

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO  
IM. POLSKICH OLIMPIJCZYKÓW  
WE WROCŁAWIU

Michał Zwierko

WPLYW ĆWICZEŃ REAKCYJNYCH NA POZIOM  
WYBRANYCH ZDOLNOŚCI PERCEPCYJNYCH  
I MOTORYCZNYCH SIATKARZY I SIATKAREK  
W WIEKU 16 – 18 LAT

Promotor:

Prof. dr hab. Andrzej Rokita

WROCŁAW 2024

## Spis treści

I	WYKAZ PRAC NAUKOWYCH WCHODZĄCYCH W SKŁAD CYKLU.....	4
II	WPROWADZENIE.....	5
III	CEL PRACY.....	9
	3.1. Cel główny.....	9
	3.2. Cele szczegółowe.....	9
	3.3. Hipoteza badawcza.....	10
IV	MATERIAŁ I METODY BADAWCZE.....	11
	4.1. Osoby badane.....	11
	4.2. Metody badań.....	12
	4.3. Procedura badań eksperymentalnych.....	16
	4.4. Metody statystyczne.....	19
V	WYNIKI.....	20
	5.1. Analiza percepcyjnych i motorycznych uwarunkowań zwinności reakcyjnej zawodniczek i zawodników podejmujących trening siatkówki (publikacja 1).....	20
	5.2. Ocena efektów zastosowania programu ćwiczeń reakcyjnych na wybrane zdolności percepcyjne i motoryczne zawodników podejmujących systematyczny trening piłki siatkowej (publikacje 2 i 3).....	22
	5.3. Ocena skuteczności stosowania programu ćwiczeń reakcyjnych jako narzędzia wspomagającego kształtowanie sprawności specjalnej wśród młodych zawodników uprawiających piłkę siatkową (publikacja 4).....	27
VI	DYSKUSJA.....	29
VII	WNIOSKI.....	34
VIII	PIŚMIENNICTWO.....	35
	STRESZCZENIE.....	41

ABSTRACT.....	43
ZAŁĄCZNIKI - kopie opublikowanych prac wchodzących w skład cyklu publikacji.....	45
Publikacja 1. Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2022). Reactive agility in competitive young volleyball players: A gender comparison of perceptual-cognitive and motor determinants. <i>Journal of Human Kinetics</i> , 85(1), 87-9 .....	45
Publikacja 2. Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2023). Effects of <i>in-situ</i> stroboscopic training on visual, visuomotor and reactive agility in youth volleyball players. <i>PeerJ</i> , 11, e15213. ....	57
Publikacja 3. Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2024). Effects of six-week stroboscopic training program on visuomotor reaction speed in goal-directed movements in young volleyball players: A study focusing on agility performance. <i>BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation</i> , 16(1), 59. ....	80
Publikacja 4. Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2024). Effects of a 6-week stroboscopic training program on specific blocking reaction speed in young volleyball players. <i>Physical Activity Review</i> , 12(2),1-10.....	91
ANEKS .....	101
Oświadczenia o współautorstwie .....	101
Uchwała Komisji ds. Etyki Badań Naukowych .....	119

## I WYKAZ PRAC NAUKOWYCH WCHODZĄCYCH W SKŁAD CYKLU

Rozprawę doktorską stanowi cykl publikacji powiązanych tematycznie składający się z 4 oryginalnych artykułów o łącznej punktacji 410 punktów MNiSW oraz sumarycznym wskaźniku Impact Factor (IF) wynoszącym 7,1. Prace stanowią spójny tematycznie cykl o wspólnym tytule: „Wpływ ćwiczeń reakcyjnych na poziom wybranych zdolności percepcyjnych i motorycznych siatkarzy i siatkarek w wieku 16 – 18 lat”. Poniżej przedstawiono dane bibliograficzne, punkty ministerialne i wartość wskaźnika IF zgodne z rokiem opublikowania pracy.

### **Publikacja 1.**

Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2022). Reactive agility in competitive young volleyball players: A gender comparison of perceptual-cognitive and motor determinants. *Journal of Human Kinetics*, 85(1), 87-96. Punktacja MNiSW – 140 pkt, wartość wskaźnika IF – 1,9.

### **Publikacja 2.**

Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2023). Effects of *in-situ* stroboscopic training on visual, visuomotor and reactive agility in youth volleyball players. *PeerJ*, 11, e15213. Punktacja MNiSW – 100 pkt, wartość wskaźnika IF – 2,3.

### **Publikacja 3.**

Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2024). Effects of six-week stroboscopic training program on visuomotor reaction speed in goal-directed movements in young volleyball players: A study focusing on agility performance. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 16(1), 59. Punktacja MNiSW – 100 pkt, wartość wskaźnika IF – 2,1.

### **Publikacja 4.**

Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2024). Effects of a 6-week stroboscopic training program on specific blocking reaction speed in young volleyball players. *Physical Activity Review*, 12(2), 1-10. Punktacja MNiSW – 70 pkt, wartość wskaźnika IF – 0,8.

## II WPROWADZENIE

Osiągnięcia sportowe, szczególnie w dyscyplinach sportu o nawykach otwartych, takich jak zespołowe gry sportowe, warunkowane są wysoką efektywnością działań wymagających szybkich i dokładnych reakcji motorycznych, które są głównie wywoływane bodźcami wzrokowymi. Szybkość reakcji wzrokowo-motorycznej odnosi się do zdolności do wykonywania szybkich i precyzyjnych ruchów ciała lub jego części w odpowiedzi na bodziec wzrokowy. Obejmuje zarówno czas reakcji - od momentu pojawienia się bodźca do inicjacji ruchu - jak i czas potrzebny na wykonanie tego ruchu (Hülsdünker i Mierau, 2021). Proces reakcji motorycznej angażuje szereg złożonych funkcji psychoneurofizjologicznych, często określanymi mianem systemu sensomotorycznego (Scott i wsp., 2000). System sensomotoryczny integruje sensoryczne, motoryczne oraz centralne komponenty umożliwiając precyzyjne i skoordynowane reakcje ruchowe. Mechanizm powiązań procesów neurosensorycznych i neuromięśniowych obejmuje odbiór bodźców, ich przekształcanie w sygnały nerwowe, które następnie są przesyłane drogą aferentną do ośrodkowego układu nerwowego (OUN). W kolejnym etapie system sensomotoryczny przetwarza i integruje te sygnały w różnych ośrodkach OUN. Ostatecznie odpowiedź motoryczna jest realizowana poprzez aktywację mięśni. Zatem, proces przetwarzania informacji w działaniach motorycznych oparty jest na mechanizmach centralnych, w których zasadniczą rolę odgrywają funkcje percepcyjne (wstępne przetwarzanie bodźca, analiza cech, identyfikacja bodźca), decyzyjne (wybór odpowiedzi) i efektorowe (programowanie motoryczne i dostosowanie motoryczne) (Erickson, 2007; Pashler, 1996). Uwzględniając zdolność adaptacyjną procesów reakcji motorycznej (Hülsdünker i wsp., 2021a; Stone i wsp., 2018), ukierunkowany trening sportowy może znacząco wpłynąć na ich poprawę (Ando i wsp., 2004; Zwierko i wsp., 2010).

W zespołowych grach sportowych wysoka skuteczność działań jest uzależniona od zdolności szybkiego rozpoznania i oceny sytuacji oraz efektywnego przekształcenia tych informacji w odpowiedź motoryczną (Araújo i wsp., 2019). Badania wykazują, że sportowcy na najwyższym poziomie rozwijają specyficzne adaptacje funkcjonalne i strukturalne w mózgu, które prowadzą do lepszych wyników behawioralnych

w porównaniu z osobami nieuprawiającymi sportu (Cheron i wsp., 2016; Nakata i wsp., 2010; Perrey i Besson, 2018). Adaptacje te są specyficzne dla dyscypliny i zależą od wymagań percepcyjnych, kognitywnych i motorycznych. Istnieje więc potrzeba opracowania metod wspierania kompetencji percepcyjno-kognitywnych i motorycznych w treningu sportowym, specyficznych dla wymagań poszczególnych dyscyplin (Hadlow i wsp., 2018).

Piłka siatkowa należy do dyscyplin o wysokich wymaganiach w zakresie efektywności procesów reakcji motorycznych (Le Runigo i wsp., 2010; Piras i wsp., 2014; Zwierko i wsp., 2010). Z badań wynika, że w porównaniu z przedstawicielami innych dyscyplin sportu lub osobami nietreningowymi, siatkarze wykazują przewagę w testach oceniających dynamikę okulomotoryczną (Fortin-Guichard i wsp., 2020; Piras i wsp., 2010), zdolności śledzenia wielu obiektów (Zhang i wsp., 2009) oraz szybkości przetwarzania wzrokowo-motorycznego (Lesiakowski i wsp., 2017; Piras i wsp., 2014; Zwierko i wsp., 2010). Natomiast zawodnicy o dłuższym doświadczeniu sportowym w treningu siatkówki, w porównaniu do początkujących, charakteryzują się wyższym poziomem zdolności rozpoznawania schematów gry, antycypacji działań i podejmowania decyzji motorycznych (De Waelle i wsp., 2021; Fortin-Guichard i wsp., 2020; Nuri i wsp., 2013; Piras i wsp., 2014).

Ze względu na kluczowe znaczenie efektywności działań motorycznych pod presją czasu, prowadzone są badania nad opracowaniem skutecznych metod zwiększających szybkość przetwarzania wzrokowo-motorycznego u siatkarzy. Na przykład, badanie przeprowadzone przez Fleddermanna i wsp. (2019) koncentrowało się na ocenie wpływu ośmiotygodniowego treningu percepcyjno-kognitywnego na szybkość przetwarzania wzrokowego, pamięć operacyjną i utrzymanie uwagi (transfer bliski) oraz elementy sprawności specjalnej w piłce siatkowej (transfer daleki). W badaniu wykorzystano trójwymiarowe zadanie śledzenia wielu obiektów realizowane w warunkach laboratoryjnych. Wyniki badań potwierdziły pozytywny wpływ programu na rezultaty uzyskane przez badanych siatkarzy w testach bezpośrednio związanych z interwencją percepcyjno-kognitywną (transfer bliski), jednak nie wykazano wpływu interwencji na zadania sprawności specjalnej. Z kolei Fortes i wsp. (2020) wykazali poprawę w podejmowaniu decyzji motorycznych u młodych siatkarzy dzięki ośmiotygodniowej

interwencji zgodnej z opisanym protokołem treningu percepcyjnego. Grupa eksperymentalna uczestniczyła w treningu, który polegał na obserwowaniu obrazów i filmów przedstawiających skuteczne akcje w czasie gry. Ocena podejmowania decyzji motorycznych została przeprowadzona za pomocą symulacji, która odwzorowywała warunki oficjalnego meczu siatkówki. Ponadto, Formenti i wsp. (2019) ocenili wpływ treningu percepcji wzrokowej na efektywność działań motorycznych w piłce siatkowej. Autorzy wykazali, że tradycyjny trening siatkarski poprawił skuteczność umiejętności technicznych (wystawy i zagrywki). Z kolei uczestnictwo w treningu prowadzonym w warunkach niespecyficznych przyniosło większą poprawę w zakresie funkcji percepcyjno-kognitywnych (czas reakcji, kontrola wykonawcza i szybkość rozpoznawania bodźców), jednak z niewielkim efektem transferu na poprawę umiejętności technicznych. Wyniki te wskazują, że specyfika środowiska treningowego ma kluczowe znaczenie dla kształtowania umiejętności technicznych i zdolności percepcyjno-kognitywnych.

Jednym z nowych trendów w treningu percepcyjno-kognitywnym prowadzonym w warunkach specyficznych dla dyscypliny sportu jest trening stroboskopowy. Trening stroboskopowy to technika, która zwiększa wymagania wobec systemu wzrokowo-motorycznego poprzez dostarczanie przerywanych bodźców wzrokowych podczas typowych działań motorycznych, prowadząc do poprawy wydajności tych działań w standardowych warunkach widzenia (Wilkins i Appelbaum, 2020). Wyniki badań naukowych wskazują, że trening stroboskopowy jest skuteczny w poprawie funkcji percepcyjno-kognitywnych, umiejętności technicznych i zdolności motorycznych. W zakresie funkcji percepcyjno-kognitywnych obserwowano między innymi znaczącą poprawę wrażliwości sensorycznej na bodźce wzrokowe i lepszą antycypację czasu (Appelbaum i wsp., 2011; Ballester i wsp., 2017), skrócenie czasu reakcji wzrokowo-motorycznej (Hülsdünker i wsp., 2021a) oraz poprawę zdolności śledzenia wielu obiektów (Bennett i wsp., 2018). W odniesieniu do zdolności motorycznych, strategia treningowa oparta na zastosowaniu okularów stroboskopowych wykazała pozytywny wpływ na koordynację oko-ręka (Ellison i wsp., 2020), wyniki siły reakcyjnej w skokach pionowych (Kroll i wsp., 2023) oraz stabilność posturalną (Lee i wsp., 2022). Ponadto, korzystne efekty stymulacji stroboskopowej zaobserwowano również w przypadku umiejętności chwytu piłki (Wilkins & Gray, 2015) oraz specyficznych umiejętności w dyscyplinach

sportowych, takich jak hokej na lodzie (Mitroff i wsp., 2013) i badminton (Hülsdünker i wsp., 2021a).

Jak dotąd, nie prowadzono badań dotyczących zastosowania interwencji stroboskopowej w treningu siatkarskim w kontekście doskonalenia procesów reakcji wzrokowo-motorycznej z uwzględnieniem płci zawodników. Problem badawczy cyklu prac pod wspólnym tytułem „Wpływ ćwiczeń reakcyjnych na poziom wybranych zdolności percepcyjnych i motorycznych siatkarzy i siatkarek w wieku 16 – 18 lat” koncentruje się na wieloaspektowej ocenie efektywności zastosowania ćwiczeń reakcyjnych w doskonaleniu procesów szybkości reakcji wzrokowo-motorycznej u młodych zawodników. W podjętym projekcie pojęcie ćwiczeń reakcyjnych rozumiane jest jako zestaw zadań treningowych na boisku, mających na celu stymulowanie i poprawę zdolności do szybkiego i precyzyjnego reagowania na bodźce wzrokowe, realizowanych zarówno w warunkach widzenia stroboskopowego, jak i widzenia niezakłóconego. Zaprojektowane badania eksperymentalne mają na celu sprawdzenie skuteczności proponowanej interwencji w procesie treningowym młodych siatkarzy i siatkarek, zarówno w zakresie percepcji wzrokowej (efekty percepcyjne), jak i działań motorycznych (efekty motoryczne). Pomiarów dokonano w warunkach laboratoryjnych oraz w rzeczywistym środowisku specyficznym dla piłki siatkowej. Zrealizowane badania mają praktyczne zastosowanie, a uzyskane wyniki pozwolą na wdrożenie oraz doskonalenie programów treningowych dla młodych siatkarzy i siatkarek.



### **III CEL BADAŃ**

#### **3.1. Cel główny**

Celem głównym badań była wieloaspektowa analiza skuteczności zastosowania ćwiczeń reakcyjnych na poziom wybranych zdolności percepcyjnych i motorycznych młodych sportowców podejmujących systematyczny trening piłki siatkowej. Dla realizacji celu głównego opracowano sześciotygodniowy program interwencji opierający się na zadaniach specyficznych dla piłki siatkowej, wykonywanych zarówno z użyciem okularów stroboskopowych, jak i bez nich.

#### **3.2. Cele szczegółowe**

W badaniach wyznaczono następujące cele szczegółowe:

- 1) Analiza percepcyjnych i motorycznych uwarunkowań zwinności reakcyjnej zawodniczek i zawodników podejmujących trening siatkówki (publikacja 1).

Wstępnym etapem badań była identyfikacja czynników percepcyjnych i motorycznych determinujących poziom zwinności reakcyjnej siatkarki i siatkarek w wieku 16-18 lat. Zwinność reakcyjna obejmuje zdolność do szybkich ruchów całego ciała, umożliwiającą zmiany prędkości lub kierunku w reakcji na nieoczekiwane bodźce (Sheppard i Young, 2006), co odgrywa fundamentalną rolę w skutecznych działaniach motorycznych zawodników w piłce siatkowej (Bonato i wsp., 2022). Przyjmuje się, że zarówno komponenty motoryczne, jak i percepcyjne są integralnymi elementami zwinności reakcyjnej (Spiteri i wsp., 2018). Biorąc pod uwagę główny cel pracy, identyfikacja czynników determinujących zwinność reakcyjną posłużyła jako podstawa do zaprojektowania badań eksperymentalnych oceniających skuteczność ćwiczeń reakcyjnych w kontekście wybranych zdolności percepcyjnych i motorycznych w piłce siatkowej.

- 2) Ocena efektów zastosowania programu ćwiczeń reakcyjnych na wybrane zdolności percepcyjne i motoryczne zawodników podejmujących systematyczny trening piłki siatkowej (publikacje 2 i 3).

Głównym aspektem tego etapu badań była analiza wpływu sześciotygodniowego programu ćwiczeń reakcyjnych, z wykorzystaniem i bez wykorzystania okularów stroboskopowych, na wyniki prób oceniających zdolności percepcji wzrokowej oraz poziom zwinności. Diagnostowano szybkość reakcji motorycznej na bodźce proste i złożone, wrażliwość sensoryczną, dynamikę okulomotoryczną podczas lokalizacji obrazów w przestrzeni oraz zwinność reakcyjną i adaptację sensomotoryczną ocenione w warunkach specyficznych (na boisku do piłki siatkowej). Analiza uwzględniała również wyniki uczestników uzyskane 4 tygodnie po zakończeniu interwencji.

- 3) Ocena skuteczności stosowania programu ćwiczeń reakcyjnych jako narzędzia wspomagającego kształtowanie sprawności specjalnej wśród młodych zawodników uprawiających piłkę siatkową (publikacja 4).

Głównym celem tego badania była ocena wpływu sześciotygodniowego programu ćwiczeń reakcyjnych, realizowanego z użyciem oraz bez użycia okularów stroboskopowych, na efekt transferu dalszego. Analiza ukierunkowana była na określenie zmienności wyników zadania testowego wymagającego szybkości reakcji wzrokowo-motorycznej podczas specyficznego zadania blokowania.

### **3.3. Hipoteza badawcza**

Zgodnie z wcześniejszymi badaniami (Appelbaum i wsp., 2011; Hülsdünker i wsp., 2021a, 2021b) przyjęto hipotezę, że trening z użyciem okularów stroboskopowych będzie bardziej efektywny w poprawie funkcji wzrokowych i szybkości reakcji wzrokowo-motorycznej oraz wyników prób diagnozujących zwinność reakcyjną i szybkość reakcji wzrokowo-motorycznej w specyficznym zadaniu blokowania, w porównaniu do tego samego treningu prowadzonego bez okularów stroboskopowych.

