomnianych badaniach wykazano, że kobiety reagowały wolniej niż mężczyźni objęci badaniem, jednak były one bardziej precyzyjne. Metody oceny RT, bazujące na analizie video uderzeń wykonywanych w odpowiedzi na pojawiające się sytuacje podczas walki sportowej zastosowano również w przypadku zawodników karate (Mudric i in., 2015). Sportowcy mieli za zadanie odpowiedzieć akcją defensywną (Nagashi uke i Gedan barai) na wykonaną akcję ofensywną (Mae-ashi mawashi geri i Gjaku zuki). Na tej podstawie oceniano ich SRT oraz CRT. Wykazano, że w obu badanych parametrach, szybszą reakcją wykazali się zawodnicy profesjonalni w porównaniu do amatorów. Zaletą analizy video jest niewątpliwie możliwość dokładnej i wielokrotnej oceny różnorodnych sytuacji i odpowiedzi zawodników na znane i nieznane bodźce występujące w walce sportowej. Niestety technologia zastosowana w wyżej wymienionych badaniach, czyli system analizy 3D składający się z trzech kamer na podczerwień, odblaskowych znaczników ruchu oraz specjalnego oprogramowania (National

Instruments LabVIEW 2012, Austin, TX, USA), jest kosztowna i skomplikowana w obsłudze. Wyżej wspomniane badania są możliwe do przeprowadzenia wyłącznie w specjalistycznych laboratoryjnych warunkach przez wykwalifikowaną osobę. W ostatnich latach, na rynku pojawiły się systemy służące do doskonalenia zdolności kognitywnych takie jak: FitLight Trainer™ (FitLight Corp, Ontario, Canada) czy BlazePod (Play Coyotta Ltd, Tel Aviv, Israel). Wymienione systemy wykorzystują programowalne lampki treningowe z czujnikami ruchu, które pozwalają na wykonanie pomiarów szybkości reakcji. Są bardzo proste w obsłudze i posiadają intuicyjny interfejs. Badania Myers (2022), wykonane metodą testu powtórnego (test-retest), wykazały dobrą rzetelność systemu Fit Light (ICC=0,89), co wskazuje, że może być on użytecznym narzędziem do oceny SRT oraz CRT. Podobne rezultaty uzyskano w badaniach dotyczących rzetelności systemu BlazePod w których uzyskano ICC na poziomie 0,82 (de-Oliveira i in., 2021). Hoffman (2020) wykazał rzetelność pomiarową w przeprowadzonych przez niego trzech zadaniach zwinnościowych na poziomie 0,833 do 0,884. Uzyskane wyniki sugerują, że trenerzy mogą wykorzystywać technologię BlazePod do monitorowania zmian w osiągniętych wynikach szybkości reakcji podczas treningu kognitywnego i do oceny efektów interwencji treningowej.

#### **1.4. Kształtowanie szybkości reakcji**

Istnieją różne narzędzia i metody do kształtowania szybkości reakcji. Jedną ze specjalistycznych metod jest trening neurofeedbacku (ang. neurofeedback training, NFB), który opiera się na sprzężeniu zwrotnym. Oznacza to, że zmiany w mózgu są monitorowane w czasie rzeczywistym i mogą być kontrolowane i modyfikowane poprzez trening z wykorzystaniem specjalistycznej aplikacji (L. Thompson & Thompson, 1998). Maszczyk i in. (2020) przy wykorzystaniu tej metody wykazali poprawę czasu reakcji u zawodników judo. Uzyskane rezultaty można przypisać temu, że zawodnicy nauczyli się kontrolować aktywność fal mózgowych podczas treningu NFB, co pozytywnie wpłynęło na koncentrację i szybkość reakcji prostej w testach komputerowych. Wyniki innych badań potwierdziły, że omawiana metoda może być z powodzeniem stosowana w procesie treningowym sportowców z różnych dyscyplin (de Brito i in., 2022). Niewątpliwie wadą NFB jest konieczność posiadania specjalistycznego i drogiego sprzętu oraz konieczność analizy wyników przez wykwalifikowanego specjalistę z zakresu neurologii.

Do kształtowania szybkości reakcji można z powodzeniem stosować darmowe aplikacje internetowe. Simpson i in. (2012) w swoich badaniach zastosowali program treningowy składający się z 12 ćwiczeń oceniających między innymi czas reakcji prostej, czas reakcji wyboru trzech możliwości, krótkotrwałą pamięć słów czy zadania arytmetyczne. Program dostępny był na stronie internetowej ([www.mybraintrainer.com](http://www.mybraintrainer.com)), niestety obecnie jest on niedostępny dla użytkowników. Uczestnicy przez 21 dni, wykonywali różne zadania, które trwały do 20 minut w jednej sesji. Wraz z poprawą czasu reakcji i dokładności w wykonywaniu zadań, program automatycznie dostosowywał poziom trudności ćwiczeń do możliwości badanych w czterostopniowej skali. Na podstawie uzyskanych wyników autorzy stwierdzili istotną poprawę zarówno SRT jak i CRT.

Podczas rywalizacji sportowej, istotniejsza wydaje się być szybkość odpowiedzi motorycznej charakterystyczna dla danej dyscypliny sportu. Do jej kształtowania można wykorzystać zestaw lampek treningowych typu FitLight. Z przeglądu literatury, dotyczącej zastosowania tego systemu w sporcie wynika, że jest on stosowany nie tylko jako narzędzie pomiarowe, ale również treningowe (Katanić i in., 2020). Florkiewicz i in. (2015) wykazali, że sześciotygodniowy program szkoleniowy z wykorzystaniem wspomnianej technologii poprawił zdolności percepcyjne piłkarzy ręcznych. Autorzy zaobserwowali istotne polepszenie CRT, który oceniali z wykorzystaniem Wiedeńskiego Systemu Testowego. Ponadto stwierdzili u badanych znamienne poprawę koordynacji oko-ręka oraz progres w teście orientacji przestrzennej, ocenianej z wykorzystaniem zestawu FitLight, natomiast nie odnotowali zmian w zakresie SRT. Podobne spostrzeżenia mają inni autorzy, którzy sugerują, że w związku z genetycznymi uwarunkowaniami koordynacyjnych zdolności motorycznych, ewentualna poprawa SRT jest ograniczona (Lotério Barcelos i in., 2009)

Z praktycznego punktu widzenia wydaje się, że właściwym sposobem kształtowania koordynacyjnych zdolności motorycznych u sportowców jest stworzenie programów treningowych, które są oparte na wzorcach ruchowych typowych dla konkretnej dyscypliny sportu i realizowanych w warunkach zbliżonych do tych, jakie występują podczas rywalizacji. Balkó i in. (2016) badali wpływ treningu na szybkość reakcji. W tym celu sportowcy wykonywali wielokrotny atak szpadą w pojawiający się cel świetlny. Autorzy wykazali, że dziewięcioletniowa interwencja treningowa (całkowity czas trwania wynosił 350 minut), oparta na powtarzaniu specyficznego dla szermierzy wzorca ruchu przyczynia się do istotnej poprawy tej zdolności motorycznej.

## **1.5. Immersyjna wirtualna rzeczywistość i jej zastosowanie w sporcie**

Immersyjna wirtualna rzeczywistość to sztucznie stworzone środowisko przy wykorzystaniu technologii informatycznej, w którym człowiek zostaje odcięty od bodźców wzrokowych i dźwiękowych rzeczywistego środowiska (ang. real live, RL). W zamian odbiera obraz i dźwięk, a nawet wrażenia dotykowe symulowanego świata (Carvalho i in., 2016; Solcà i in., 2018). W porównaniu do nieimmersyjnej VR, ta wysoko zaawansowana technika zwiększa poziom interakcji pomiędzy środowiskiem wirtualnym a jej użytkownikiem, zapewniając bardziej realistyczne projektowanie otoczenia i śledzenia obiektów (Lohre i in., 2020; Yao & Kim, 2019). Ta nowoczesna technologia znajduje coraz szersze zastosowanie w różnych dziedzinach życia, takich jak: przemysł (Ma i in., 2011), medycyna i ochrona zdrowia (Buettner i in., 2020; Mazurek i in., 2019; Pillai & Mathew, 2019; Samadbeik i in., 2018) czy edukacja (Hamilton i in., 2021; Radiani i in., 2020). Potencjał tej technologii zaczyna być także 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), treningu funkcji poznawczych (Bauer & Andringa, 2020; Wojciechowski i in., 2021), a także różnych zastosowań w sporcie (Akbaş i in., 2019; Bideau i in., 2010). Jak dowodzą przeprowadzone w okresie kilku ostatnich lat badania, w wirtualnym środowisku można uprawiać ćwiczenia poprawiające sprawność fizyczną (Qian i in., 2020; Todorov i in., 2019). Jest to możliwe dzięki odpowiednim aplikacjom i aktywnym grom wideo (ang. active video games, AVGs). Niektóre z nich mogą współpracować z trenażerami, takimi jak: wielokierunkowe bieżnie, cykloergometry, symulatory wiosłowania. Wykazano, że ruchy lokomocyjne sprzyjają zwiększeniu intensywności wysiłku fizycznego, zwiększają immersję i są pozytywnie oceniane przez użytkowników (Bird i in., 2021; Dębska i in., 2019; McClure & Schofield, 2019; Polechoński i in., 2020; Shoib i in., 2020; Zeng i in., 2021). Zaobserwowano też, że wysiłek fizyczny z wykorzystaniem trenażerów w VR może być bardziej intensywny niż podobna aktywność fizyczna podczas konwencjonalnych sesji treningowych (McClure & Schofield, 2019). Ta innowacyjna technologia zwiększa pozytywne doznania ćwiczących oraz powoduje większe zaangażowanie emocjonalne zawodników. Neumann i in. (2018), po przeglądzie badań dotyczących zastosowania interaktywnej rzeczywistości wirtualnej w sporcie, wskazuje wiele zalet tej technologii. Wśród nich wymienia: możliwość trenowania niezależnie od warunków pogodowych, możliwość konkurowania z innymi zawodnikami będącymi w różnych

lokalizacjach geograficznych czy precyzyjną i powtarzalną kontrolę nad funkcjami środowiska wirtualnego. Wydaje się, że ta nowoczesna technologia może być przydatna do tworzenia precyzyjnych i obiektywnych narzędzi do diagnozowania możliwości wysiłkowych i potencjału motorycznego zawodników. VR można dowolnie modelować, a wykorzystywane przez użytkowników urządzenia peryferyjne (gogle, kontrolery, rękawice i kostiumy haptyczne) wyposażone są w wiele nowoczesnych czujników ruchu, które w połączeniu z komputerem i odpowiednim oprogramowaniem umożliwiają analizowanie ruchów ciała człowieka w czasie rzeczywistym. Precyzyjna ocena parametrów ruchu może mieć zastosowanie w trudnej do diagnozowania sferze 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 kilkudziesięciu lat wykorzystuje się technologię komputerową (Holden i in., 2019). Wszystko wskazuje na to, że w porównaniu z typowymi testami komputerowymi VR daje dużo większe możliwości. Pozwala na tworzenie środowiska imitującego realne warunki, w jakich trenuje zawodnik, a testy można wykonywać w różnych pozycjach, a nawet w ruchu. Ponadto jedną z istotnych zalet VR jest możliwość kontrolowania parametrów i sytuacji jakich użytkownicy doświadczają w wirtualnym świecie. W VR nie występują również czynniki zakłócające – użytkownik jest odcięty od bodźców zewnętrznych, które mogłyby działać zakłócająco na przebieg testu.

W ostatnich latach podejmowane były próby zastosowania wirtualnego środowiska do przeprowadzania testów motorycznych, między innymi do oceny czasu reakcji. Jak donoszą Vahle et al. (2021) uczestnicy prowadzonych przez nich badań wykonywali komputerowy test w laboratorium oraz w identycznie odwzorowanym pomieszczeniu w środowisku VR, uzyskując zbliżone wyniki. Świadczy to o możliwości zaimplementowania standardowych testów oceniających kognitywne funkcje człowieka do środowiska VR. Badania w których zaimplementowano do VR popularny test do oceny szybkości reakcji, polegający na chwycie opadającej linijki (Langer i in., 2022), wskazały, że jego rzetelność pomiarowa jest zbliżona do tej, jaką uzyskuje się w klasycznej postaci tego testu. W obu przypadkach wyliczony współczynnik korelacji wewnątrzklasowej (ang. Intraclass Correlation Coefficient, ICC) był wyższy niż 0,7. Podobnie test, polegający na reagowaniu na rozświetlające się wirtualne lampki (dyski) poprzez naciskanie na przyciski kontrolerów, zaimplementowany do VR, dał obiecujące wyniki (Polechoński & Langer, 2022). W związku z tym, iż dzięki technologii VR można tworzyć rzetelne testy reakcji, należy przypuszczać, że możliwe będzie projektowanie

narzędzi do wiarygodnego diagnozowania innych zdolności kognitywnych i motorycznych. Ponadto w VR tworzone są programy i symulatory, które stanowią zupełnie nową formę treningu, niosąc ze sobą niespotykane dotąd możliwości treningowe dla sportowców.

## **1.6. Trening z wykorzystaniem immersyjnej wirtualnej rzeczywistości**

Wraz z rozwojem technologii VR pojawiły się możliwości prowadzenia treningu w środowisku, które można kreować według własnych potrzeb. Atrakcyjność sztucznie wytworzonego świata sprawia, że użytkownicy są zaangażowani i zmotywowani do podejmowania w nim aktywności fizycznej (Dębska i in., 2019; McClure & Schofield, 2019; Polechoński i in., 2020; Sousa i in., 2022; Xu i in., 2020). Badania Mologne i in. (2022) wykazały, że dwunastotygodniowy trening w Black Box VR (Black Box VR, Boise, ID, USA), czyli z wykorzystaniem systemu składającego się z bramy treningowej i aplikacji VR, jest bardziej efektywny niż tradycyjny trening oporowy z użyciem klasycznej bramy. Pod wpływem treningu w VR autorzy zaobserwowali większy wzrost siły mięśniowej i wydolności. Stwierdzili także korzystniejsze zmiany składu ciała osób badanych.

Wirtualna rzeczywistość umożliwia sportowcom powtarzanie sytuacji, które w środowisku rzeczywistym mogą być niebezpieczne dla zdrowia lub mocno obciążające organizm (Wood i in., 2021). Dodatkowo VR jest użytecznym dla kontuzjowanych zawodników, którzy nie mogą fizycznie uczestniczyć w treningu. Stworzenie wirtualnego środowiska treningowego umożliwia sportowcom obcowanie z bodźcami (stresorami) występującymi w procesie treningowym, a nawet podczas rywalizacji sportowej (Gumaa & Rehan Youssef, 2019). Kim i in. (2019) wyrażają przekonanie, że jeśli wirtualne środowisko może powodować różne doznania fizyczne i wywoływać stany emocjonalne u użytkowników zbliżone do odczuwanych w RL, to powinno być również możliwe przeniesienie umiejętności nabytych w VR do świata realnego.

Richlan i in. (2022) dokonując przeglądu literatury dotyczącej interwencji treningowych w wirtualnym środowisku zwrócił uwagę na możliwość transferu specyficznego i niespecyficznego (przez generalizację) efektów treningowych z VR do RL. Przez transfer rozumie się ułatwienie czynności uczenia się, przez uczenie się uprzednie (Czabański, 2000). Zjawisko to dotyczy nie tylko sfery poznawczej, ale i emocjonalnej oraz psychomotorycznej (Galloway, 1988). Według Czabańskiego (2000) transfer specyficzny odnosi się do wspólnych elementów określonych czynności, natomiast niespecyficzny dotyczy przenoszenia się ogólnych zasad postępowania czy metod. Michalski i in. (2019) badali możliwość transferu



specyficznych umiejętności gry w tenisa stołowego z VR do RL. Początkujący zawodnicy z grupy eksperymentalnej odbyli czterotygodniowy trening składający się z siedmiu 30 minutowych sesji w VR (całkowity czas interwencji treningowej wyniósł 3,5 godziny). Na podstawie uzyskanych wyników autorzy stwierdzili istotną poprawę między innymi w dokładności serwowania, wysokości odbitej piłeczki czy techniki odbijania. Ocenę technicznych aspektów wykonywanych w RL dokonał trener z czterdziestoletnim doświadczeniem, będący medalistą na arenie międzynarodowej. Na podstawie tych ustaleń wydaje się, że umiejętności nabyte w VR rzeczywiście można „przenieść” do RL. Należy jednak zwrócić uwagę, że badanie obejmowało początkujących zawodników. Pozostaje więc kwestią otwartą czy trening w VR może być przydatny dla zawodników zaawansowanych.

Badania dotyczące transferu przez generalizację zostały podjęte przez Fortes i in. (2021). Przeprowadzono je w grupie piłkarzy nożnych (średni staż treningowy – 5 lat). Autorzy badali skutki oglądania z perspektywy pierwszej osoby krótkich filmów, przedstawiających dwa różne schematy ofensywne w piłce nożnej, które były emitowane w VR lub na zwykłym ekranie. Po ośmiu tygodniach wykazano istotną poprawę w podejmowaniu decyzji przez zawodników zarówno w grupie eksperymentalnej, jak i kontrolnej. Większą poprawę uzyskano w grupie stosującej technologię VR, co wskazuje na potencjalne korzyści płynące ze wspomaganego treningu w VR na możliwości percepcyjno-poznawcze sportowców. Brakuje jednak badań, które pozwoliłyby odpowiedzieć na pytanie: czy i w jakim stopniu możliwy jest transfer zdolności motorycznych i kognitywnych kształtowanych w VR na motorykę przydatną w rywalizacji sportowej w realnym świecie.

Nie ulega wątpliwości, że AVGs w immersyjnej wirtualnej rzeczywistości posiadają potencjał do wykorzystania w treningu zawodników sportów walki. Badania przeprowadzone z udziałem zawodników MMA (Polechoński i in., 2022) wykazały, że nawet u doświadczonych sportowców intensywność wysiłku fizycznego podczas dziesięciminutowej gry w „BOX VR” kształtowała się na umiarkowanym (korzystnym dla zdrowia) poziomie (%HRmax = 72,8). Dodatkowo zawodnicy ocenili tę formę treningu jako atrakcyjną, a większość z nich (82,6% z 23 badanych) była zdania, że wirtualny boks może stanowić istotny element w ich procesie treningowym.

Pojawiają się pierwsze doniesienia dotyczące efektów treningu w wirtualnej rzeczywistości osób uprawiających sporty walki. Petri i in. (2019) przeprowadzili badanie interwencyjne w celu oceny wpływu doskonalenia w VR wzorców ruchowych występujących w karate na reakcje młodych karateków podczas walki. Zawodnicy z grupy eksperymentalnej, poza standardową procedurą treningową, mieli za zadanie przez okres sześciu tygodni

dodatkowo reagować na ataki wirtualnego przeciwnika. Jednorazowy trening w VR trwał około 10-15 minut, a jego całkowita objętość wyniosła 100-150 minut. Grupa kontrolna wykonywała typowy trening karate. Wykonane techniki analizowano za pomocą analizy video z wykorzystaniem oprogramowania Kinovea (wersja 0.8.15). Wyniki badania wykazały, że odbyte treningi w VR skutecznie poprawiły szybkość reakcji podczas wykonywania technik karate oraz poprawiły decyzję o wyborze odpowiedniej odpowiedzi na atak wirtualnego przeciwnika. Nie wykazano natomiast różnic czasów reakcji w testach wykonanych Wiedeńskim Systemem.

Istnieją również inne badania dotyczące wpływu krótkotrwałej (Szpak i in., 2020) oraz długotrwałej (Rutkowski i in., 2021) interwencji treningowej w wirtualnej rzeczywistości na zdolność szybkiej reakcji. Szpak i in. (2020) wykazali, że dziesięciominutowe oraz czterdziestominutowe korzystanie z komercyjnej gry muzycznej „Beat Saber” (Beat Games, 2019), powoduje nieznaczną poprawę CRT oraz MT. Parametry te po czterdziestu minutach od zakończenia użytkowania VR wracają jednak do wartości sprzed rozpoczęcia gry. Dłuższą interwencję przeprowadzili Rutkowski i in. (2021). Ich badania dowiodły, że korzystanie z aplikacji „Beat Saber” raz dziennie przez 15 minut przez pięć kolejnych dni istotnie poprawiło szybkość reakcji, którą oceniali chwytem pałeczki Ditricha.

Wyniki ww. badań nie dają odpowiedzi na pytania dotyczące wpływu długotrwałego oraz regularnego treningu w VR na motorykę użytkowników. Pozwalają jednak przypuszczać, że ćwiczenia w wirtualnym środowisku mogą przyczynić się do poprawy szybkości reakcji zawodników uprawiających sztuki walki. Teza ta wymaga jednak empirycznego potwierdzenia szczególnie w odniesieniu do grupy zaawansowanych zawodników, którzy charakteryzują się wysokim poziomem zdolności koordynacyjnych. Sprawdzenia wymaga też długość interwencji, pozwalającej na uzyskanie istotnych efektów treningowych. Brak doniesień na ten temat oraz innowacyjność technologii VR i jej potencjał, skłaniają do podejmowania badań własnych, których cele zostały szczegółowo opisane w kolejnym rozdziale.

## 2. 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.

### **3. Uczestnicy badań i metody badawcze**

#### **3.1. Charakterystyka uczestników badań**

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. Pomiar antropometryczny wykonano na początku badań wstępnych. Wszyscy zawodnicy mierzeni byli bosy oraz w stroju sportowym. Pomiar masy ciała (kg) przeprowadzono na elektrycznej wadze Lookin' Body 110 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 <sub>E</sub> (n=18)		G <sub>K</sub> (n=18)		d	p
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD		
Wiek [lat]	32,556	5,943	29,222	3,655	3,333	0,051 <sup>t</sup>
Masa ciała [kg]	80,328	12,165	79,828	10,487	0,500	0,825 <sup>U</sup>
Wysokość ciała [cm]	178,317	8,012	176,378	8,384	1,939	0,537 <sup>U</sup>
Staż treningowy [lat]	5,667	2,114	5,444	2,617	0,222	0,335 <sup>U</sup>

Legenda: G<sub>E</sub> - grupa eksperymentalna, G<sub>K</sub> - 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, <sup>t</sup> - wartość p z testu t-studenta; <sup>U</sup> - wartość p z testu U Manna-Whitneya

### 3.2. 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.

### **3.2.1. 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 wyliczono 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.

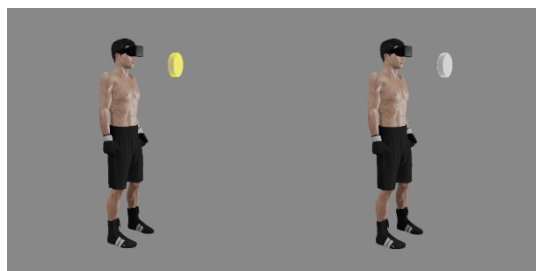
### 3.2.2. Testy szybkości reakcji przeprowadzane w wirtualnej rzeczywistości

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.

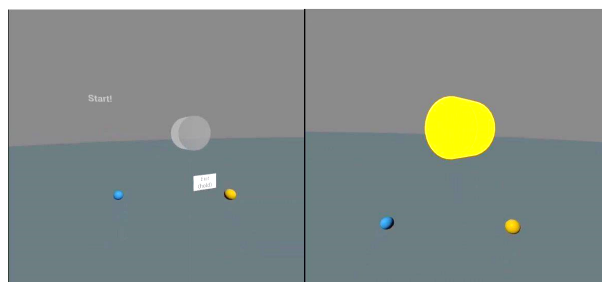


Ryc. 1. Uczestnik badań podczas wykonywania jednego z testów szybkości reakcji w VR z wykorzystaniem zestawu Oculus Quest 2

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 i 3). 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. 4 i 5). 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 CRT podawane były również błędne decyzje badanego.

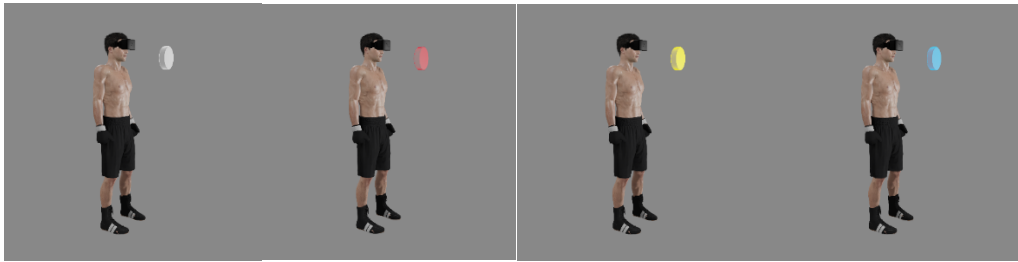


Ryc. 2. Wizualizacja testu „Klasyczny test w VR – reakcja prosta PR”

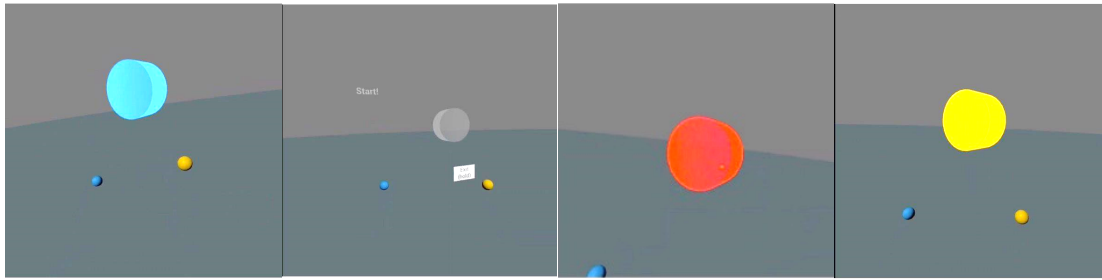


Ryc. 3. Widok testu „Klasyczny test w VR – reakcja prosta” z perspektywy użytkownika





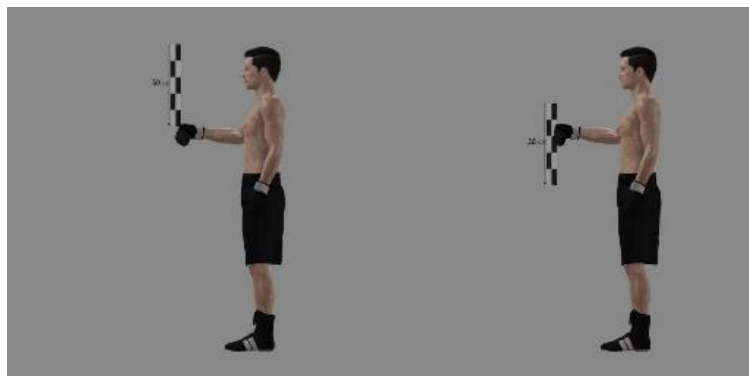
Ryc. 4. Wizualizacja testu „Klasyczny test w VR – reakcja złożona”



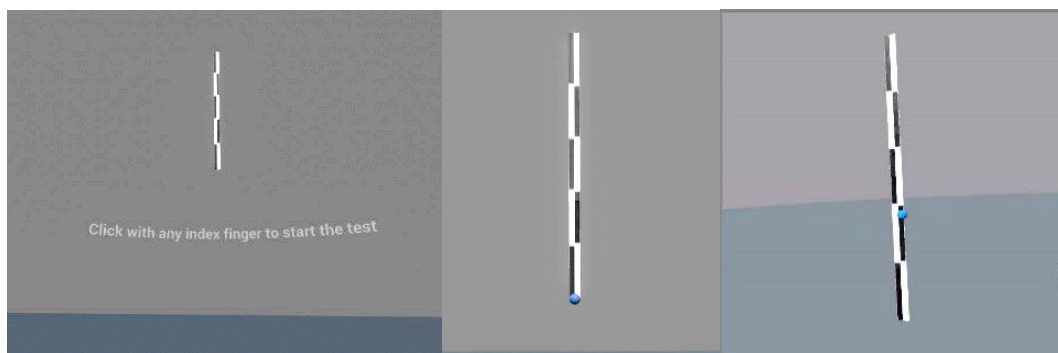
Ryc. 5. Widok testu „Klasyczny test w VR – reakcja złożona” z perspektywy użytkownika

Szczegółowy opis ww. „klasycznych” testów czasu i 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 linijki – 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 (trigger). Badany miał za zadanie wcisnąć przycisk, gdy wirtualna linijka zaczynała opadać w dół, aby ją zatrzymać (ryc. 6 i 7). Linijka przemieszała się w dół z przyspieszeniem równym przyspieszeniu grawitacyjnemu ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ).



Ryc. 6. Wizualizacja testu „Chwyć opadającą linijki w VR – reakcja prosta PR”



Ryc. 7. Widok testu „Chwył opadającej linijki w VR – reakcja prosta PR” z perspektywy użytkownika

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.

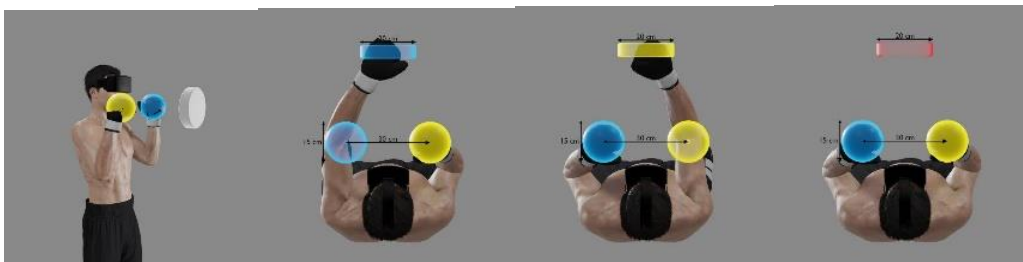
Ostatnimi przeprowadzonymi testami w wirtualnej rzeczywistości były „Wyprost kończyny górnej w VR - reakcja prosta” oraz „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja złożona”. Zadaniem badanych było reagowanie na rozświetlenie się wirtualnego dysku (średnica 20 cm), który znajdował się przed nimi w odległości 30 cm. Reakcją badanego było wykonanie dynamicznego wyprost ramienia i przecięcie powierzchni dysku powodując jego rozbitcie (ryc. 8 i 9). 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. 10 i 11). Obliczana była szybkość reakcji oraz obie jej składowe (RT i MT). Czas reakcji liczony był od momentu rozświetlenia się dysku do momentu przecięcia ręką powierzchni kuli, 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 CRT podawane były również błędne decyzje badanego.



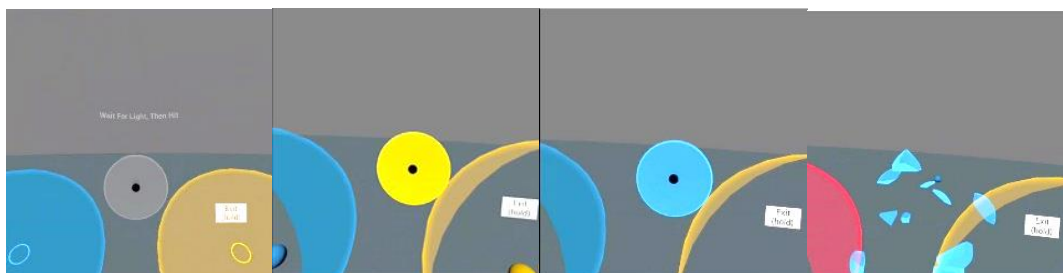
Ryc. 8. Wizualizacja testu „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja prosta PR”



Ryc. 9. Widok testu „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja prosta PR” z perspektywy użytkownika



Ryc. 10. Wizualizacja testu „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja złożona”



Ryc. 11. Widok testu „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja złożona” z perspektywy użytkownika

Rzetelność testów szybkości reakcji opartych na wyprostie 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).

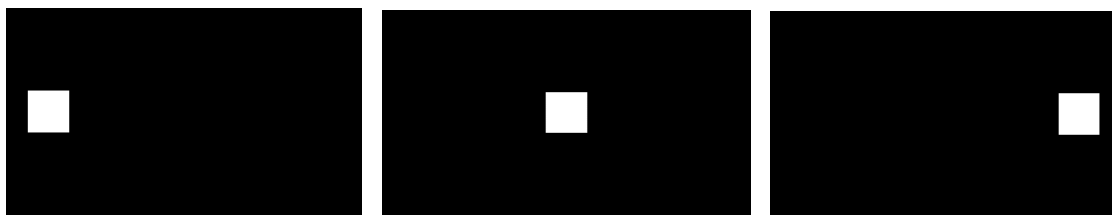
### **3.2.3. Testy szybkości reakcji przeprowadzane w środowisku rzeczywistym**

Do przeprowadzenia badań szybkości reakcji w 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.12). 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. 13). Wynikiem był czas reakcji mierzony od momentu pojawienia się kwadratu na ekranie monitora do momentu naciśnięcia odpowiedniego przycisku na klawiaturze połączonej przewodem z komputerem. Opisany 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).



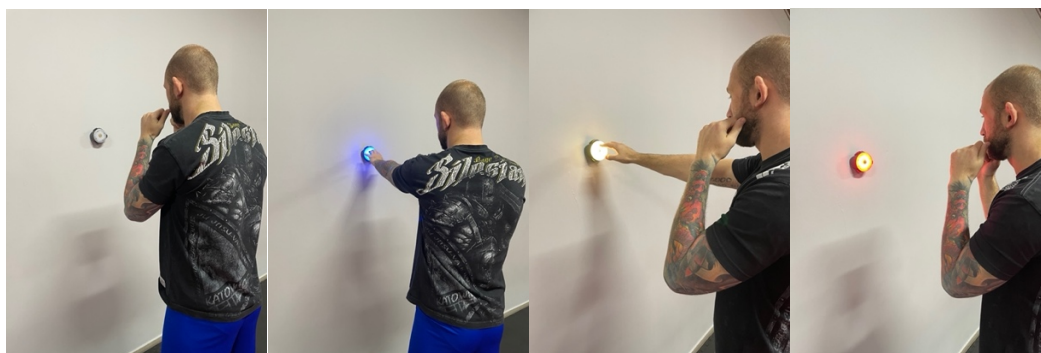
Ryc. 12. Klasyczny test komputerowy wykonywany przez osobę badaną



Ryc. 13. 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. 14). 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 wyproście 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. 14. Zawodnik MMA wykonujący test „Wyprost kończyny górnej (Błazepod) – 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. 15). 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, Kutcher, i in., 2011b).



Ryc. 15. Zawodnik MMA wykonujący test „Chwyt opadającej linijki – reakcja prosta LR”

### 3.2.4. Trening w wirtualnej rzeczywistości

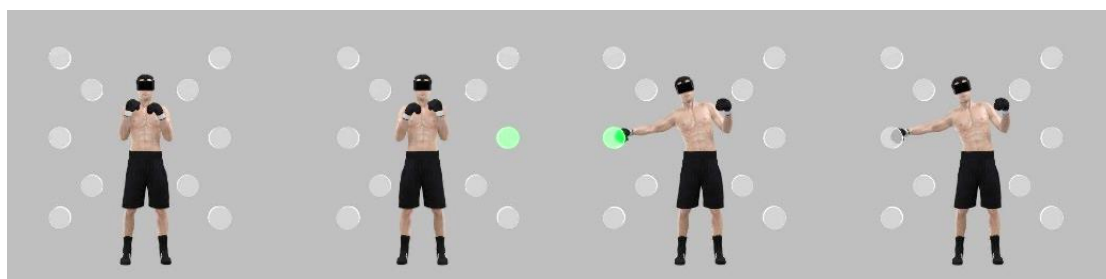
Zawodnicy z grupy eksperymentalnej uczestniczyli w dwóch jednostkach treningowych w VR w tygodniu, które trwały po 30 minut każda. Trening polegał na uprawianiu aktywności fizycznej z wykorzystaniem siedmiu zaimplementowanych do VR aplikacji treningowych. Ćwiczenia w poszczególnych aplikacjach trwały trzy minuty, po czym następowała jednogminutowa 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 Raczkę 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 Raczkę

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:

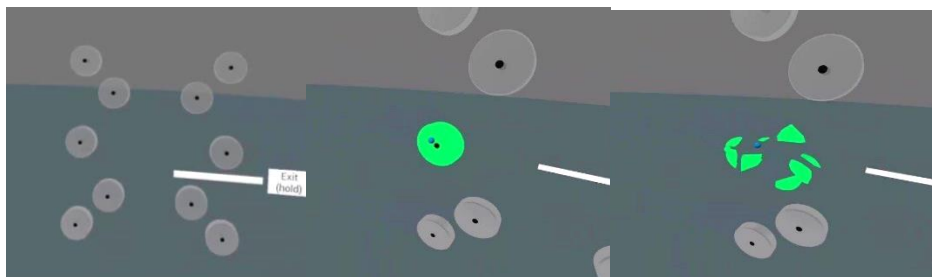
### **Gaszenie lampek (dysków) rozmieszczonych na współśrodkowych kwadratach – trening szybkości reakcji**

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 rozświecić. 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 (ryc. 16). Zadaniem ćwiczącego jest gaszenie rozświetlonych dysków (ryc. 17). Zawodnik może gasić je jedną wybraną przez siebie ręką bądź obiema. Dodatkowo wyświetlał się kolor rozpraszaający, 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. 16. Wizualizacja treningu „Gaszenie lampek (dysków) rozmieszczonych na współśrodkowych kwadratach” w VR

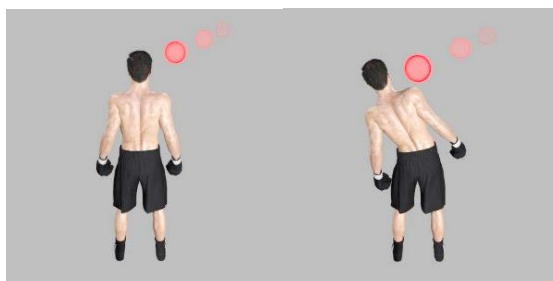




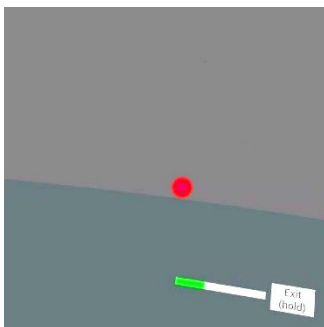
Ryc. 17. Widok programu treningowego „Gaszenie lampek (dysków) rozmieszczonych na współśrodkowych kwadratach” w VR z perspektywy użytkownika

### 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.18). Piłeczka jest koloru czerwonego, aby była widoczna dla użytkownika (ryc. 19). Dozwolona jest swobodna postawa stojąca 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.



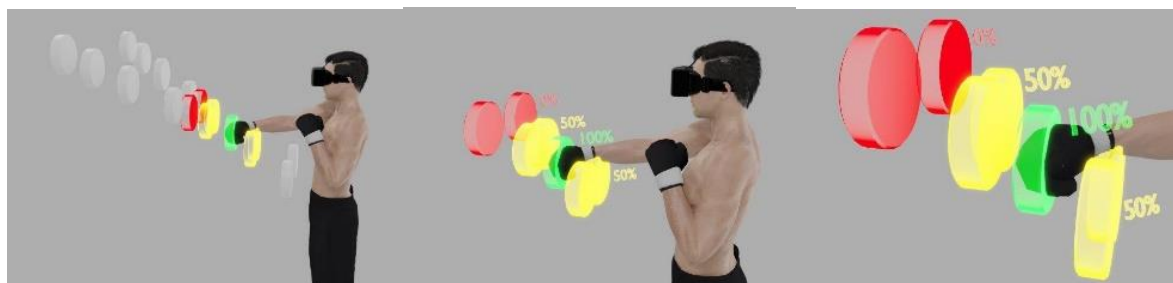
Ryc. 18. Wizualizacja treningu „Unikanie nadlatujących piłeczek – trening szybkości reakcji” w VR



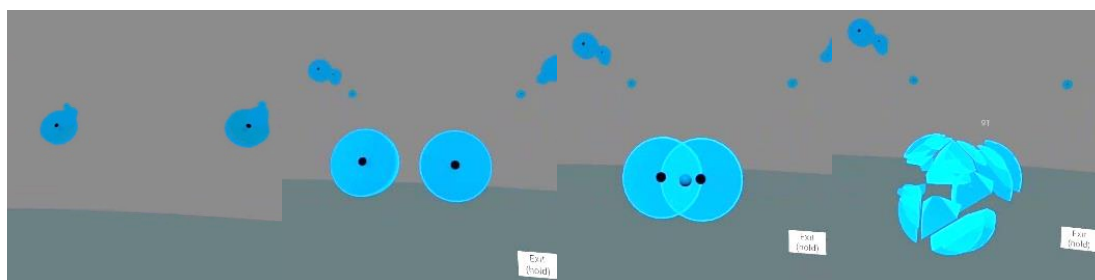
Ryc. 19. Widok programu treningowego „Unikanie nadlatujących piłeczek – trening szybkości reakcji” w VR z perspektywy użytkownika

### **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. 20 i 21). 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. 20. Wizualizacja treningu „Celowanie w pokrywające się dyski – trening zdolności orientacji czasowo-przestrzennej” w VR

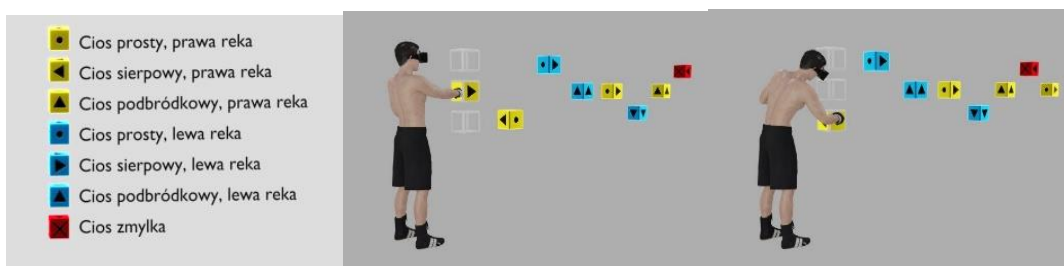


Ryc. 21. Widok programu treningowego „Celowanie w pokrywające się dyski – trening zdolności orientacji czasowo-przestrzennej” w VR z perspektywy użytkownika

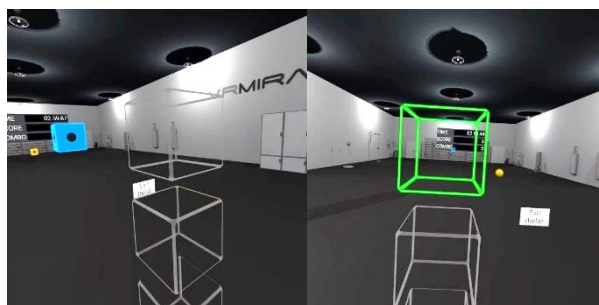
### **Rytmiczne uderzanie w figury – trening zdolności rytmizacji**

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 uderzenie w sześciany w momencie, gdy poruszająca się figura dociera do „metry”, 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. 22 i 23). Oceniane jest każde uderzenie, a wynik końcowy stanowi średnia procentowa zgodności czasu zadanych ciosów z czasem pełnego pokrycia się figur.



Ryc. 22. Wizualizacja treningu „Rytmiczne uderzanie w figury – trening zdolności rytmizacji” w VR



Ryc. 23. Widok programu treningowego „Rytmiczne uderzanie w figury – trening zdolności rytmizacji” w VR z perspektywy użytkownika

### **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. 24). 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. Uderzenia mogą być wykonywane jednorącz lub naprzemianstronnie oburącz. 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

(jest zbyt duża lub zbyt mała), 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. Im mniejsza wartość różnicy, tym większa zdolność różnicowania prędkości uderzeń.



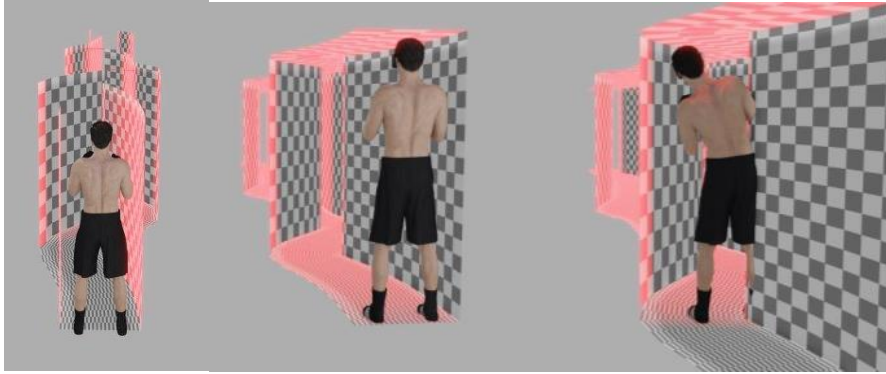
Ryc. 24. Wizualizacja treningu „Dopasowanie rozmiarów dysku do okręgu poprzez uderzanie z odpowiednią prędkością – trening zdolności różnicowania (różnicowanie prędkości ruchów kończyn górnych)” w VR



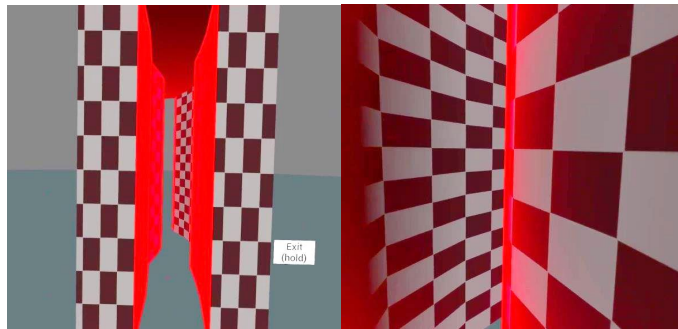
Ryc. 25. Widok programu treningowego „Dopasowanie rozmiarów dysku do okręgu poprzez uderzanie z odpowiednią prędkością – trening zdolności różnicowania (różnicowanie prędkości ruchów kończyn górnych)” w VR z perspektywy użytkownika

### **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. 26 i 27). 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.



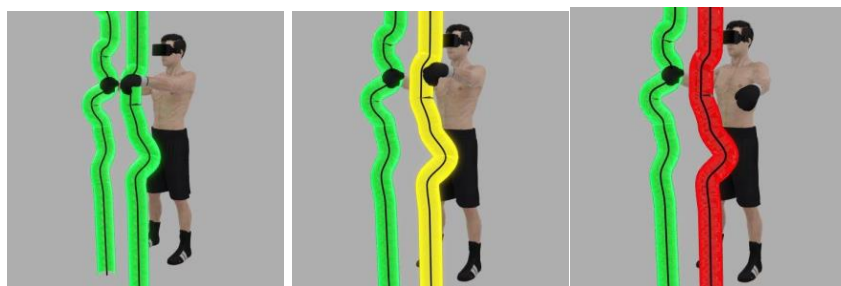
Ryc. 26. Wizualizacja treningu „Dostosowanie pozycji do zmieniającego się tunelu – trening zdolności dostosowania motorycznego” w VR



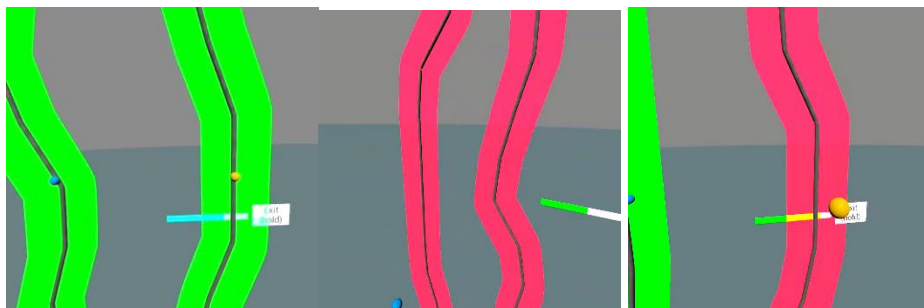
Ryc. 27. Widok programu treningowego „Dostosowanie pozycji do zmieniającego się tunelu – trening zdolności dostosowania motorycznego” w VR z perspektywy użytkownika

### **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. 28 i 29). 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. 28. Wizualizacja treningu „Utrzymywanie rąk wewnątrz przemieszczających się linii – trening zdolności łączenia ruchów” w VR



Ryc. 29. Widok programu treningowego „Utrzymywanie rąk wewnątrz przemieszczających się linii – trening zdolności łączenia ruchów” w VR z perspektywy użytkownika

### 3.3. Metody i narzędzia 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.

## 4. Wyniki

### 4.1. 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 <sub>E</sub> (n=18)		G <sub>K</sub> (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 <sup>t</sup>
Klasyczny test w VR reakcja prosta LR [ms]	317,889	35,518	316,333	29,011	1,556	0,886 <sup>t</sup>
Klasyczny test w VR reakcja złożona [ms]	518,167	58,263	496,611	50,606	21,556	0,244 <sup>t</sup>
Chwyt opadającej linijki w VR reakcja prosta PR [ms]	290,833	16,954	288,778	13,220	2,056	0,688 <sup>t</sup>
Chwyt opadającej linijki w VR reakcja prosta LR [ms]	289,889	25,177	289,000	14,836	0,889	0,898 <sup>t</sup>
Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta PR (szybkość reakcji) [ms]	487,278	78,964	464,389	52,193	22,889	0,602 <sup>U</sup>
Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta PR (czas reakcji) [ms]	418,444	69,539	398,611	50,245	19,833	0,467 <sup>U</sup>
Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta PR (czas ruchu) [ms]	65,889	22,175	62,056	15,326	3,833	0,550 <sup>t</sup>
Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta LR (szybkość reakcji) [ms]	461,111	77,333	421,444	37,210	39,667	0,069 <sup>U</sup>
Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta LR (czas reakcji) [ms]	396,833	71,233	366,333	37,764	30,500	0,133 <sup>U</sup>
Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta LR (czas ruchu) [ms]	63,333	18,759	57,111	14,708	6,222	0,351 <sup>U</sup>



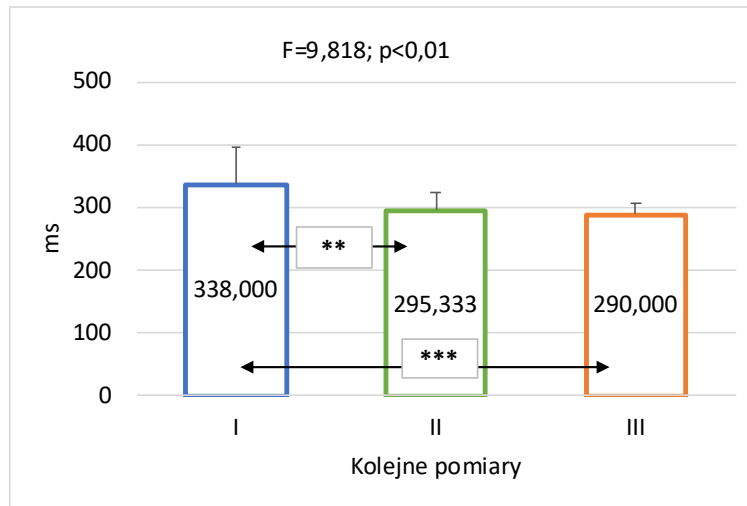
Wyprost kończyny górnej w VR reakcja złożona (szybkość reakcji) [ms]	601,167	117,854	568,944	57,683	32,223	0,788 <sup>U</sup>
Wyprost kończyny górnej w VR reakcja złożona (czas reakcji) [ms]	549,833	117,926	524,000	47,342	25,833	0,398 <sup>t</sup>
Wyprost kończyny górnej w VR reakcja złożona (czas ruchu)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

Legenda: G<sub>E</sub> - grupa eksperymentalna, G<sub>K</sub> - grupa kontrolna, n - liczba badanych,  $\bar{x}$  - średnia arytmetyczna; SD - odchylenie standardowe; d - różnica średnich arytmetycznych; p - poziom istotności statystycznej; <sup>t</sup> - wartość p z testu t-studenta; <sup>U</sup> - wartość p z testu U Manna-Whitneya

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

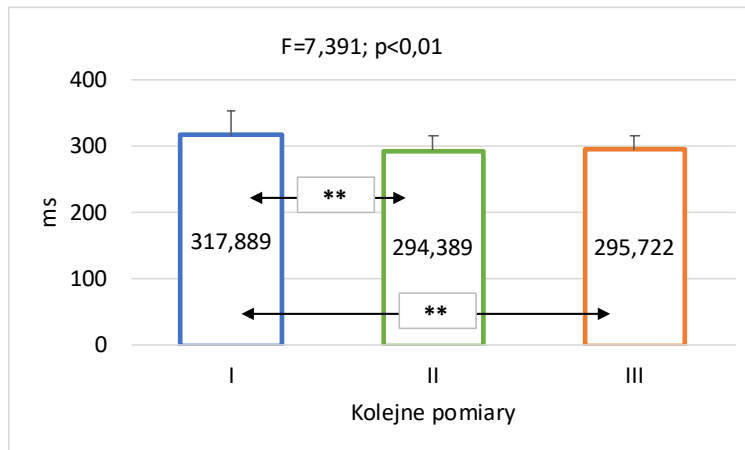
### 4.2.1. Testy wykonywane w immersyjnej wirtualnej rzeczywistości

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 w VR klasycznych testów (ryc. 30, ryc. 31, ryc. 32).