## VI MATERIAŁ I METODY BADAWCZE

### 4.1. Osoby badane

Ogółem w badaniach (publikacja 1) udział wzięło 135 młodych siatkarzy w wieku 16 –18 lat reprezentujących kluby sportowe AZS-AWF Wrocław, Gwardia Wrocław i SMS Chemik Police, w tym 61 mężczyzn (wysokość ciała:  $187,0 \pm 5,5$  cm, masa ciała:  $76,7 \pm 8,1$  kg, wiek:  $17,0 \pm 0,8$  lat, staż sportowy:  $6,7 \pm 1,2$  lat, liczba treningów w tygodniu:  $6,9 \pm 1,3$ ) oraz 74 kobiet (wysokość ciała:  $176,6 \pm 5,4$  cm, masa ciała:  $65,8 \pm 8,2$  kg, wiek:  $17,0 \pm 0,7$  lat, staż sportowy:  $6,3 \pm 1,3$  lat, liczba treningów w tygodniu:  $6,7 \pm 1,4$ ). Kryteriami włączenia do badań było: uczestnictwo w systematycznych treningach siatkówki odbywających się co najmniej 5 razy w tygodniu, z minimalnym tygodniowym obciążeniem czasowym treningu wynoszącym 7 godzin, uczestnictwo w rozgrywkach piłki siatkowej w sezonie, w którym dokonywano pomiarów oraz posiadanie licencji PZPS uprawniającej do udziału we współzawodnictwie sportowym. Kryteriami wyłączenia z badań były urazy i kontuzje uniemożliwiające przeprowadzenie badań.

Kolejne etapy badań (publikacje 2 – 4) przeprowadzono wśród 50 zawodników i zawodniczek klubów sportowych AZS-AWF Wrocław (kobiety) i Gwardia Wrocław (mężczyźni). Każdą grupę (kobiet i mężczyzn) podzielono losowo na dwie podgrupy: eksperymentalną i kontrolną. Dodatkowymi kryteriami wyłączenia osób z grupy eksperymentalnej były warunki zdrowotne uniemożliwiające wykonywanie ćwiczeń w okularach stroboskopowych (epilepsja, migreny, nadwrażliwość na światło stroboskopowe). Charakterystykę badanych grup przedstawiono w Tabeli 1. Projekt badawczy uzyskał akceptację Komisji ds. Etyki Badań Naukowych Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu (uchwała nr 8/2021).

**Tabela 1.** Charakterystyka opisowa (średnia  $\pm$  odchylenie standardowe) grupy eksperymentalnej oraz grupy kontrolnej.

	Grupa eksperymentalna (n = 25)	Grupa kontrolna (n = 25)	p
Wiek (lata)	16,4 $\pm$ 0,7	16,6 $\pm$ 0,5	0,254
Kobiety (n)	12	12	0,777 <sup>#</sup>
Mężczyźni (n)	13	13	
Wysokość ciała (cm)	180,2 $\pm$ 8,2	181,9 $\pm$ 8,1	0,470
Masa ciała (kg)	74,3 $\pm$ 10,4	71,6 $\pm$ 8,9	0,340
Staż sportowy (lata)	6,7 $\pm$ 1,1	6,6 $\pm$ 1,3	0,732
Efektywny czas trwania ćwiczeń reakcyjnych (min/tygodnie)	45,0 $\pm$ 1,4	46,1 $\pm$ 2,0	0,152

„p” odpowiada wartościom testu t, z wyjątkiem jednego przypadku oznaczonego symbolem „#”, gdzie zastosowano statystykę chi-kwadrat.

#### 4.2. Metody badawcze

W badaniach wykorzystano metodę obserwacji, w ramach której dokonano diagnozy: szybkości reakcji motorycznej, wrażliwości sensorycznej, funkcji okulomotorycznych (ruchy śledzące i ruchy sakkadowe oka), siły eksplozywnej kończyn dolnych, zwinności opartej na schemacie biegu, zwinności reakcyjnej oraz elementów sprawności specjalnej (publikacje 1 – 4). Po pierwszym etapie badań zrealizowano eksperyment techniką grup równoległych. Uzyskane wyniki badań poddano analizie, wykorzystując metody statystyczne. Diagnozę zmiennych szybkości reakcji motorycznej, wrażliwości sensorycznej oraz funkcji okulomotorycznych dokonano w warunkach laboratoryjnych.

Do oceny poziomu szybkości reakcji motorycznej zastosowano Wiedeński System Testów (Schuhfried, Austria). Metoda pomiarowa oparta jest na technologii komputerowej, w skład której wchodził panel sterujący, program zarządzający i operacyjny. Test Czasu Reakcji RT (SRT) wersji S1 służył do oceny szybkości reakcji motorycznej na proste bodźce wzrokowe. Cykl reakcji składał się z 28 bodźców świetlnych, generowanych w różnych, losowo dobranych odstępach czasu (2,5 – 6,0 s). Czas emisji bodźca wynosił 1 sekundę. Na zaprogramowane bodźce badany udzielał odpowiedzi za pomocą „klawisza reakcji” znajdującego się na panelu sterującym. Poniżej tego klawisza znajdował się „klawisz oczekiwania”. Osoba badana najpierw opierała palec na „klawiszu oczekiwania”, a po zauważeniu bodźca jak najszybciej zwalniała „klawisz oczekiwania” i naciskała

„klawisz reakcji”. Czas trwania testu właściwego wynosił 4 minuty. Test reakcji wykonywano palcem wskazującym ręki dominującej. Analizie poddano następujące parametry: mediana szybkości reakcji [ms] (odstęp czasowy pomiędzy początkiem danego bodźca a naciśnięciem klawisza reakcji), mediana czasu reakcji [ms] (odstęp czasowy pomiędzy bodźcem a zwolnieniem klawisza oczekiwania), mediana czasu ruchu prostego [ms] (odstęp czasowy pomiędzy zwolnieniem klawisza oczekiwania a naciśnięciem na klawisz reakcji) (Prieler, 2008).

Test Decyzji (DT) wykorzystano do oceny szybkości reakcji motorycznej na bodźce złożone (reakcja z wyborem). Zadaniem badanego było właściwe wybranie kolorów i dźwięków oraz pojęciowe powiązanie ze sobą odpowiednich cech bodźców (kolor, dźwięk) i elementów kontrolnych. Test wymagał ciągłych i krótkotrwałych reakcji na szybko zmieniające się bodźce. Podczas testowania generowano dziesięć bodźców optycznych w kolorach: białym, żółtym, czerwonym, zielonym i niebieskim. Poszczególnym kolorom lampek przyporządkowano pięć odpowiednich klawiszy reakcji, na które osoba testowana naciskała prawą lub lewą ręką, natomiast białe lampki na czarnym tle wymagały przyciśnięcia prawego lub lewego pedału nogą. Dostępne były również bodźce akustyczne (wysoki i niski dźwięk), przyporządkowane prostokątnym białym klawiszom (reakcja jedną ręką lub obiema). Na pojawiające się bodźce należało reagować poprzez naciśnięcie „przyporządkowanych” im klawiszy. Analizie poddano liczbę reakcji prawidłowych [n], oraz szybkość reakcji [ms] - przeciętny odstęp czasowy między wygenerowaniem bodźca a prawidłową reakcją (Neuwirth i Benesch, 2007).

Ocenę wrażliwości sensorycznej (publikacje 1 i 2) dokonano wykorzystując test częstości migotania-fuzji (FFT) (ang. *flicker-fusion frequency*), wchodzący w skład Wiedeńskiego Systemu Testów (Schuhfried, Austria). Zastosowano go do oceny progu czułości sensorycznej. W zadaniu źródło światła umieszczone było w ciemnej tubie z podświetlanym tłem. Wewnątrz tuby, w centrum widzenia, znajdował się czerwony punkt (punkt fiksacji). Początkowo badany postrzegał światło jako stałe (niemigoczące), a następnie częstotliwość czerwonego punktu stopniowo malała, aż do subiektywnego odczucia migotania. Badany miał rozpoznać zmianę częstotliwości źródła światła (z niemigoczącego na migoczące) poprzez naciśnięcie przycisku. Średnia wartość pomiarów dokonanych podczas trybu malejącego odpowiadała częstotliwości [Hz], przy

której światło przechodziło ze stanu stałego do migoczącego, zgodnie z subiektywnym odczuciem (Neuwirth i Eberhardt, 2003).

Do oceny funkcji okulomotorycznej wykorzystano test śledzenia liniowego (LVT), wchodzący w skład Wiedeńskiego Systemu Testów (Schuhfried, Austria). Zastosowano go do oceny ruchów śledzących oczu wymuszonych przez proste struktury optyczne. Na ekranie monitora znajdowało się dziewięć wzajemnie przecinających się linii, z których każda biegła od góry ekranu do jednego z dziewięciu ponumerowanych punktów docelowych. W teście należało śledzić wzrokiem i odszukać koniec wskazanej linii, a następnie jak najszybciej wcisnąć przycisk odpowiadający właściwej cyfrze. Test trwał około 5 minut, podczas których wykonywano 18 prób o zróżnicowanym poziomie trudności (Karner i Neuwirth, 2000). Analizie poddano średni czas [s] oraz liczbę poprawnych odpowiedzi [n] (publikacja 1).

Do oceny ruchów sakkadowych oka zastosowano system EyeTracker (ET) (Sensomotoric Instruments, Teltow, Niemcy). System w postaci okularów i kontrolera rejestrującego obraz (SMI ETG 2w, Niemcy) umożliwiał analizę percepcji wzrokowej w środowisku rzeczywistym. Okulary ET z kamerą sceny o jakości HD (1280x960 fps), automatyczną korekcją błędu paralaksy i częstotliwością rejestracji ruchów oka w zakresie 60 Hz, były połączone interfejsem z urządzeniem rejestrującym, smartfonem SAMSUNG Galaxy S4, który był umieszczony w saszetce umocowanej na plecach badanego zawodnika. Dane analizowano przy użyciu oprogramowania SMI BeGaze. Analizie poddano, średnie przyspieszenie sakkad [ $^{\circ}/s^2$ ], zwalnianie sakkad [ $^{\circ}/s^2$ ] oraz średnią prędkość sakkad [ $^{\circ}/s$ ] podczas zadania wyszukiwania wzrokowego. Test wyszukiwania wzrokowego polegał na jak najszybszym wykryciu celu (czerwona litera E) spośród 47 rozpraszających bodźców (odwrócona czerwona litera E, niebieska litera E i czerwona litera F). Przeprowadzono 16 prób z losowo umieszczonymi literami, z których osiem zawierało cel. Uczestnicy byli ustawieni w odległości 1 m od ekranu. Podczas wyszukiwania wzrokowego uczestnicy używali jednego przycisku kontrolera do potwierdzenia wykrycia celu (przycisk lewym kciukiem) oraz innego przycisku kontrolera do odnotowania braku celu (przycisk prawym kciukiem) (publikacje 1-3) (Zwierko T. i wsp. 2019).

Kolejne badania zrealizowano na boisku do piłki siatkowej. Do oceny poziomu siły eksplozywnej kończyn dolnych wykorzystano system Optojump Next (Optojump, Micrograte; Bolzano, Włochy). Protokół badań obejmował test wyskoku obunóż z wymachem rąk (CMJA) (ang. *countermovement jump with arm swing test*) oraz test wyskoku z przysiadu (SJ) (ang. *squat jump*), zgodnie z procedurą podaną przez Bosquet i wsp. (2009). Podczas testu SJ badany trzymał ręce były trzymane na biodrach przez cały czas trwania skoku. Analizowano wysokość skoku [cm]. Uczestnik wykonywał po dwa skoki w każdej próbie, a do dalszej analizy wybrano najlepsze próby dla SJ i CMJA.

Ponadto, przeprowadzono próbę tappingu stopami (FT) w celu oceny maksymalnej częstotliwości ruchów, zgodnie z protokołem zaproponowanym przez Kraussa (2011). Próba ta mierzył diagnozowała częstotliwość ruchów stóp w czasie 15 sekund. Obliczono współczynnik FT ( $FTC = \text{częstotliwość ruchów} / \text{czas kontaktu z podłożem} \times 100$ ), przy czym wyższy współczynnik FTC wskazywał na większą zdolność do generowania maksymalnej częstotliwości ruchu.

Ocenę poziomu zwinności opartej na schemacie zmian kierunku biegu (COD) oraz zwinności reakcyjnej (RA) (publikacje 1–3) przeprowadzono przy wykorzystaniu systemu Fusion Smart Speed (Fusion Sport, Coopers Plains, QLD, Australia), zgodnie z procedurą podaną przez Popowczaka i wsp. (2020). Konstrukcja testu zakładała ustawienie na obwodzie półkola o promieniu 3 m pięciu bramek (fotokomórki i lusterka) z wyznaczoną między nimi linią 1 m, którą badany każdorazowo musiał przekraczać dwoma stopami. Na linii startu (mety) ustawiono matę zintegrowaną z fotokomórką.

W pierwszym scenariuszu (COD) schemat biegu był zaplanowany, a uczestnik biegł do bramek w określonej kolejności (1-5-2-4-3). W drugim scenariuszu (RA) uczestnik biegł do losowo wybranych bramek, wskazywanych za pomocą sygnału świetlnego. Odległość pokonana przez uczestników każdego z testów, COD i RA, wynosiła 45 metrów. Zarówno test COD, jak i test RA były powtarzane dwukrotnie, a do analizy wykorzystano najlepszy wynik [s] z każdej próby.

W celu oceny adaptacji sensomotorycznej (publikacja 3) na podstawie wyników testów COD i RA, obliczono wskaźnik REAC-INDEX. Wskaźnik REAC-INDEX reprezentował różnicę czasu [s] między wynikiem testu RA a wynikiem testu COD (Fiorilli i wsp., 2017).

Oceny sprawności specjalnej (publikacja 4) dokonano systemem Fitlight® (FITLIGHT Corp., Ontario, Kanada), który wykorzystano do przeprowadzenia testu oceniającego szybkość reakcji wzrokowo-motorycznej podczas specyficznego zadania blokowania, zaadaptowanego z procedury podanej przez Piaseckiego i wsp. (2015). Badany przyjmował pozycję na środku boiska, przodem do siatki, 450 cm od linii bocznej. W teście użyto sześciu dysków świetlnych, po trzy umieszczone z lewej i prawej strony siatki. Pierwszy dysk świetlny zamocowano na wysokości 120 cm, w odległości 50 cm od badanego. Dwa kolejne dyski świetlne umieszczono w odległości 330 cm od linii startu, na wysokości odpowiednio 120 cm oraz 6 cm nad górnym pasem siatki (249 cm dla mężczyzn, 230 cm dla kobiet). Test polegał na jak najszybszej deaktywacji kolejnych dysków świetlnych, przy zastosowaniu dowolnej techniki poruszania się w bloku. Wyłączenia trzeciego dysku świetlnego należało wykonać po wyskoku z zamachem rąk, symulując blok siatkarski. Dezaktywację wszystkich dysków świetlnych skonfigurowano w trybie dezaktywacji „na odległość” wynoszącym 60 cm. Opóźnienie w uruchomieniu kolejnej próby, wynosiło od 3 do 5 sekund. Każdy z badanych wykonał łącznie 6 prób dojścia do bloku, po trzy z prawej i trzy z lewej strony, w losowej kolejności. Test wykonywano dwukrotnie z 5-minutową przerwą pomiędzy próbami. Najlepszy czas [s] potrzebny na ukończenie zadania został uwzględniony w analizie wyników.

### **4.3. Procedura badań eksperymentalnych**

Badania eksperymentalne zrealizowano w celu oceny wpływu ćwiczeń reakcyjnych na wybrane zdolności percepcyjne i motoryczne (publikacje 2 – 4). Grupy badane, eksperymentalna i kontrolna, poddano treningowi reakcyjnemu przez okres 6 tygodni. Przebieg interwencji treningowej w grupie eksperymentalnej oparty był na wykorzystaniu trenażerów w postaci okularów stroboskopowych Senaptec Strobe Training Goggles (Senaptec Strobe, Beaverton, USA). Okulary stroboskopowe posiadają zakrzywione soczewki ciekłokrystaliczne zapewniające pełne pole widzenia (180 stopni) w trakcie realizacji czynności ruchowej. W okresie interwencji ustawienia częstotliwości i cyklu pracy okularów były modulowane w celu uniknięcia efektów adaptacji do określonych ustawień migania oraz uzyskania oczekiwanej poprawy sprawności percepcyjno-motorycznej (Hülsdünker i wsp., 2021a). Częstotliwość „migania” określa liczbę



przełączeń między stanami przezroczystymi i nieprzezroczystymi na sekundę. Wymagania zadań rosną wraz z aplikowaniem niższej częstotliwości. Cykl pracy okularów charakteryzuje względną proporcję stanów przezroczystych i nieprzezroczystych podczas jednego cyklu przesłony (np.: cykl pracy 60% odpowiada 60% nieprzezroczystości oraz 40% widzenia niezakłóconego). W każdym tygodniu prowadzonej interwencji zastosowano trzy około 20 minutowe treningi reakcyjne. Pomiaru funkcji percepcyjnych i motorycznych dokonywano przed, po zakończeniu interwencji oraz po 4 tygodniach od ukończenia eksperymentu (Ryc. 1). Ćwiczenia reakcyjne w okularach stroboskopowych wykonywano ściśle według zaleceń i metodologii przyjętej przez badaczy podejmujących temat treningu stroboskopowego w grupach młodzieżowych (Hülsdünker i wsp., 2021a). W szczególności warunki treningu reakcyjnego obejmowały ograniczenia czasowe stosowania trenażera do 2,5 minuty z 2,5-minutową przerwą, podczas której zawodnicy wykonywali ćwiczenia w trybie „przezroczystym”. Dla sześciotygodniowego okresu szkolenia zdefiniowano sześć różnych ustawień częstotliwości migania i cyklu pracy, o charakterystyce zwiększającej się trudności zadania wraz z trwaniem treningu zgodnie z metodologią przyjętą przez Hülsdünker i wsp. (2021a, 2021b), tj. tydzień 1: 15 Hz, 50%; tydzień 2: 13 Hz, 50%; tydzień 3: 11 Hz, 50%; tydzień 4: 10 Hz, 50%; tydzień 5: 9 Hz, 60%; tydzień 6: 9 Hz, 70%.