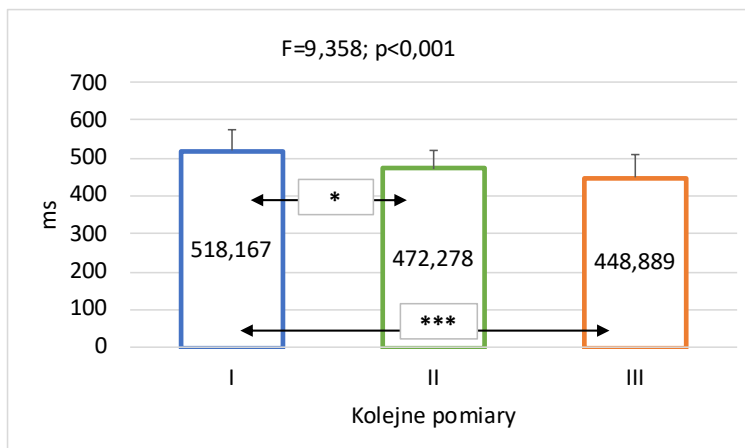
Legenda: \*– p<0,05; \*\*– p<0,01; \*\*\*– p<0,001; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 30. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej prawej ręki ocenianej klasycznym testem w VR



Legenda: \*– p<0,05; \*\*– p<0,01; \*\*\*– p<0,001; słupki błędów oznaczają SD

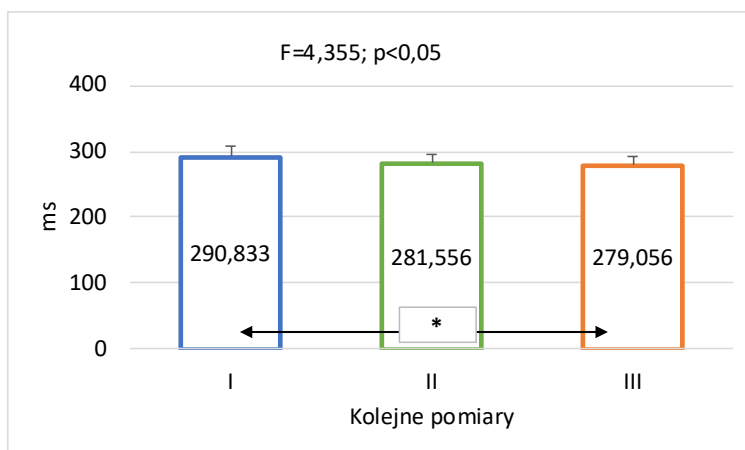
Ryc. 31. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej lewej ręki ocenianej klasycznym testem w VR



Legenda: \*– p<0,05; \*\*– p<0,01; \*\*\*– p<0,001; słupki błędów oznaczają SD

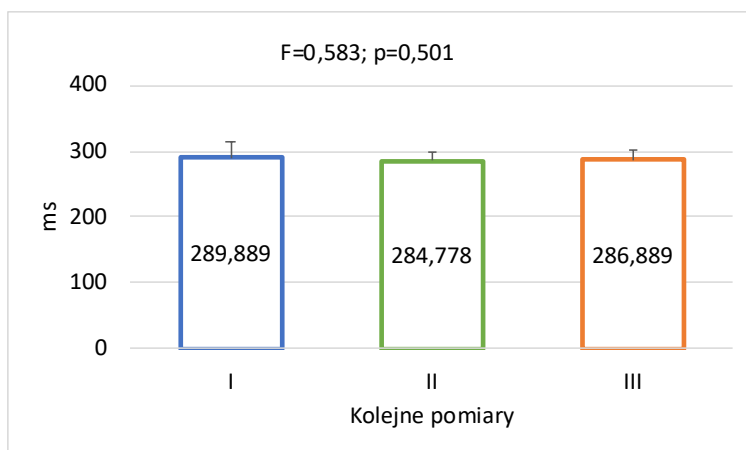
Ryc. 32. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji złożonej ocenianej klasycznym testem w VR

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. 33). 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. 34).



Legenda: \*–  $p < 0,05$ ; \*\*–  $p < 0,01$ ; \*\*\*–  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 33. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej prawej ręki ocenianej chwytem opadającej linijki w VR

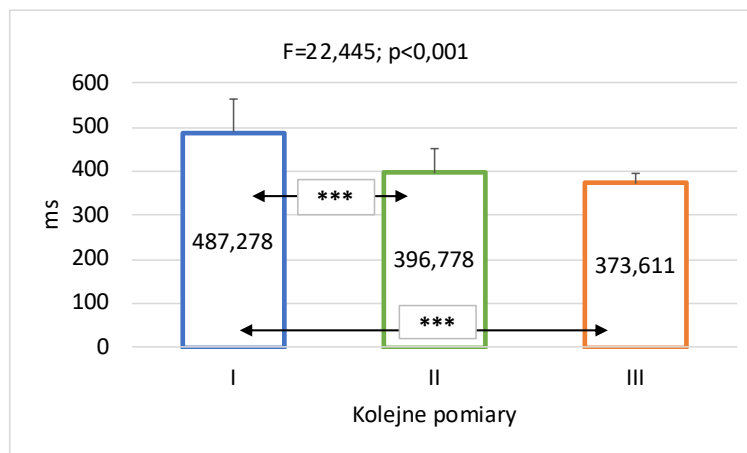


Legenda: \*–  $p < 0,05$ ; \*\*–  $p < 0,01$ ; \*\*\*–  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 34. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej lewej ręki ocenianej chwytem opadającej linijki w VR

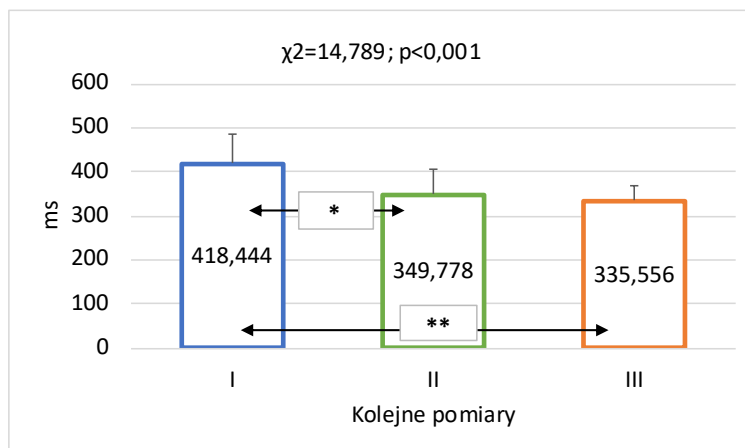
Z przeprowadzonych analiz wariancji wynika, że trening w VR wpłynął istotnie na szybkość reakcji prawej ręki i jej składowe oceniane testem „Wyprostuj kończyny górnej w VR – reakcja prosta PR”. Szczegółowe analizy post-hoc wskazują na znamienne statystyczną

poprawę wyników po czterech i ośmiu tygodniach wykonywania treningu w VR w przypadku wszystkich ww. parametrów (ryc. 35, 36, 37).



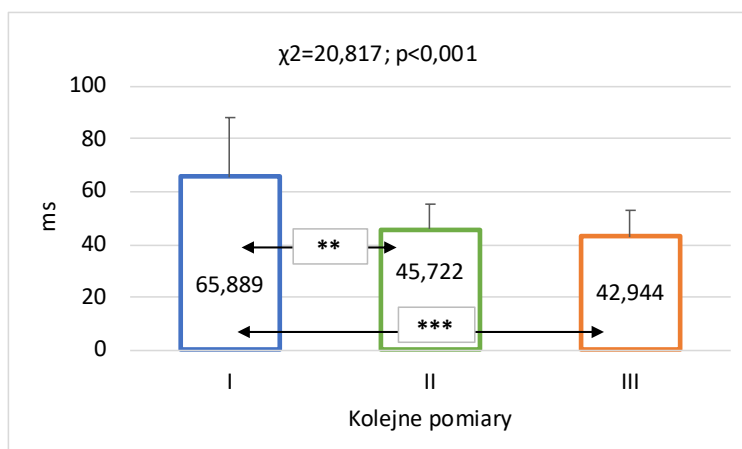
Legenda: \* –  $p<0,05$ ; \*\* –  $p<0,01$ ; \*\*\* –  $p<0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 35. Wpływ treningu w VR na szybkości reakcji prostej prawej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR



Legenda: \* –  $p<0,05$ ; \*\* –  $p<0,01$ ; \*\*\* –  $p<0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

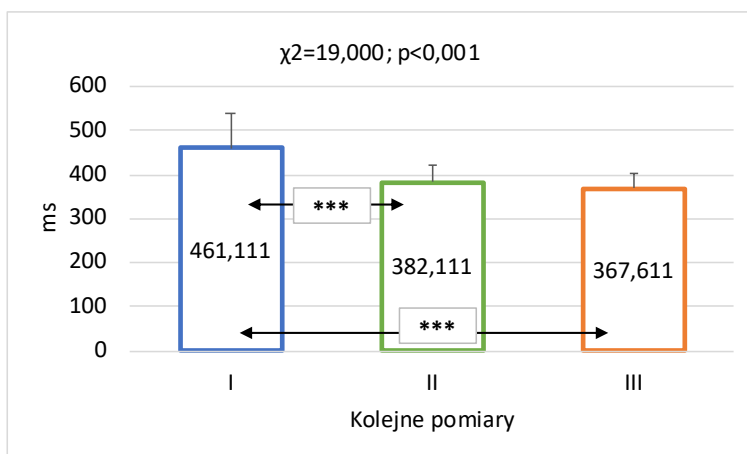
Ryc. 36. Wpływ treningu w VR na czas reakcji prostej prawej ręki oceniany wyprostem kończyny górnej w VR



Legenda: \* –  $p<0,05$ ; \*\* –  $p<0,01$ ; \*\*\* –  $p<0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

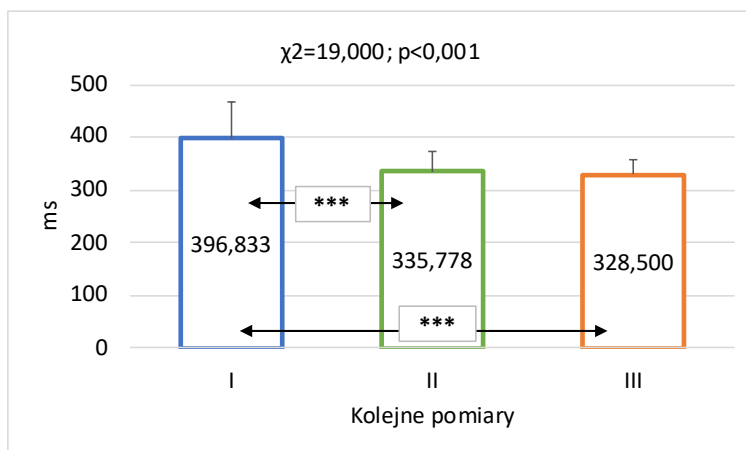
Ryc. 37. Wpływ treningu w VR na czas ruchu prawej ręki ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR – reakcja prosta

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. 38, 39, 40). Dodatkowo zauważono istotnie statystyczną poprawę wyników po czterech tygodniach treningu koordynacyjnego w VR na szybkość reakcji oraz czasie reakcji prostej lewej ręki.



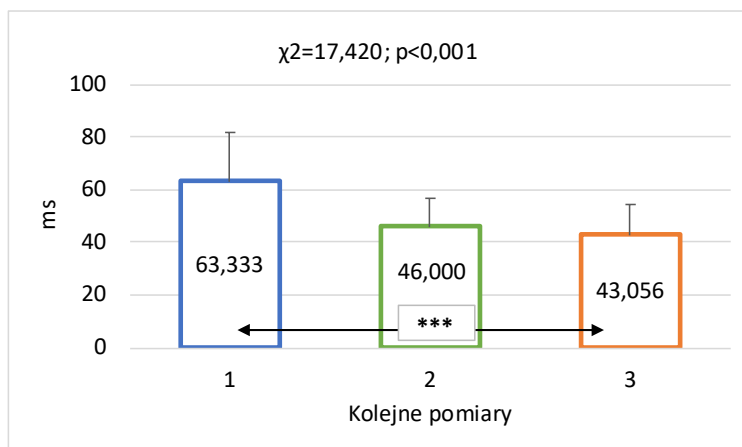
Legenda: \* –  $p<0,05$ ; \*\* –  $p<0,01$ ; \*\*\* –  $p<0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 38. Wpływ treningu w VR na szybkości reakcji prostej lewej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR



Legenda: \* –  $p<0,05$ ; \*\* –  $p<0,01$ ; \*\*\* –  $p<0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

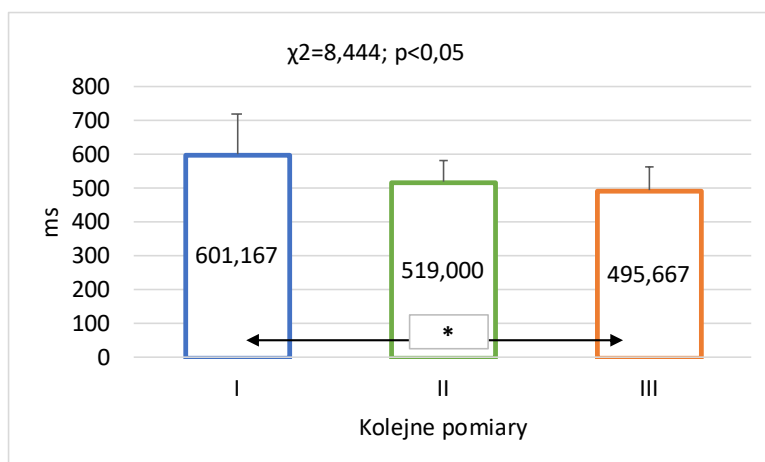
Ryc. 39. Wpływ treningu w VR na czas reakcji prostej lewej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR



Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

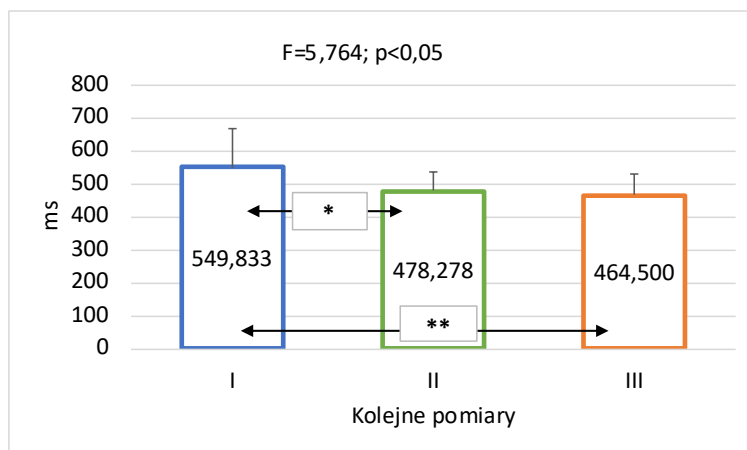
Ryc. 40. Wpływ treningu w VR na czas ruchu lewej ręki ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR – reakcja prosta

W przypadku szybkości reakcji złożonej i jej składowych (ryc. 41, 42, 43), analiza statystyczna wykazała istotną poprawę wszystkich parametrów po ośmiu tygodniach trwania interwencji treningowej. W przypadku czasu reakcji dodatkowo zauważono poprawę wyników po czterech tygodniach.



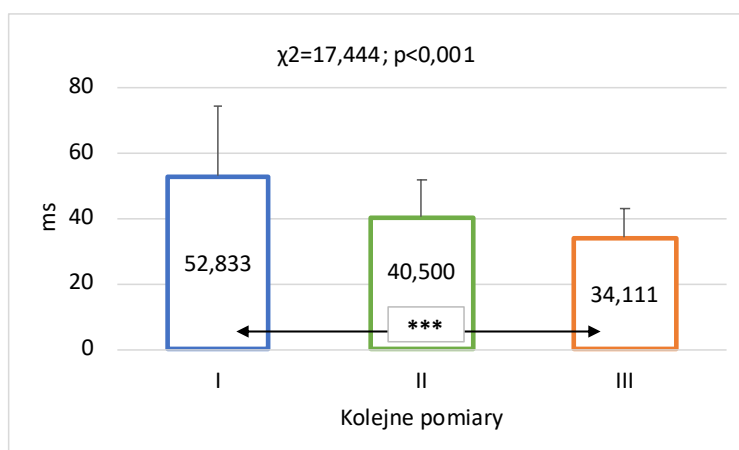
Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 41. Wpływ treningu w VR na szybkości reakcji złożonej ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR



Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 42. Wpływ treningu w VR na czas reakcji złożonej ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR

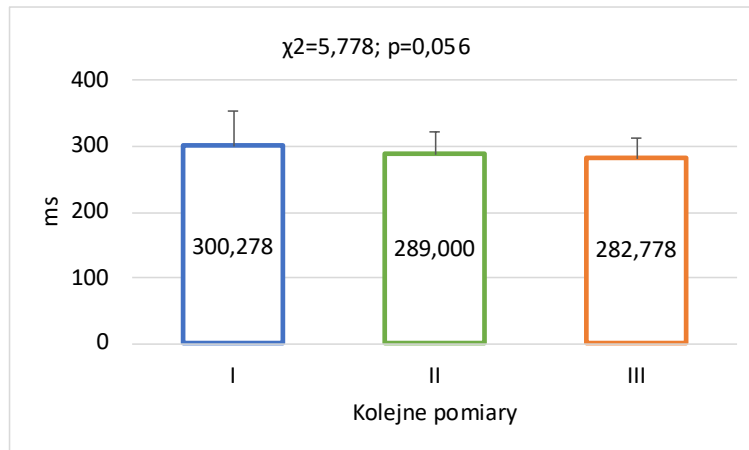


Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 43. Wpływ treningu w VR na czas ruchu ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR – reakcja złożona

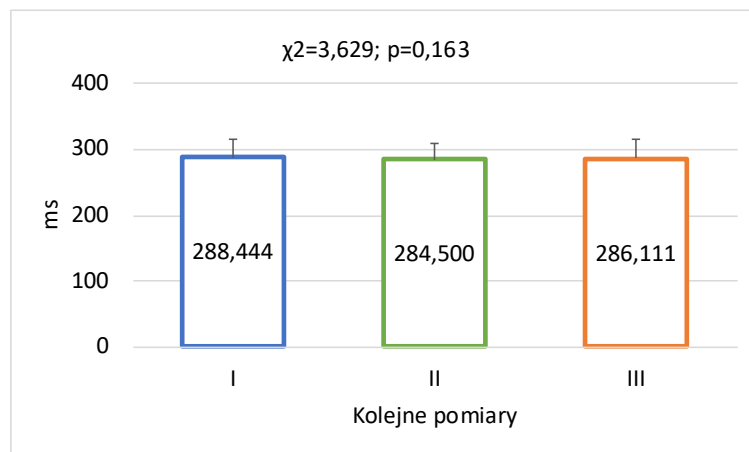
#### 4.2.2 Testy wykonywane w środowisku rzeczywistym

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. 44) i lewej (ryc. 45) oraz reakcji złożonej (ryc. 46).



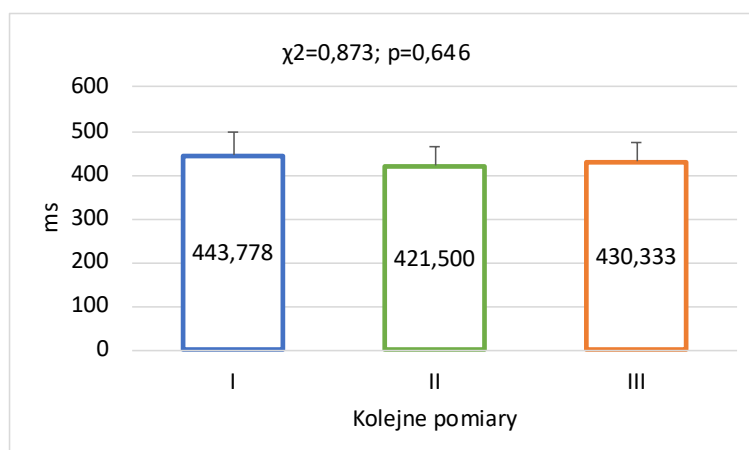
Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 44. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej prawej ręki ocenianej klasycznym testem komputerowym



Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 45. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej lewej ręki ocenianej klasycznym testem komputerowym

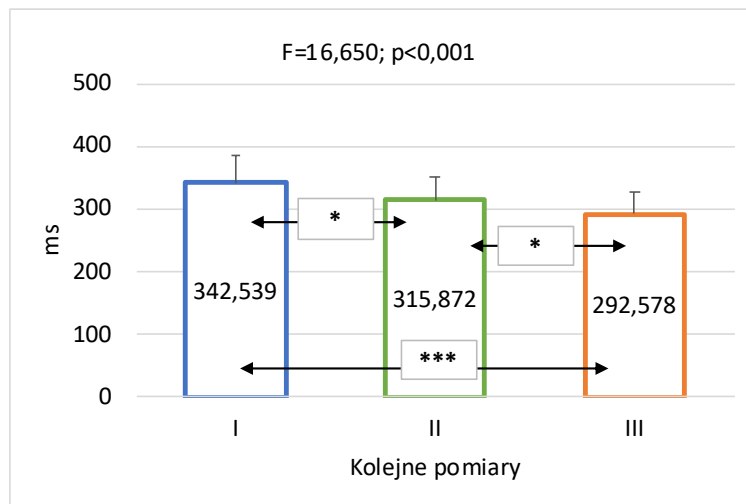


Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 46. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji złożonej ocenianej klasycznym testem komputerowym

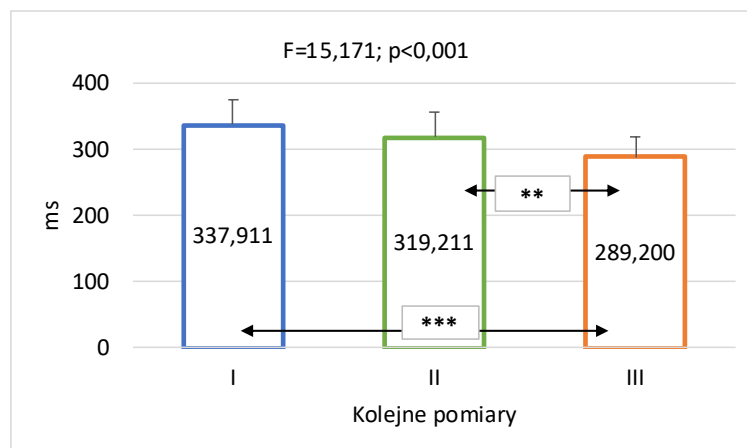


Z przeprowadzonej analizy wariancji z powtórzonymi pomiarami wynika, że trening koordynacyjny w VR istotnie wpłynął na szybkość reakcji prostej oraz złożonej zawodników MMA ocenianych testem „Wyprost kończyny górnej (BlazePod)”. Dla prawej ręki, testy post-hoc uwidocznily znamienne różnice między wszystkimi wykonywanymi pomiarami (ryc. 47). W przypadku ręki lewej istotne różnice zaobserwowano między pomiarami I i III oraz II i III (ryc. 48). Taka sama zależność ujawniła się dla szybkości reakcji złożonej (ryc. 49).



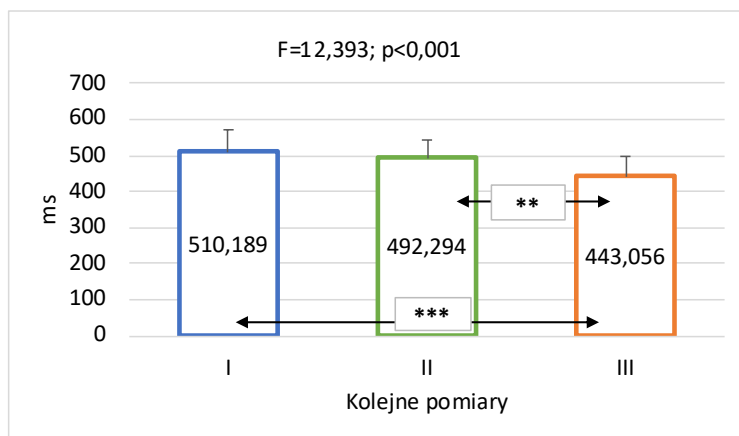
Legenda: \* –  $p<0,05$ ; \*\* –  $p<0,01$ ; \*\*\* –  $p<0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 47. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej prawej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej (BlazePod)



Legenda: \* –  $p<0,05$ ; \*\* –  $p<0,01$ ; \*\*\* –  $p<0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

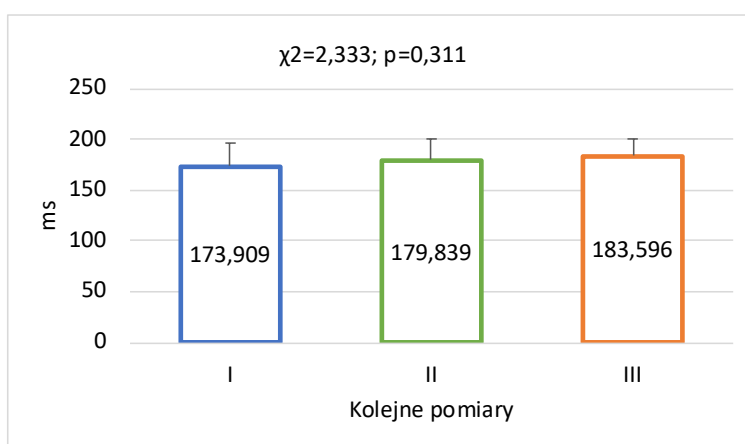
Ryc. 48. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej lewej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej (BlazePod)



Legenda: \*–  $p < 0,05$ ; \*\*–  $p < 0,01$ ; \*\*\*–  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

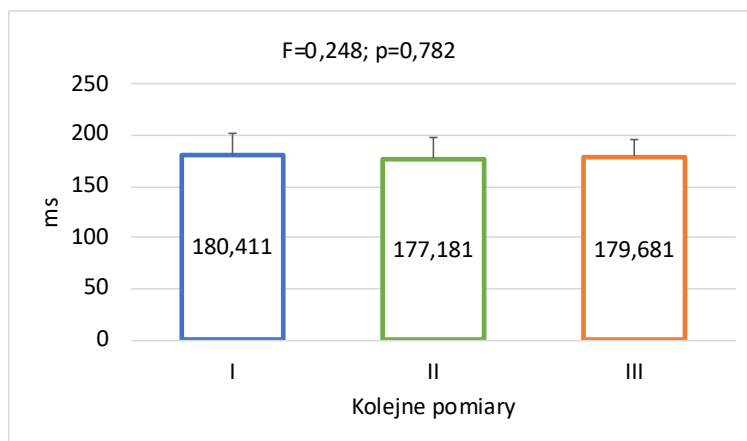
Ryc. 49. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji złożonej ocenianej wyprostem kończyny górnej (BlazePod)

Przeprowadzone analizy statystyczne nie wykazały istotnych różnic między kolejnymi pomiarami w przypadku testu „Chwyt opadającej linijki” zarówno dla prawej (ryc. 50), jak i lewej ręki (ryc. 51).