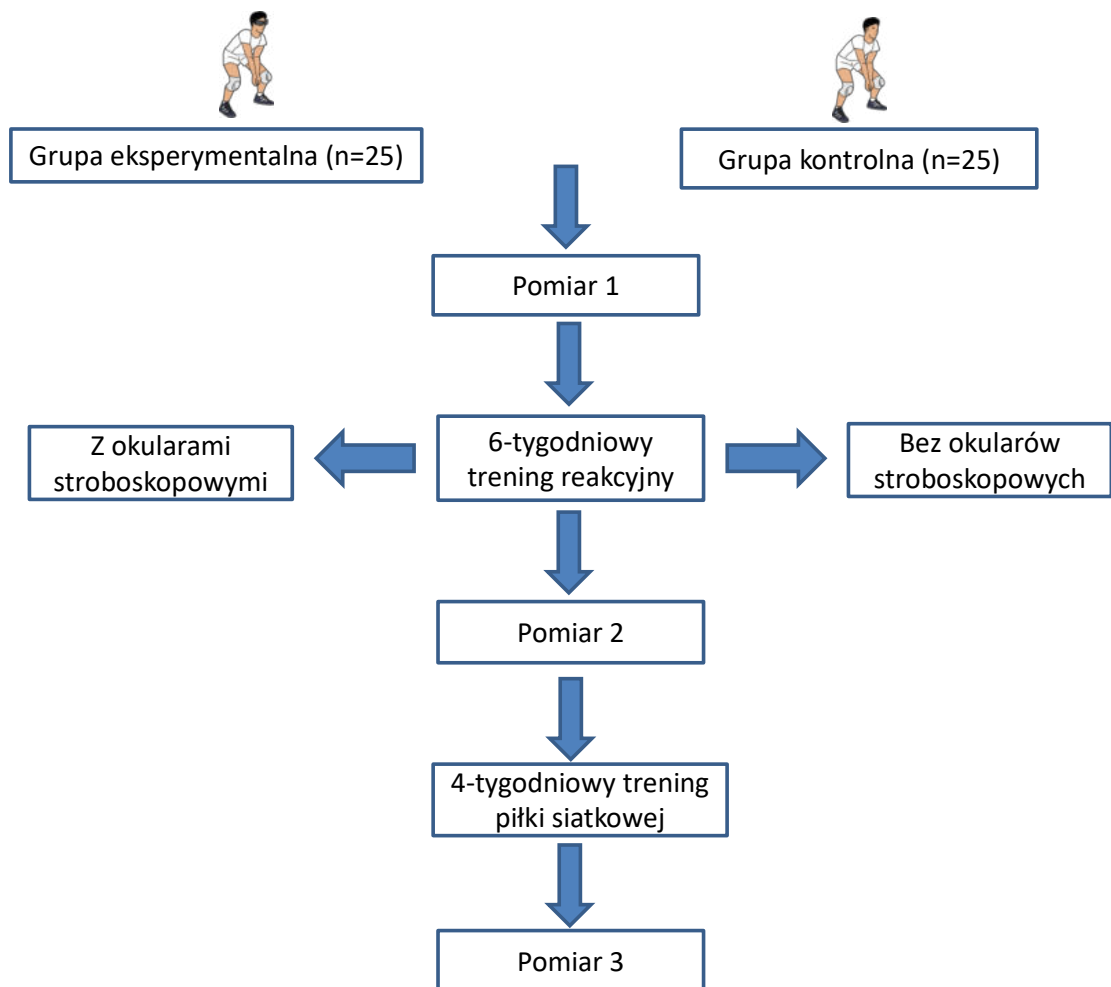
W czasie eksperymentu realizowano przygotowane protokoły ćwiczeń specjalistycznych z piłką, które zawodnicy wykonywali w okularach stroboskopowych (grupa eksperymentalna) i bez okularów stroboskopowych (grupa kontrolna). W treningu reakcyjnym wykorzystano trzy główne protokoły ćwiczeń z piłkami prowadzone na boisku siatkarskim.

Protokół I – „ćwiczenia z odbiciami o ścianę” składał się z zadań z piłką obejmujących formy ćwiczeń kształtujących szybkość reakcji motorycznej. Przykładowe ćwiczenie: zawodnik ustawiony przed ścianą, na której umieszczono optotypy (liczby). Zadanie polegało na odbiciu piłki od ściany, następnie wykonanie odbicie nad sobą, po czym zawodnik starał się dotknąć wyznaczonego optotypu i wrócić do pozycji wyjściowej, aby kontynuować odbicia piłki.

Protokół II – obejmował zadania doskonalące szybkość reakcji motorycznej w parach, z wykorzystaniem zewnętrznych bodźców (światlnych, kolorowych krążków) oraz piłek

tenisowych. Przykładowe ćwiczenie: zawodnik wykonywał odbicie nad sobą i po drugim kontakcie odbijał piłkę do partnera. Podczas pierwszego odbicia partner sygnalizował jeden z czterech kolorów krążków ustawionych między ćwiczącymi (niebieski, zielony, czerwony, żółty). Po podaniu zawodnik dotykał wyznaczonego znacznika i wracał do pozycji wyjściowej, aby kontynuować odbicia piłki.

Protokół III – składał się z form podań ze zmianą kierunku pod presją czasu. Przykładowe ćwiczenie: czterech zawodników (dwie pary) ustawieni w rogach prostokąta, wykonywali odbicia sposobem górnym i dolnym do partnerów. Po odbiciu jednocześnie zmieniali pozycje zgodnie ze schematem rotacji, aby utrzymać piłkę w grze.



Ryc. 1. Schemat postępowania eksperymentalnego z zaznaczeniem trzech terminów badań.

#### 4.4. Metody statystyczne

W opublikowanych pracach zastosowano następujące metody statystyczne:

- Statystyki opisowe przedstawiono jako średnie i odchylenia standardowe (publikacje 1 – 4).
- Normalność rozkładu danych zbadano za pomocą testu Shapiro-Wilka, a jednorodność wariancji potwierdzono za pomocą testu Levenena ( $p > 0,05$ ) (publikacje 1– 4).
- Test t-Studenta dla dwóch niezależnych grup (kobiety vs. mężczyźni). Wielkość efektu dla porównań par była również określana za pomocą współczynnika d Cohena (Cohen, 1988) (publikacja 1).
- Analizę regresji wielokrotnej (publikacja 1).
- Analizę korelacji Pearsona wykorzystano do określenia zależności między zmiennymi (publikacje 1 i 3).
- Dwuczynnikową analizę wariancji ANOVA z czynnikiem międzygrupowym GRUPA (grupa eksperymentalna, grupa kontrolna) i czynnikiem wewnątrzgrupowym CZAS (pomiar przed i po interwencji oraz test retencyjny). Do zbadania różnic wykonano testy post-hoc za pomocą procedury Holm-Bonferroni. Wielkość różnic (miary wielkości efektów) przedstawiono za pomocą współczynnika d Cohena i częściowej eta-kwadrat ( $\eta^2$ ) odpowiednio dla testów t i F (publikacje 2 – 4).
- Analizę kowariancji (ANCOVA) dla badanych zmiennych (publikacje 3 i 4).

## V WYNIKI BADAŃ

### 5.1. Analiza percepcyjnych i motorycznych uwarunkowań zwinności reakcyjnej (RA) zawodniczek i zawodników podejmujących trening siatkówki (publikacja 1)

Na podstawie wyników analizy regresji stwierdzono istotny wpływ czynnika PŁEĆ na uzyskane wyniki testu zwinności reakcyjnej (RA). Płeć wyjaśniała 30% (skorygowany  $R^2 = 0,303$ ,  $F_{(1,133)} = 59,250$ ,  $p < 0,001$ ) zmienności wyników testu RA. Standaryzowany współczynnik  $\beta$  ( $\beta = -0,555$ ,  $B = -1,499$ ,  $t = 7,697$ ,  $p < 0,001$ , 95% CI od -1,885 do -1,114) wskazuje, że siatkarze uzyskali lepsze wyniki w teście RA ( $17,573 \pm 1,156$  vs.  $19,072 \pm 1,102$ , wielkość efektu  $d = 1,33$ ) niż siatkarki, dlatego wybór najlepszego podzbioru zmiennych determinujących zmienność wyników RA przeprowadzono z podziałem na płeć badanych. W analizowanych parametrach siatkarze osiągnęli lepsze wyniki od siatkarek w trzech zmiennych dotyczących zdolności motorycznych oraz w pięciu zmiennych opisujących funkcje percepcyjno-kognitywne. Różnice te miały duże (0,84 do 2,58), średnie (0,64 do 0,73) oraz małe (0,31 do 0,35) wielkości efektów (Tabela 2).

**Tabela 2.** Wartości opisowe i statystyki porównawcze wyników testów motorycznych i testów percepcyjno-kognitywnych w grupach siatkarek i siatkarzy.

Zmienne	Kobiety (n=74)	Mężczyźni (n=61)	t	p	Cohen's d
<b>Testy motoryczne</b>					
RA [s]	19,07 ± 1,10	17,57 ± 1,16	7,69	< ,001	1,33
SJ [cm]	26,53 ± 4,86	36,25 ± 7,17	-8,56	< ,001	1,48
CMJA [cm]	28,87 ± 4,51	44,25 ± 7,35	-14,93	< ,001	2,58
FTC	37,85 ± 6,71	44,42 ± 8,26	-5,10	< ,001	0,88
<b>Testy percepcyjno-kognitywne</b>					
SRT [s]	0,420 ± 0,070	0,379 ± 0,056	3,70	< ,001	0,64
DT_czas reakcji [s]	0,744 ± 0,057	0,697 ± 0,071	4,24	< ,001	0,73
DT_liczba reakcji [n]	244,26 ± 27,95	254,36 ± 29,74	-2,03	0,044	0,35
LVT_czas odpowiedzi [s]	3,396 ± 0,49	3,25 ± 0,5	1,76	0,080	0,31
LVT_liczba zadań [n]	17,28 ± 1,14	17,03 ± 0,99	1,35	0,181	0,23
FFT [Hz]	43,40 ± 6,74	44,22 ± 6,84	-0,70	0,487	0,12
SAD_przyspieszenie [ $^{\circ}/s^2$ ]	4472,30 ± 55,16	5231,39 ± 83,86	-4,86	< ,001	0,84
SAD_zwalnianie [ $^{\circ}/s^2$ ]	487,93 ± 95,26	491,13 ± 83,61	-0,21	0,838	0,04
SAD_prędkość [ $^{\circ}/s$ ]	84,09 ± 17,26	99,55 ± 13,95	-5,64	< ,001	0,98

RA – zwinność reakcyjna, SJ – siła eksplozywna: wyskok z przysiadu, CMJA – siła eksplozywna: wyskok obunóż z wymachem rąk, FTC – maksymalna częstotliwość ruchów kończyn dolnych (tapping), SRT – czas reakcji prostej, DT – szybkość reakcji złożonej, LVT – śledzenie liniowe, FFT – wrażliwość sensoryczna, SAD – dynamika sakkadowa

Analiza korelacji Pearsona wykazała dziewięć istotnych ( $p < 0,05$ ) korelacji pomiędzy RA a następującymi parametrami tj.: SJ ( $R = -0,500$ ,  $p < 0,001$ ), CMJA ( $R = -0,668$ ,  $p < 0,001$ ), FTC ( $R = -0,438$ ,  $p < 0,001$ ), SRT ( $R = 0,287$ ,  $p < 0,001$ ), DT\_czas reakcji ( $R = 0,329$ ,  $p < 0,001$ ), LVT\_czas odpowiedzi ( $R = 0,272$ ,  $p < 0,01$ ), FFT ( $R = -0,258$ ,  $p < 0,01$ ), SAD\_przyspieszenie ( $R = -0,363$ ,  $p < 0,001$ ) i SAD\_prędkość ( $R = -0,385$ ,  $p < 0,05$ ). Biorąc pod uwagę zaistniałą współliniowość, w dalszej analizie regresji wykorzystano siedem zmiennych.

Analiza modeli regresji wskazuje, że w przypadku siatkarek najlepszy podzbiór analizowanych zmiennych wyjaśniał 34,5% wariacji RA, a u siatkarzy – 23,6% (Tabela 3). Standaryzowane wartości współczynników regresji ( $\beta$ ) dla zmiennych niezależnych w uzyskanych modelach u siatkarek wskazują, że CMJA ( $\beta = -0,387$ ;  $p < 0,001$ ), czas odpowiedzi LVT ( $\beta = 0,229$ ;  $p = 0,020$ ) oraz FFT ( $\beta = -0,326$ ;  $p = 0,001$ ) istotnie przyczyniły się do wyjaśnienia zmienności wyników RA. Natomiast u siatkarzy CMJA ( $\beta = -0,494$ ;  $p < 0,001$ ) i DT\_czas reakcji ( $\beta = 0,225$ ;  $p = 0,054$ ) miały istotny wpływ na wyniki RA, co oznacza, że lepsze wyniki RA osiągnęli zawodnicy z lepszymi wynikami w CMJA i krótszym czasem reakcji złożonej DT.

**Tabela 3.** Skorygowane współczynniki determinacji w najlepszych modelach wyjaśniających zmienność RA.

Model	R	R <sup>2</sup>	Skorygowane R <sup>2</sup>	Statystyki resztowe	
				F	p
<b>Kobiety</b>					
RA <sup>a</sup>	0,610	0,372	0,345	13,815	<,001
<b>Mężczyźni</b>					
RA <sup>b</sup>	0,511	0,261	0,236	10,262	<,001

Zmienna zależna: RA

<sup>a</sup> Determinanty RA dla zawodniczek: CMJA - siła eksplozywna: wyskok obunóż z wymachem rąk, LVT\_śledzenie liniowe, czas odpowiedzi, FFT- wrażliwość sensoryczna

<sup>b</sup> Determinanty RA dla zawodników: CMJA - siła eksplozywna: wyskok obunóż z wymachem rąk, DT\_czas reakcji złożonej

## **5.2. Ocena efektów zastosowania programu ćwiczeń reakcyjnych na wybrane zdolności percepcyjne i motoryczne zawodników podejmujących systematyczny trening piłki siatkowej (publikacje 2 i 3)**

Przed realizacją badań eksperymentalnych dokonano analizy porównawczej (kontrolnej) grup badanych względem parametrów wieku, cech antropometrycznych, płci, stażu treningowego oraz efektywnego czasu trwania ćwiczeń reakcyjnych (Tabela 1). Nie stwierdzono istotnych różnic międzygrupowych w porównywanych zmiennych między grupą eksperymentalną a grupą kontrolną.

Do analizy zmienności wyników testów funkcji percepcyjnych i motorycznych w grupach badanych zastosowano dwuczynnikową analizę wariancji ANOVA z czynnikiem międzygrupowym GRUPA (grupa eksperymentalna, grupa kontrolna) i czynnikiem wewnątrzgrupowym CZAS (pomiar przed i po interwencji oraz test retencyjny). Statystyki opisowe wyników w warunkach przed, po i miesiącu od ukończenia eksperymentu (test retencyjny) dla grupy eksperymentalnej i kontrolnej przedstawiono w Tabeli 4.

**Tabela 4.** Statystyka opisowa parametrów wzrokowych, wzrokowo-motorycznych i zwinności reakcyjnej w grupie eksperymentalnej i kontrolnej w trzech terminach badań.

Zmienne	Grupa	Pre-test $\bar{x} \pm SD$ (min-max)	Post-test $\bar{x} \pm SD$ (min-max)	Test retencyjny $\bar{x} \pm SD$ (min-max)
Szybkość reakcji prostej – czas ruchu prostego [ms]	kontrolna	130,32 ± 34,51 (75,00 – 207,00)	129,12 ± 32,18 (79,00 – 212,00)	131,24 ± 26,61 (87,00 – 195,00)
	ekperymentalna	133,40 ± 36,75 (80,00 – 222,00)	118,80 ± 37,39 (61,00 – 219,00)	121,20 ± 40,49 (77,00 – 227,00)
Szybkość reakcji prostej - czas reakcji [ms]	kontrolna	273,72 ± 52,66 (220,00 – 447,00)	272,56 ± 43,59 (206,00 – 393,00)	273,64 ± 42,56 (203,00 – 401,00)
	ekperymentalna	270,96 ± 44,51 (195,00 – 386,00)	263,20 ± 35,98 (206,00 – 322,00)	272,44 ± 41,03 (206,00 – 392,00)
Szybkość reakcji złożonej [ms]	kontrolna	719,60 ± 69,49 (630,00 – 870,00)	697,20 ± 77,81 (600,00 – 860,00)	684,80 ± 78,91 (580,00 – 890,00)
	ekperymentalna	737,20 ± 62,49 (620,00 – 850,00)	674,40 ± 61,58 (570,00 – 800,00)	662,80 ± 81,27 (540,00 – 870,00)
Wrażliwość sensoryczna [Hz]	kontrolna	46,84 ± 4,31 (39,91 – 55,36)	46,68 ± 5,51 (38,53 – 58,83)	47,08 ± 6,46 (37,51 – 59,88)
	ekperymentalna	44,01 ± 5,69 (33,90–57,25)	46,60 ± 5,22 (39,04 – 59,88)	44,80 ± 6,23 (30,64 – 56,20)
Dynamika sakkad [°/s]	kontrolna	100,10 ± 11,07 (81,92 – 121,49)	98,20 ± 9,37 (84,32 – 119,23)	100,93 ± 8,51 (85,50 – 119,65)
	ekperymentalna	94,30 ± 9,73 (81,03 – 116,93)	99,26 ± 9,09 (84,17 – 119,07)	101,38 ± 6,89 (88,44 – 116,58)
Zwinność reakcyjna [s]	kontrolna	18,61 ± 1,09 (16,24 – 20,40)	18,39 ± 1,14 (16,00 – 20,35)	18,04 ± 1,15 (16,19 – 20,80)
	ekperymentalna	18,18 ± 1,23 (16,35 – 20,58)	17,62 ± 0,98 (16,40 – 19,25)	17,88 ± 1,32 (15,92 – 20,32)

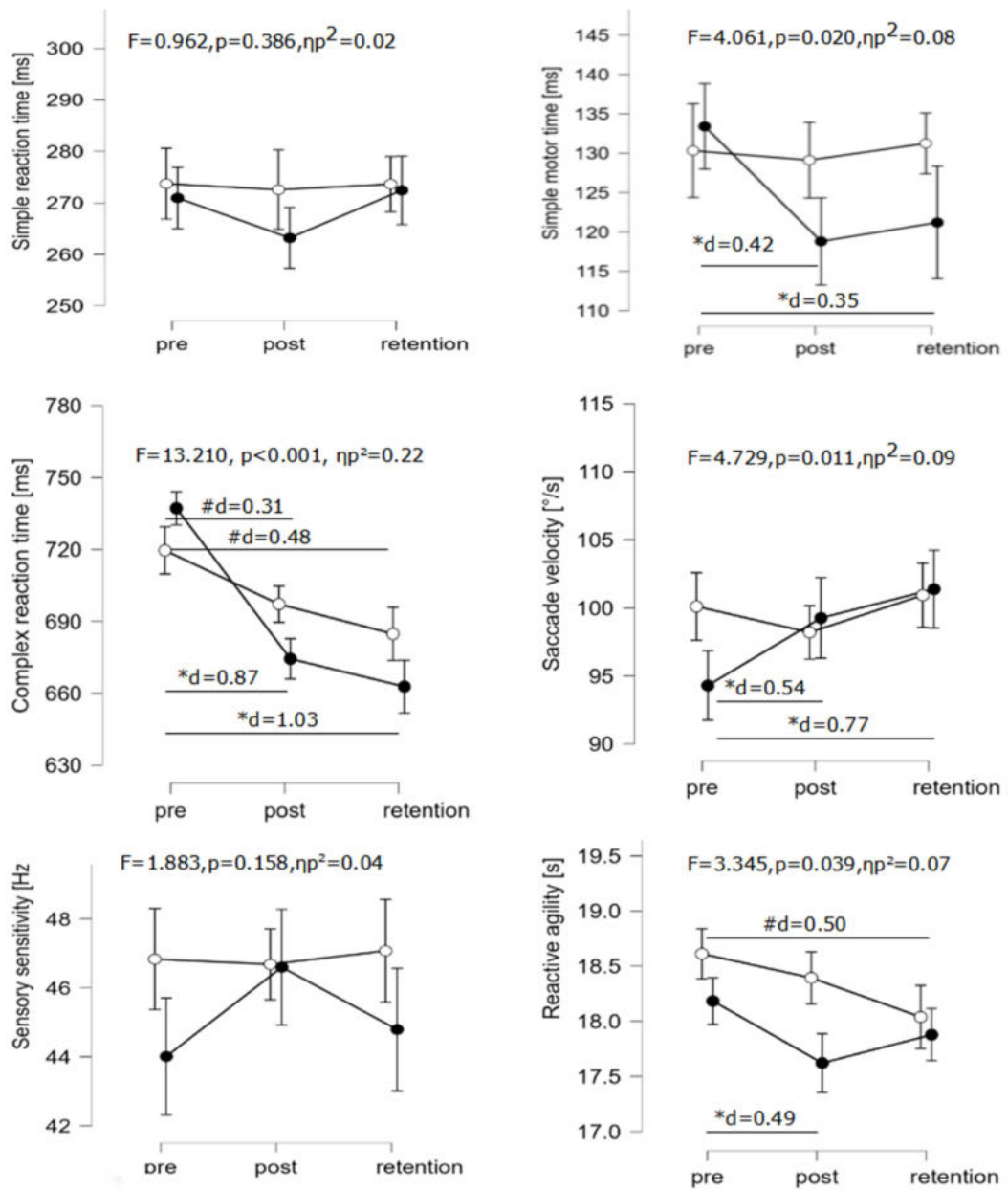
Analiza wariancji ANOVA dla czasu ruchu prostego testu szybkości reakcji prostej ujawniła znaczący wpływ efektu głównego CZAS ( $F_{2,96} = 4,59$ ,  $p = 0,013$ ,  $\eta^2 = 0,09$ ) oraz brak wpływu czynnika GRUPA ( $F_{1,48} = 0,38$ ,  $p = 0,542$ ,  $\eta^2 = 0,01$ ) na zmienność badanego parametru. Ponadto, zaobserwowano interakcję pomiędzy czynnikami CZAS i GRUPA ( $F_{2,96} = 4,06$ ,  $p = 0,020$ ,  $\eta^2 = 0,08$ ). W grupie eksperymentalnej stwierdzono istotne różnice pomiędzy pomiarami przed i po interwencji ( $133,40 \pm 36,75$  vs.  $118,80 \pm 37,39$  ms,  $p = 0,003$ ,  $d = 0,42$ ) oraz pomiędzy poziomem przed interwencją a wynikami testu retencji ( $133,40 \pm 36,75$  ms vs.  $121,20 \pm 40,49$  ms,  $p = 0,027$ ,  $d = 0,35$ ), co wskazuje na znaczne polepszenie badanego parametru w toku prowadzonego eksperymentu.