Legenda: \*–  $p < 0,05$ ; \*\*–  $p < 0,01$ ; \*\*\*–  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 50. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej prawej ręki ocenianej chwytaniem opadającej linijki



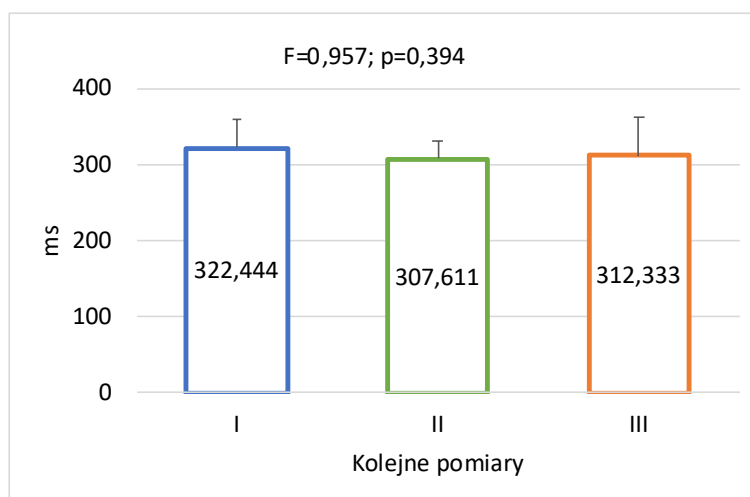
Legenda: \*–  $p < 0,05$ ; \*\*–  $p < 0,01$ ; \*\*\*–  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 51. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej lewej ręki ocenianej chwytem opadającej linijki

### 4.3. Wyniki testów szybkości reakcji zawodników z grupy kontrolnej

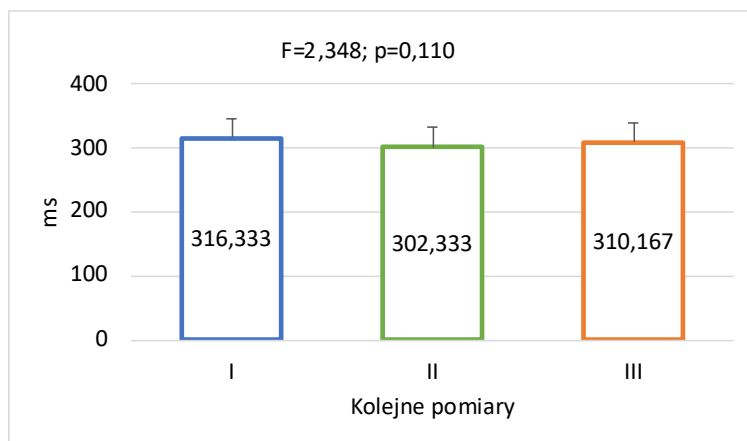
#### 4.3.1. Testy wykonywane w immersyjnej wirtualnej rzeczywistości

Z przeprowadzonej analizy wariancji wyniki „Klasycznych testów w VR” oceniających szybkość reakcji prawej (ryc. 52) i lewej ręki (ryc. 53) oraz reakcji złożonej (ryc. 54) odnotowane w kolejnych pomiarach wyniki, nie różnią się od siebie istotnie statystycznie.



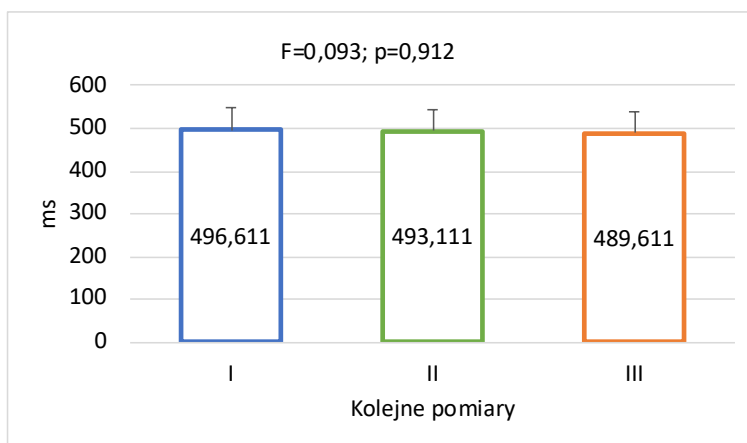
Legenda: \*–  $p < 0,05$ ; \*\*–  $p < 0,01$ ; \*\*\*–  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 52. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej prawej ręki ocenianej klasycznym testem w VR



Legenda: \*–  $p < 0,05$ ; \*\*–  $p < 0,01$ ; \*\*\*–  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

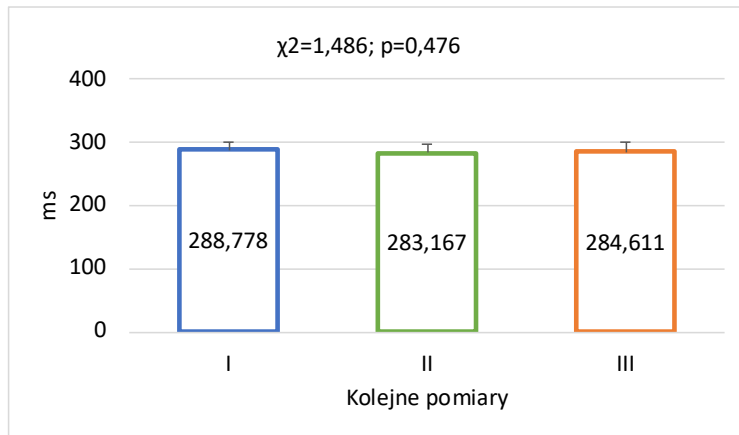
Ryc. 53. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej lewej ręki ocenianej klasycznym testem w VR



Legenda: \*–  $p < 0,05$ ; \*\*–  $p < 0,01$ ; \*\*\*–  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

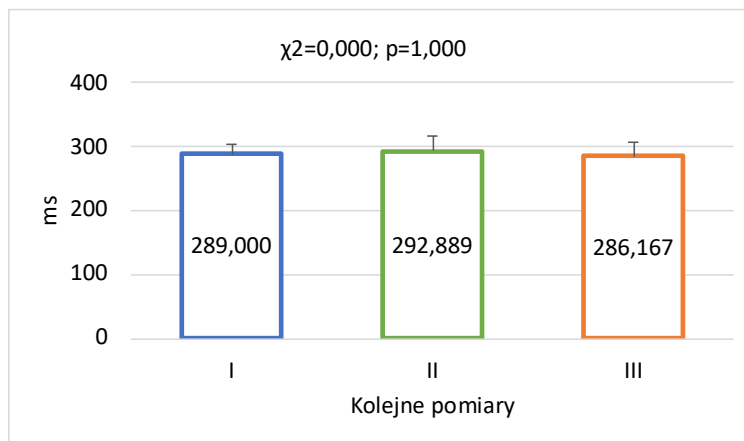
Ryc. 54. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji złożonej ocenianej klasycznym testem w VR

Również w testach „Chwyt opadającej linijki w VR” wykonywanych prawą (ryc. 55) i lewą ręką (ryc. 56), przeprowadzona analiza wariancji nie wykazała istotnych różnic między kolejnymi pomiarami w grupie kontrolnej.



Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

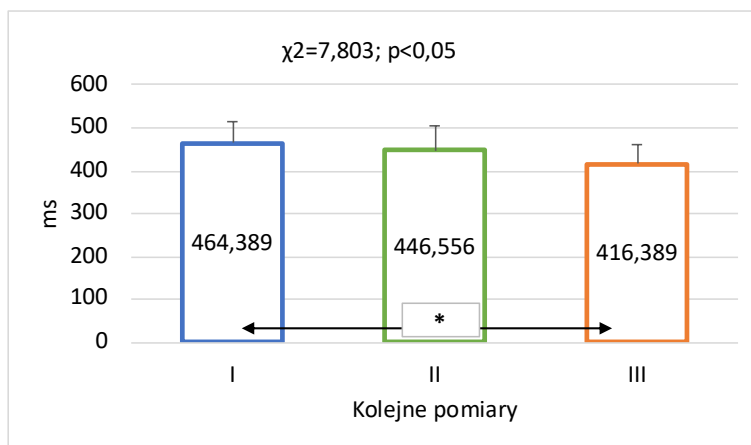
Ryc. 55. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej prawej ręki ocenianej chwytem opadającej linijki w VR



Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

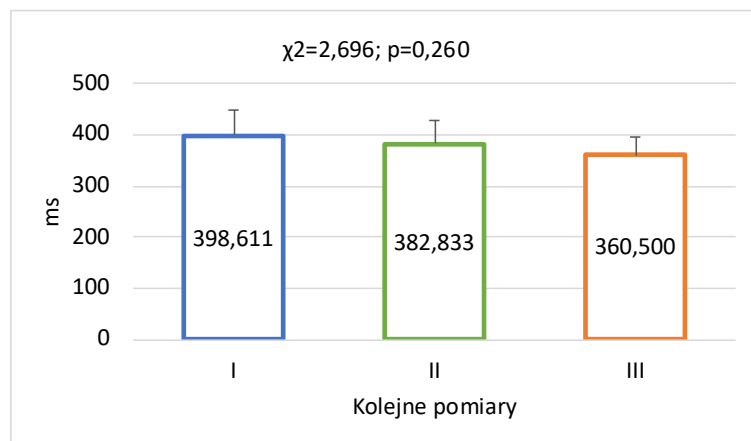
Ryc. 56. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej lewej ręki ocenianej chwytem opadającej linijki w VR

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 znamiona różnica wyników uwidoczniła się między I i III pomiarem w przypadku szybkości reakcji (ryc. 57) oraz w czasie ruchu prostego między I i III oraz II i III pomiarem (ryc. 58). Dla czasu reakcji nie wykazano istotnych różnic pomiędzy pomiarami (ryc. 59).



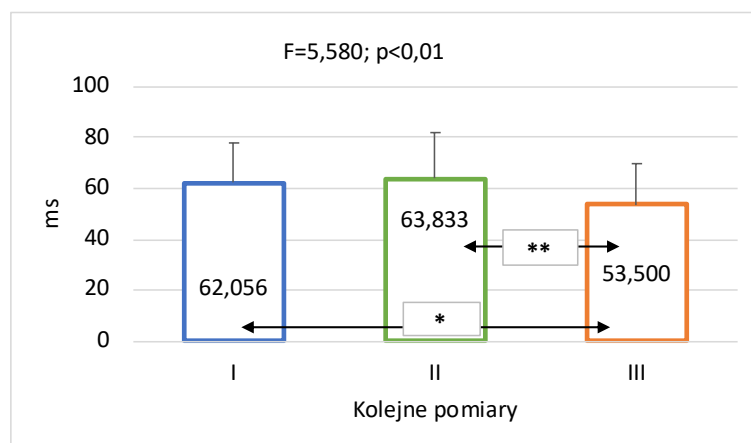
Legenda: \*–  $p<0,05$ ; \*\*–  $p<0,01$ ; \*\*\*–  $p<0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 57. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej prawej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR



Legenda: \*–  $p<0,05$ ; \*\*–  $p<0,01$ ; \*\*\*–  $p<0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

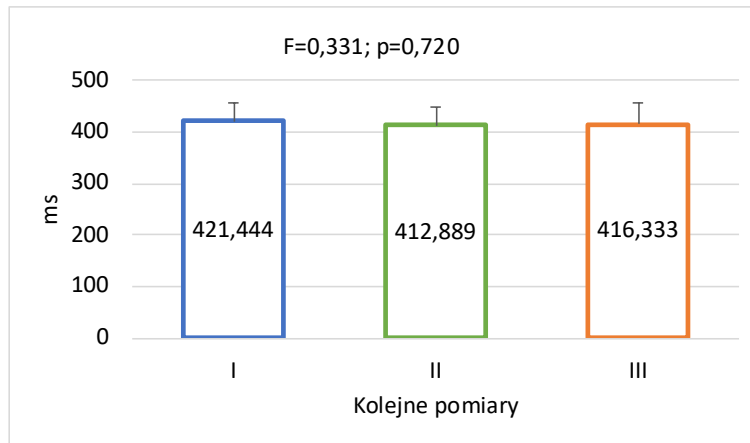
Ryc. 58. Wyniki kolejnych pomiarów czasu reakcji prostej prawej ręki ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR



Legenda: \*–  $p<0,05$ ; \*\*–  $p<0,01$ ; \*\*\*–  $p<0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

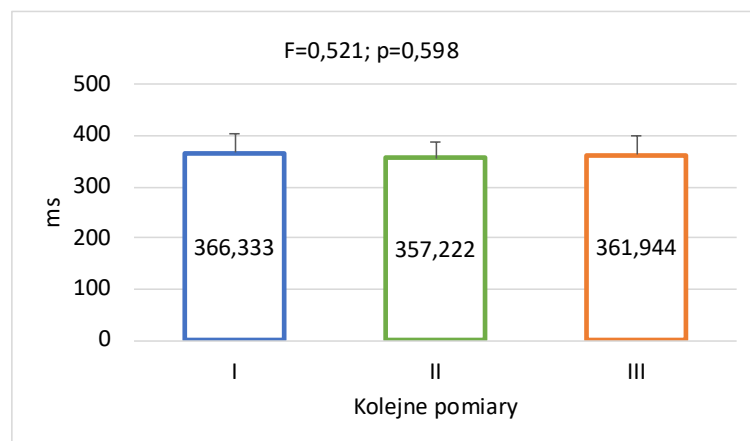
Ryc. 59. Wyniki kolejnych pomiarów czasu ruchu prawej ręki ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR – reakcja prosta

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. 60, 61, 62).



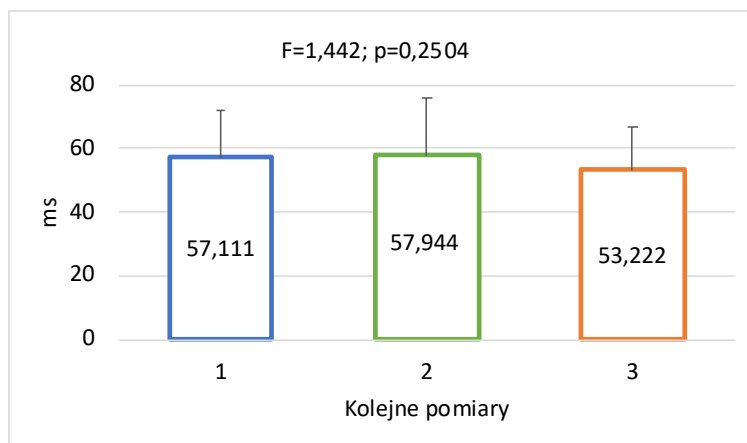
Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 60. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej lewej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR



Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

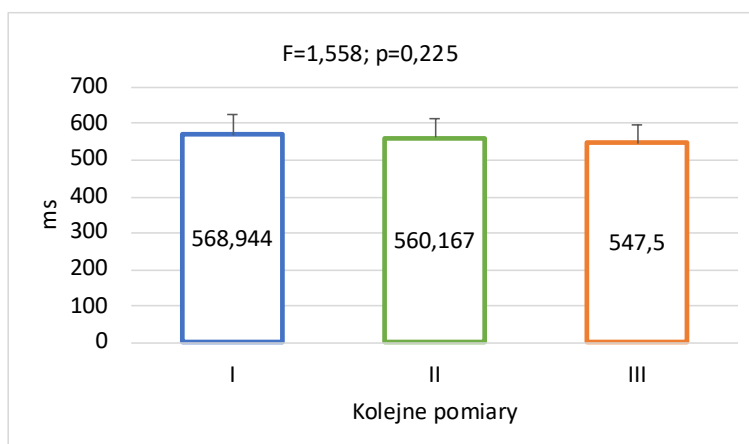
Ryc. 61. Wyniki kolejnych pomiarów czasu reakcji prostej lewej ręki ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR



Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 62. Wyniki kolejnych pomiarów czasu ruchu lewej ręki ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR – reakcja prosta

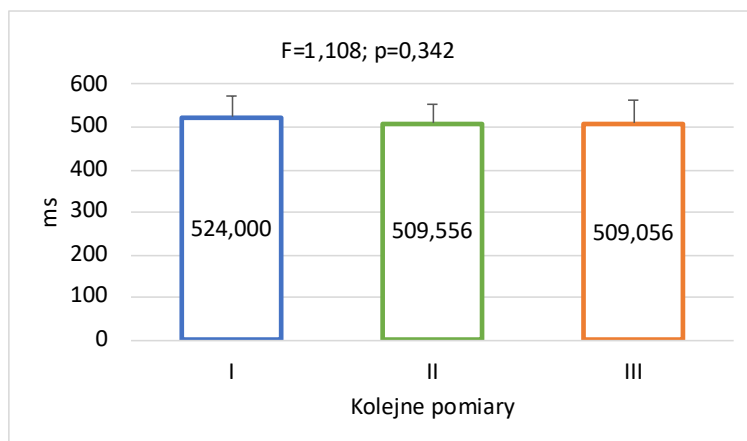
Również w przypadku oceny reakcji złożonej ocenianej testem „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja złożona” nie odnotowano istotnych statystycznie różnic między kolejnymi pomiarami (ryc. 63, 64, 65).



Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

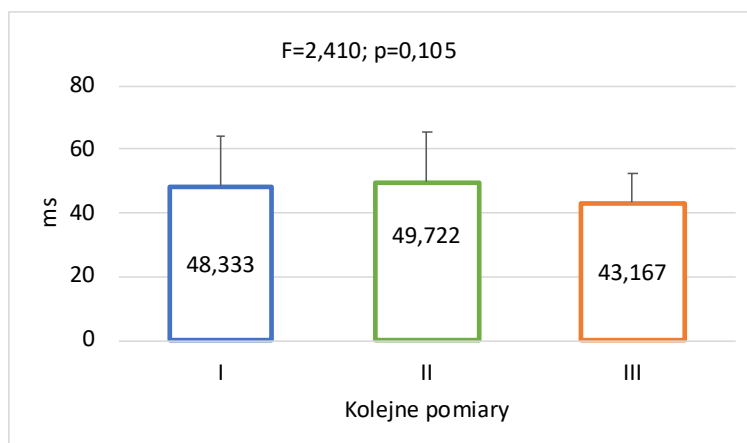
Ryc. 63. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji złożonej ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR





Legenda: \*–  $p < 0,05$ ; \*\*–  $p < 0,01$ ; \*\*\*–  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 64. Wyniki kolejnych pomiarów czasu reakcji złożonej ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR

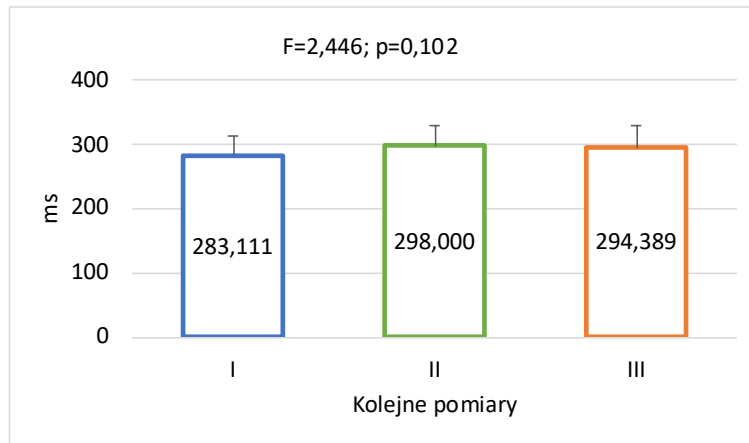


Legenda: \*–  $p < 0,05$ ; \*\*–  $p < 0,01$ ; \*\*\*–  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 65. Wyniki kolejnych pomiarów czasu ruchu ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR – reakcja złożona

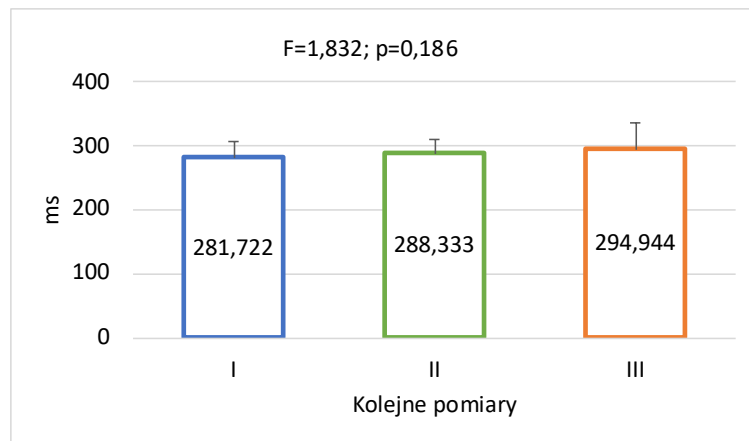
#### 4.3.2. Testy wykonywane w środowisku rzeczywistym

Analiza wariancji z powtórzonymi pomiarami wyników uzyskiwanych w testach komputerowych w grupie kontrolnej wykazała, że w przypadku klasycznych testów komputerowych szybkości reakcji prawej (ryc. 66) i lewej ręki (ryc. 67) oraz reakcji złożonej (ryc. 68) rezultaty kolejnych pomiarów nie różniły się istotnie statystycznie od siebie.



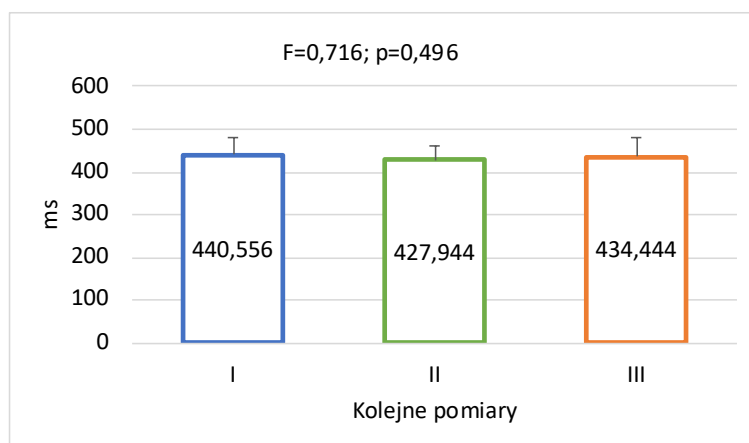
Legenda: \*–  $p < 0,05$ ; \*\*–  $p < 0,01$ ; \*\*\*–  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 66. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej prawej ręki ocenianej klasycznym testem komputerowym



Legenda: \*–  $p < 0,05$ ; \*\*–  $p < 0,01$ ; \*\*\*–  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

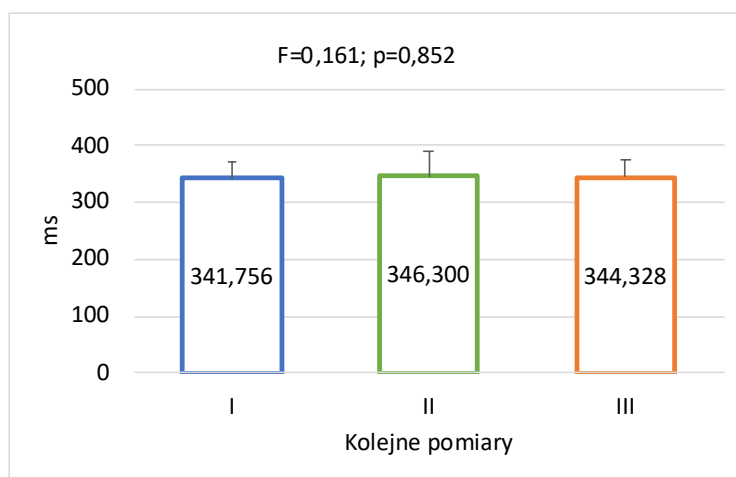
Ryc. 67. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej lewej ręki ocenianej klasycznym testem komputerowym



Legenda: \*–  $p < 0,05$ ; \*\*–  $p < 0,01$ ; \*\*\*–  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

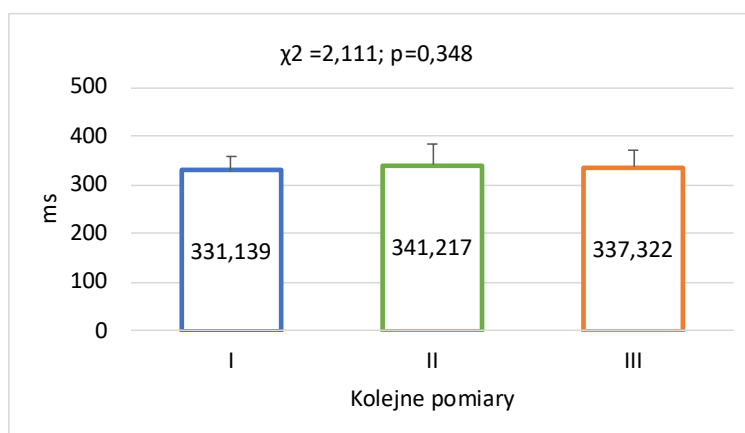
Ryc. 68. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji złożonej ocenianej klasycznym testem komputerowym

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. 69) i lewej ręki (ryc. 70) oraz w przypadku reakcji złożonej (ryc. 71).



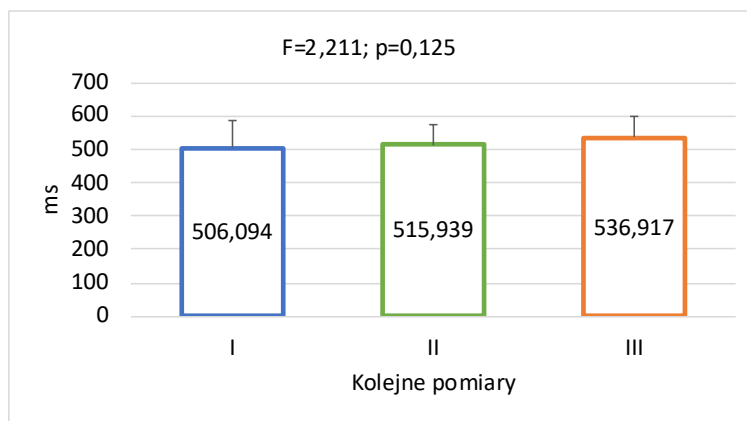
Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 69. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej prawej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej (BlazePod)



Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

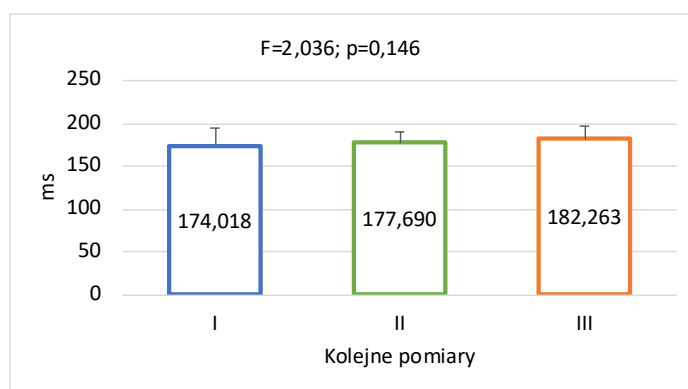
Ryc. 70. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej lewej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej (BlazePod)



Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

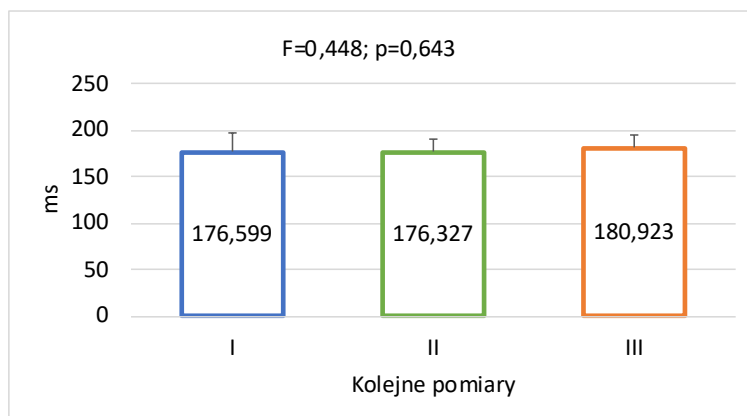
Ryc. 71. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji złożonej ocenianej wyprostym kończyzny górnej (BlazePod)

Ostatnim testem przeprowadzonym w grupie kontrolnej był „Chwyć opadającej linijki”. W przypadku tego badania analiza wariancji wyników uzyskanych w kolejnych pomiarach ponownie nie wykazała istotnych różnic zarówno dla prawej (ryc. 72), jak i lewej ręki (ryc. 73).



Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 72. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej prawej ręki ocenianej chwytem opadającej linijki



Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; słupki błędów oznaczają SD

Ryc. 73. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej lewej ręki ocenianej chwytem opadającej linijki

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

##### 4.4.1. Zestawienie i analiza przyrostów bezwzględnych szybkości reakcji

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 –  $\Delta$ ) 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 –  $\Delta$ ) 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		
$\Delta$ Klasyczny test w VR reakcja prosta PR [ms]	42,667	55,490	14,833	36,799	27,833	0,184 <sup>U</sup>
$\Delta$ Klasyczny test w VR reakcja prosta LR [ms]	23,500	32,876	14,000	31,466	9,500	0,395 <sup>t</sup>
$\Delta$ Klasyczny test w VR reakcja złożona [ms]	45,899	64,679	3,500	71,938	42,389	0,080 <sup>t</sup>
$\Delta$ Chwyt opadającej linijki w VR reakcja prosta PR [ms]	9,278	19,812	5,611	13,708	3,667	0,535 <sup>t</sup>
$\Delta$ Chwyt opadającej linijki w VR reakcja prosta LR [ms]	5,111	21,473	-3,899	27,262	9,000	0,229 <sup>U</sup>
$\Delta$ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta PR (szybkość reakcji) [ms]	90,500	82,129	17,833	72,334	72,667	<b>0,010<sup>t</sup></b>
$\Delta$ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta PR (czas reakcji) [ms]	68,667	77,001	15,778	67,797	52,889	<b>0,020<sup>U</sup></b>
$\Delta$ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta PR (czas ruchu) [ms]	20,167	18,599	-1,778	14,238	21,944	<b>0,000<sup>t</sup></b>
$\Delta$ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta LR (szybkość reakcji) [ms]	79,000	79,923	8,556	38,838	70,444	<b>0,003<sup>U</sup></b>

Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta LR (czas reakcji) [ms]	61,056	73,063	9,111	31,819	51,944	<b>0,012<sup>U</sup></b>
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta LR (czas ruchu) [ms]	17,333	18,348	-0,833	13,512	18,167	<b>0,002<sup>t</sup></b>
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja złożona (szybkość reakcji) [ms]	82,167	128,655	8,778	46,353	73,389	<b>0,040<sup>U</sup></b>
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja złożona (czas reakcji) [ms]	71,556	127,209	14,444	40,573	57,111	0,117 <sup>U</sup>
Δ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja złożona (czas ruchu) [ms]	12,333	20,897	-1,389	11,814	13,722	<b>0,024<sup>U</sup></b>
Δ Klasyczny test komputerowy reakcja prosta PR [ms]	11,278	37,019	-14,899	19,399	26,167	<b>0,005<sup>U</sup></b>
Δ Klasyczny test komputerowy reakcja prosta LR [ms]	3,944	10,554	-6,611	19,920	10,556	0,065 <sup>t</sup>
Δ Klasyczny test komputerowy reakcja złożona [ms]	22,278	53,101	12,611	42,599	9,667	0,562 <sup>t</sup>
Δ Wyprost kończyny górnej (BlazePod) reakcja prosta PR [ms]	26,667	32,345	-4,544	33,839	31,211	<b>0,010<sup>t</sup></b>
Δ Wyprost kończyny górnej (BlazePod) reakcja prosta LR [ms]	18,700	37,475	-10,078	32,436	28,778	<b>0,022<sup>t</sup></b>
Δ Wyprost kończyny górnej (BlazePod) reakcja złożona [ms]	17,894	59,292	-9,844	63,028	27,739	0,195 <sup>t</sup>
Δ Chwyt opadającej linijki reakcja prosta PR [ms]	-5,930	22,162	-3,672	15,404	-2,258	0,732 <sup>t</sup>
Δ Chwyt opadającej linijki reakcja prosta LR [ms]	3,230	18,283	0,273	23,732	2,958	0,812 <sup>U</sup>

Legenda: G<sub>E</sub> – grupa eksperymentalna, G<sub>K</sub> – 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, <sup>t</sup> – wartość p z testu t-studenta; <sup>U</sup> – wartość p z testu U Manna-Whitneya

Tabela 4. Zestawienie różnic pomiędzy wynikami z I i III pomiaru (przyrostów absolutnych –  $\Delta$ ) 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		
$\Delta$ Klasyczny test w VR reakcja prosta PR [ms]	48,000	61,025	10,110	55,033	37,889	0,097 <sup>U</sup>
$\Delta$ Klasyczny test w VR reakcja prosta LR [ms]	22,167	26,831	6,167	22,998	16,000	0,071 <sup>t</sup>
$\Delta$ Klasyczny test w VR reakcja złożona [ms]	69,278	64,919	7,000	61,611	62,278	<b>0,007<sup>t</sup></b>
$\Delta$ Chwyt opadającej linijki w VR reakcja prosta PR [ms]	11,778	19,722	4,167	15,056	7,611	0,215 <sup>t</sup>
$\Delta$ Chwyt opadającej linijki w VR reakcja prosta LR [ms]	3,000	23,877	2,833	15,966	0,167	0,981 <sup>t</sup>
$\Delta$ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta PR (szybkość reakcji) [ms]	113,667	85,974	48,000	70,288	65,667	<b>0,011<sup>U</sup></b>
$\Delta$ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta PR (czas reakcji) [ms]	82,889	71,334	38,111	65,643	44,778	0,064 <sup>U</sup>
$\Delta$ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta PR (czas ruchu) [ms]	22,944	17,418	8,556	14,724	14,389	<b>0,014<sup>t</sup></b>
$\Delta$ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta LR (szybkość reakcji) [ms]	93,500	90,156	5,111	50,706	88,389	<b>0,001<sup>U</sup></b>
$\Delta$ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta LR (czas reakcji) [ms]	68,333	72,637	4,389	43,943	63,944	<b>0,004<sup>t</sup></b>
$\Delta$ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta LR (czas ruchu) [ms]	20,278	19,818	3,889	12,884	16,389	<b>0,009<sup>U</sup></b>
$\Delta$ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja złożona (szybkość reakcji) [ms]	105,500	21,444	139,502	51,170	84,056	<b>0,029<sup>t</sup></b>
$\Delta$ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja złożona (czas reakcji) [ms]	85,333	137,567	14,944	45,508	70,389	0,053 <sup>t</sup>
$\Delta$ Wyprost kończyny górnej w VR reakcja złożona (czas ruchu) [ms]	18,722	21,979	5,167	15,514	13,556	0,058 <sup>U</sup>
$\Delta$ Klasyczny test komputerowy reakcja prosta PR [ms]	17,500	50,532	-11,278	32,074	28,778	0,064 <sup>U</sup>
$\Delta$ Klasyczny test komputerowy reakcja prosta LR [ms]	2,333	26,600	-13,222	29,112	15,566	0,133 <sup>t</sup>

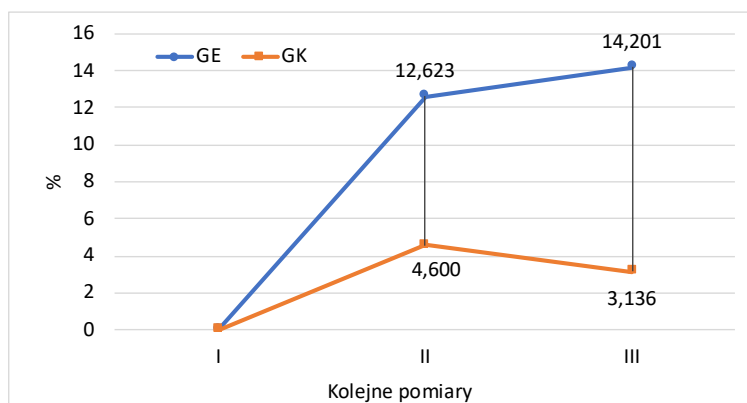
Δ Klasyczny test komputerowy reakcja złożona [ms]	13,444	49,862	-11,278	32,074	24,722	0,096 <sup>t</sup>
Δ Wyprost kończyny górnej (BlazePod) reakcja prosta PR [ms]	49,961	39,416	-2,572	29,746	52,533	<b>0,000<sup>t</sup></b>
Δ Wyprost kończyny górnej (BlazePod) reakcja prosta LR [ms]	48,711	39,248	-6,183	23,411	54,894	<b>0,000<sup>t</sup></b>
Δ Wyprost kończyny górnej (BlazePod) reakcja złożona [ms]	67,133	60,001	-30,822	67,842	97,956	<b>0,000<sup>t</sup></b>
Δ Chwyt opadającej linijki reakcja prosta PR [ms]	-9,687	23,722	-8,245	19,014	-1,442	0,846 <sup>t</sup>
Δ Chwyt opadającej linijki reakcja prosta LR [ms]	0,730	-4,323	20,482	24,226	5,053	0,516 <sup>t</sup>

Legenda: G<sub>E</sub> – grupa eksperymentalna, G<sub>K</sub> – grupa kontrolna, n – liczba badanych, x – średnia arytmetyczna; SD – odchylenie standardowe; d – różnica średnich arytmetycznych; p – poziom istotności statystycznej; różnice istotne statystycznie oznaczono pogrubioną czcionką, <sup>t</sup> – wartość p z testu t-studenta; <sup>U</sup> – wartość p z testu U Manna-Whitneya

#### 4.4.2. Graficzne przedstawienie przyrostów względnych szybkości reakcji

Dla zobrazowania względnych przyrostów szybkości reakcji zawodników z obu grup, odnotowanych podczas II i III pomiaru, w odniesieniu do badania wstępnego wykorzystano indeksy jednopodstawowe, które przedstawiono graficznie za pomocą wykresów (ryc. 74-95).

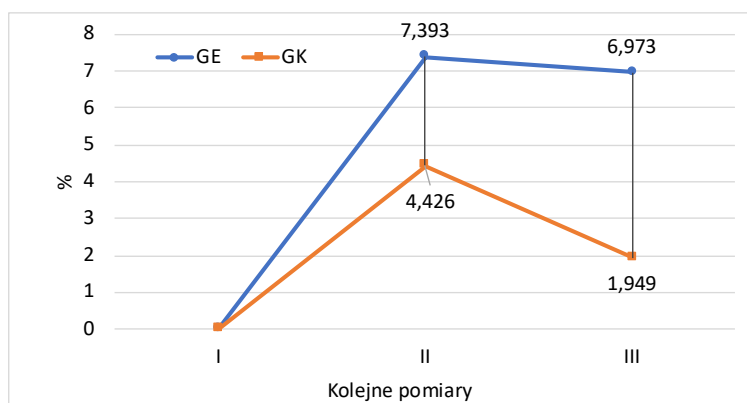
##### 4.4.2.1. Testy wykonywane w immersyjnej wirtualnej rzeczywistości



Legenda: \* – p<0,05; \*\* – p<0,01; \*\*\* – p<0,001

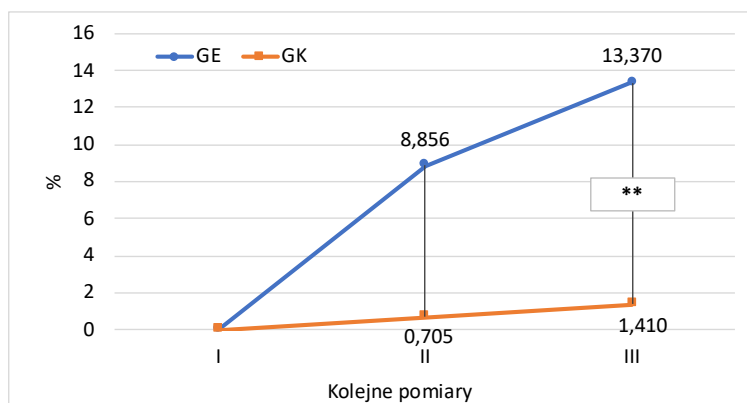
Ryc. 74. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Klasyczny test VR - reakcja prosta PR"





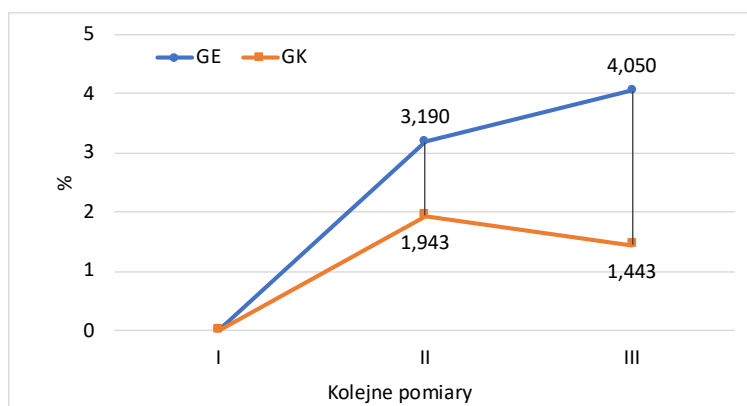
Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

Ryc. 75. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Klasyczny test VR - reakcja prosta LR"



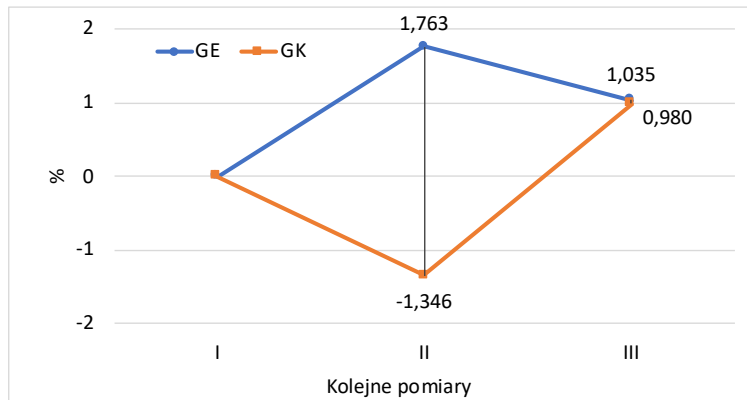
Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

Ryc. 76. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Klasyczny test VR - reakcja złożona"



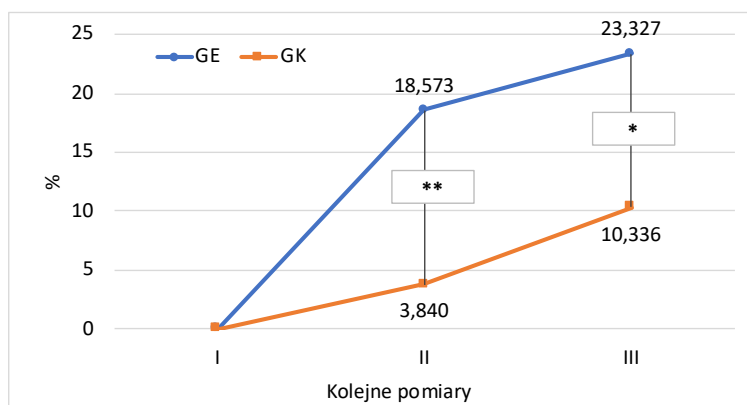
Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

Ryc. 77. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Chwyt opadającej linijki w VR - reakcja prosta PR"



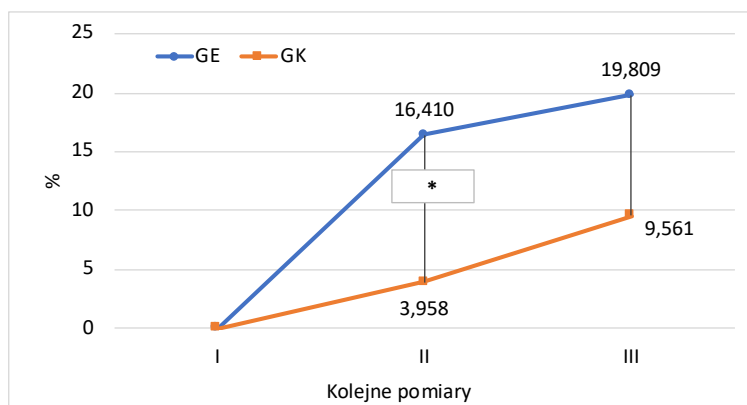
Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

Ryc. 78. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Chwyt opadającej linijki w VR - reakcja prosta LR"



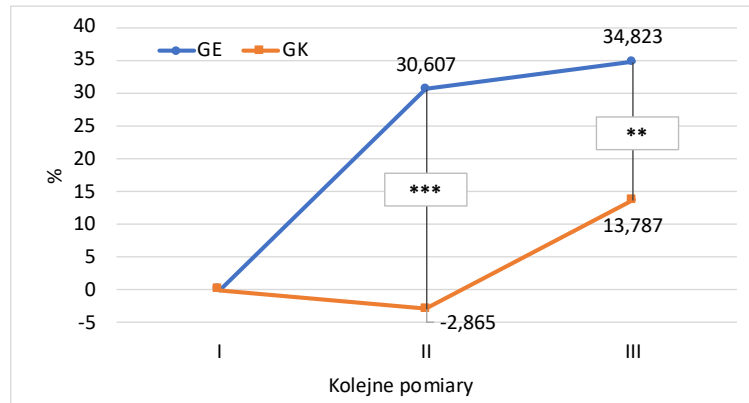
Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

Ryc. 79. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej – „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja prosta PR”



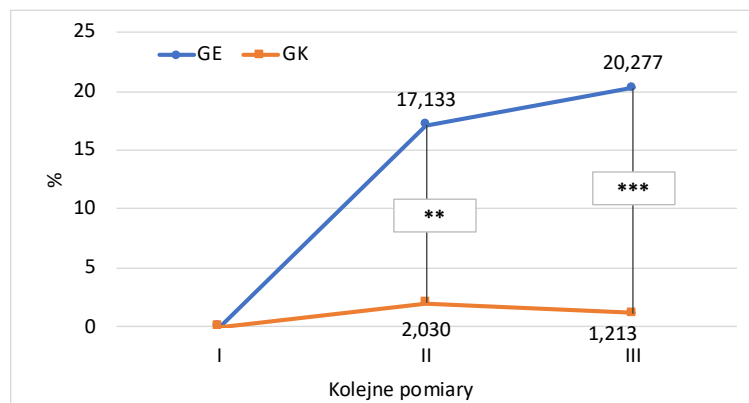
Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

Ryc. 80. Przyrost względny czasu reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Wyprost kończyny górnej w VR - reakcja prosta PR"



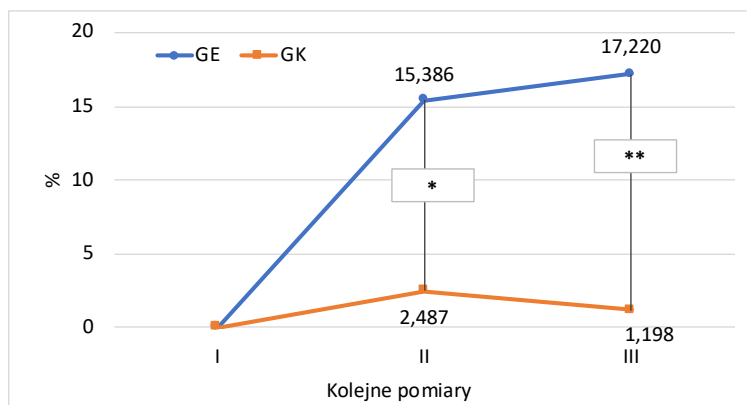
Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

Ryc. 81. Przyrost względny czasu ruchu prostego zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Wyprost kończyny górnej w VR - reakcja prosta PR"



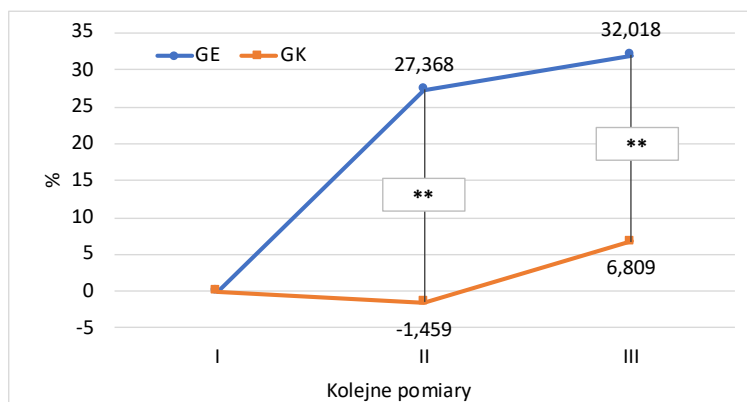
Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

Ryc. 82. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej – „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja prosta LR”



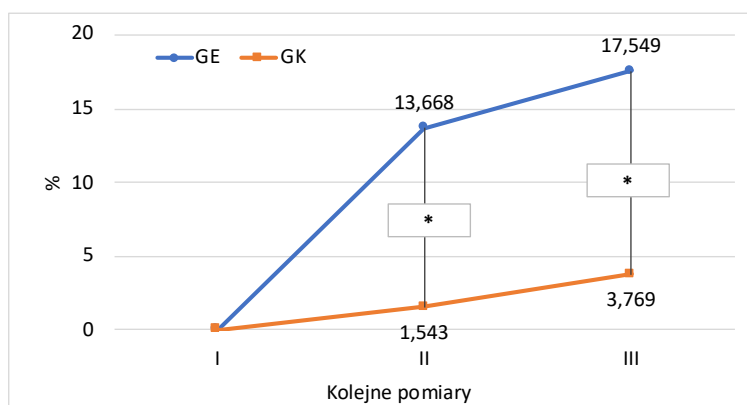
Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

Ryc. 83. Przyrost względny czasu reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Wyprost kończyny górnej w VR - reakcja prosta LR"



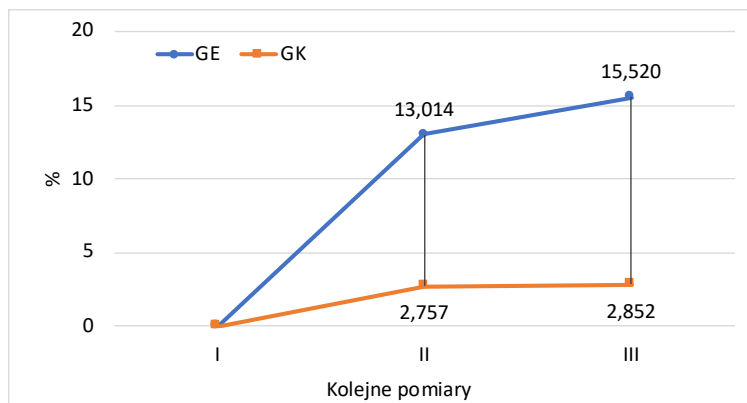
Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

Ryc. 84. Przyrost względny czasu ruchu prostego zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Wyprost kończyny górnej w VR - reakcja prosta LR"



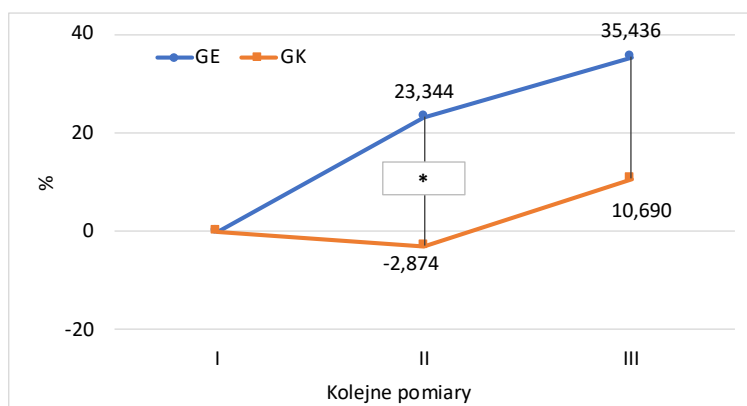
Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

Ryc. 85. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Wyprost kończyny górnej w VR - reakcja złożona"



Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

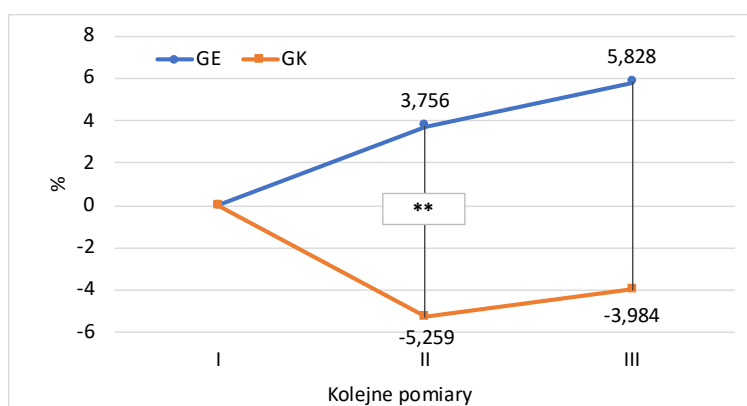
Ryc. 86. Przyrost względny czasu reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Wyprost kończyny górnej w VR - reakcja złożona"



Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

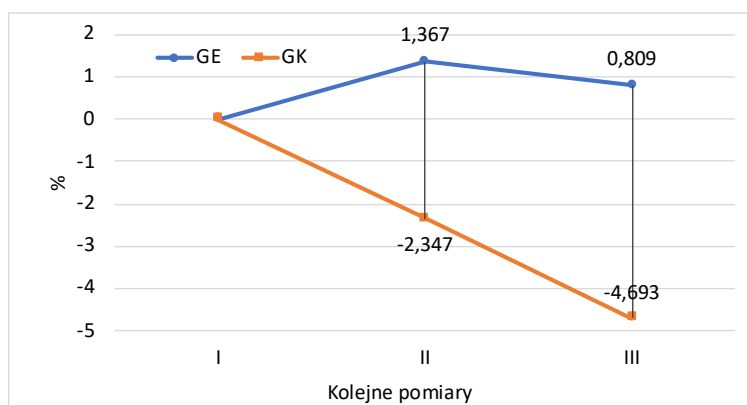
Ryc. 87. Przyrost względny czasu ruchu prostego zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej – „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja złożona”