W przypadku szybkości reakcji złożonej, stwierdzono istotny statystycznie wpływ czynnika CZAS ( $F_{2,96} = 81,54$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,63$ ) oraz wystąpienie interakcji czynników głównych CZAS  $\times$  GRUPA ( $F_{2,96} = 13,21$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,22$ ). Efekt czynnika GRUPA był nieistotny ( $F_{1,48} = 0,21$ ,  $p = 0,649$ ,  $\eta^2 < 0,01$ ). Analiza post-hoc wykazała, że obie grupy, eksperymentalna i kontrolna, uzyskały lepsze wyniki ( $p < 0,05$ ) w teście po interwencji treningowej i teście retencji w porównaniu z pomiarem wyjściowym. W szczególności różnice między pomiarami przed i po interwencji dla grupy eksperymentalnej charakteryzowały się dużym efektem ( $737,20 \pm 62,48$  ms vs.  $674,40 \pm 61,58$  ms,  $p < 0,001$ ,  $d = 0,87$ ), w grupie kontrolnej efekt ten był mały ( $719,60 \pm 69,49$  ms vs.  $697,20 \pm 77,81$  ms,  $p = 0,010$ ,  $d = 0,31$ ). Podobne różnice stwierdzono między wynikami testu wyjściowego a testu retencyjnego, gdzie poprawa wyników była większa w grupie eksperymentalnej ( $737,20 \pm 62,49$  ms vs.  $662,80 \pm 81,27$  ms,  $p < 0,001$ ,  $d = 1,03$ ), aniżeli w grupie kontrolnej ( $719,60 \pm 69,49$  ms vs.  $684,80 \pm 78,91$  ms,  $p < 0,001$ ,  $d = 0,48$ ).

Analiza wyników badań parametru dynamiki sakkadowej wykazała istotny wpływ czynnika CZAS ( $F_{2,96} = 5,23$ ,  $p = 0,007$ ,  $\eta^2 = 0,098$ ) oraz wystąpienie interakcji czynników CZAS  $\times$  GRUPA ( $F_{2,96} = 4,73$ ,  $p = 0,011$ ,  $\eta^2 = 0,09$ ). Nie stwierdzono istotnego wpływu czynnika GRUPA na zmienność badanego parametru ( $F_{1,48} = 0,43$ ,  $p = 0,514$ ,  $\eta^2 = 0,01$ ). Analiza testów post-hoc w grupie eksperymentalnej wskazała na tendencję, jednak nie osiągnęła istotności między wynikami testów przed i po interwencji ( $94,30 \pm 9,73$  %/s vs.  $99,25 \pm 9,08$  %/s,  $p = 0,083$ ,  $d = 0,54$ ). Natomiast stwierdzono istotną różnicę między wynikami testu przed interwencją treningową a wynikami testu retencyjnego ( $94,30 \pm 9,73$  %/s vs.  $101,38 \pm 6,89$  %/s,  $p = 0,002$ ,  $d = 0,77$ ).

Analiza zmienności wyników testu zwinności reakcyjnej wykazała istotny wpływ czynnika CZAS ( $F_{2,96} = 8,24$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,15$ ) oraz interakcję czynników CZAS  $\times$  GRUPA ( $F_{2,96} = 3,35$ ,  $p = 0,039$ ,  $\eta^2 = 0,07$ ). W grupie eksperymentalnej stwierdzono istotną statystycznie różnicę pomiędzy wynikami testów przed i po interwencji ( $18,18 \pm 1,23$  s vs.  $17,62 \pm 0,88$  s,  $p = 0,017$ ,  $d = 0,49$ ), natomiast w grupie kontrolnej zaobserwowano istotną różnicę między wynikami testu przed interwencją treningową a wynikami testu retencyjnego ( $18,61 \pm 1,09$  s vs.  $18,04 \pm 1,15$  s,  $p = 0,014$ ,  $d = 0,50$ ). Interakcje między czynnikami głównymi badanych zmiennych przedstawiono na Ryc. 2.





Ryc. 2. Wykresy interakcji czynników CZAS i GRUPA dla parametrów percepcyjnych i motorycznych: grupa eksperymentalna (czarne kropki) vs. grupa kontrolna (białe kropki) w układzie przed interwencją (pre), po interwencji (post) i w teście retencyjnym (retention). Wartości są przedstawione jako średnie i 95% CI. Istotne zmiany ( $p < 0,05$ ) w parametrach oznaczono gwiazdką „\*” dla grupy eksperymentalnej oraz znakiem „#” dla grupy kontrolnej, z towarzyszącymi wielkościami efektu (d) (Zwierko i wsp., 2023).

Kolejnym etapem analizy była ocena różnic międzypłciowych w zmienności badanych parametrów w trakcie trwania eksperymentu. Stwierdzono, istotny efekt interakcji czynników CZAS  $\times$  PŁEĆ dla dynamiki sakkadowej ( $F_{2,46} = 6,72$ ,  $p = 0,003$ ,  $\eta^2 = 0,23$ ) i zwinności reakcyjnej ( $F_{2,46} = 6,21$ ,  $p = 0,004$ ,  $\eta^2 = 0,21$ ). Analiza post hoc wykazała, że w obu przypadkach istotna poprawa wyników po interwencji w porównaniu do wyników wyjściowych nastąpiła w grupie kobiet ( $95,65 \pm 8,61^\circ/\text{s}$  vs.  $87,08 \pm 5,18^\circ/\text{s}$ ,  $p = 0,018$ ,  $d = 1,14$  dla dynamiki sakkadowej i odpowiednio  $18,26 \pm 0,64$  s vs.  $19,23$  s,  $p < 0,001$ ,  $d = 1,46$  dla zwinności reakcyjnej), bez istotnych zmian w grupie mężczyzn ( $p > 0,05$ ).

Analizując Ryc. 2 w przypadku zwinności reakcyjnej stwierdzono, że w wyniku interwencji treningiem reakcyjnym nastąpiła poprawa rezultatów w grupie eksperymentalnej po interwencji, jednakże ostateczne efekty treningu (wyniki testu retencyjnego) nie różniły się między grupami. Dalsze analizy tego zagadnienia przedstawiono w publikacji 3, poświęconej analizie adaptacji sensomotorycznej reprezentowanej przez współczynnik REAC-INDEX (indywidualne różnice między wynikami RA i COD).

Wyniki analizy wariancji ANOVA dla parametrów zwinności (COD, RA) przed i po interwencji wykazały brak wpływu czynnika CZAS na zmienność wyników testu COD ( $F_{1,48} = 2,07$ ,  $p = 0,156$ ,  $\eta^2 = 0,04$ ). Natomiast istotny efekt wystąpił dla wyników testu RA ( $F_{1,48} = 12,64$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,21$ ) i parametru REAC-INDEX ( $F_{1,48} = 4,26$ ,  $p = 0,044$ ,  $\eta^2 = 0,08$ ). Analiza wpływu czynnika GRUPA wykazała, że jedynie zmiany wyników testu RA były statystycznie istotne ( $F_{1,48} = 4,34$ ,  $p = 0,043$ ,  $\eta^2 = 0,08$ ). Zaobserwowano także istotną interakcję czynników GRUPA  $\times$  CZAS w przypadku REAC-INDEX ( $F_{1,48} = 6,87$ ,  $p = 0,012$ ,  $\eta^2 = 0,13$ ).

Dodatkowo przeprowadzono analizę kowariancji (ANCOVA), w której wyniki po interwencji treningowej przyjęto jako zmienną zależną. Czynniki GRUPA i PŁEĆ określono jako czynniki kategoryczne, natomiast poziom wyników przed interwencją jako kowariatę. Analiza wskazała na wystąpienie istotnych różnic w przypadku czynnika GRUPA, co znalazło odzwierciedlenie w poprawie wyników po interwencji w grupie eksperymentalnej w przypadku RA ( $F_{1,45} = 5,82$ ,  $p = 0,020$ ,  $\eta^2 = 0,12$ ) oraz REAC-INDEX ( $F_{1,45} = 9,35$ ,  $p = 0,004$ ,  $\eta^2 = 0,17$ ). Rozważając wyniki przed treningiem

w odniesieniu do COD, RA i REAC-INDEX jako współzmiennych, nie zaobserwowano statystycznie istotnych różnic między płcią badanych grup.

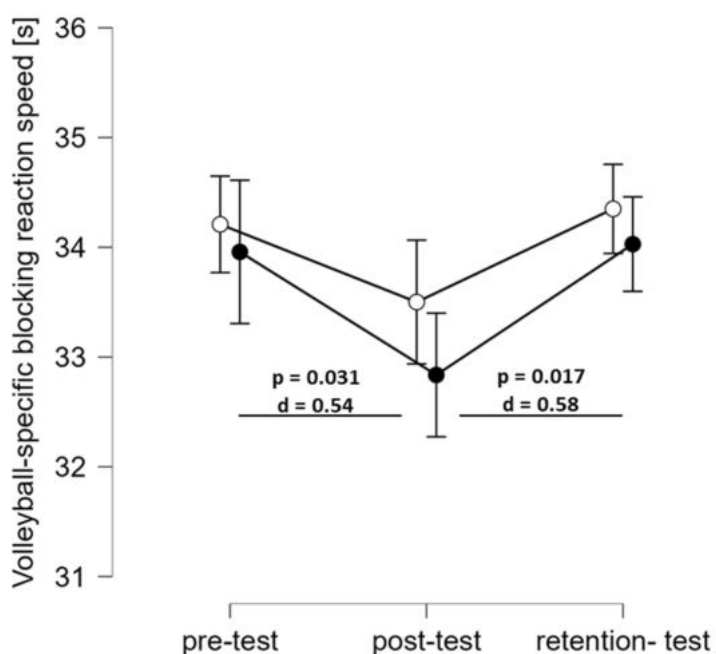
### **5.3. Ocena skuteczności stosowania programu ćwiczeń reakcyjnych jako narzędzia wspomagającego kształtowanie sprawności specjalnej wśród młodych zawodników uprawiających piłkę siatkową (publikacja 4)**

Kolejnym etapem analizy wyników badań była ocena zastosowania programu ćwiczeń reakcyjnych na sprawność specjalną w piłce siatkowej. W tym celu wykorzystano pomiary testu oceniającego szybkość reakcji wzrokowo-motorycznej podczas poruszania się w bloku rejestrowane przed i po interwencji oraz miesiąc po zakończeniu eksperymentu (test retencyjny) (Tabela 5). Analiza wariancji ANOVA dla testu sprawności specyficznej ujawniła wpływ czynnika CZAS ( $F_{2,96} = 10,03$ ,  $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,17$ ) oraz brak wpływu czynnika GRUPA ( $F_{1,48} = 0,65$ ,  $p = 0,424$ ,  $\eta^2 = 0,01$ ). Interakcja czynników CZAS i GRUPA również nie była istotna ( $F_{2,96} = 0,39$ ,  $p = 0,679$ ,  $\eta^2 = 0,01$ ). W grupie eksperymentalnej analiza post-hoc wykazała jednak istotne różnice pomiędzy wynikami testu przed i po interwencji ( $p = 0,031$ ,  $d = 0,54$ ) oraz pomiędzy wynikami testu przed interwencją a testem retencyjnym ( $p = 0,017$ ,  $d = 0,58$ ), co wskazuje na większe efekty treningu z użyciem okularów stroboskopowych aniżeli treningu bez okularów (Ryc. 3). Zmiany te nie były warunkowane zmianami siły eksplozywnej kończyn dolnych mierzonymi testem CMJA.

Analiza ANCOVA, niezależnie od GRUPY ( $F_{1,47} = 0,36$ ,  $p = 0,551$ ,  $\eta^2 = 0,01$ ), nie wykazała wpływu zmian poziomu siły eksplozywnej nóg na zmiany wyniku testu sprawności specjalnej ( $F_{1,47} = 0,64$ ,  $p = 0,426$ ,  $\eta^2 = 0,01$ ). Analiza korelacji wykazała brak związku między zmianami wyników testu sprawności specjalnej a zmianami poziomu siły eksplozywnej kończyn dolnych po interwencji treningowej ( $r = 0,188$ ,  $p = 0,414$ ).

**Tabela 5.** Statystyki opisowe dla parametrów testów sprawności specjalnej i siły eksplozywnej kończyn dolnych w grupach badanych w trzech terminach pomiarowych.

Zmienne	Grupa	Pre-test $\bar{x} \pm SD$ (min-max)	Post-test $\bar{x} \pm SD$ (min-max)	Test retencyjny $\bar{x} \pm SD$ (min-max)
Szybkość reakcji wzrokowo-motorycznej podczas bloku [s]	eksperymentalna	33,96 ± 1,82 (30,27 – 36,86)	32,84 ± 1,48 (29,93 – 35,01)	34,03 ± 1,19 (31,00 – 35,45)
	kontrolna	34,21 ± 2,51 (29,28 – 39,13)	33,50 ± 2,83 (29,45 – 39,43)	34,35 ± 2,17 (29,85 – 38,16)
Siła eksplozywna kończyn dolnych [cm]	eksperymentalna	38,71 ± 10,13 (25,10 – 66,80)	39,39 ± 11,51 (21,20 – 65,70)	38,64 ± 11,29 (24,80 – 63,80)
	kontrolna	36,41 ± 7,69 (25,90 – 53,40)	37,02 ± 7,44 (24,20 – 50,50)	35,98 ± 7,23 (25,10 – 49,50)



Ryc. 3. Wykresy interakcji czynników CZAS i GRUPA dla wyników szybkości reakcji wzrokowo-motorycznej w teście sprawności specjalnej (blokowania): grupa eksperymentalna (czarne kropki) vs. grupa kontrolna (białe kropki) w układzie przed interwencją (pre-test), po interwencji (post-test) i w teście retencyjnym (retention-test). Znaczące zmiany ( $p < 0,05$ ) są obserwowane w grupie eksperymentalnej (M. Zwierko i wsp., 2024a).

## VI Dyskusja

Celem pracy była wieloaspektowa analiza skuteczności zastosowania ćwiczeń reakcyjnych na poziom wybranych zdolności percepcyjnych i motorycznych młodych sportowców podejmujących systematyczny trening piłki siatkowej. Zrealizowane badania przedstawiono w cyklu czterech publikacji, wskazują, że: (1) czynniki motoryczne i percepcyjne determinują zmienność zwinności reakcyjnej, przy czym determinanty różnią się pod względem płci badanych. W szczególności stwierdzono, że czynniki takie jak siła eksplozywna kończyn dolnych, szybkość reakcji złożonej, śledzenie liniowe oraz wrażliwość sensoryczna odgrywają istotne rolę dla osiągnięć w wynikach zwinności reakcyjnej, przy osiągniętych współczynnikach determinacji ( $R^2$ ) wynoszących 23,6% (eksplozywna siła i szybkość reakcji złożonej) u mężczyzn oraz 34,5% (eksplozywna siła, śledzenie liniowe, i wrażliwość sensoryczna) u kobiet; (2) zastosowanie programu ćwiczeń reakcyjnych jest skuteczną metodą poprawy sprawności funkcji percepcyjnych i motorycznych, ocenianych metodami pomiaru laboratoryjnego oraz pomiaru specyficznego, przy czym zastosowanie ćwiczeń reakcyjnych przy wykorzystaniu okularów stroboskopowych jest bardziej efektywne; (3) trening stroboskopowy był również bardziej skuteczny dla osiągnięcia poprawy w zadaniach sprawności specjalnej w piłce siatkowej, jednak obserwowany efekt był krótkoterminowy.

Wśród głównych ustaleń wynikających z przeprowadzonych badań można wskazać, że płeć w znaczącym stopniu determinuje osiągnięcia motoryczne. Mężczyźni osiągnęli lepsze wyniki w testach RA, siły eksplozywnej kończyn dolnych (SJ, CMJA), maksymalnej częstotliwości ruchów kończyn dolnych (tapping) i dynamice sakkadowej, przy osiągnięciu dużych miar wielkości efektów (0,88 – 2,58). Natomiast pozostałe analizowane czynniki percepcyjno-kognitywne (śledzenie liniowe, szybkość reakcji prostej, szybkość reakcji złożonej, wrażliwość sensoryczna) charakteryzują się małymi lub umiarkowanymi różnicami międzypłciowymi (efekty od 0,23 do 0,73). Wyniki te pokrywają się z wcześniejszymi obserwacjami, w których mężczyźni na ogół wykazywali lepsze osiągnięcia w testach zwinności ze względu na lepsze pobudzenie nerwowo-mięśniowe, wyższe parametry siły kończyn dolnych i efektywniejsze

przetwarzanie wzrokowo-ruchowe (Dos'Santos i wsp., 2018; Sekulic i wsp., 2014; Spiteri i wsp., 2014).

Z badań własnych wynika, że zwinność reakcyjna jest ściśle związana zarówno z czynnikami percepcyjno-kognitywnymi, jak i motorycznymi, w tym szczególnie z siłą eksplozywną kończyn dolnych, która jest kluczowym determinantem zwinności niezależnie od płci (Horníková i wsp., 2021; Thomas i wsp., 2018). Wcześniejsze doniesienia wskazują ponadto, że zdolność częstotliwości ruchów mierzona za pomocą zadań tappingu jest pozytywnie skorelowana z wynikami RA (Chaabouni i wsp., 2022), co również potwierdzają prezentowane wyniki. Badania własne są jednymi z pierwszych, w których uwzględniono funkcje okulomotoryczne w powiązaniu z wynikami RA, tym samym podkreślając ich znaczenie w treningu piłki siatkowej, dyscypliny wymagającej efektywnego przetwarzania informacji wzrokowych w dynamicznym środowisku gry (Fortin-Guichard i wsp., 2020; Zwierko i wsp., 2010).

Wyniki badań (publikacja 1) pozwoliły na identyfikację, istotnych z punktu widzenia dyscypliny piłki siatkowej, parametrów motorycznych i percepcyjnych determinujących wyniki zwinności reakcyjnej, zdolności niezbędnej dla efektywnej gry w siatkówkę (Bonato i wsp., 2022). Ponadto, wyniki badań sugerują możliwość konstruowania programów szkoleniowych, które oprócz kształtowania zdolności motorycznych będą miały na celu doskonalenie funkcji percepcyjnych. Wnioski płynące z tego etapu badań stały się punktem wyjścia dla stworzenia programu ćwiczeń reakcyjnych dla grup młodych siatkarzy i siatkarek.

Zastosowanie sześciotygodniowego programu ćwiczeń reakcyjnych okazało się skuteczną metodą doskonalenia sprawności funkcji percepcyjnych i motorycznych, przy czym zastosowanie okularów stroboskopowych w programie interwencji okazało się bardziej efektywne. Grupa eksperymentalna wykazała znaczącą poprawę parametrów związanych z szybkością reakcji ruchu prostego (czas motoryczny) w odpowiedzi na proste bodźce wzrokowe, prędkości ruchów sakkadowych oka, szybkości reakcji złożonej i RA, zarówno w ocenie efektów krótko- i długoterminowych. Zmiany wywołane treningiem reakcyjnym były zależne od płci badanych jedynie w dwóch z sześciu analizowanych zmiennych, tj. zwinności reakcyjnej oraz dynamiki ruchów sakkadowych.

Wyniki badań własnych potwierdzają wcześniejsze doniesienia, że trening stroboskopowy poprawia funkcje wzrokowe i wzrokowo-motoryczne w sporcie (Carroll i wsp., 2021; Wilkins i Appelbaum, 2020). W odniesieniu jednak do uzyskanych rezultatów, wyniki autorów innych prac (Hülsdünker i wsp., 2021b; Poltavski i wsp., 2021; T. Zwierko i wsp., 2024) wskazywały, że korzyści związane z treningiem stroboskopowym związane są raczej z etapem sensorycznym przetwarzania wzrokowego (obszary kory mózgowej V1/V2 i V5) niż z procesami motorycznymi. Ten etap badań własnych nie potwierdził powyższych wniosków, nie wykazano bowiem znaczących zmian w zakresie wrażliwości sensorycznej i czasu reakcji prostej. Należy jednak wskazać, że w niniejszych badaniach zastosowane narzędzia badawcze nie pozwalały na monitorowanie przetwarzania wzrokowego na poziomie sensorycznym, a jedynie rejestrowały sumaryczny wynik procesów wzrokowo-motorycznych, tj. czas od pojawienia się bodźca do wykonania ruchu, bądź jego rozpoczęcia.

Nowym osiągnięciem w badaniach nad efektywnością treningu stroboskopowego było uzyskanie pozytywnego wpływu stosowanej interwencji na funkcje okulomotoryczne (dynamika sakkadowa). Dynamika sakkadowa, uważana za specyficzny sposób ruchów oczu, któremu towarzyszy przesunięcie uwagi na wybrany obiekt, jest ważnym aspektem efektywności gry siatkarza (Fortin-Guichard i wsp., 2020; Piras i wsp., 2010). Polepszenie dynamiki sakkadowej w efekcie stosowania okularów stroboskopowych podczas ćwiczeń może być spowodowana adaptacją układu okoruchowego (Wilkins i Appelbaum, 2020). Uzyskane wyniki wymagają dalszych badań, nad oceną funkcji okulomotorycznej w warunkach bardziej specyficznego pomiaru.

Obserwowane różnice między grupą kobiet a grupą mężczyzn były znaczące w zakresie zmian po zastosowanej interwencji jedynie w przypadku funkcji okulomotorycznej oraz wyników RA, przy czym u kobiet wykazano większą poprawę w porównaniu do mężczyzn. Jednym z wyjaśnień jest prawdopodobnie niższy poziom wyjściowy tych parametrów u kobiet (Shaqiri i wsp., 2018; Zwierko i wsp., 2022). We wcześniejszych badaniach stwierdzono, że różnice w funkcjach wzrokowych i percepcyjnych związane z płcią są heterogeniczne. Shaqiri i wsp. (2018) wykorzystując 15 różnych zadań wzrokowych i percepcyjno-kognitywnych, dowodzili, że mężczyźni osiągnęli znacząco lepsze wyniki niż kobiety w zakresie czasu reakcji prostej, ostrości

wzroku, maskowania wzrokowego, wykrywania kierunku ruchu oraz w wynikach iluzji Ponzo. Natomiast w pozostałych przypadkach różnice nie były istotne bądź korzystne dla badanej grupy kobiet. W badaniach własnych zaobserwowane różnice międzypłciowe w odpowiedzi na interwencję stroboskopową nie są jednoznaczne ani łatwe do interpretacji. Wydaje się, że niektóre rodzaje zadań mogą być bardziej podatne na trening stroboskopowy niż inne.

Ważnym osiągnięciem badawczym, było również dowiedzenie, że trening stroboskopowy w sposób istotny wpływa na adaptację sensomotoryczną (REAC-INDEX) będącą składową zdolności zwinności reakcyjnej. Oznacza to, że zastosowany trening reakcyjny wpłynął w istotny sposób na funkcje percepcyjne w zadaniu RA. Tradycyjnie trening zwinności zazwyczaj skoncentrowany jest na poprawie szybkości biegowej, techniki biegu, stabilności oraz siły i mocy kończyn dolnych (Condello i wsp., 2016; Freitas i wsp., 2022; Loturco i wsp., 2019). Wyniki badań własnych sugerują możliwość zwiększenia obszaru oddziaływania treningowego również na aspekt doskonalenia u zawodników zdolności percepcyjnych.

W ocenie efektywności wpływu treningu reakcyjnego na elementy sprawności specjalnej analizowano wyniki trzech pomiarów szybkości reakcji wzrokowo-motorycznej podczas blokowania. Mimo, że efekty główne analizy wariancji nie wskazywały istotnej interakcji między porównywanymi grupami w trzech terminach badań, obserwowano istotne polepszenie wyników testu w grupie eksperymentalnej po okresie interwencji (Ryc. 3). Efekt był jednak krótkotrwały, bowiem wartość osiągnięć nie utrzymała się w odniesieniu do pomiaru trzeciego. Co ważne, poprawa wyników była niezależna od zmian poziomu siły eksplozywnej nóg, co sugeruje, że korzyści z interwencji stroboskopowej wynikały raczej z uzyskanych efektów percepcyjnych, aniżeli z motorycznych (Carroll i wsp., 2021; Wilkins & Appelbaum, 2020). Poprzednie ustalenia wskazujące, że trening stroboskopowy poprawia zdolności wzrokowo-motoryczne w zadaniach RA (Zwierko i wsp., 2023; M. Zwierko i wsp., 2024b), zostały potwierdzone w zadaniu zwinnościowym, o charakterze specyficznym - dojścia do bloku na niespodziewany sygnał wzrokowy. Co więcej, na poprawę szybkości reakcji wzrokowo-motorycznej w czasie blokowania nie miały wpływu zmiany poziomu siły eksplozywnej



kończyn dolnych nóg, co podkreśla rolę zdolności percepcyjno-kognitywnych w zadaniach wymagających szybkiej zmiany kierunku (Spiteri i wsp., 2018; Zwierko i wsp., 2022).

Wyniki badań własnych są istotne z punktu widzenia efektów treningu reakcyjnego na transfer dalszy, czyli sprawność związaną bezpośrednio ze specyfiką zachowań motorycznych zawodników. Choć wyniki są obiecujące, jednak badania mają pewne ograniczenia. Analizie poddano tylko jedno zadanie związane z transferem dalszym, więc inne potencjalne korzyści płynące z treningu stroboskopowego, takie jak pozytywne reakcje podczas meczów pozostają niezbadane. Zastosowane zadanie nie wymagało od graczy różnicowania reakcji, co jest kluczowym aspektem skutecznego bloku w piłce siatkowej. Podejmowanie decyzji w sporcie jest złożone i opiera się na zdolności sportowców do przetwarzania informacji środowiskowych i podejmowania decyzji motorycznych (Cieśluk i wsp., 2023; MacMahon i McPherson, 2009; Walton i wsp., 2018). Poza tym, w teście użyto bodźców niespecyficznych (dyski świetlne). Główną zaletą zastosowania tego typu bodźca jest możliwość zaprogramowania sygnału tak, aby pojawiał się konsekwentnie podczas każdego testu, co zwiększa rzetelność pomiaru (Paul i wsp., 2016). Jednak wskazuje się, że testy z zastosowaniem bardziej specyficznych (ludzkich) bodźców oferują większą użyteczność wobec wymagań rzeczywistych scenariuszy gry (Morral-Yepes i wsp., 2022).

Podsumowując, wyniki badań prowadzonych wśród młodych siatkarek i siatkarzy wskazują na duży potencjał zastosowania nowych narzędzi treningowych do doskonalenia zdolności percepcyjnych i motorycznych. Badania wnoszą nową wiedzę na temat skuteczności treningu reakcyjnego i mają wartość praktyczną, poszerzając możliwości zastosowania proponowanych narzędzi reakcyjnych w innych dyscyplinach sportu.

## VII Wnioski

1. Poziom zwinnosci reakcyjnej jest determinowany przez czynniki motoryczne i percepcyjne w zaleznosci od płci badanych. W szczególności, kluczową rolę w zadaniach zwinnosci reakcyjnej odgrywają siła eksplozywna kończyn dolnych, szybkość reakcji złożonej, śledzenie liniowe oraz wrażliwość sensoryczna. Tworzenie programów treningowych mających na celu poprawę zwinnosci reakcyjnej powinno uwzględniać włączenie ćwiczeń doskonalących zdolności percepcji wzrokowej.
2. Zastosowanie sześciotygodniowego programu ćwiczeń reakcyjnych jest efektywną metodą poprawy sprawności funkcji percepcyjnych i motorycznych. Program ćwiczeń reakcyjnych z wykorzystaniem okularów stroboskopowych wykazał wyższą skuteczność w porównaniu do programu bez użycia tych okularów. Stymulacja stroboskopowa może zatem stanowić wartościowe uzupełnienie standardowych programów treningowych, znacząco poprawiając ich efektywność.
3. Program ćwiczeń reakcyjnych z wykorzystaniem stymulacji stroboskopowej pozytywnie wpływa na osiągnięcia badanych w zadaniach sprawności specjalnej w piłce siatkowej. Niemniej jednak, brak potwierdzenia długoterminowego efektu sugeruje konieczność systematycznego włączenia tych ćwiczeń do regularnego treningu siatkarzy i siatkarek w grupach młodzieżowych.

## VIII Piśmiennictwo

- Ando S, Kida N, Oda S. Retention of practice effects on simple reaction time for peripheral and central visual fields. *Percept Mot Skills* 2004, 98(3 Pt 1): 897-900.
- Appelbaum LG, Schroeder JE, Cain MS, Mitroff SR. Improved visual cognition through stroboscopic training. *Front Psychol* 2011, 2: 276.
- Araújo D, Hristovski R, Seifert L, Carvalho J, Davids K. Ecological cognition: expert decision-making behaviour in sport. *Int Rev Sport Exerc Psychol* 2019, 12(1): 1-25.
- Ballester R, Huertas F, Uji M, Bennett SJ. Stroboscopic vision and sustained attention during coincidence-anticipation. *Sci Rep* 2017, 7(1): 17898.
- Bennett SJ, Hayes SJ, Uji M. Stroboscopic vision when interacting with multiple moving objects: perturbation is not the same as elimination. *Front Psychol* 2018, 9: 1290.
- Bonato M, MC DE C, Banfi G. Agility training in volleyball. *J Sports Med Phys Fitness* 2022, 62(1): 56-64.
- Bosquet L, Berryman N, Dupuy O. A comparison of 2 optical timing systems designed to measure flight time and contact time during jumping and hopping. *J Strength Cond Res* 2009, 23(9): 2660-2665.
- Carroll W, Fuller S, Lawrence J, Osborne S, Stallcup R, Burch R, et al. Stroboscopic visual training for coaching practitioners: a comprehensive literature review. *Int J Kinesiol Sports Sci* 2021, 9(4): 49-59.
- Chaabouni S, Methnani R, Al Hadabi B, Al Busafi M, Al Kitani M, Al Jadidi K, et al. A simple field tapping test for evaluating frequency qualities of the lower limb neuromuscular system in soccer players: a validity and reliability study. *Int J Environ Res Public Health* 2022, 19(7).
- Cheron G, Petit G, Cheron J, Leroy A, Cebolla A, Cevallos C, et al. Brain oscillations in sport: toward EEG biomarkers of performance. *Front Psychol* 2016, 7: 246.
- Cieśluk K, Sadowska D, Krzepota J. The use of modern measuring devices in the evaluation of movement in the block in volleyball depending on the difficulty of the task determined by light signals. *Applied Sciences* 2023, 13(20): 11462.
- Condello G, Kernozek TW, Tessitore A, Foster C. Biomechanical analysis of a change-of-direction task in collegiate soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 2016, 11(1): 96-101.

- Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
- De Waelle S, Warlop G, Lenoir M, Bennett SJ, Deconinck FJA. The development of perceptual-cognitive skills in youth volleyball players. *J Sports Sci* 2021, 39(17): 1911-1925.
- Dos'Santos T, Thomas C, Comfort P, Jones PA. The effect of angle and velocity on change of direction biomechanics: an angle-velocity trade-off. *Sports Med* 2018, 48(10): 2235-2253.
- Ellison P, Jones C, Sparks SA, Murphy PN, Page RM, Carnegie E, et al. The effect of stroboscopic visual training on eye-hand coordination. *Sport Sci Health* 2020, 16(3): 401-410.
- Erickson G. *Sports vision: vision care for the enhancement of sports performance*. Butterworth-Heinemann, 2007.
- Fiorilli G, Iuliano E, Mitrotasios M, Pistone EM, Aquino G, Calcagno G, di Cagno A. Are change of direction speed and reactive agility useful for determining the optimal field position for young soccer players? *J Sports Sci Med* 2017, 16(2): 247-253.
- Fleddermann MT, Heppe H, Zentgraf K. Off-court generic perceptual-cognitive training in elite volleyball athletes: task-specific effects and levels of transfer. *Front Psychol* 2019, 10: 1599.
- Formenti D, Duca M, Trecroci A, Ansaldo L, Bonfanti L, Alberti G, Iodice P. Perceptual vision training in non-sport-specific context: effect on performance skills and cognition in young females. *Sci Rep* 2019, 9(1): 18671.
- Fortes LS, Freitas-Júnior CG, Paes PP, Vieira LF, Nascimento-Júnior JRA, Lima-Júnior DRAA, Ferreira MEC. Effect of an eight-week imagery training programme on passing decision-making of young volleyball players. *Int J Sport Exerc Psychol* 2020, 18(1): 120-128.
- Fortin-Guichard D, Laflamme V, Julien AS, Trottier C, Grondin S. Decision-making and dynamics of eye movements in volleyball experts. *Sci Rep* 2020, 10(1): 17288.
- Freitas TT, Pereira LA, Alcaraz PE, Comyns TM, Azevedo P, Loturco I. Change-of-direction ability, linear sprint speed, and sprint momentum in elite female athletes: differences between three different team sports. *J Strength Cond Res* 2022, 36(1): 262-267.
- Hadlow SM, Panchuk D, Mann DL, Portus MR, Abernethy B. Modified perceptual training in sport: a new classification framework. *J Sci Med Sport* 2018, 21(9): 950-958.

- Horníková H, Jeleň M, Zemková E. Determinants of reactive agility in tests with different demands on sensory and motor components in handball players. *Applied Sciences* 2021, 11(14): 6531. <https://doi.org/10.3390/app11146531>
- Hülsdünker T, Gunasekara N, Mierau A. Short- and long-term stroboscopic training effects on visuomotor performance in elite youth sports. Part 1: Reaction and behavior. *Med Sci Sports Exerc* 2021a, 53(5): 960-972.
- Hülsdünker T, Gunasekara N, Mierau A. Short- and long-term stroboscopic training effects on visuomotor performance in elite youth sports. Part 2: Brain-behavior mechanisms. *Med Sci Sports Exerc* 2021b, 53(5): 973-985.
- Hülsdünker T, Mierau A. Visual perception and visuomotor reaction speed are independent of the individual alpha frequency. *Front Neurosci* 2021, 15.
- Karner T, Neuwirth W. Validation of traffic psychology tests by comparing with actual driving. In: *International Conference on Traffic and Transport Psychology*, Berne, Switzerland, 2000.
- Krauss TT. *Der 15 Sekunden Foot Tapping Test (FTT15): Evaluation als sportmotorisches Testverfahren sowie Analyse Der Beeinflussbarkeit leistungsphysiologischer Parameter durch eine spezifische Vorbelastung*. Medizinische Fakultät der Universität Hamburg, 2011.
- Kroll M, Preuss J, Ness BM, Dolny M, Louder T. Effect of stroboscopic vision on depth jump performance in female NCAA Division I volleyball athletes. *Sports Biomech* 2023, 22(8): 1016-1026.
- Le Runigo C, Benguigui N, Bardy BG. Visuo-motor delay, information-movement coupling, and expertise in ball sports. *J Sports Sci* 2010, 28(3): 327-337.
- Lee H, Han S, Page G, Bruening DA, Seeley MK, Hopkins JT. Effects of balance training with stroboscopic glasses on postural control in chronic ankle instability patients. *Scand J Med Sci Sports* 2022, 32(3): 576-587.
- Lesiakowski P, Krzepota J, Zwierko T. The differentiation of visual sensorimotor processes in the representatives of various sport disciplines. *Cent Eur J Sport Sci Med* 2017, 19(3): 43-53.
- Loturco I, Pereira LA, Freitas TT, Alcaraz PE, Zanetti V, Bishop C, Jeffreys I. Maximum acceleration performance of professional soccer players in linear sprints: is there a direct connection with change-of-direction ability? *PLoS One* 2019, 14(5): e0216806.
- MacMahon C, McPherson SL. Knowledge base as a mechanism for perceptual-cognitive tasks: skill is in the details! *Int J Sport Psychol* 2009.