#### 4.4.2.2. Testy wykonywane w środowisku rzeczywistym



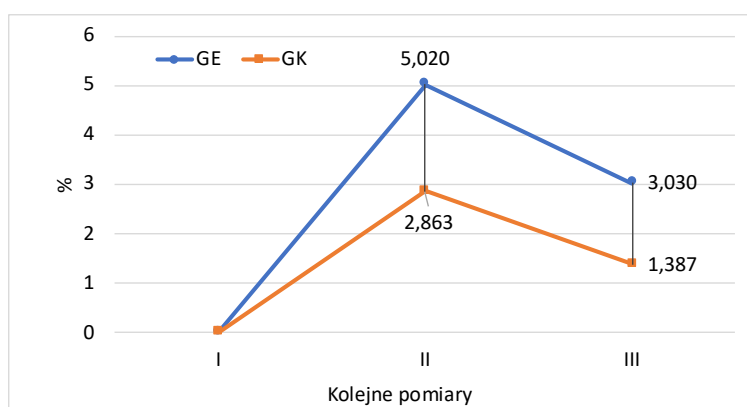
Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

Ryc. 88. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej – „Klasyczny test komputerowy – reakcja prosta PR”



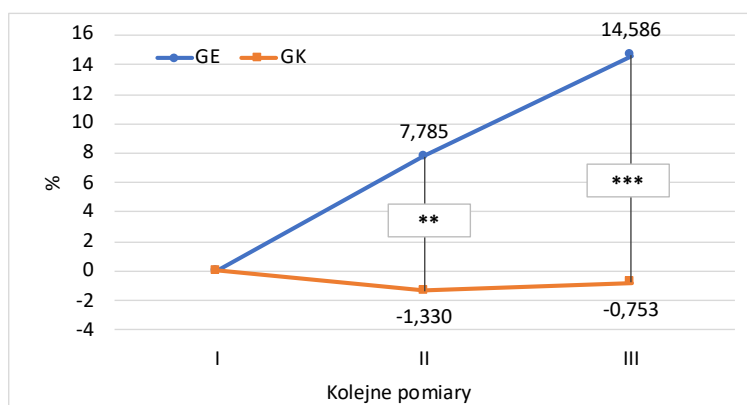
Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

Ryc. 89. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Klasyczny test komputerowy - reakcja prosta LR"



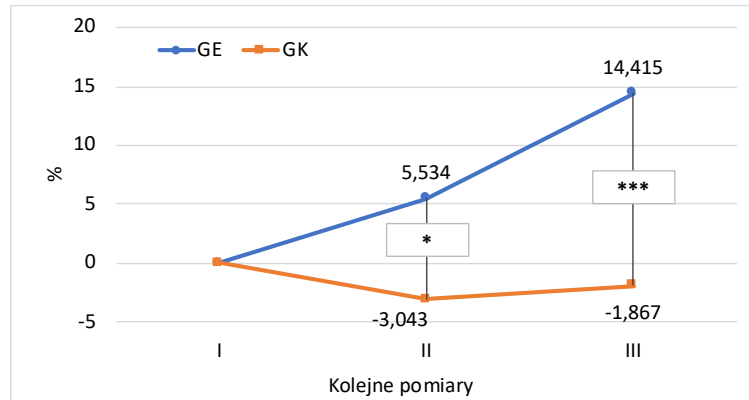
Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

Ryc. 90. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Klasyczny test komputerowy - reakcja złożona"



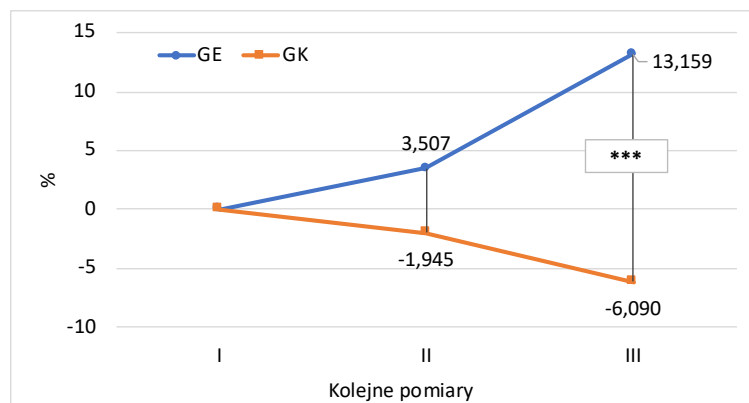
Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

Ryc. 91. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Wyprost kończyny górnej (BlazePod) - reakcja prosta PR"



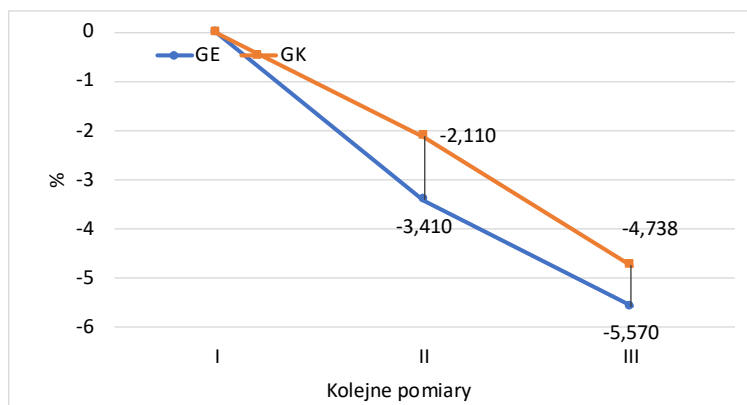
Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

Ryc. 92. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Wyprost kończyny górnej (BlazePod) - reakcja prosta LR"



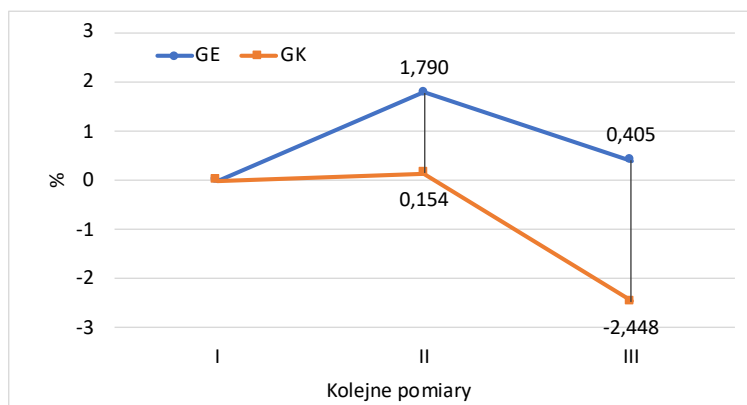
Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

Ryc. 93. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej – „Wyprost kończyny górnej (BlazePod) – reakcja złożona”



Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

Ryc. 94. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Chwyt opadającej linijki - reakcja prosta PR"



Legenda: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

Ryc. 95. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Chwyt opadającej linijki - reakcja prosta LR"



## 5. Dyskusja

Zasadniczym problemem badawczym pracy było określenie wpływu treningu koordynacyjnego, odbywającego się przez cztery oraz osiem tygodni w VR na szybkość reakcji prostej i złożonej zawodników MMA. W pierwszej kolejności poszukiwano odpowiedzi na pytanie, czy tego typu interwencja, przeprowadzona w specyficznym wirtualnym środowisku poprawi badane zdolności sportowców w oparciu o testy zaimplementowane do tego samego, sztucznie wykreowanego otoczenia? Według You i in. (2005) kontakt ze środowiskiem wirtualnym powoduje zwiększenie aktywacji w pierwszorzędowej korze ruchowej, która odpowiada za sprawność motoryczną. Interwencja treningowa w VR może zatem powodować zmiany w aktywacji określonych obszarów mózgu odpowiedzialnych za kontrolę ruchu, co może przejawiać się poprawą szybkości reakcji (You i in., 2005).

W VR przeprowadzono trzy rodzaje testów. Pierwszy, który określono mianem „klasycznego testu w VR”, polegał na reagowaniu na bodźce świetlne i oceniał reakcję prostą i złożoną. W drugim zawodnicy MMA mieli za zadanie „złapać” opadającą w VR linijkę, a więc reagowali na ruch wirtualnego przedmiotu (reakcja prosta). Trzeci zakładał dynamiczny wyprost ramienia jako odpowiedź na sygnał świetlny i podobnie jak „klasyczny” badał reakcję prostą i złożoną. Dwa pierwsze opierały się na podobnej czynności ruchowej, którą było naciśnięcie palcem wskazującym na klawisz kontrolera, jednak różnicował je rodzaj sygnału, wywołującego reakcję. „Wyprost kończyny górnej w VR” różnił się natomiast od pozostałych testów obszernością ruchu oraz tym, że opierał się na jednym ze wzorców ruchowych, ukierunkowanych na uprawianą przez badanych zawodników dyscyplinę sportową. W tej próbie, oprócz szybkości reakcji można było ocenić jej składowe (RT i MT). Jak wynika z przeprowadzonych badań, niezależnie od rodzaju wykonywanego testu w VR, w grupie eksperymentalnej zaobserwowano istotną poprawę wyników prawie wszystkich prób oceniających szybkość reakcji po ośmiu tygodniach treningu. Biorąc pod uwagę testy dla PR i LR łącznie uzyskano znamienne poprawę w siedmiu zadaniach testowych. Jedynie w próbie chwytu opadającej linijki w VR dla lewej ręki, mimo polepszenia się wyników w badaniu kontrolnym i końcowym, analiza wariancji nie wykazała istotnego wpływu treningu w VR na szybkość reakcji, co trudno jednoznacznie zinterpretować. Należy zaznaczyć, że w niektórych testach znamienne poprawa rezultatów nastąpiła już po upływie czterech tygodni treningu. Miało to miejsce w przypadku „Klasycznego testu w VR” dla PR i LR oraz CRT, a także w teście „Wyprost kończyny górnej w VR reakcja prosta” dla PR i LR. Na podstawie tych spostrzeżeń można wysunąć wniosek, że trening koordynacyjny w VR zawodników MMA

istotnie poprawia ich szybkość reakcji mierzoną w wirtualnym środowisku. Jego efekt jest wyraźniejszy po ośmiu tygodniach ćwiczeń. Słuszność postawionych wniosków potwierdza analiza rezultatów uzyskanych przez sportowców z grupy kontrolnej, gdzie poprawę wyników zaobserwowano tylko w jednym teście szybkości reakcji „Wyprost kończyny górnej w VR - reakcja prosta PR”. Procentowy względny przyrost ocenianej zdolności w grupie kontrolnej wyniósł jednak tylko 10,336%, podczas gdy w grupie eksperymentalnej był istotnie wyższy ( $p < 0,05$ ) i kształtował się na poziomie 23,327%. Należy również podkreślić, że na poprawę tego parametru u osób z grupy kontrolnej wpłynęło istotne polepszenie się składowej MT, przy braku znamiennej poprawy RT. Można więc przypuszczać, że stwierdzone polepszenie szybkości reakcji podczas wyprostu prawego ramienia w VR zawodników z grupy kontrolnej, które zostało odnotowane w III pomiarze, było spowodowane ośmiotygodniowym treningiem MMA, którego celem było między innymi kształtowanie szybkości ruchów kończyn górnych (np. uderzanie w gruszkę bokserską i tarcze, sparingi w stójce itp.).

Na stwierdzoną istotną poprawę wyników testów szybkości reakcji w grupie eksperymentalnej mogą mieć wpływ dwa główne czynniki. Pierwszym są niewątpliwie ćwiczenia KZM, wykonywane w wirtualnym środowisku z wykorzystaniem zaimplementowanych tam programów treningowych. Drugi potencjalny czynnik to adaptacja uczestników badań do VR. Nie można wykluczyć, że długotrwałe przebywanie w wirtualnym świecie zawodników z grupy eksperymentalnej wpływa na wyniki kolejnych pomiarów. Mimo iż zawodnicy deklarowali wcześniejszy kontakt z VR, nie korzystali systematycznie z tej technologii. W związku z tym, szczególnie podczas pomiaru wstępnego, przebywanie w nowym i nienaturalnym dla zawodników MMA środowisku mogło dezorientować badanych wpływając na ich koncentrację i percepcję wzrokową. Na etapie konstruowania testów starano się zminimalizować wpływ czynników rozpraszających (jednolite szare tło we wszystkich zadaniach testowych). Ponadto przebywanie w immersyjnej VR powinno sprzyjać koncentracji, ponieważ człowiek odcięty jest od otaczających go bodźców zewnętrznych. Mimo to nie wiadomo, jak pobyt w nowym i nienaturalnym wirtualnym środowisku może wpływać na postrzeganie i reakcję. W celu wykluczenia wpływu adaptacji badanych do VR na szybkość reakcji w kolejnych pomiarach konieczne jest wykonywanie zbliżonych testów RL.

W związku z powyższym ocena wpływu treningu KZM zawodników MMA w immersyjnej VR na szybkość reakcji w środowisku rzeczywistym stanowiła zasadniczy problem badawczy. Nie ulega wątpliwości, że podejmowanie treningu w VR przez osoby uprawiające sporty walki lub innych sportowców ma uzasadnienie tylko wtedy, gdy przekłada się na poprawę sprawności fizycznej w RL, a co za tym idzie ma przełożenie na wyniki

sportowe. Aby ocenić wpływ treningu KZM zawodników z grupy eksperymentalnej w immersyjnej VR na ich szybkość reakcji w środowisku rzeczywistym, wykorzystano podobnie jak wcześniej trzy rodzaje testów, które były zbliżone do uprzednio zaimplementowanych w VR: „Klasyczny test komputerowy”, „Wyprost kończyny górnej” z wykorzystaniem lampek BlazePod oraz „Chwyt opadającej linijki”. Pierwszy i drugi pozwalały na ocenę reakcji prostej PR i LR oraz reakcji złożonej na bodźce świetlne. Chwyt linijki umożliwiał jedynie pomiar reakcji prostej obu rąk. Łącznie zarejestrowano więc w każdym pomiarze osiem parametrów charakteryzujących szybkość reakcji zawodników MMA. Po dokonaniu analizy wariancji uzyskanych wyników okazało się, że istotny wpływ ośmiotygodniowego treningu w VR ujawnił się jedynie w testach wykonywanych za pomocą zestawu lampek BlazePod, jednak we wszystkich ocenianych parametrach: PR, LR, CRT. W przypadku PR zaobserwowano znamienne poprawę rezultatów już po 4 tygodniach ćwiczeń w VR. Z związku z tym, że w teście z użyciem lampek zawodnicy reagowali na bodźce, wykonując wzorce ruchowe (dynamiczne wyprosty), które można uznać za specyficzne dla osób uprawiających MMA, pojawia się podejrzenie: czy poprawa szybkości reakcji wynika z treningu w VR, czy może jest skutkiem uczestnictwa w treningach MMA? Odpowiedź na to pytanie jest możliwe dzięki analizie wariancji rezultatów uzyskanych przez zawodników z grupy kontrolnej, która wskazuje na brak istotnych statystycznie różnic wyników między kolejnymi pomiarami w testach wykonywanych przy użyciu lampek BlazePod. Ponadto zestawiając ze sobą średnie wartości wyników uzyskanych w badaniu wstępnym, kontrolnym i końcowym można zaobserwować u sportowców nie trenujących w VR niewielkie pogorszenie rezultatów w odniesieniu do I pomiaru. W związku z tym, że w porównaniach międzygrupowych przed rozpoczęciem interwencji treningowej nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic wyników testów szybkości reakcji, a obie badane grupy uczestniczyły w jednakowych treningach MMA można przyjąć, że dodatkowy trening w KZM w środowisku wirtualnym istotnie polepsza szybkość reakcji prostej i złożonej w testach wyprost ramienia mierzonych systemem BlazePod.

Wracając w dyskusji do komputerowych testów szybkości reakcji warto zauważyć, że uzyskane wyniki przez sportowców z grupy eksperymentalnej dla każdego badanego parametru uległy niewielkiej poprawie, a w teście wykonywanym prawą ręką wartość współczynnika  $p$  w analizie wariancji kształtowała się na granicy istotności statystycznej ( $p=0,056$ ), zaś procentowy przyrost badanej zdolności motorycznej wyniósł 5,828% po ośmiu tygodniach treningu w VR. Rezultaty uzyskane w tym teście w przypadku grupy kontrolnej uległy natomiast niewielkiemu pogorszeniu dla PR i LR. Zestawiając ze sobą powyższe fakty nasuwa

się przypuszczenie, że pod wpływem dłuższego niż 8 tygodni treningu KZM w VR mogłoby dojść do wyraźnej poprawy szybkości reakcji zawodników MMA z grupy eksperymentalnej.

W kontekście zastosowanych w badaniach klasycznych testów komputerowych należy zwrócić uwagę na jeszcze jeden istotny aspekt. Interesujące wydaje się zestawienie wartości uzyskiwanych w nich wyników z rezultatami tzw. „klasycznych testów w VR”. Różniły się one między sobą niezależnie od grupy osób badanych w przypadku reakcji złożonej o około 50 ms, a w testach reakcji prostej o około 20 ms. Według Politopoulos i Tsiatsos (2022) różnice takie mogą wynikać z ograniczeń technologicznych. Autorzy twierdzą, że w przypadku niektórych komputerów błędy pomiarowe wynoszą 10-50 ms ze względu na opóźnienia w przesyłaniu danych. W innych badaniach własnych (Polechoński & Langer, 2022), w których porównywano uzyskane wyniki testów reakcji w VR i RL zaobserwowano podobne zależności. W przypadku SRT stwierdzone różnice wynosiły dla lewej ręki 20,960 ms, a dla prawej kształtowały się na poziomie 14,356 ms. Natomiast w przypadku CRT zarejestrowane czasy różniły się o 116,471 ms. Autorzy zwracają uwagę, że w przypadku testów komputerowych osoby badane jako urządzenia wskazującego używały klawiatury połączonej przewodowo z komputerem, natomiast podczas testów w VR wykorzystywano kontrolery, które łączyły się z autonomicznymi goglami Oculus Quest 2 dzięki technologii bezprzewodowej. Wykorzystanie bezprzewodowego połączenia mogło więc wydłużyć przesyłanie sygnałów, a poprzez to wpłynąć na rejestrację dłuższych czasów reakcji w VR. Uzyskanie istotnie lepszych wyników podczas testów komputerowych może być również związane z tym, iż osoby badane nie przywykły do wirtualnego środowiska. To spostrzeżenie mogą potwierdzać rezultaty badań własnych, gdyż analizując różnice uzyskiwanych wyników szybkości reakcji w klasycznym teście komputerowym z klasycznym testem w VR, w kolejnych pomiarach zauważa się zmniejszenie różnicy między nimi w grupie eksperymentalnej. W grupie kontrolnej ta tendencja wystąpiła głównie w przypadku SRT. Należy pamiętać, że szybkość przetwarzania poznawczego i percepcyjnego są bezpośrednio związane ze złożonością bodźców (Lang, 2000). Istnieje więc prawdopodobieństwo, że połączenie zadań poznawczych z nowością i multisensorycznym środowiskiem VR mogła powodować przeciążenie układu nerwowego i skutkować wydłużeniem czasu percepcji i reakcji na bodźce, u zawodników którzy nie odbywali regularnych treningów w VR i nie oswoili się wystarczająco z tą technologią.

Zastanawiać mogą rezultaty uzyskane w testach z wykorzystaniem linijki. Przeprowadzona analiza wariancji nie wykazała w ich przypadku istotnych różnic między wynikami kolejnych pomiarów zarówno w grupie eksperymentalnej, jak i kontrolnej. Dla ręki prawej odnotowano w obu grupach trend malejący zarówno w badaniu kontrolnym, jak

i końcowym. Natomiast szybkość reakcji lewej ręki początkowo nieznacznie wzrosła (II pomiar), a następnie uległa pogorszeniu (III pomiar). W związku z tym trudno o jednoznaczną interpretację wyników. Analizując wyniki warto jednak zwrócić uwagę na inny ich aspekt. W teście chwytu opadającej linijki w RL reakcja zawodników zarówno w grupie eksperymentalnej jak i kontrolnej była prawie dwa razy szybsza w porównaniu do tego samego testu przeprowadzonego w VR. Prawdopodobnie było to spowodowane czynnikiem ludzkim, występującym w tym teście, który mógł wpływać na obiektywność pomiarów, a który wynikał z zastosowanej metodyki badania. Wykonujący test zawodnicy, spoglądając na linijkę, obserwowali również badającego. Mogli więc na podstawie jego mimiki, zachowania, subtelnych ruchów ciała lub napięcia/rozluźnienia mięśniowego poprzedzających rozpoczęcie testu, przewidywać moment opuszczenia linijki. Takie przypuszczenie zdają się potwierdzać inne badania. Del Rossi (2017) analizując uzyskane wyniki czasu reakcji testem chwytu opadającej linijki z badaniami innych autorów (Eckner, Chandran, i in., 2011; Eckner i in., 2014; Eckner, Kutcher, i in., 2011a; MacDonald i in., 2015) zauważył znaczne rozbieżności, które były spowodowane różnicami metodologicznymi przeprowadzenia testu. Jedną z nich była wizualizacja linijki, która w badaniach Del Rossi była ukryta przed badanym, poprzez zawieszenie jej pionowo w rurce z polochloru winylu (PVC), aby ograniczyć przewidywanie momentu jej uwolnienia, a w pozostałych widoczna dla badanych. Różnice występowały również w odległości początkowej linijki od palców osób wykonujących test, grubości linijki czy przyjmowanej pozycji przez badanego. Osoby badane przez Del Rossi uzyskiwały RT na poziomie 241,6 ms, podczas gdy w badaniach innych autorów z widoczną linijką wyniki kształtowały się w granicach 176,19-196,94 ms (Jha i in., 2020). Obrazuje to, jak duży wpływ na uzyskany wynik ma sam sposób wizualizacji linijki. W badaniach własnych zawodnicy z grupy eksperymentalnej chwywali opadającą linijkę w RL w czasie od 173,909 ms do 183,596 ms, a w grupie kontrolnej w przedziale od 174,018 ms do 182,263 ms. W środowisku wirtualnym odnotowano znacznie dłuższe przedziały czasowe: 279,056 – 290,833 ms (grupa eksperymentalna) i 283,167 – 292,889 ms (grupa kontrolna). Tak duża różnica wyników między podobnymi testami w badaniach własnych i stwierdzone rozbieżności rezultatów odnotowanych przez innych autorów skłaniają do zastanowienia się nad zasadnością wykorzystywania w badaniach testu opadającej linijki w jego klasycznej postaci. Wiele przemawia natomiast za jego wirtualną odmianą. Dzięki wykonywaniu chwytu opadającej linijki w VR użytkownik jest testowany zgodnie z obiektywną i wystandaryzowaną procedurą badawczą, jest także odizolowany od zakłócających bodźców zewnętrznych oraz nie może przewidzieć zainicjowania ruchu linijki, która opada w zrandomizowanych odstępach czasu.

Neumann et al. (2018) wskazuje, że zaletą technologii VR jest to, iż można w sposób precyzyjny i powtarzalny kontrolować funkcje środowiska wirtualnego. Aplikacja wykorzystywana w badaniach własnych jest prosta i intuicyjna dla użytkownika. Zawodnicy podczas wykonywania testów i treningu KZM nie zgłaszali uwag odnośnie obsługi programu testującego. Bez problemu obsługiwali interfejs aplikacji, dzięki czemu nie była wymagana interwencja z zewnątrz przez osoby przeprowadzającej badania. Pomiar testów były całkowicie niezależne od osoby testującej, a co za tym idzie obiektywne. Należy również zaznaczyć, że testy oraz treningi w VR mogą być za każdym razem odtwarzane w tych samych warunkach badawczych, natomiast każde odstępstwo od założonej przed badaniem procedury jest wykrywane oraz komunikowane użytkownikowi jako błąd. Dodatkowo, dzięki możliwości prezentacji VR na zewnętrznym monitorze, można mieć stałą kontrolę nad przebiegiem testu lub treningu oraz wgląd do wyników uzyskiwanych przez użytkownika. Uzyskiwane rezultaty zapisują się w bazie danych, co umożliwia ich szczegółową analizę po zakończeniu badań. Dzięki temu można bezproblemowo monitorować progres treningowy, porównywać wybranych zawodników, kontrolować prawidłowe wykonanie testu i korygować użytkowników lub powtórzyć badanie, w razie stwierdzenia nieprawidłowości. Środowisko wirtualne posiada niewątpliwie duży potencjał w zakresie konstruowania testów do oceny poziomu KZM, które można w nim tworzyć zgodnie z podstawowymi kryteriami wymienionymi przez Raczkę i in. (2003), jakimi są: prawidłowość, szybkość, racjonalność i kreatywność. Wspomniani autorzy wyróżniają testy analityczne służące do pomiaru i oceny jednego wskaźnika zdolności koordynacyjnej lub testy syntetyczne, za pomocą których można oceniać kilka wskaźników lub komponentów jednej lub różnych zdolności. Wydaje się, że dzięki VR będzie można tworzyć obie wymienione formy testów.