- Mitroff SR, Friesen P, Bennett D, Yoo H, Reichow AW. Enhancing ice hockey skills through stroboscopic visual training: a pilot study. *Athl Train Sports Health Care* 2013, 5(6): 261-264. <https://doi.org/10.3928/19425864-20131030-02>
- Morral-Yepes M, Moras G, Bishop C, Gonzalo-Skok O. Assessing the reliability and validity of agility testing in team sports: a systematic review. *J Strength Cond Res* 2022, 36(7): 2035-2049.
- Nakata H, Yoshie M, Miura A, Kudo K. Characteristics of the athletes' brain: evidence from neurophysiology and neuroimaging. *Brain Res Rev* 2010, 62(2): 197-211.
- Neuwirth W, Benesch M. *Vienna Test System: Manual DT – Determination Test*. Schuhfried, 2007.
- Neuwirth W, Eberhardt G. *Flicker-Fusion Frequency*. Schuhfried, 2003.
- Nuri L, Shadmehr A, Ghotbi N, Attarbashi Moghadam B. Reaction time and anticipatory skill of athletes in open and closed skill-dominated sport. *Eur J Sport Sci* 2013, 13(5): 431-436.
- Pashler HE. *The psychology of attention*. MIT Press, 1996.
- Paul DJ, Gabbett TJ, Nassis GP. Agility in team sports: testing, training and factors affecting performance. *Sports Med* 2016, 46(3): 421-442.
- Perrey S, Besson P. Studying brain activity in sports performance: contributions and issues. *Prog Brain Res* 2018, 240: 247-267.
- Piras A, Lobietti R, Squatrito S. A study of saccadic eye movement dynamics in volleyball: comparison between athletes and non-athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 2010, 50(1): 99-108.
- Piras A, Lobietti R, Squatrito S. Response time, visual search strategy, and anticipatory skills in volleyball players. *J Ophthalmol* 2014, 2014: 189268.
- Piasecki L, Florkiewicz B, Krzepota J, Steciuk H, Zwierko T. System FitLight Trainer™ – nowoczesna technologia w kontroli procesu treningu sportowego w piłce siatkowej. *Marketing i Rynek* 2015, 11: 41-48.
- Poltavski D, Biberdorf D, Praus Poltavski C. Which comes first in sports vision training: the software or the hardware update? Utility of electrophysiological measures in monitoring specialized visual training in youth athletes. *Front Hum Neurosci* 2021, 15.
- Popowczak M, Domaradzki J, Rokita A, Zwierko M, Zwierko T. Predicting visual-motor performance in a reactive agility task from selected demographic, training,

anthropometric, and functional variables in adolescents. *Int J Environ Res Public Health* 2020, 17(15).

Prieler J. *Vienna Test System: Manual RT – Reaction Test*. Schuhfried, 2008.

Scott ML, Riemann BL, Faria AF. Introduction to the sensorimotor system. In: *Proprioception and Neuromuscular Control in Joint Stability*. Human Kinetics, 2000: 17-24.

Sekulic D, Krolo A, Spasic M, Uljevic O, Peric M. The development of a new stop'n'go reactive-agility test. *J Strength Cond Res* 2014, 28(11): 3306-3312.

Shaqiri A, Roinishvili M, Grzeczowski L, Chkonia E, Pilz K, Mohr C, Herzog MH. Sex-related differences in vision are heterogeneous. *Sci Rep* 2018, 8(1): 7521.

Sheppard JM, Young WB. Agility literature review: classifications, training and testing. *J Sports Sci* 2006, 24(9): 919-932.

Spiteri T, McIntyre F, Specos C, Myszka S. Cognitive training for agility: the integration between perception and action. *Strength Cond J* 2018, 40(1): 39-46.

Spiteri T, Nimphius S, Hart NH, Specos C, Sheppard JM, Newton RU. Contribution of strength characteristics to change of direction and agility performance in female basketball athletes. *J Strength Cond Res* 2014, 28(9): 2415-2423.

Stone SA, Baker J, Olsen R, Gibb R, Doan J, Hoetmer J, Gonzalez CLR. Visual field advantage: redefined by training? *Front Psychol* 2018, 9: 2764.

Thomas C, Dos'Santos T, Comfort P, Jones PA. Relationships between unilateral muscle strength qualities and change of direction in adolescent team-sport athletes. *Sports (Basel)* 2018, 6(3).

Walton CC, Keegan RJ, Martin M, Hallock H. The potential role for cognitive training in sport: more research needed. *Front Psychol* 2018, 9: 1121.

Wilkins L, Appelbaum LG. An early review of stroboscopic visual training: insights, challenges and accomplishments to guide future studies. *Int Rev Sport Exerc Psychol* 2020, 13(1): 65-80.

Wilkins L, Gray R. Effects of stroboscopic visual training on visual attention, motion perception, and catching performance. *Percept Mot Skills* 2015, 121(1): 57-79.

Zhang X, Yan M, Yangang L. Differential performance of Chinese volleyball athletes and nonathletes on a multiple-object tracking task. *Percept Mot Skills* 2009, 109(3): 747-756.

- Zwierko M, Jedziniak W, Popowczak M, Rokita A. Reactive agility in competitive young volleyball players: a gender comparison of perceptual-cognitive and motor determinants. *J Hum Kinet* 2022, 85: 87-96.
- Zwierko M, Jedziniak W, Popowczak M, Rokita A. Effects of in-situ stroboscopic training on visual, visuomotor and reactive agility in youth volleyball players. *PeerJ* 2023, 11: e15213.
- Zwierko M, Jedziniak W, Popowczak M, Rokita A. Effects of a 6-week stroboscopic training program on specific blocking reaction speed in young volleyball players. *Phys Act Rev* 2024a, 12(2): 1-10.
- Zwierko M, Jedziniak W, Popowczak M, Rokita A. Effects of six-week stroboscopic training program on visuomotor reaction speed in goal-directed movements in young volleyball players: a study focusing on agility performance. *BMC Sports Sci Med Rehabil* 2024b, 16(1): 59.
- Zwierko T, Jedziniak W, Domaradzki J, Zwierko M, Opolska M, Lubiński W. Electrophysiological evidence of stroboscopic training in elite handball players: visual evoked potentials study. *J Hum Kinet* 2024, 90: 57-69.
- Zwierko T, Jedziniak W, Florkiewicz B, Stępiński M, Buryta R, Kostrzewa-Nowak D, et al. Oculomotor dynamics in skilled soccer players: the effects of sport expertise and strenuous physical effort. *Eur J Sport Sci* 2019, 19(5): 612-620.
- Zwierko T, Osiński W, Lubiński W, Czepita D, Florkiewicz B. Speed of visual sensorimotor processes and conductivity in visual pathway in volleyball players. *J Hum Kinet* 2010, 23: 21-27.



## STRESZCZENIE

### WPLYW ĆWICZEŃ REAKCYJNYCH NA POZIOM WYBRANYCH ZDOLNOŚCI PERCEPCYJNYCH I MOTORYCZNYCH SIATKARZY I SIATKAREK W WIEKU 16 – 18 LAT

**SŁOWA KLUCZOWE:** trening stroboskopowy, zwinność, szybkość reakcji, gry sportowe

**Cel:** Celem pracy była wieloaspektowa analiza skuteczności zastosowania ćwiczeń reakcyjnych na poziom wybranych zdolności percepcyjnych i motorycznych młodych sportowców systematycznie trenujących piłkę siatkową. Badania koncentrowały się na uwarunkowaniach zwinności reakcyjnej oraz efektach programu ćwiczeń reakcyjnych na wybrane zdolności percepcyjne i motoryczne, ocenianych zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i specyficznych na boisku do siatkówki. Program ćwiczeń reakcyjnych realizowano z zastosowaniem stymulacji stroboskopowej oraz w warunkach widzenia niezakłóconego.

**Material i metody:** W badaniu pierwszym (publikacja 1) dotyczącym oceny determinantów zwinności reakcyjnej udział wzięło 135 młodych sportowców w wieku 16 –18 lat, w tym 61 mężczyzn i 74 kobiet. Kolejne etapy badań dotyczyły realizacji eksperymentu pedagogicznego i oceny efektów wdrożenia programu ćwiczeń reakcyjnych. W eksperymencie udział wzięło 50 zawodników i zawodniczek. Każdą grupę (kobiet i mężczyzn) podzielono losowo na dwie podgrupy: eksperymentalną i kontrolną. Zajęcia odbywały się trzy razy w tygodniu w obu grupach: w grupie eksperymentalnej z użyciem okularów stroboskopowych, a w grupie kontrolnej bez ich wykorzystania. Wśród zdolności percepcyjnych analizie poddano szybkość reakcji prostej i złożonej, wrażliwość sensoryczną, ruchy śledzące oka, dynamikę ruchów sakkadowych oraz adaptację sensomotoryczną w biegu zwinności reakcyjnej. Natomiast wśród zdolności motorycznych analizowano poziom siły eksplozywnej kończyn dolnych, maksymalną częstotliwość ruchu oraz szybkość biegu zwinnościowego i zwinność reakcyjną. Ponadto, badano zmienność szybkości wzrokowo-ruchowej podczas specyficznego zadania blokowania jako elementu sprawności specjalnej w piłce siatkowej. Pomiar funkcji percepcyjnych i motorycznych był oceniany przed, po zakończeniu interwencji oraz po 4 tygodniach od ukończenia eksperymentu pedagogicznego.

**Wyniki badań:** Czynniki motoryczne i percepcyjne determinują zmienność zwinności reakcyjnej, przy czym determinanty te są różne u płci badanych. Stwierdzono, że czynniki takie jak siła eksplozywna kończyn dolnych, szybkość reakcji złożonej, śledzenie liniowe oraz wrażliwość sensoryczna odgrywają istotną rolę dla osiągnięć w wynikach zwinności reakcyjnej, przy osiągniętych współczynnikach determinacji ( $R^2$ ) wynoszących 23,6% (eksplozywna siła i szybkość reakcji złożonej) u mężczyzn oraz 34,5% (eksplozywna siła, śledzenie liniowe i wrażliwość sensoryczna) u kobiet. W wyniku przeprowadzonego programu ćwiczeń reakcyjnych stwierdzono istotny efekt interakcji czynników CZAS i GRUPA dla; (1) czasu ruchu prostego ( $p = 0.020$ ,  $\eta^2 = 0.08$ ), z poprawą w grupie eksperymentalnej po interwencji oraz w teście retencyjnym ( $p = 0.003$ ,  $d = 0.42$  oraz  $p = 0.027$ ,  $d = 0.35$ , odpowiednio); (2) szybkości reakcji złożonej ( $p < 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.22$ ), z dużym efektem po interwencji w grupie eksperymentalnej ( $p < 0.001$ ,  $d = 0.87$ ) i małym efektem w grupie kontrolnej ( $p = 0.010$ ,  $d = 0.31$ ); (3) dynamiki sakkad ( $p = 0.011$ ,  $\eta^2 = 0.09$ ) z poprawą w grupie eksperymentalnej w teście kontrolnym ( $p = 0.002$ ,  $d = 0.77$ ); (4) zwinności reakcyjnej ( $p = 0.039$ ,  $\eta^2 = 0.07$ ), z poprawą w teście po interwencji w grupie eksperymentalnej ( $p = 0.017$ ,  $d = 0.49$ ) oraz (5) adaptacji sensomotorycznej ( $p = 0.012$ ,  $\eta^2 = 0.13$ ) z dużym efektem poprawy w grupie eksperymentalnej po zastosowanym treningu stroboskopowym ( $p = 0.004$ ,  $d = 0.87$ ). W teście sprawności specjalnej, stwierdzono istotne różnice między pomiarami przed i bezpośrednio po interwencji ( $p = 0.031$ ,  $d = 0.54$ ) w grupie eksperymentalnej, na korzyść drugiego pomiaru.

**Wnioski:** Poziom zwinności reakcyjnej jest determinowany przez czynniki motoryczne i percepcyjne, zależy od płci badanych. Siła eksplozywna kończyn dolnych, szybkość reakcji złożonej, śledzenie liniowe oraz wrażliwość sensoryczna są kluczowymi determinantami poziomu zwinności reakcyjnej. Tworzenie programów treningowych mających na celu poprawę zwinności reakcyjnej powinno uwzględniać włączenie ćwiczeń doskonalących zdolności percepcji wzrokowej. Program treningowy młodych siatkarzy i siatkarek realizowany z użyciem okularów stroboskopowych jest bardziej efektywny niż prowadzony w warunkach widzenia niezakłóconego. Trening stroboskopowy poprawia wyniki w zadaniach sprawności specjalnej w piłce siatkowej, jednak brak długoterminowych efektów wskazuje na potrzebę systematycznego włączania tych ćwiczeń do regularnego treningu młodych zawodników.

## ABSTRACT

THE IMPACT OF REACTION TRAINING ON THE LEVEL OF SELECTED PERCEPTUAL AND MOTOR SKILLS OF MALE AND FEMALE VOLLEYBALL PLAYERS AGED 16-18

KEYWORDS: stroboscopic training, agility, reaction speed, team sports

**Objective:** The aim of this study was to conduct a comprehensive analysis of the effectiveness of reactive exercises on selected perceptual and motor abilities in young athletes who regularly train in volleyball. The research focused on the determinants of reactive agility and the effects of the reactive exercise program on selected perceptual and motor abilities, assessed both in laboratory conditions and in volleyball-specific settings. The reactive exercise program was implemented using stroboscopic stimulation as well as under normal vision conditions.

**Material and Methods:** The first study (publication 1), which focused on assessing the determinants of reactive agility, involved 135 young athletes aged 16–18 years, including 61 males and 74 females. The subsequent stages of the research involved conducting a pedagogical experiment and evaluating the effects of implementing a reactive exercise program. The experiment included 50 male and female athletes. Each group (male and female) was randomly divided into two subgroups: experimental and control. Training sessions were held three times a week for both groups: the experimental group trained using stroboscopic glasses, while the control group trained without them. The perceptual abilities analyzed included simple and complex reaction times, sensory sensitivity, eye-tracking movements, saccadic dynamics, and sensorimotor adaptation in reactive agility running. The motor abilities analyzed included explosive lower limb strength, maximum movement frequency, agility run speed, and reactive agility. Additionally, the variability of visual-motor reaction speed during a specific blocking task, as an element of volleyball-specific performance, was examined. The assessment of perceptual and motor functions was conducted before, immediately after the intervention, and four weeks after the completion of the pedagogical experiment.

**Results:** The study found that motor and perceptual factors determine the variability of reactive agility, with these determinants differing by gender. It was found that factors such as explosive lower limb strength, complex reaction speed, linear tracking, and sensory sensitivity play significant roles in reactive agility performance, with determination coefficients ( $R^2$ ) of 23.6% (explosive strength and complex reaction speed) for males and 34.5% (explosive strength, linear tracking, and sensory sensitivity) for females. The reactive exercise program resulted in a significant interaction effect of TIME  $\times$  GROUP for (1) simple reaction time ( $p = 0.020$ ,  $\eta^2 = 0.08$ ), with improvements in the experimental group after the intervention and in the retention test ( $p = 0.003$ ,  $d = 0.42$  and  $p = 0.027$ ,  $d = 0.35$ , respectively); (2) complex reaction speed ( $p < 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.22$ ), with a large effect after the intervention in the experimental group ( $p < 0.001$ ,  $d = 0.87$ ) and a small effect in the control group ( $p = 0.010$ ,  $d = 0.31$ ); (3) saccadic dynamics ( $p = 0.011$ ,  $\eta^2 = 0.09$ ) with improvements in the experimental group in the retention test ( $p = 0.002$ ,  $d = 0.77$ ); (4) reactive agility ( $p = 0.039$ ,  $\eta^2 = 0.07$ ), with improvements in the experimental group after the intervention ( $p = 0.017$ ,  $d = 0.49$ ); and (5) sensorimotor adaptation ( $p = 0.012$ ,  $\eta^2 = 0.13$ ) with a large effect of improvement in the experimental group after the stroboscopic training ( $p = 0.004$ ,  $d = 0.87$ ). In the volleyball-specific performance test, significant differences were observed between the pre-test and post-test ( $p = 0.031$ ,  $d = 0.54$ ) in the experimental group, favoring the post-test results.

**Conclusions:** The level of reactive agility is determined by motor and perceptual factors, which vary by gender. Explosive lower limb strength, complex reaction speed, linear tracking, and sensory sensitivity are key determinants of reactive agility. Training programs aimed at improving reactive agility should incorporate exercises that enhance visual perception abilities. A six-week reactive exercise program effectively influences changes in perceptual and motor abilities, as assessed both in laboratory conditions and on the volleyball court. The program using stroboscopic glasses is more effective than one conducted under normal vision conditions. Although stroboscopic training improves performance in volleyball-specific agility tasks, the lack of long-term effects suggests the necessity of regularly integrating these exercises into the training routines of young athletes.

## ZAŁĄCZNIKI

### KOPIE OPUBLIKOWANYCH PRAC WCHODZĄCYCH W SKŁAD CYKLU PUBLIKACJI

#### Publikacja 1

Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2022). Reactive agility in competitive young volleyball players: A gender comparison of perceptual-cognitive and motor determinants. *Journal of Human Kinetics*, 85(1), 87-96.  
<https://doi.org/10.2478/hukin-2022-0112>



# Reactive Agility in Competitive Young Volleyball Players: A Gender Comparison of Perceptual-Cognitive and Motor Determinants

by

Michał Zwierko<sup>1</sup>, Wojciech Jedziniak<sup>2</sup>, Marek Popowczak<sup>1</sup>, Andrzej Rokita<sup>1</sup>

*Limited evidence is available providing specific details about the perceptual-cognitive and motor factors that contribute to reactive agility (RA) and variations between genders in young athletes. The aim of the study was to investigate perceptual-cognitive and motor determinants of RA in competitive youth volleyball players. A total of 135 volleyball players (61 males, 74 females) aged 16–18 years were included in this study. The independent variables were as follows: explosive strength, maximal frequency of movements, simple and complex reaction time, selective attention, sensory sensitivity, and saccadic dynamics. Multiple linear regression analyses showed that explosive strength ( $\beta = -0.494$ ;  $p < 0.001$ ) and complex reaction time ( $\beta = 0.225$ ;  $p = 0.054$ ) accounted for 23% of the variance in RA performance in male players. The best exploratory model for RA contributed 34.5% of the variance in RA for female players with significant determinants of explosive strength ( $\beta = -0.387$ ;  $p < 0.001$ ), sensory sensitivity ( $\beta = -0.326$ ;  $p = 0.001$ ) and selective attention ( $\beta = 0.229$ ;  $p = 0.020$ ). Male athletes obtained better results in RA, in all motor tests (effect size of 0.88 to 2.58) and in five variables of perceptual-cognitive skills (effect size of 0.35 to 0.98). Motor and perceptual-cognitive components significantly contributed to performance in RA in competitive youth volleyball players. Gender differentiates between players' RA performance, motor properties and saccadic dynamics to a large extent, while the remaining analyzed perceptual-cognitive components vary between female and male players to a small and moderate extent.*

**Key words:** team sports, explosive strength, foot tapping, saccadic dynamics, sensory sensitivity.

## Introduction

Volleyball is an open skill sport in which players are required to react in a dynamically changing, externally-paced and unpredictable environment (Araújo et al., 2006). During the game, players constantly adapt their movements relative to complex temporal and spatial stimuli, and in consequence develop particular mechanisms of neural synchronization during visuospatial demands. Reactive maneuvers in such a sport require integration between perceptual-cognitive functions and motor components (Farrow and Abernethy, 2003). The typical relationship between perception and movement can be represented in agility tasks that

require an athlete to formulate adaptive movements in response to environmental constraints (Spiteri et al., 2018).

Reactive agility (RA) is identified as one of the most important determinants of performance in team sports, which involves movements based on change of direction speed in response to an external stimulus (Mroczek et al., 2017; Sheppard and Young, 2006; Spiteri et al., 2018). It is generally accepted that agility is positively associated with motor and biomechanic components, such as linear running speed, running technique, balance, strength and power of lower limbs (Condello et al., 2016; Dos'Santos et al., 2018; Freitas et al., 2022; Loturco et al., 2019).

<sup>1</sup> - Department of Team Sports Games, Wrocław University of Health and Sport Sciences, Wrocław, Poland.

<sup>2</sup> - Institute of Physical Culture Sciences, University of Szczecin, Szczecin, Poland.

Specifically, most previous studies have shown that various aspects of speed were positively associated with superior agility performance (Horníková et al., 2021; Loturco et al., 2019). However, there are little data regarding the impact of the ability to maintain faster stride rates on agility performance, which is very specific for team sport athletes (Popowczak et al., 2016). Maximal frequency of movement is identified as an important component of neuromuscular function that was recently indicated as a potential contributing factor to the rate of change of direction (Chaabouni et al., 2022). In the present study we explored this issue by considering variables from the foot tapping test.

Reactive agility refers to non-planned movements determined by the physical (anthropometrics and general motor abilities), technical, and perceptual-cognitive qualities (Spiteri et al., 2018). Although the physical and technical determinants of RA are rather well-known, there is limited evidence concerning the perceptual and cognitive factors that can influence RA performance. Perceptual function mainly refers to an athlete's ability to control their gaze, rapid stimulus localization and identification, whereas cognitive function refers to an athlete's ability to quickly process, store and use information from different sources needed to recognize and recall patterns of movements, predict actions, and make decisions within a split second of time (Roca and Williams, 2016; Spiteri et al., 2018). To maintain the integrity of the sport-specific skills in the playing environment, e.g. agility, team sports have a great demand on coupling the athlete's perceptual-cognitive and motor subsystems (Farrow and Abernethy, 2003). It seems that the recognition of perceptual-cognitive and motor determinants of RA performance could have practical implications for sports training. Some research has analyzed the effects of visuomotor processing on RA performance, such as in Scanlan et al. (2014), who indicated that in basketball players, response time and decision-making time had a larger impact on RA performance than morphological and speed factors. Moreover, it was observed that both simple and two-choice reaction times were highly related to RA when covering distances of 0.8 m, 1.6 m and 3.2 m (Zemková, 2016). Recently, Horníková et al. (2021) found that the reaction time to rapidly generated visual stimuli had a 23.6% contribution in determining RA

performance in handball players. Another study showed the significant effect of correct reactions during a peripheral perception test on RA scores in youth team sport players (Popowczak et al., 2020). It seems that perceptual-cognitive processes are a significant subcomponent of RA performance, making continuation of research in this area justified.

Previous studies have also identified gender as a significant determinant in agility tasks in which boys achieved significantly better results (Dos'Santos et al., 2018; Popowczak et al., 2020; Zwierko et al., 2022). Males produced significantly faster agility movements as seen in faster decision times and post stride velocity than females (Spiteri et al., 2014). The question of the extent to which both perceptual-cognitive processes and motor components contribute to RA performance, and how they vary between genders in youth athletes is not completely known. The current study was conducted to address this issue by investigating the effect of motor and perceptual-cognitive components on RA in young volleyball players. In line with previous studies (Dos'Santos et al., 2018; Popowczak et al., 2020; Spiteri et al., 2014; Zwierko et al., 2022), it was hypothesized that youth male players would achieve better results in motor and perceptual-cognitive tests than female players, as seen in faster agility performance. Verification of this hypothesis was accomplished by the investigation of the relationship between RA (dependent variable) and simple and complex visuomotor reaction time, selective attention, oculomotor dynamics, sensory sensitivity threshold, explosive strength of lower limbs, and maximal frequency of movement, all of which can contribute to RA in volleyball players.

## Methods

### *Participants*

Sample size calculations were performed using G\*Power 3.1 (Faul et al., 2007). Cohen's  $f^2$  coefficient (Cohen, 1988) was used to calculate the effect size in a multiple regression model. Following Cohen's guidelines (1988),  $f^2 \geq 0.02$ ,  $f^2 \geq 0.15$ , and  $f^2 \geq 0.35$  represent small, medium, and large effect sizes, respectively. In the sample size calculations, we used the medium effect size, taking into account the number of participants for each gender-group separately. Assuming an effect size  $f^2$  of 0.15, alpha of 0.05, and power of 0.90, the power analysis projected that a minimum of 59

participants in each group were required. The sample size of 74 (female group) referred to an actual power of 0.951.

A total of 135 youth volleyball players aged 16–18 years were included in this study, 61 males (body height:  $187.0 \pm 5.5$  cm, body mass:  $76.7 \pm 8.1$  kg, age:  $17.0 \pm 0.8$  years, sport experience:  $6.7 \pm 1.2$  years, training sessions per week:  $6.9 \pm 1.3$ ), and 74 females (body height:  $176.6 \pm 5.4$  cm, body mass:  $65.8 \pm 8.2$  kg, age:  $17.0 \pm 0.7$  years, sport experience:  $6.3 \pm 1.3$  years, training sessions per week:  $6.7 \pm 1.4$ ). All players were in good physical condition. The inclusion criteria were: a) volleyball training on a regular basis, at least five days a week, with a minimum weekly training duration of seven hours; b) participating in official volleyball federation competitions during the season in which the measurements were taken; c) having played volleyball with a volleyball federation license for at least 3 years. The exclusion criteria included suffering from an injury that prevented completion of the tests. All the players, as well as their parent(s) and legal representative(s), were informed about the testing procedures, and written informed consent was obtained for the use of the data for research purposes. The Research Ethics Committee of the University School of Physical Education in Wrocław reviewed and authorized the designed research protocol (No 8/2021).

### **Procedures**

Participants completed two testing sessions on two different days. Firstly, participants performed laboratory tests for perceptual-cognitive skills evaluation. To evaluate simple reaction time, complex reaction, sensory sensitivity, selective attention and visual orientation, tests of the Vienna Test System (Schuhfried, Austria) were applied. The Vienna Test System is a reliable and valid psychometric tool (reliable coefficients between 0.84–0.95 of the tests used). Secondly, motor tests (RA, maximal frequency of movement, explosive leg strength) were performed on a volleyball court. A standard warm-up routine was performed prior to the study, including aerobics and dynamic stretching.

### **Measurements**

#### *Reactive agility test*

A Fusion Smart Speed System (Fusion Sport, Coopers Plains, QLD, Australia) was used during the 'five-time shuttle run to gates' test for the determination of RA following the procedures proposed by Popowczak et al. (2016). The system

comprised electronic gates with a photocell and an infrared transmitter and light reflector, a Smart Jump mat integrated with a photocell, an RFID reader for identification of the athlete's tag, and computer software. The RA test measured the timing of movement during repeated "stop'n'go" directional changes in response to a random light signal at the gate. Each participant ran five times from the starting mat to particular gates (lines placed between photocells with reflectors, 1 m long) and then to the next gate's mat. The RA test was repeated twice with a 3-min rest interval in between, and the best result (total time) of the run [s] was used for further analysis. The reactive agility protocol was characterized by a good reliability level (ICC = 0.88; CV = 2.07%; TE = 0.38 s).

#### *Maximal frequency of movement*

The foot tapping test (FT) followed the protocol (ICC from 0.83 to 0.98) by Krauss (2011), using the Optojump Next (Microgate Next, Bolzano, Italy) to assess the maximal frequency of movements. The test determines the frequency of foot movements by calculating the time of flight/contact (one cycle) of the foot through infrared beams over a period of 15 s. Foot tapping was quantified as a FT coefficient (FTC = foot tapping frequency/ground contact time  $\times$  100). A higher FTC indicated a higher performance capacity.

#### *Explosive leg strength*

A squat jump (SJ) (ICC = 0.90; CV = 7.37%; TE = 2.42 cm) and a countermovement jump with an arm swing (CMJA) (ICC = 0.95; CV = 4.88%; TE = 1.79 cm), which followed the protocol by Bosquet et al. (2009), were performed to measure explosive leg strength. During the SJ the hands were placed on the hips throughout the entire jump. No specific instruction was given regarding the depth or speed of the countermovement or the arm swing. At least 30-s recovery was allowed between jumps. The best jumps for both the SJ and the CMJA were retained for further analysis. Jump height [cm] was analyzed. The validity coefficients of SJ and CMJA measurements were  $r = 0.99$  (Bosquet et al., 2009).

#### *Simple reaction time*

The simple reaction time (SRT) evaluation consisted of 28 yellow light stimuli generated at different and randomly selected time intervals (2.5–6.0 s). Participants pressed a key in response to the programmed visual stimuli as quickly as possible. Below the 'reaction key', the panel had a



'stand-by key'. The participant held a finger on the 'stand-by key'; in reaction to the visual stimulus, the finger was moved from the 'stand-by key' to the 'reaction key'. A total simple reaction time [s] was analyzed.

#### *Complex reaction*

To evaluate complex reactions the determination test (DT) was used. Participants were to react to visual stimuli (in white, yellow, red, green and blue colors) and auditory stimuli (high pitch and low pitch sounds) by pressing the appropriate button for the stimulus. Moreover, white lights which appeared on a black background on the screen required pressing one of the two reaction pedals with a foot. The correct responses [n] and mean reaction time [s] were analyzed.

#### *Selective attention and visual orientation*

A visual pursuit test (LVT) was used to measure the selective attention and visual orientation performance for simple structures in a complex environment. The participant was presented with a number of random and disorderly lines and asked to visually identify the end of a particular line as quickly as possible. To ensure that the lines were not traced with the finger, two keys on the response panel had to be depressed throughout the task. Scoring involved the number of tasks solved correctly and the mean time of correct answers [s].

#### *Sensory sensitivity*

A flicker frequency test (FFT) was used to calculate the sensory sensitivity threshold. The mean score of individual measuring values obtained in the decreasing mode was frequency [Hz], at which a subjectively perceived transition from constant to flickering light took place.

#### *Saccadic dynamics*

To trigger a saccadic dynamic (SAD), a free-viewing visual search task without a sport-specific design was used in which participants were required to detect a target (red letter E) among 47 distractors (inverted red letter E - "Э", blue letter E and red letter F) (Zwierko et al., 2019). Visual stimuli were displayed on a 55-inch television monitor (Samsung, UE55NU7172, Korea) at a distance of 1 m. During the visual search task, participants used one button to confirm detection of the target (target present trials) and another button to note the absence of the target (target absent trials). Psychometric properties for the visual search test protocol for target present trials were ICC = 0.80, CV = 7.64%,

TE = 0.40 s, and for target absent trials were ICC = 0.83, CV = 6.20%, TE = 0.47 s. Gaze data during the visual search task were recorded binocularly using a mobile eye tracking system at 60 Hz (SMI ETG 2w, Germany). Standard one-point SMI calibration was carried out binocularly. Data were encoded through iViewETG version 2.2 software. Gaze data were analyzed using SMI BeGaze 3.5.101 software. The following gaze variables were analyzed: saccade average acceleration [ $^{\circ}/s^2$ ], saccade peak deceleration [ $^{\circ}/s^2$ ], and saccade average velocity [ $^{\circ}/s$ ].

#### *Statistical Analysis*

Descriptive data are presented as means, standard deviations and 95% confidence intervals (CI). The normal distribution of the data (Shapiro-Wilk test) and the homogeneity of variances (Levene's test) were confirmed ( $p > 0.05$ ). The *Student's t-test* was used for the two independent groups (female vs. male). The magnitude of the effect size for pairwise comparisons was also determined using Cohen's *d* (Cohen, 1988). The effect was characterized as small (0.20), medium (0.50), or large (0.80). A backward multiple linear regression analysis was performed in blocks with the entered determinants based on the significance of Pearson's *R* with the variables that had shown significant correlations to identify the relationships between RA (dependent variable) and the remaining independent variables (continuous). The magnitude of relationships between the variables were: trivial: 0.00–0.10; small: 0.11–0.30; moderate: 0.31–0.50; large: 0.51–0.70; very large: 0.71–0.90; and almost perfect: 0.91–1.00 (Hopkins, 2016). Statistical significance was indicated at  $p < 0.05$ . The JASP statistical package (version 16.1) was used for all analyses.

#### **Results**

Gender-specific analyses revealed that gender accounted for 30% (adjusted  $R^2 = 0.303$ ,  $F_{(1,133)} = 59.250$ ,  $p < 0.001$ ) of the variability in RA performance. The standardized  $\beta$  coefficient ( $\beta = -.555$ ,  $B = -1.499$ ,  $t = 7.697$ ,  $p < 0.001$ , 95% CI -1.885 to -1.114) indicated that male volleyball players obtained better results in the RA test ( $17.573 \pm 1.156$  vs.  $19.072 \pm 1.102$ , effect size 1.33) than female volleyball players. Due to the substantial influence of gender on RA performance in the regression model, further regression analyses were carried out separately for male and female players.

In the group of independent variables, in most cases (in 3 motor variables and in 5

perceptual-cognitive variables), male volleyball players were better than female volleyball players, with differences of large (0.84 to 2.58), medium (0.64 to 0.73), and small (0.31 to 0.35) effects. Descriptive and statistical values for dependent and independent variables in the groups of female and male athletes are shown in Table 1.

The Pearson correlation analysis showed nine significant ( $p < 0.05$ ) correlations between RA and the independent variables (Figure 1). This confirms significant relationships between RA and the following variables: SJ ( $R = -0.500$ ,  $p < 0.001$ ), CMJA ( $R = -0.668$ ,  $p < 0.001$ ), FTC ( $R = -0.438$ ,  $p < 0.001$ ), SRT ( $R = 0.287$ ,  $p < 0.001$ ), DT\_ reaction time ( $R = 0.329$ ,  $p < 0.001$ ), LVT\_ response time ( $R = 0.272$ ,  $p < 0.01$ ), FFT ( $R = -0.258$ ,  $p < 0.01$ ), SAD\_ acceleration ( $R = -0.363$ ,  $p < 0.001$ ) and SAD\_ velocity ( $R = -0.385$ ,  $p < 0.05$ ). Finally, considering multicollinearity, seven of the independent variables were used in the further regression analysis.

A backward multiple regression analysis was used to obtain the best exploratory models for RA in each group. For female volleyball players, the best exploratory models for RA contributed 34.5% of the variance in RA, and 23.6% for male volleyball players (Table 2).

The standardized regression coefficient values ( $\beta$ ) for the independent variables in the best exploratory models for RA are shown in Table 4. The CMJA ( $\beta = -0.387$ ;  $p < 0.001$ ), LVT\_ response time ( $\beta = 0.229$ ;  $p = 0.020$ ), and FFT ( $\beta = -0.326$ ;  $p = 0.001$ ) significantly contributed to the variance of RA scores of female volleyball players. CMJA ( $\beta = -0.494$ ;  $p < 0.001$ ) and DT\_ reaction time ( $\beta = 0.225$ ;  $p = 0.054$ ) had a significant influence on RA of male volleyball players, which means that faster RA was achieved by athletes with better scores in the CMJA and shorter DT\_ reaction times (Table 3).

## Discussion

This study provides the first data to quantify and examine gender differences in motor and perceptual-cognitive predictors of RA performance in competitive youth volleyball players. The main finding was that RA performance and most of the physical and perceptual-cognitive properties were significantly different between genders. Our findings confirmed that compared to female players, male players had significantly better achievements (with large effect sizes in range of 0.88–2.58) in the RA test, explosive strength (SJ, CMJA), maximal

movement frequency (foot tapping test), and saccade dynamics. The other perceptual-cognitive factors (selective attention, simple reaction time, complex reaction time, sensory sensitivity) presented non-significant or small to moderate differences (effects from 0.23 to 0.73) in relation to gender.

These findings are consistent with most previous research indicating that males displayed faster agility performance compared to females (Dos'Santos et al., 2018; Sekulic et al., 2013; Spiteri et al., 2014). It has been reported that gender differences in high-intensity movements (like agility) begin from an age of 7–12 years (Golle et al., 2015) when boys outperform girls in various physical fitness tests. Gender differences in agility tasks have been attributed mainly to neuromuscular characteristics (Landry et al., 2009), body strength of the lower limbs (Spiteri et al., 2013), strike velocity, ground reaction forces (Condello et al., 2016) and potential differences in perceptual-cognitive processing. Spiteri et al. (2014) found that in team sport athletes, males demonstrated significantly faster agility movements (defensive and offensive), producing greater force, impulse, trunk and knee flexion angles than females, resulting in significant gender differences in decision time and post stride velocity.

Our study shows that RA performance is associated with both motor as well as perceptual-cognitive factors. A large magnitude of correlation coefficients was confirmed between RA performance and explosive strength. Moreover, explosive strength of the lower limb was the main determinant of RA regardless of gender. Our findings are in line with previous studies indicating that lower-limb strength and power as well as motor abilities are associated with agility performance (Horníková et al., 2021; Spiteri et al., 2014; Thomas et al., 2018). A positive correlation with moderate magnitude was also found between RA performance and a maximal frequency of movements (foot tapping test) indicating that a higher pace of movements and shorter contact time determined better results in RA tasks. Foot tapping tests are considered to be independent of strength and a valuable supplement to strength and speed related performance tests in talent identification as well as in neuromuscular function and the rehabilitation process in team sports (Chaabouni et al., 2022). Our results confirm its significant

contribution to RA performance in competitive youth volleyball players.

**Table 1.** Descriptive and statistical values for RA variable and independent variables in the groups of female and male volleyball players.