W ostatnim czasie rośnie zainteresowanie wykorzystaniem VR do uprawiania aktywności fizycznej i treningu różnych dyscyplin sportowych zwłaszcza jako narzędzia uzupełniającego, gdy trening w prawdziwym świecie jest logistycznie trudny (na przykład w warunkach pandemii COVID-19), niebezpieczny do przeprowadzenia lub ciężki do zorganizowania. Dlatego duże znaczenie mają badania zmierzające do oceny jego efektywności. Konieczne jest również opracowanie metodyki ćwiczeń oraz metodologii badań. W chwili obecnej pojawia się wiele wątpliwości ze względu na nieliczne jeszcze opracowania dotyczące ww. zagadnień. Problemem jest między innymi dobór czasu trwania interwencji treningowej. Z przeprowadzonej przez Richlan i in. (2022) analizy jedenastu pozycji literaturowych wynika, że czas trwania eksperymentów treningowych w VR wynosi od jednego dnia do dwunastu tygodni. W jednym przypadku (Petri i in., 2019) interwencja była

rozciągnięta na trzydzieści dwa tygodnie, jednak objętość treningowa wynosiła 100-150 minut. W badaniach własnych, pierwsza ocena wpływu treningu KZM na szybkość reakcji wykonana została po 240 minutach, a końcowa po 480 minutach. Poprawę niektórych parametrów zaobserwowano już po czterech tygodniach, innych z kolei dopiero po ośmiotygodniowej interwencji treningowej. Brak stosownych rekomendacji skłania do prowadzenia badań zmierzających do określenia optymalnej objętości treningowej w odniesieniu do kształtowanej zdolności motorycznej czy umiejętności ruchowej. Kolejnym niewyjaśnionym jeszcze problemem jest dobór odpowiedniej grupy badawczej. Wielu badaczy (Colquitt i in., 2000; Grossman & Salas, 2011; Velada i in., 2007) odkryło, że osoby o wyższych zdolnościach funkcji poznawczych są w stanie lepiej przetwarzać i zapamiętywać informacje podczas treningu. Ćwiczenia w środowisku wirtualnym były stosowane głównie u początkujących sportowców (Neumann i in., 2018). Uzyskane wyniki badań własnych wskazują, że technologia VR może być stosowana również w sporcie wyczynowym. Zastosowany w badaniach własnych trening KZM w VR okazał się przydatny dla zawodników na poziomie średniozaawansowanym oraz zaawansowanym jako uzupełnienie tradycyjnego treningu MMA, w którym szybkość reagowania jest kluczowa. Warto zaznaczyć, że zaimplementowane do VR aplikacje umożliwiały regulację poziomu trudności ćwiczenia, dzięki czemu poziom wykonywanego zadania mógł być dostosowany do poziomu umiejętności zawodnika. Gray (2017) stwierdził, że w przypadku, gdy trening był dopasowywany do poziomu umiejętności wykonawcy, skutkowało to większą poprawą wyników w RL, w porównaniu z grupami, które wykonywały powtarzalny trening zarówno w środowisku wirtualnym jak i rzeczywistym. Jeszcze jednym ważnym czynnikiem wpływającym na efektywność treningu w VR jest według Miles i in. (2013) wierność odwzorowania rzeczywistego świata i zadania treningowego. Badania własne wykazały jednak, że zadania wykonywane w VR, mimo iż były inne niż przeprowadzane testy, wpłynęły pozytywnie na uzyskiwane wyniki zarówno w środowisku wirtualnym jak i rzeczywistym.

Mimo zdecydowanej przewagi zalet nad wadami używania wirtualnej rzeczywistości (Pantelidis, 2010) należy zwrócić uwagę na jej negatywne aspekty. Możliwość użytkowania VR w domu, gdzie spotykamy się z innymi osobami w wirtualnie wykreowanym otoczeniu może powodować ograniczenie kontaktu fizycznego oraz społecznego (Gregg & Tarrier, 2007). Należy również pamiętać, iż nowoczesna technologia nie nadaje się dla wszystkich. Przykładem są osoby cierpiące na technofobię (Levanon, 2013). Możliwym dyskomfortem, który może występować podczas użytkowania VR są objawy choroby lokomocyjnej nazywane cyberchorobą (Rebenitsch & Owen, 2016). Rozwój badań nad wirtualną rzeczywistością

sprzyja większej świadomości przyczyn występowania tych negatywnych objawów (Saredakis i in., 2020). Zastosowana w badaniach własnych aplikacja nie wywoływała negatywnych objawów, gdyż żaden z zawodników nie zakomunikował tego faktu osobie przeprowadzającej badanie.

W związku z niezwykle dynamicznym rozwojem immersyjnej wirtualnej rzeczywistości oraz rosnącym zainteresowaniem tą technologią sportowców i trenerów rysuje się pilna potrzeba podejmowania badań zmierzających do wykorzystania licznych potencjalnych możliwości VR w procesie treningowym różnych dyscyplin sportowych. Opisana w pracy interwencja stanowi jedną z pierwszych tego typu inicjatyw badawczych.

## 6. 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 znamienne poprawia szybkość reakcji prostej i złożonej na bodźce wzrokowe zawodników MMA ocenianych w środowisku realnym w oparciu o specyficzny dla tej dyscypliny sportowej wzorzec 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.

Skuteczność wykorzystanych w badaniach narzędzi treningowych skłania do projektowania, implementacji i testowania w VR podobnych aplikacji pod względem ich przydatności w treningu motorycznym zawodników różnych dyscyplin sportowych.

## Streszczenie

Wysoki poziom zdolność szybkiej reakcji motorycznej jest kluczowy do osiągnięcia sukcesu podczas rywalizacji sportowej w sztukach walki. Ten aspekt jest szczególnie istotny u zawodników mieszanych sztuk walki, którzy toczą rywalizację w różnych płaszczyznach i pozycjach stosując zróżnicowane i zmodyfikowane techniki zaczerpnięte z różnych dyscyplin uderzanych lub chwytanych. Ciągły rozwój metod i narzędzi treningowych powoduje, że trening sportowy staje się coraz bardziej unowocześniony poprzez stosowanie różnego rodzaju technologii cyfrowych i systemów informatycznych. Jednym z innowacyjnych narzędzi wspomagających trening sportowy jest immersyjna wirtualna rzeczywistość (VR), czyli sztucznie stworzone środowisko, w którym człowiek zostaje odcięty od bodźców wzrokowych i dźwiękowych rzeczywistego środowiska, a zamiast nich odbiera obraz i dźwięk, a nawet wrażenia dotykowe symulowanego świata. Z dostępnej literatury wynika, że podejmowane są pierwsze próby wykorzystania VR zarówno do konstruowania rzetelnych testów motorycznych, jak i tworzenia programów treningowych do nauczania umiejętności ruchowych oraz kształtowania zdolności motorycznych. Niedobór doniesień świadczących o skuteczności tego rodzaju treningu, zwłaszcza w odniesieniu do koordynacyjnej sfery motoryczności człowieka oraz potencjał i innowacyjność VR, stał się przyczyną podjęcie badań własnych.

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.

W pracy postawiono 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?

Badania przeprowadzono w grupie 36 doświadczonych zawodników MMA, którzy zostali podzieleni losowo na dwie równe grupy: eksperymentalną, która wykonywała trzydziestominutowy dodatkowy trening koordynacyjny w VR (2 razy w tygodniu) i kontrolną, nie uczestniczącą w treningu uzupełniającym. Całkowity czas trwania eksperymentu wynosił osiem tygodni. W tym okresie wszyscy zawodnicy brali udział w treningach MMA. Grupy kontrolna i eksperymentalna trenowały na zajęciach grupowych trwających dziewięćdziesiąt

minut, które odbywały się cztery razy w tygodniu pod nadzorem tego samego trenera prowadzącego.

U wszystkich badanych przeprowadzono testy szybkości reakcji na początku interwencji (I pomiar), po czterech tygodniach (II pomiar) oraz po ośmiu tygodniach badań (III pomiar). Badania obejmowały: pomiary wykonywane w VR, klasyczne testy komputerowe, próby z wykorzystaniem systemu lampek treningowych BlazePod oraz popularny chwyt opadającej linijki. W VR przeprowadzono trzy rodzaje testów. Pierwszy z nich polegał na reagowaniu na bodźce świetlne poprzez naciskanie przycisku kontrolera i oceniał reakcję prostą i złożoną. Drugim był odwzorowany w VR znany test „chwyt opadającej linijki” oceniający reakcję prostą na poruszający się przedmiot. Trzeci polegał na dynamicznym wyprostie ramienia w odpowiedzi na sygnał świetlny i opierał się na jednym ze wzorców ruchowych ukierunkowanych na uprawianą przez badanych zawodników dyscyplinę sportową. W tej próbie, oprócz pomiaru szybkości reakcji prostej i złożonej, można było również ocenić jej składowe (czas reakcji i czas ruchu).

W celu przeprowadzenia analiz statystycznych zastosowano parametryczną analizę wariancji z powtórzonymi pomiarami lub nieparametryczną analizę ANOVA Friedmana, które zostały uzupełnione odpowiednio testami post-hoc Tukeya lub Dunna.

Obliczono również przyrosty względne danych pomiarowych. Wszystkie analizy statystyczne przeprowadzono na wartościach średnich.

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz analiz sformułowano następujące 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 zarówno po czterech, jak i po ośmiu tygodniach ćwiczeń.
2. Trening koordynacyjny w VR znamienne poprawia szybkość reakcji prostej i złożonej na bodźce wzrokowe zawodników MMA ocenianych w środowisku realnym w oparciu o specyficzny dla tej dyscypliny sportowej wzorzec 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 ośmiu niż po czterech tygodniach ćwiczeń.
4. 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.

## Summary

The high level of motor reaction ability is crucial for achieving success in competitive martial arts. This aspect is particularly important for mixed martial arts athletes who compete in various planes and positions using diverse and modified techniques borrowed from different striking or grappling disciplines. The constant development of training methods and tools is making sports training becomes more innovative through the use of various digital technologies and computer systems. One of the innovative tools that support sports training is immersive virtual reality (VR), an artificially created environment in which a person is disconnected from the visual and auditory stimuli of the real environment and instead receives images and sound, as well as tactile sensations of the simulated world. From the available literature, it appears that initial attempts are being made to use VR both to construct reliable motor tests and to create training programs to teach movement skills and develop motor abilities. The shortage of reports attesting to the effectiveness of this type of training, especially in relation to the coordination sphere of human motor abilities and the potential and innovation of VR, has become the cause for conducting it's own research.

The aim of this study is to evaluate the impact of coordination motor ability training of mixed martial arts (MMA) athletes in VR on their level of reaction speed as assessed by tests performed in virtual and real environments.

The following research questions were proposed in the study:

1. Will a several-week (4 or 8 weeks) coordination training in a virtual environment improve the reaction speed (simple and complex) of MMA athletes in VR?
2. Will a several-week (4 or 8 weeks) coordination training in VR improve the reaction speed (simple and complex) of MMA athletes in the real environment
3. Does the length of the training period in VR determine the level of reaction speed (simple and complex) of MMA athletes?

The study was conducted in a group of 36 experienced MMA athletes who were randomly divided into two equal groups: an experimental group that performed 30-minute additional coordination training in VR (2 times a week) and a control group that did not participate in the additional VR training. The total duration of the experiment was eight weeks. During this period, all athletes participated in regular MMA training. The control and experimental groups trained in 90-minute group sessions that took place four times a week under the supervision of the same leading trainer. All subjects were tested for reaction speed at the beginning of the

intervention (I measurement), after four weeks (II measurement), and after eight weeks of examination (III measurement). The studies included: measurements made in VR, classical computer tests, tests using the BlazePod training system, and the popular ruler drop method. In VR, three types of tests were conducted. The first one involved reacting to light stimuli by pressing the controller button and evaluated simple and complex reaction. The second one was a VR-recreated known "ruler drop method" test is evaluating simple reaction to a moving object. The third one involved dynamic arm extension in response to a light signal and was based on one of the movement patterns aimed at the sport discipline trained by the tested athletes. In this test, in addition to measuring simple and complex reaction speed, you could also evaluate its components (reaction time and movement time).

To carry out statistical analyses, a parametric analysis of variance with repeated measurements or non-parametric ANOVA Friedman were used, which were supplemented with appropriate post-hoc Tukey or Dunn tests.

Relative gains in measurement data were also calculated. All statistical analyses were conducted on average values.

Based on the studies and analyses, the following conclusions were drawn:

1. Under the influence of coordination training in a virtual environment, the observed outcome is improvement in the speed of simple and complex reactions to visual stimuli in MMA fighters assessed by using various tests implemented in VR. Significant improvement in results is observed both after four and eight weeks of exercise.
2. Coordination training in VR significantly improves the speed of simple and complex reactions to visual stimuli in MMA fighters assessed in real-world environments based on the specific pattern of upper limb extension specific to this sport. When assessing the impact of coordination training in VR on the improvement of motor skills using classical computer tests based on fine motor skills (finger movements), despite the faster reactions of athletes, no statistically significant improvement in results was observed.
3. The length of the coordination training period in a virtual environment affects the level of speed of simple and complex reactions to visual stimuli in MMA fighters. In most test tasks, a clearer improvement in these motor skills was observed after eight weeks rather than after four weeks of exercise.
4. The improvement in reaction speed of experienced MMA fighters under the influence of a relatively short training intervention in VR suggests that coordination

exercises performed in a virtual environment are an effective training tool even for advanced athletes.

## Spis rycin

Ryc. 1. Uczestnik badań podczas wykonywania jednego z testów szybkości reakcji w VR z wykorzystaniem zestawu Oculus Quest 2 .....	23
Ryc. 2. Wizualizacja testu „Klasyczny test w VR – reakcja prosta PR” .....	24
Ryc. 3. Widok testu „Klasyczny test w VR – reakcja prosta” z perspektywy użytkownika ...	24
Ryc. 4. Wizualizacja testu „Klasyczny test w VR – reakcja złożona” .....	25
Ryc. 5. Widok testu „Klasyczny test w VR – reakcja złożona” z perspektywy użytkownika.	25
Ryc. 6. Wizualizacja testu „Chwyt opadającej linijki w VR – reakcja prosta PR” .....	25
Ryc. 7. Widok testu „Chwyt opadającej linijki w VR – reakcja prosta PR” z perspektywy użytkownika .....	26
Ryc. 8. Wizualizacja testu „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja prosta PR” .....	27
Ryc. 9. Widok testu „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja prosta PR” z perspektywy użytkownika .....	27
Ryc. 10. Wizualizacja testu „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja złożona” .....	27
Ryc. 11. Widok testu „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja złożona” z perspektywy użytkownika .....	27
Ryc. 12. Klasyczny test komputerowy wykonywany przez osobę badaną .....	29
Ryc. 13. Wizualizacja bodźców świetlnych pojawiających się na ekranie w czasie klasycznych testów komputerowych do pomiaru szybkości reakcji prostej i złożonej .....	29
Ryc. 14. Zawodnik MMA wykonujący test „Wyprost kończyny górnej (Blazepod) – reakcja złożona” .....	30
Ryc. 15. Zawodnik MMA wykonujący test „Chwyt opadającej linijki – reakcja prosta LR”. 31	
Ryc. 16. Wizualizacja treningu „Gaszenie lampek (dysków) rozmieszczonych na współśrodkowych kwadratach” w VR .....	32
Ryc. 17. Widok programu treningowego „Gaszenie lampek (dysków) rozmieszczonych na współśrodkowych kwadratach” w VR z perspektywy użytkownika .....	33
Ryc. 18. Wizualizacja treningu „Unikanie nadlatujących piłeczek – trening szybkości reakcji” w VR .....	33
Ryc. 19. Widok programu treningowego „Unikanie nadlatujących piłeczek – trening szybkości reakcji” w VR z perspektywy użytkownika .....	33
Ryc. 20. Wizualizacja treningu „Celowanie w pokrywające się dyski – trening zdolności orientacji czasowo-przestrzennej” w VR .....	34



Ryc. 21. Widok programu treningowego „Celowanie w pokrywające się dyski – trening zdolności orientacji czasowo-przestrzennej” w VR z perspektywy użytkownika.....	34
Ryc. 22. Wizualizacja treningu „Rytmiczne uderzanie w figury – trening zdolności rytmizacji” w VR .....	35
Ryc. 23. Widok programu treningowego „Rytmiczne uderzanie w figury – trening zdolności rytmizacji” w VR z perspektywy użytkownika.....	35
Ryc. 24. Wizualizacja treningu „Dopasowanie rozmiarów dysku do okręgu poprzez uderzanie z odpowiednią prędkością – trening zdolności różnicowania (różnicowanie prędkości ruchów kończyn górnych)” w VR.....	36
Ryc. 25. Widok programu treningowego „Dopasowanie rozmiarów dysku do okręgu poprzez uderzanie z odpowiednią prędkością – trening zdolności różnicowania (różnicowanie prędkości ruchów kończyn górnych)” w VR z perspektywy użytkownika .....	36
Ryc. 26. Wizualizacja treningu „Dostosowanie pozycji do zmieniającego się tunelu – trening zdolności dostosowania motorycznego" w VR.....	37
Ryc. 27. Widok programu treningowego „Dostosowanie pozycji do zmieniającego się tunelu – trening zdolności dostosowania motorycznego” w VR z perspektywy użytkownika .....	37
Ryc. 28. Wizualizacja treningu „Utrzymywanie rąk wewnątrz przemieszczających się linii – trening zdolności łączenia ruchów" w VR .....	38
Ryc. 29. Widok programu treningowego „Utrzymywanie rąk wewnątrz przemieszczających się linii – trening zdolności łączenia ruchów” w VR z perspektywy użytkownika .....	38
Ryc. 30. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej prawej ręki ocenianej klasycznym testem w VR .....	42
Ryc. 31. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej lewej ręki ocenianej klasycznym testem w VR .....	42
Ryc. 32. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji złożonej ocenianej klasycznym testem w VR .....	42
Ryc. 33. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej prawej ręki ocenianej chwytem opadającej linijki w VR.....	43
Ryc. 34. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej lewej ręki ocenianej chwytem opadającej linijki w VR.....	43
Ryc. 35. Wpływ treningu w VR na szybkości reakcji prostej prawej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR.....	44
Ryc. 36. Wpływ treningu w VR na czas reakcji prostej prawej ręki oceniany wyprostem kończyny górnej w VR.....	44

Ryc. 37. Wpływ treningu w VR na czas ruchu prawej ręki ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR – reakcja prosta .....	44
Ryc. 38. Wpływ treningu w VR na szybkości reakcji prostej lewej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR.....	45
Ryc. 39. Wpływ treningu w VR na czas reakcji prostej lewej ręki oceniany wyprostem kończyny górnej w VR.....	45
Ryc. 40. Wpływ treningu w VR na czas ruchu lewej ręki ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR – reakcja prosta .....	46
Ryc. 41. Wpływ treningu w VR na szybkości reakcji złożonej ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR .....	46
Ryc. 42. Wpływ treningu w VR na czas reakcji złożonej ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR .....	47
Ryc. 43. Wpływ treningu w VR na czas ruchu ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR – reakcja złożona.....	47
Ryc. 44. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej prawej ręki ocenianej klasycznym testem komputerowym .....	48
Ryc. 45. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej lewej ręki ocenianej klasycznym testem komputerowym .....	48
Ryc. 46. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji złożonej ocenianej klasycznym testem komputerowym.....	48
Ryc. 47. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej prawej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej (BlazePod) .....	49
Ryc. 48. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej lewej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej (BlazePod) .....	49
Ryc. 49. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji złożonej ocenianej wyprostem kończyny górnej (BlazePod).....	50
Ryc. 50. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej prawej ręki ocenianej chwytem opadającej linijki .....	50
Ryc. 51. Wpływ treningu w VR na szybkość reakcji prostej lewej ręki ocenianej chwytem opadającej linijki .....	51
Ryc. 52. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej prawej ręki ocenianej klasycznym testem w VR.....	51
Ryc. 53. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej lewej ręki ocenianej klasycznym testem w VR.....	52

Ryc. 54. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji złożonej ocenianej klasycznym testem w VR .....	52
Ryc. 55. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej prawej ręki ocenianej chwytem opadającej linijki w VR .....	53
Ryc. 56. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej lewej ręki ocenianej chwytem opadającej linijki w VR.....	53
Ryc. 57. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej prawej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR.....	54
Ryc. 58. Wyniki kolejnych pomiarów czasu reakcji prostej prawej ręki ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR.....	54
Ryc. 59. Wyniki kolejnych pomiarów czasu ruchu prawej ręki ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR – reakcja prosta .....	54
Ryc. 60. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej lewej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR.....	55
Ryc. 61. Wyniki kolejnych pomiarów czasu reakcji prostej lewej ręki ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR.....	55
Ryc. 62. Wyniki kolejnych pomiarów czasu ruchu lewej ręki ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR – reakcja prosta .....	56
Ryc. 63. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji złożonej ocenianej wyprostem kończyny górnej w VR.....	56
Ryc. 64. Wyniki kolejnych pomiarów czasu reakcji złożonej ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR.....	57
Ryc. 65. Wyniki kolejnych pomiarów czasu ruchu ocenianego wyprostem kończyny górnej w VR – reakcja złożona .....	57
Ryc. 66. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej prawej ręki ocenianej klasycznym testem komputerowym .....	58
Ryc. 67. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej lewej ręki ocenianej klasycznym testem komputerowym .....	58
Ryc. 68. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji złożonej ocenianej klasycznym testem komputerowym .....	58
Ryc. 69. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej prawej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej (BlazePod) .....	59
Ryc. 70. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej lewej ręki ocenianej wyprostem kończyny górnej (BlazePod) .....	59

Ryc. 71. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji złożonej ocenianej wyprostem kończyny górnej (BlazePod) .....	60
Ryc. 72. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej prawej ręki ocenianej chwytem opadającej linijki.....	60
Ryc. 73. Wyniki kolejnych pomiarów szybkości reakcji prostej lewej ręki ocenianej chwytem opadającej linijki .....	60
Ryc. 74. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Klasyczny test VR - reakcja prosta PR" .....	64
Ryc. 75. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Klasyczny test VR - reakcja prosta LR" .....	65
Ryc. 76. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Klasyczny test VR - reakcja złożona" .....	65
Ryc. 77. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Chwyt opadającej linijki w VR - reakcja prosta PR" .....	65
Ryc. 78. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Chwyt opadającej linijki w VR - reakcja prosta LR" .....	66
Ryc. 79. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej – „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja prosta PR” .....	66
Ryc. 80. Przyrost względny czasu reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Wyprost kończyny górnej w VR - reakcja prosta PR" .....	67
Ryc. 81. Przyrost względny czasu ruchu prostego zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Wyprost kończyny górnej w VR - reakcja prosta PR" .....	67
Ryc. 82. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej – „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja prosta LR” .....	67
Ryc. 83. Przyrost względny czasu reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Wyprost kończyny górnej w VR - reakcja prosta LR" .....	68
Ryc. 84. Przyrost względny czasu ruchu prostego zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Wyprost kończyny górnej w VR - reakcja prosta LR" .....	68

Ryc. 85. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Wyprost kończyny górnej w VR - reakcja złożona" .....	68
Ryc. 86. Przyrost względny czasu reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Wyprost kończyny górnej w VR - reakcja złożona" .....	69
Ryc. 87. Przyrost względny czasu ruchu prostego zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej – „Wyprost kończyny górnej w VR – reakcja złożona” .....	69
Ryc. 88. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej – „Klasyczny test komputerowy – reakcja prosta PR” .....	69
Ryc. 89. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Klasyczny test komputerowy - reakcja prosta LR" .....	70
Ryc. 90. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Klasyczny test komputerowy - reakcja złożona" ... ..	70
Ryc. 91. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Wyprost kończyny górnej (BlazePod) - reakcja prosta PR" .....	71
Ryc. 92. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Wyprost kończyny górnej (BlazePod) - reakcja prosta LR" .....	71
Ryc. 93. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej – „Wyprost kończyny górnej (BlazePod) – reakcja złożona” .....	71
Ryc. 94. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Chwył opadającej linijki - reakcja prosta PR" .....	72
Ryc. 95. Przyrost względny szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej po treningu w VR na tle grupy kontrolnej - "Chwył opadającej linijki - reakcja prosta LR" .....	72

## Spis tabel

Tabela 1. Prezentacja podstawowych danych opisowych grupy eksperymentalnej i kontrolnej .....	21
Tabela 2. Zestawienie wyników testów szybkości reakcji uzyskanych przez zawodników z grupy eksperymentalnej i kontrolnej w badaniach wstępnych.....	40
Tabela 3. Zestawienie różnic pomiędzy wynikami z I i II pomiaru (przyrostów absolutnych – $\Delta$ ) testów szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej ( $G_E$ ) i kontrolnej ( $G_K$ )..	61
Tabela 4. Zestawienie różnic pomiędzy wynikami z I i III pomiaru (przyrostów absolutnych – $\Delta$ ) testów szybkości reakcji zawodników z grupy eksperymentalnej ( $G_E$ ) i kontrolnej ( $G_K$ )..	63

## 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. Alter, M. J. (1998). *Sport stretch*. Human Kinetics.
4. 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](https://doi.org/10.4103/PJIAP.PJIAP_19_18)
5. 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>
6. Badau, D., Baydil, B., & Badau, A. (2018). Differences among Three Measures of Reaction Time Based on Hand Laterality in Individual Sports. *Sports*, 6(2), Art. 2. <https://doi.org/10.3390/sports6020045>
7. Balasubramaniam, M., Sivapalan, K., Nishanthi, V., Kinthusa, S., & Dilani, M. (2015). Effect of Dual-tasking on Visual and Auditory Simple Reaction Times. *Indian J Physiol Pharmacol*, 59, 5.
8. Balkó, Š., Zbigniew Borysiuk, & Simonek, J. (2016). The Influence of Different Performance Level of Fencers on Simple and Choice Reaction Time. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, 18, 391–400. <https://doi.org/10.5007/1980-0037.2016v18n4p391>
9. 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>
10. Bianco, M., Ferri, M., Fabiano, C., Scardigno, A., Tavella, S., Caccia, A., Manili, U., Faina, M., Casasco, M., & Zeppilli, P. (2008). Comparison of Baseline Neuropsychological Testing in Amateur Versus Professional Boxers. *The Physician and Sportsmedicine*, 36(1), 95–102. <https://doi.org/10.3810/psm.2008.12.17>
11. Bideau, B., Kulpa, R., Vignais, N., Brault, S., Multon, F., & Craig, C. (2010). Using Virtual Reality to Analyze Sports Performance. *IEEE Computer Graphics and*

- Applications*, 30(2), 14–21. <https://doi.org/10.1109/MCG.2009.134>
12. Bird, J. M., Karageorghis, C. I., Baker, S. J., Brookes, D. A., & Nowicky, A. V. (2021). Ready Exerciser One: Effects of music and virtual reality on cycle ergometer exercise. *British Journal of Health Psychology*, 26(1), 15–32. <https://doi.org/10.1111/bjhp.12445>
  13. Boloban, V., Sadowski, J., Niznikowski, T., & Wiśniowski, W. (2010). Didactic technology in mastering complex motor tasks. *Coordination motor abilities in scientific research*, 33, 112–129.
  14. Brenner, E., & Smeets, J. B. J. (2019). How Can You Best Measure Reaction Times? *Journal of Motor Behavior*, 51(5), 486–495. <https://doi.org/10.1080/00222895.2018.1518311>
  15. Buettner, R., Baumgartl, H., Konle, T., & Haag, P. (2020). A Review of Virtual Reality and Augmented Reality Literature in Healthcare. *2020 IEEE Symposium on Industrial Electronics Applications (ISIEA)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ISIEA49364.2020.9188211>
  16. 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>
  17. Carvalho, B., Soares, M., Neves, A., Soares, G., & Lins, A. (2016). Virtual reality devices applied to digital games. A literature review. W In: *Marcelo M. Soares, Francisco Rebelo (eds.), Ergonomics in Design: Methods and Techniques* (T. 9, s. 125–136). Publisher: CRC Press. [https://www.researchgate.net/profile/Marcelo-Soares-21/publication/307882059\\_Virtual\\_Reality\\_devices\\_applied\\_to\\_digital\\_games\\_a\\_literature\\_review/links/57d0311a08ae5f03b4890865/Virtual-Reality-devices-applied-to-digital-games-a-literature-review.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Marcelo-Soares-21/publication/307882059_Virtual_Reality_devices_applied_to_digital_games_a_literature_review/links/57d0311a08ae5f03b4890865/Virtual-Reality-devices-applied-to-digital-games-a-literature-review.pdf)
  18. Castellar, C., Pradas, F., Carrasco, L., La Torre, A. D., & González-Jurado, J. A. (2019). Analysis of reaction time and lateral displacements in national level table tennis players: Are they predictive of sport performance? *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 19(4), 467–477. <https://doi.org/10.1080/24748668.2019.1621673>
  19. Colman, A. M. (2015). *A Dictionary of Psychology*. Oxford University Press.
  20. Colquitt, J. A., LePine, J. A., & Noe, R. A. (2000). Toward an integrative theory of training motivation: A meta-analytic path analysis of 20 years of research. *Journal of*



- Applied Psychology*, 85(5), 678–707. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.85.5.678>
21. Czabański, B. (2000). Kształcenie psychomotoryczne (Psychomotor education). *Wrocław: Wydawnictwo AWF.*
  22. 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.
  23. de Brito, M. A., Fernandes, J. R., Esteves, N. S., Müller, V. T., Alexandria, D. B., Pérez, D. I. V., Slimani, M., Brito, C. J., Bragazzi, N. L., & Miarka, B. (2022). The Effect of Neurofeedback on the Reaction Time and Cognitive Performance of Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16, 868450. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.868450>
  24. de-Oliveira, L. A., Matos, M. V., Fernandes, I. G. S., Nascimento, D. A., & da Silva-Grigoletto, M. E. (2021). Test-Retest Reliability of a Visual-Cognitive Technology (BlazePod™) to Measure Response Time. *Journal of Sports Science and Medicine*, 179–180. <https://doi.org/10.52082/jssm.2021.179>
  25. Deary, I. J., Liewald, D., & Nissan, J. (2011). A free, easy-to-use, computer-based simple and four-choice reaction time programme: The Deary-Liewald reaction time task. *Behavior Research Methods*, 43(1), 258–268. <https://doi.org/10.3758/s13428-010-0024-1>
  26. Del Rossi, G. (2017). Evaluating the Recovery Curve for Clinically Assessed Reaction Time After Concussion. *Journal of Athletic Training*, 52(8), 766–770. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-52.6.02>
  27. 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>
  28. Di Russo, F., Bultrini, A., Brunelli, S., Delussu, A. S., Polidori, L., Taddei, F., Traballes, M., & Spinelli, D. (2010). Benefits of sports participation for executive function in disabled athletes. *Journal of Neurotrauma*, 27(12), 2309–2319. <https://doi.org/10.1089/neu.2010.1501>
  29. Eckner, J. T., Chandran, S., & Richardson, J. K. (2011). Investigating the role of feedback and motivation in clinical reaction time assessment. *PM & R : the journal of injury, function, and rehabilitation*, 3(12), 1092–1097.

<https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2011.04.022>

30. Eckner, J. T., Kutcher, J. S., Broglio, S. P., & Richardson, J. K. (2014). Effect of sport-related concussion on clinically measured simple reaction time. *British Journal of Sports Medicine, 48*(2), 112–118. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091579>
31. Eckner, J. T., Kutcher, J. S., & Richardson, J. K. (2011a). Effect of concussion on clinically measured reaction time in nine NCAA Division I collegiate athletes: A preliminary study. *PM & R : the journal of injury, function, and rehabilitation, 3*(3), 212–218. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2010.12.003>
32. Eckner, J. T., Kutcher, J. S., & Richardson, J. K. (2011b). 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>
33. Eckner, J. T., Whitacre, R. D., Kirsch, N. L., & Richardson, J. K. (2009). Evaluating a clinical measure of reaction time: An observational study. *Perceptual and Motor Skills, 108*(3), 717–720. <https://doi.org/10.2466/PMS.108.3.717-720>
34. Florkiewicz, B., Fogtman, S., Lesiakowski, P., & Zwierko, T. (2015). The effect of visual perception training on sensorimotor function in handball players. *Antropomotoryka. Journal of Kinesiology and Exercise Sciences, 69*(25), 25–32.
35. Follmer, B., Vidal Andreato, L., & Silveira Coswig, V. (2021). Combat-ending submission techniques in modern mixed martial arts. *Ido Movement for Culture. Journal of Martial Arts Anthropology, 21*(2). <https://doi.org/10.14589/ido.21.2.2>
36. Fortes, L. S., Almeida, S. S., Praça, G. M., Nascimento-Júnior, J. R. A., Lima-Junior, D., Barbosa, B. T., & Ferreira, M. E. C. (2021). Virtual reality promotes greater improvements than video-stimulation screen on perceptual-cognitive skills in young soccer athletes. *Human Movement Science, 79*, 102856. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2021.102856>
37. Galloway, C. (1988). *Psychologia uczenia się i nauczania*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
38. Gauthier, J. (2009). Ethical and Social Issues in Combat Sports: Should Combat Sports Be Banned? W R. Kordi, N. Maffulli, R. R. Wroble, & W. A. Wallace (Red.), *Combat Sports Medicine* (s. 73–88). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-84800-354-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-84800-354-5_5)
39. Gavkare, A. M., Surdi, A. D., & Nanaware, N. L. (2013). *Auditory Reaction Time, Visual Reaction Time and Whole Body Reaction Time in Athletes*.

<http://imsear.searo.who.int/handle/123456789/157515>

40. Gierczuk, D., Bujak, Z., Rowiński, J., & Dmitriyev, A. (2012). Selected Coordination Motor Abilities in Elite Wrestlers and Taekwon-Do Competitors. *Polish Journal of Sport and Tourism, 19*(4), 230–234. <https://doi.org/10.2478/v10197-012-0022-1>
41. 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>
42. Gignac, G., & Vernon, P. (2004). Reaction time and the dominant and non-dominant hands: An extension of Hick's Law. *Personality and Individual Differences, 36*, 733–739. [https://doi.org/10.1016/S0191-8869\(03\)00133-8](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(03)00133-8)
43. 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>
44. Gregg, L., & TARRIER, N. (2007). Virtual reality in mental health: A review of the literature. *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology, 42*(5), 343–354. <https://doi.org/10.1007/s00127-007-0173-4>
45. Grossman, R., & Salas, E. (2011). The transfer of training: What really matters: The transfer of training. *International Journal of Training and Development, 15*(2), 103–120. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2419.2011.00373.x>
46. Grushko, A., Bochaver, K., Shishkina, A., Kabanov, D., Konstantinova, M., Vavaev, A., & Kasatkin, V. (2016). Psychological and psychophysiological profile in combat sports. *Revista de Artes Marciales Asiáticas, 11*(2s), 70. <https://doi.org/10.18002/rama.v11i2s.4176>
47. Gumaa, M., & Rehan Youssef, A. (2019). Is Virtual Reality Effective in Orthopedic Rehabilitation? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Physical Therapy, 99*(10), 1304–1325. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzz093>
48. Hamilton, D., McKechnie, J., Edgerton, E., & Wilson, C. (2021). Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: A systematic literature review of quantitative learning outcomes and experimental design. *Journal of Computers in Education, 8*(1), 1–32. <https://doi.org/10.1007/s40692-020-00169-2>
49. Harmenberg, J., Ceci, R., Barvestad, P., Hjerpe, K., & Nyström, J. (1991). Comparison of different tests of fencing performance. *International Journal of Sports Medicine, 12*(6), 573–576. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1024736>
50. Heirani, A., VaziniTaher, A., Soori, Z., & Rahmani, M. (2012). Relationship Between Choice Reaction Time and Expertise in Team and Individualsports: A Gender

- Differences Approach. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(8), 344–348.
51. Hoffman, J. R. (2020). Evaluation of a Reactive Agility Assessment Device in Youth Football Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(12), 3311–3315. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003867>
  52. 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>
  53. Isaev, A. V., Korshunov, A. V., Leonov, S. V., Sanoyan, T. R., & Veraksa, A. N. (2016). Quantitative and Qualitative Indicators of Developing Anticipation Skills in Junior Wrestling Athletes. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 233, 186–191. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.10.191>
  54. Jain, A., Bansal, R., Kumar, A., & Singh, K. (2015). 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*, 5(2), 124–127. <https://doi.org/10.4103/2229-516X.157168>
  55. Jeff Davidson, Rami Genauer, Alon Cohen, Deborah Cook, James Kimball, Joseph Coyne, Alexa Eisenberg, & Nikole MacLellan. (2021). *A cross-sectional performance analysis and projection of the UFC athlete*.
  56. Jeffreys, I. (2007). Warm-up revisited: The ramp method of optimizing performance preparation. *Professional Strength and Conditioning*, 6, 12–18.
  57. Jensen, P., Roman, J., Shaft, B., & Wrisberg, C. (2013). In the Cage: MMA Fighters' Experience of Competition. *The Sport Psychologist*, 27(1), 1–12. <https://doi.org/10.1123/tsp.27.1.1>
  58. Jha, R. K., Thapa, S., Kasti, R., & Nepal, O. (2020). Influence of Body Mass Index, Handedness and Gender on Ruler Drop Method Reaction Time among Adults. *Journal of Nepal Health Research Council*, 18(1), 108–111. <https://doi.org/10.33314/jnhrc.v18i1.2545>
  59. Katanić, B., Ilić, P., Stojmenović, A., & Vitasović, M. (2020). The application of Fitflight trainer system in sports. *Fizicka kultura*, 74(2), 115–126. <https://doi.org/10.5937/fizkul74-27189>
  60. Kemp, B. J. (1973). Reaction time of young and elderly subjects in relation to perceptual deprivation and signal-on versus signal-off conditions. *Developmental Psychology*, 8, 268–272. <https://doi.org/10.1037/h0034147>

61. Kida, N., Oda, S., & Matsumura, M. (2005). Intensive baseball practice improves the Go/Nogo reaction time, but not the simple reaction time. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 22(2), 257–264. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.09.003>
62. Kim, A., Schweighofer, N., & Finley, J. (2019). Locomotor skill acquisition in virtual reality shows sustained transfer to the real world. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 16. <https://doi.org/10.1186/s12984-019-0584-y>
63. Klocek, T., Spieszny, M., & Szczepanik, M. (2002). *Komputerowe testy zdolności koordynacyjnych*. Centralny Ośrodek Sportu.
64. La Bounty, P., Campbell, B. I., Galvan, E., Cooke, M., & Antonio, J. (2011). Strength and conditioning considerations for mixed martial arts. *Strength and Conditioning Journal*, 33(1), 56–67. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3182044304>
65. Lang, A. (2000). The Limited Capacity Model of Mediated Message Processing. *Journal of Communication*, 50(1), 46–70. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.2000.tb02833.x>
66. Langer, A., & Polechoński, J. (2021). *Czy lampki treningowe można stosować do trafnej i rzetelnej oceny szybkości reakcji zawodników mieszanych sztuk walki?* Jublieuszowa XXV Konferencja Naukowa: Aktywność ruchowa ludzi w różnym wieku.
67. 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>
68. Levanon, Y. (2013). The advantages and disadvantages of using high technology in hand rehabilitation. *Journal of Hand Therapy*, 26(2), 179–183. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2013.02.002>
69. Lohre, R., Bois, A. J., Athwal, G. S., Goel, D. P., & Canadian Shoulder and Elbow Society (CSES). (2020). Improved Complex Skill Acquisition by Immersive Virtual Reality Training: A Randomized Controlled Trial. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 102(6), e26. <https://doi.org/10.2106/JBJS.19.00982>
70. Lotério Barcelos, J., Pontes Morales, A., Nascimento Maciel, R., dos Anjos Azevedo, M. M., & Furtado da Silva, V. (2009). Time of practice: A comparative study of the motor reaction time among volleyball players. *Fitness & Performance Journal*, 8(2), 103–109. <https://doi.org/10.3900/fpj.8.2.103.e>
71. Loturco, I., Franchini, E., & Cal Abad, C. C. (2015). A Comparative Study of Specific

- Reaction Time in Elite Boxers: Differences between Jabs and Crosses. *Journal of Athletic Enhancement*, 04(03). <https://doi.org/10.4172/2324-9080.1000199>
72. Ma, D., Gausemeier, J., Fan, X., & Grafe, M. (2011). *Virtual reality & augmented reality in industry*. Springer.
73. MacDonald, J., Wilson, J., Young, J., Duerson, D., Swisher, G., Collins, C. L., & Meehan, W. P. (2015). Evaluation of a simple test of reaction time for baseline concussion testing in a population of high school athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 25(1), 43–48. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000096>
74. Mann, D., Williams, A., Ward, P., & Janelle, C. (2007). Perceptual-Cognitive Expertise in Sport: A Meta-Analysis. *Journal of sport & exercise psychology*, 29, 457–478. <https://doi.org/10.1123/jsep.29.4.457>
75. Maszczyk, A., Dobrakowski, P., Nitychoruk, M., Żak, M., Kowalczyk, M., & Toborek, M. (2020). The Effect of Neurofeedback Training on the Visual Processing Efficiency in Judo Athletes. *Journal of Human Kinetics*, 71(1), 219–227. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0097>
76. Mazurek, J., Kiper, P., Cieślik, B., Rutkowski, S., Mehlich, K., Turolla, A., & Szczepańska-Gieracha, J. (2019). Virtual reality in medicine: A brief overview and future research directions. *Human Movement*, 20(3), 16–22. <https://doi.org/10.5114/hm.2019.83529>
77. McClure, C., & Schofield, D. (2019). *Running virtual: The effect of virtual reality on exercise*. <https://doi.org/10.14198/jhse.2020.154.13>
78. 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>
79. Miles, H. C., Pop, S. R., Watt, S. J., Lawrence, G. P., John, N. W., Perrot, V., Mallet, P., & Mestre, D. R. (2013). Investigation of a Virtual Environment for Rugby Skills Training. *2013 International Conference on Cyberworlds*, 56–63. <https://doi.org/10.1109/CW.2013.45>
80. Mirzaei, B., Curby, D. G., Barbas, I., & Lotfi, N. (2011). Anthropometric and physical fitness traits of four-time World Greco-Roman wrestling champion in relation to national norms: A case study. *Journal of Human Sport and Exercise*, 6(2), 406–413. <https://doi.org/10.4100/jhse.2011.62.21>
81. Mologne, M. S., Hu, J., Carrillo, E., Gomez, D., Yamamoto, T., Lu, S., Browne, J. D.,

- & Dolezal, B. A. (2022). The Efficacy of an Immersive Virtual Reality Exergame Incorporating an Adaptive Cable Resistance System on Fitness and Cardiometabolic Measures: A 12-Week Randomized Controlled Trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1), 210.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph20010210>
82. Moriarity, J., Collie, A., Olson, D., Buchanan, J., Leary, P., McStephen, M., & McCrory, P. (2004). A prospective controlled study of cognitive function during an amateur boxing tournament. *Neurology*, 62(9), 1497–1502.  
<https://doi.org/10.1212/WNL.62.9.1497>
83. Mudric, M., Cuk, I., Nedeljkovic, A., Jovanovic, S., & Jaric, S. (2015). Evaluation of Video-based method for the measurement of reaction time in specific sport situation. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 15(3), 1077–1089.  
<https://doi.org/10.1080/24748668.2015.11868852>
84. Myers, L. R., Toonstra, J. L., & Cripps, A. E. (2022). The Test–Retest Reliability and Minimal Detectable Change of the FitLight Trainer™. *International Journal of Athletic Therapy and Training*, 1(aop), 1–5. <https://doi.org/10.1123/ijatt.2022-0012>
85. Nakamoto, H., & Mori, S. (2008). Sport-specific decision-making in a Go/NoGo reaction task: Difference among nonathletes and baseball and basketball players. *Perceptual and Motor Skills*, 106(1), 163–170. <https://doi.org/10.2466/pms.106.1.163-170>
86. Neto, O. P., Bolander, R., Pacheco, M. T. T., & Bir, C. (2009). Force, reaction time, and precision of Kung Fu strikes. *Perceptual and Motor Skills*, 109(1), 295–303.  
<https://doi.org/10.2466/PMS.109.1.295-303>
87. 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>
88. Pantelidis, V. S. (2010). Reasons to Use Virtual Reality in Education and Training Courses and a Model to Determine When to Use Virtual Reality. *Hemes in Science and Technology Education*, 2(1–2), 59–70.
89. Pavelka, R., Třebický, V., Třebická Fialová, J., Zdobinský, A., Coufalová, K., Havlíček, J., & Tufano, J. J. (2020). Acute fatigue affects reaction times and reaction consistency in Mixed Martial Arts fighters. *PLoS ONE*, 15(1), e0227675.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227675>

90. Petri, K., Emmermacher, P., Danneberg, M., Masik, S., Eckardt, F., Weichelt, S., Bandow, N., & Witte, K. (2019). Training using virtual reality improves response behavior in karate kumite. *Sports Engineering*, 22(1), 2.  
<https://doi.org/10.1007/s12283-019-0299-0>
91. Pillai, A. S., & Mathew, P. S. (2019). *Impact of Virtual Reality in Healthcare: A Review* [Chapter]. *Virtual and Augmented Reality in Mental Health Treatment*; IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7168-1.ch002>
92. 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>
93. Polechoński, J., Langer, A., Polechoński, P., & Kostorz, K. (2022). Czy boks w wirtualnej rzeczywistości może być intensywną formą treningu dla zawodników mieszanych sztuk walki? *Aktywność fizyczna i inne zachowania zdrowotne w teorii i badaniach naukowych*.
94. 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>
95. Politopoulos, N., & Tsiatsos, T. (2022). Tennis Attack: An Exergame Utilizing a Natural User Interface to Measure and Improve the Simple Reaction Time. *Applied Sciences*, 12(19), 9590. <https://doi.org/10.3390/app12199590>
96. Qian, J., McDonough, D. J., & Gao, Z. (2020). The Effectiveness of Virtual Reality Exercise on Individual's Physiological, Psychological and Rehabilitative Outcomes: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), Art. 11. <https://doi.org/10.3390/ijerph17114133>
97. Raczek, J., Juras, G., & Wa, Z. (2001). The diagnosis of motor coordination. *Journal of Human Kinetics*, 6, 13.
98. Raczek, J., Mynarski, W., & Ljach, W. (2003). Kształtowanie i diagnozowanie koordynacyjnych zdolności motorycznych. *Katowice: AWF*.
99. Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 103778.  
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>



100. Radovanovic, D., Milovan, B., Nurkic, M., & Stankovic, N. (2011). Recovery of dynamic lung function in elite judoists after short-term high intensity exercise. *Archives of Budo*, 7, 21–26.
101. Rauter, S., Coh, M., Vodicar, J., Zvan, M., Krizaj, J., Simenko, J., Szmajda, L., & Mackala, K. (2018). Analysis of reactive agility and change-of-direction speed between soccer players and physical education students. *Human Movement*, 2018(2), 68–74. <https://doi.org/10.5114/hm.2018.74061>
102. Rebenitsch, L., & Owen, C. (2016). Review on cybersickness in applications and visual displays. *Virtual Reality*, 20(2), 101–125. <https://doi.org/10.1007/s10055-016-0285-9>
103. 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>
104. Rutkowski, S., Adamczyk, M., Pastuła, A., Gos, E., Luque-Moreno, C., & Rutkowska, A. (2021). Training Using a Commercial Immersive Virtual Reality System on Hand–Eye Coordination and Reaction Time in Young Musicians: A Pilot Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1297. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031297>
105. Samadbeik, M., Yaaghobi, D., Bastani, P., Abhari, S., Rezaee, R., & Garavand, A. (2018). The Applications of Virtual Reality Technology in Medical Groups Teaching. *Journal of advances in medical education & professionalism*. <https://doi.org/10.30476/JAMP.2018.41023>
106. Saredakis, D., Szpak, A., Birckhead, B., Keage, H. A. D., Rizzo, A., & Loetscher, T. (2020). Factors Associated With Virtual Reality Sickness in Head-Mounted Displays: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2020.00096>
107. Shelton, J., & Kumar, G. P. (2010). Comparison between Auditory and Visual Simple Reaction Times. *Neuroscience and Medicine*, 01(01), 30–32. <https://doi.org/10.4236/nm.2010.11004>
108. Shieh, L.-C., See, L.-C., Chang, S.-T., Wu, T.-C., Lee, J.-S., Ho, W.-H., Lim, A. Y., Chen, W.-M., & Liu, Y.-H. (2020). Table tennis practice reduces gender gap in eye-hand response time: A cross-sectional study. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 42(2), 109–120.
109. Shoib, N. A., Sunar, M. S., Nor, N. N. M., Azman, A., Jamaludin, M. N., &

- Latip, H. F. M. (2020). Rowing Simulation using Rower Machine in Virtual Reality. *2020 6th International Conference on Interactive Digital Media (ICIDM)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICIDM51048.2020.9339603>
110. Simpson, T., Camfield, D., Pipingas, A., Macpherson, H., & Stough, C. (2012). Improved Processing Speed: Online Computer-based Cognitive Training in Older Adults. *Educational Gerontology*, *38*(7), 445–458. <https://doi.org/10.1080/03601277.2011.559858>
111. Solcà, M., Ronchi, R., Bello-Ruiz, J., Schmidlin, T., Herbelin, B., Luthi, F., Konzelmann, M., Beaulieu, J.-Y., Delaquaize, F., Schnider, A., Guggisberg, A. G., Serino, A., & Blanke, O. (2018). Heartbeat-enhanced immersive virtual reality to treat complex regional pain syndrome. *Neurology*, *91*(5), e479–e489. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000005905>
112. Sousa, C. V., Hwang, J., Cabrera-Perez, R., Fernandez, A., Misawa, A., Newhook, K., & Lu, A. S. (2022). Active video games in fully immersive virtual reality elicit moderate-to-vigorous physical activity and improve cognitive performance in sedentary college students. *Journal of Sport and Health Science*, *11*(2), 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2021.05.002>
113. Sozański, H. (1999). The basic theory of sports training [Podstawy teorii treningu sportowego]. *COS RCMSzKFiS, Warsaw*.
114. 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](https://doi.org/10.25312/2083-2923.19/2021_06ismr)
115. Sterkowicz, S., Lech, G., Jaworski, J., & Ambroży, T. (2012). Coordination motor abilities of judo contestants at different age. *Journal of Combat Sports and Martial Arts*, *3*(1), 5–10. <https://doi.org/10.5604/20815735.1047612>
116. Szpak, A., Michalski, S. C., & Loetscher, T. (2020). Exergaming with beat saber: An Investigation of virtual reality aftereffects. *Journal of Medical Internet Research*, *22*(10), e19840.
117. Tanyel, E. Ö. (2007). *Sex differences in visual reaction time: Effect of sport participation and driving*. <https://open.metu.edu.tr/handle/11511/16919>
118. Thompson, L., & Thompson, M. (1998). Neurofeedback combined with training in metacognitive strategies: Effectiveness in students with ADD. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, *23*(4), 243–263. <https://doi.org/10.1023/a:1022213731956>

119. Thompson, P. D., Colebatch, J. G., Brown, P., Rothwell, J. C., Day, B. L., Obeso, J. A., & Marsden, C. D. (1992). Voluntary stimulus-sensitive jerks and jumps mimicking myoclonus or pathological startle syndromes. *Movement disorders: official journal of the Movement Disorder Society*, 7(3), 257–262.
120. 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.
121. Todorov, K., Manolova, A., & Chervendinev, G. (2019). Immersion in Virtual Reality Video Games for Improving Physical Performance Measures: A Review. *2019 27th National Conference with International Participation (TELECOM)*, 35–38. <https://doi.org/10.1109/TELECOM48729.2019.8994884>
122. 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>
123. van Schooten, K. S., Duran, L., Visschedijk, M., Pijnappels, M., Lord, S. R., Richardson, J., & Delbaere, K. (2019). Catch the ruler: Concurrent validity and test–retest reliability of the ReacStick measures of reaction time and inhibitory executive function in older people. *Aging Clinical and Experimental Research*, 31(8), 1147–1154. <https://doi.org/10.1007/s40520-018-1050-6>
124. Velada, R., Caetano, A., Michel, J. W., Lyons, B. D., & Kavanagh, M. J. (2007). The effects of training design, individual characteristics and work environment on transfer of training. *International Journal of Training and Development*, 11(4), 282–294. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2419.2007.00286.x>
125. Wang, C.-H., Chang, C.-C., Liang, Y.-M., Shih, C.-M., Chiu, W.-S., Tseng, P., Hung, D. L., Tzeng, O. J. L., Muggleton, N. G., & Juan, C.-H. (2013). Open vs. Closed Skill Sports and the Modulation of Inhibitory Control. *PLoS ONE*, 8(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055773>
126. Williams, L. R., & Walmsley, A. (2000). Response amendment in fencing: Differences between elite and novice subjects. *Perceptual and Motor Skills*, 91(1), 131–142. <https://doi.org/10.2466/pms.2000.91.1.131>
127. Wojciechowski, A., Wiśniewska, A., Pyszora, A., Liberacka-Dwojak, M., & Juszczyk, K. (2021). Virtual reality immersive environments for motor and cognitive training of elderly people – a scoping review. *Human Technology*, 17(2), Art. 2.

- <https://doi.org/10.14254/1795-6889.2021.17-2.4>
128. Wood, G., Wright, D. J., Harris, D., Pal, A., Franklin, Z. C., & Vine, S. J. (2021). Testing the construct validity of a soccer-specific virtual reality simulator using novice, academy, and professional soccer players. *Virtual Reality*, 25(1), 43–51. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00441-x>
129. Xu, W., Liang, H.-N., Ma, X., & Li, X. (2020). VirusBoxing: A HIIT-based VR boxing game. *Extended Abstracts of the 2020 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, 98–102. <https://doi.org/10.1145/3383668.3419958>
130. Yao, S., & Kim, G. (2019). The Effects of Immersion in a Virtual Reality Game: Presence and Physical Activity. W X. Fang (Red.), *HCI in Games* (s. 234–242). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22602-2\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22602-2_18)
131. Yoon, J. (2002). Physiological Profiles of Elite Senior Wrestlers. *Sports Medicine*, 32(4), 225–233. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232040-00002>
132. You, S. H., Jang, S. H., Kim, Y.-H., Kwon, Y.-H., Barrow, I., & Hallett, M. (2005). Cortical reorganization induced by virtual reality therapy in a child with hemiparetic cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 47(9), 628–635. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2005.tb01216.x>
133. Zeng, N., Liu, W., Pope, Z. C., McDonough, D. J., & Gao, Z. (2021). Acute Effects of Virtual Reality Exercise Biking on College Students' Physical Responses. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 0(0), 1–7. <https://doi.org/10.1080/02701367.2021.1891188>
134. 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>
135. Zhou, S. (2020). Using Virtual Reality to Promote Physical Activity. *Journal of Software Engineering and Applications*, 13(11), Art. 11. <https://doi.org/10.4236/jsea.2020.1311021>