Variable	Female (n = 74)	Male (n = 61)	95% CI for Mean Difference		t	p	Cohen's d
	Mean ± SD	Mean ± SD	Lower	Upper			
<b>Motor tests</b>							
RA [s]	19.072 ± 1.102	17.573 ± 1.156	1.114	1.885	7.697	< .001	1.33
SJ [cm]	26.534 ± 4.859	36.252 ± 7.174	-11.964	-7.472	-8.559	< .001	1.48
CMJA [cm]	28.872 ± 4.509	44.254 ± 7.348	-17.421	-13.344	-14.925	< .001	2.58
FTC	37.850 ± 6.709	44.422 ± 8.256	-6.572	-4.024	-5.103	< .001	0.88
<b>Perceptual-cognitive tests</b>							
SRT [s]	0.420 ± 0.070	0.379 ± 0.056	0.019	0.063	3.701	< .001	0.64
DT_reaction time [s]	0.744 ± 0.057	0.697 ± 0.071	0.025	0.068	4.242	< .001	0.73
DT_number of reactions [n]	244.257 ± 27.953	254.361 ± 29.744	-19.947	-0.261	-2.030	0.044	0.35
LVT_response time [s]	3.396 ± 0.499	3.245 ± 0.495	-0.019	0.322	1.762	0.080	0.31
LVT_number of tasks [n]	17.284 ± 1.141	17.033 ± 0.999	-0.118	0.620	1.345	0.181	0.23
FFT [Hz]	43.403 ± 6.740	44.222 ± 6.836	-3.139	1.502	-0.698	0.487	0.12
SAD_acceleration [°/s <sup>2</sup> ]	4472.302 ± 55.155	5231.390 ± 833.859	-1067.783	-50.393	-4.864	< .001	0.84
SAD_deceleration [°/s <sup>2</sup> ]	487.925 ± 95.260	491.125 ± 83.608	-34.050	27.651	-0.205	0.838	0.04
SAD_velocity [°/s]	84.085 ± 17.261	99.550 ± 13.954	-20.889	-10.042	-5.641	< .001	0.98

Note: RA - reactive agility, SJ - squat jump, CMJA - countermovement jump with an arm swing, FTC - foot tapping coefficient, SRT - simple reaction time, DT - determination test, LVT - visual pursuit test, FFT - flicker fusion test, SAD - saccadic dynamic

**Table 2.** Adjusted coefficients of determination in the best exploratory models for RA.

Model	R	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	Residual statistics	
				F	p
<b>Female volleyball players</b>					
RA <sup>a</sup>	0.610	0.372	0.345	13.815	< .001
<b>Male volleyball players</b>					
RA <sup>b</sup>	0.511	0.261	0.236	10.262	< .001

Note. Dependent variables: RA

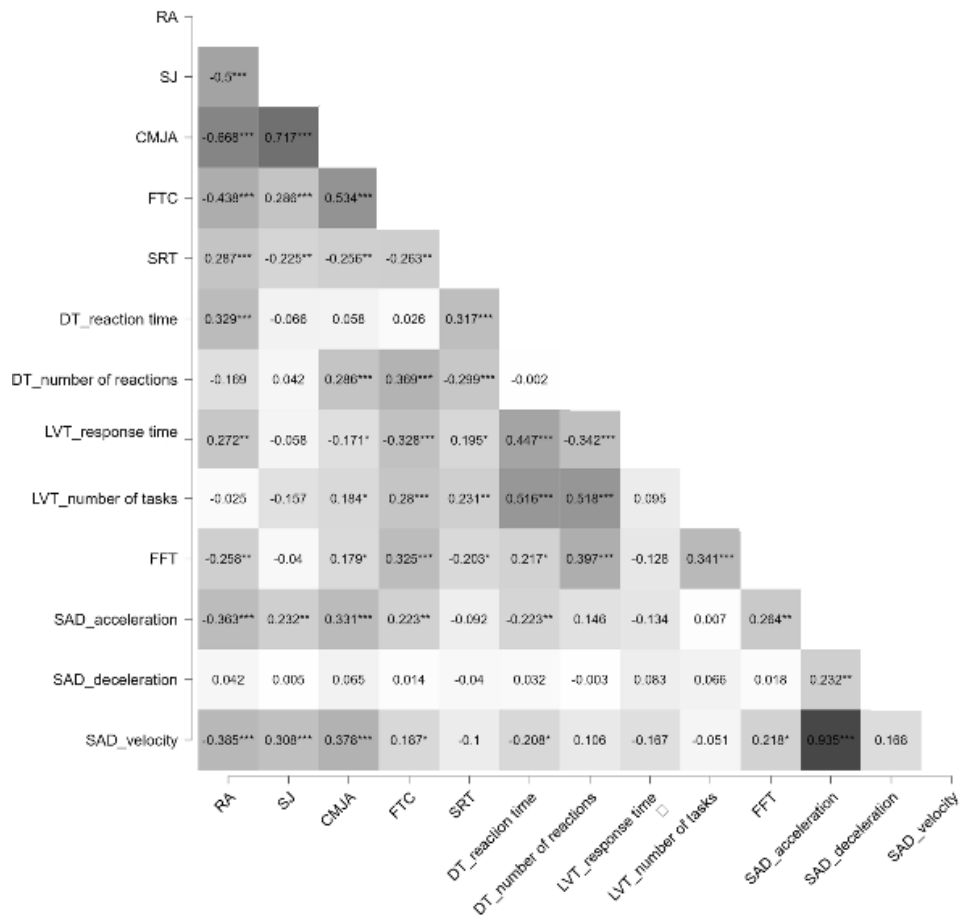
<sup>a</sup> Determinants for RA of female volleyball players: CMJA, LVT\_response time, FFT

<sup>b</sup> Determinants for RA of male volleyball players: CMJA, DT\_reaction time

**Table 3.** The B and  $\beta$  coefficients of the best exploratory models for RA.

Model	B	$\beta$	95% CI		t	p
Female volleyball players						
Constant	22.397	-	19.933	24.861	18.128	< .001
CMJA	-0.094	-0.387	-0.141	-0.047	-4.011	< .001
LVT_response time	0.506	0.229	0.084	0.928	2.390	0.020
FFT	-0.053	-0.326	-0.084	-0.022	-3.418	0.001
Male volleyball players						
Constant	18.449	-	15.595	21.303	12.939	< .001
CMJA	-0.078	-0.494	-0.114	-0.042	-4.326	< .001
DT_reaction time	3.673	0.225	-0.060	7.406	1.969	0.054

Note. B – non-standardized coefficients;  $\beta$  - standardized coefficients, CMJA - countermovement jump with an arm swing; LVT - visual pursuit test, FFT - flicker fusion test, DT - determination test



**Figure 1.** Heat map showing Pearson correlation coefficients (R) between the analyzed variables. Note: RA - reactive agility, SJ - squat jump, CMJA - countermovement jump with an arm swing, FTC - foot tapping coefficient, SRT - simple reaction time, DT - determination test, LVT - visual pursuit test, FFT - flicker fusion test, SAD - saccadic dynamic  
\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

Furthermore, the current study results showed that perceptual-cognitive factors had significant contribution to RA. In particular, positive relationships between RA, complex and simple reaction time, selective attention, and oculomotor dynamics were found, however, the magnitude of correlation coefficients was moderate.

To the best of our knowledge, this is the first study in which oculomotor dynamic variables in relation to RA performance were considered. During highly dynamic and constantly changing scenarios in volleyball, players need to rapidly process a considerable amount of information in order to make appropriate decisions. Gathering information from the ball trajectory, opponent's defense, teammate's game positions, all occurs usually with players moving. Oculomotor patterns seem to be crucial for task-relevant location and for processing information, especially in line with the cognitive demands of the player's positioning in the game while facing context-specific situations (Fortin-Guichard et al., 2020). Many studies have shown that volleyball players demonstrate superior perceptual-cognitive function, and that visuomotor skills seem to be one of the important determinants for expert performance. For instance, compared to non-athletes or athletes from other sports, volleyball players have faster visuomotor processing (Zwierko et al., 2010), more effective eye movement dynamics (Fortin-Guichard et al., 2020) and better accommodative *facility* (Jafarzadehpur et al., 2007). Our findings are in line with some previous observations (Popowczak et al., 2020; Scanlan et al., 2014; Spiteri et al., 2018; Zemková, 2016) and highlight the significance of perceptual-cognitive functioning in the context of specific movements requiring reactivity in volleyball.

The best exploratory models for RA for each gender of players included perceptual-cognitive factors, the complex reaction time model

for male players, and selective attention and sensory sensitivity for female players. These findings support training programs for the improvement of perceptual-cognitive abilities in volleyball players. Thus, future research should be focused on the effects of reactive intervention among youth volleyball players.

While our findings provide understanding of the significance of motor and perceptual-cognitive variables in contributing to faster RA, the current study did not intend to measure other factors that usually contribute to RA, i.e., linear speed, pre-planned changes of direction speed, ground reaction forces, and morphological features (Dos'Santos et al., 2018; Horníková et al. 2021; Popowczak et al., 2020; Scanlan et al., 2014; Spiteri et al., 2014). While these contributing factors may further distinguish between RA considering gender, it will be necessary to take into account the interrelationship of all of these variables in an analysis comparing male and female athletes.

In conclusion, gender differences in motor properties and saccadic dynamics to a large extent, and to a small extent in simple and complex reaction time and selective attention, differentiate between RA of female and male players. Motor and perceptual-cognitive components significantly contributed to RA performance in competitive youth volleyball players. Consequently, explosive strength, complex reaction time, sensory sensitivity and selective attention can be considered significant factors of reactive agility in volleyball players. Moreover, the current findings add to the somewhat mixed findings (Horníková et al., 2021) in the literature regarding the extent to which perceptual-cognitive function may be associated with RA. From a practical perspective, as perceptual-cognitive processes are significant determinants of RA, it is necessary to create training programs which would improve perceptual-cognitive skills in athletes.

## Acknowledgements

We would like to thank the teams: Gwardia Wroclaw, AZS AWF Wroclaw and SMS Police for their participation in this research.

## References

- Araújo, D., Davids, K., & Hristovski, R. (2006). The ecological dynamics of decision making in sport. *Psychology of Sport and Exercise*, 7(6), 653–676. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2006.07.002>
- Bosquet, L., Berryman, N., & Dupuy, O. (2009). A comparison of 2 optical timing systems designed to

- measure flight time and contact time during jumping and hopping. *Journal of strength and Conditioning Research*, 23(9), 2660–2665. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3181b1f4ff>
- Chaabouni, S., Methnani, R., Al Hadabi, B., Al Busafi, M., Al Kitani, M., Al Jadidi, K., Samozino, P., Moalla, W., & Gmada, N. (2022). A simple foot tapping test for evaluating frequency qualities of the lower limb neuromuscular system in soccer players: A validity and reliability study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7), 3792. <https://doi.org/10.3390/ijerph19073792>
- Condello, G., Kernozek, T. W., Tessitore, A., & Foster, C. (2016). Biomechanical analysis of a change-of-direction task in college soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(1), 96–101. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2014-0458>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (NJ Lawrence). Hillsdale, New Jersey. <https://doi.org/10.1234/12345678>
- Dos'Santos, T., Thomas, C., Comfort, P., & Jones, P. A. (2018). The effect of angle and velocity on change of direction biomechanics: An angle-velocity trade-off. *Sports Medicine*, 48(10), 2235–2253. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0968-3>
- Farrow, D., & Abernethy, B. (2003). Do expertise and the degree of perception-action coupling affect natural anticipatory performance? *Perception*, 32(9), 1127–1139. <https://doi.org/10.1068/p3323>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A., & Buchner, A. (2007). G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175–191. <https://doi.org/10.3758/bf03193146>
- Fortin-Guichard, D., Laflamme, V., Julien, A., Trottier, C., & Grondin, S. (2020). Decision-making and dynamics of eye movements in volleyball experts. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74487-x>
- Freitas, T. T., Pereira, L. A., Alcaraz, P. E., Comyns, T. M., Azevedo, P. H., & Loturco, I. (2022). Change-of-direction ability, linear sprint speed, and sprint momentum in elite female athletes: Differences between three different team sports. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(1), 262–267. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003857>
- Golle, K., Muehlbauer, T., Wick, D., & Granacher, U. (2015). Physical fitness percentiles of German children aged 9–12 years: Findings from a longitudinal study. *PLOS ONE*, 10(11), e0142393. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142393>
- Hopkins, W. (2016). *A new view of statistics: Home page*. Sportscience. <https://www.sportsci.org/resource/stats/newview.html>
- Horníková, H., Jeleň, M., & Zemková, E. (2021). Determinants of reactive agility in tests with different demands on sensory and motor components in handball players. *Applied Sciences*, 11(14), 6531. <https://doi.org/10.3390/app11146531>
- Jafarzadehpur, E., Aazami, N., & Bolouri, B. (2007). Comparison of saccadic eye movements and facility of ocular accommodation in female volleyball players and non-players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 7(2), 186–190. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00535.x>
- Krauss, T. T. (2011). *Der 15 Sekunden Foot Tapping Test (FTT15): Evaluation als sportmotorisches Testverfahren sowie Analyse Der Beeinflussbarkeit leistungsphysiologischer Parameter durch eine spezifische Vorbelastung*. Hamburg: Medizinische Fakultät der Universität Hamburg.
- Landry, S. C., McKean, K. A., Hubley-Kozey, C. L., Stanish, W. D., & Deluzio, K. J. (2009). Gender differences exist in neuromuscular control patterns during the pre-contact and early stance phase of an unanticipated side-cut and cross-cut maneuver in 15–18 years old adolescent soccer players. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(5), 370–379. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2008.08.004>
- Loturco, I., A. Pereira, L., T. Freitas, T., E. Alcaraz, P., Zanetti, V., Bishop, C., & Jeffreys, I. (2019). Maximum acceleration performance of professional soccer players in linear sprints: Is there a direct connection with change-of-direction ability? *PLOS ONE*, 14(5), e0216806. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216806>
- Mroczek, D., Superlak, E., Kawczyński, A., & Chmura, J. (2017). Relationships between motor abilities and volleyball performance skills in 15-year-old talent-identified volleyball players. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, 9, 17-27. <https://doi.org/10.29359/BJHPA.09.1.02>
- Popowczak, M., Domaradzki, J., Rokita, A., Zwierko, M., & Zwierko, T. (2020). Predicting visual-motor performance in a reactive agility task from selected demographic, training, anthropometric, and

- functional variables in adolescents. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(15), 5322. <https://doi.org/10.3390/ijerph17155322>
- Popowczak, M., Rokita, A., Struzik, A., Cichy, I., Dudkowski, A., & Chmura, P. (2016). Multi-directional sprinting and acceleration phase in basketball and handball players aged 14 and 15 years. *Perceptual and Motor Skills*, 123(2), 543–563. <https://doi.org/10.1177/0031512516664744>
- Roca, A. & Williams, A. M. (2016). Expertise and the interaction between different perceptual-cognitive skills: Implications for testing and training. *Frontiers in Psychology*, 7, 792. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00792>
- Scanlan, A., Humphries, B., Tucker, P. S., & Dalbo, V. (2013). The influence of physical and cognitive factors on reactive agility performance in men basketball players. *Journal of Sports Sciences*, 32(4), 367–374. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.825730>
- Sekulic, D., Spasic, M., Mirkov, D., Cavar, M., & Sattler, T. (2013). Gender-specific influences of balance, speed, and power on agility performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(3), 802–811. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e31825c2cb0>
- Sheppard, J. M., & Young, W. B. (2006). Agility literature review: Classifications, training and testing. *Journal of Sports Sciences*, 24(9), 919–932. <https://doi.org/10.1080/02640410500457109>
- Spiteri, T., Cochrane, J. L., Hart, N. H., Haff, G. G., & Nimphius, S. (2013). Effect of strength on plant foot kinetics and kinematics during a change of direction task. *European Journal of Sport Science*, 13(6), 646–652. <https://doi.org/10.1080/17461391.2013.774053>
- Spiteri, T., Hart, N. H., & Nimphius, S. (2014). Offensive and defensive agility: A sex comparison of lower body kinematics and ground reaction forces. *Journal of Applied Biomechanics*, 30(4), 514–520. <https://doi.org/10.1123/jab.2013-0259>
- Spiteri, T., McIntyre, F., Specos, C., & Myszka, S. (2018). Cognitive training for agility: The integration between perception and action. *Strength & Conditioning Journal*, 40(1), 39–46. <https://doi.org/10.1519/ssc.0000000000000310>
- Thomas, C., Dos'Santos, T., Comfort, P., & Jones, P. (2018). Relationships between unilateral muscle strength qualities and change of direction in adolescent team-sport athletes. *Sports*, 6(3), 83. <https://doi.org/10.3390/sports6030083>
- Zemková, E. (2016). Differential contribution of reaction time and movement velocity to the agility performance reflects sport-specific demands. *Human Movement*, 17(2), 94–101. <https://doi.org/10.1515/humo-2016-0013>
- Zwierko, T., Jedziniak, W., Florkiewicz, B., Stepinski, M., Buryta R., Kostrzewa-Nowak, D., Nowak, R., Popowczak, M. & Wozniak, J. (2019). Oculomotor dynamics in skilled soccer players: The effects of sport expertise and strenuous physical effort. *European Journal of Sport Science*, 19(5), 612–620. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1538391>
- Zwierko, T., Nowakowska, A., Jedziniak, W., Popowczak, M., Domaradzki, J., Kubaszewska, J., Kaczmarczyk, M. & Ciechanowicz, A. (2022). Contributing factors to sensorimotor adaptability in reactive agility performance in youth athletes. *Journal of Human Kinetics*, 83(1), 39–48. <https://doi.org/10.2478/hukin-2022-0067>
- Zwierko, T., Osinski, W., Lubinski, W., Czepita, D., & Florkiewicz, B. (2010). Speed of visual sensorimotor processes and conductivity of visual pathway in volleyball players. *Journal of Human Kinetics*, 23(1), 21–27. <https://doi.org/10.2478/v10078-010-0003-8>

### Corresponding author:

#### Michał Zwierko

Doctoral School, Wrocław University of Health and Sport Sciences;

al. Ignacego Jana Paderewskiego 35

51-612 Wrocław

Phone: +48 66 017 76 28

E-mail address: [michal.zwierko@awf.wroc.pl](mailto:michal.zwierko@awf.wroc.pl)

**Publikacja 2**

Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2023). Effects of in-situ stroboscopic training on visual, visuomotor and reactive agility in youth volleyball players. *PeerJ*, *11*, e15213.

<https://doi.org/10.7717/peerj.15213>



# Effects of *in-situ* stroboscopic training on visual, visuomotor and reactive agility in youth volleyball players

Michał Zwierko<sup>1</sup>, Wojciech Jedziniak<sup>2</sup>, Marek Popowczak<sup>1</sup> and Andrzej Rokita<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Team Sports Games, Wrocław University of Health and Sport Sciences, Wrocław, Poland

<sup>2</sup> Institute of Physical Culture Sciences, University of Szczecin, Szczecin, Poland

## ABSTRACT

**Background:** Stroboscopic training is based on an exercise with intermittent visual stimuli that force a greater demand on the visuomotor processing for improving performance under normal vision. While the stroboscopic effect is used as an effective tool to improve information processing in general perceptual-cognitive tasks, there is still a lack of research focused on identifying training protocols for sport-specific settings. Therefore, we aimed at assessing the effects of *in-situ* stroboscopic training on visual, visuomotor and reactive agility in young volleyball players.

**Methods:** Fifty young volleyball athletes (26 males and 24 females; mean age,  $16.5 \pm 0.6$  years) participated in this study and were each divided randomly into an experimental group and a control group, who then both performed identical volleyball-specific tasks, with the experimental group under stroboscopic influence. The participants were evaluated three times using laboratory based tests for simple and complex reaction speed, sensory sensitivity and saccade dynamics; before the after the 6-week-long training (short-term effect) and 4 weeks later (long-term effect). In addition, a field test investigated the effects of the training on reactive agility.

**Results:** A significant TIME vs GROUP effect was observed for (1) simple motor time ( $p = 0.020$ ,  $\eta^2 = 0.08$ ), with improvement in the stroboscopic group in the post-test and retention test ( $p = 0.003$ ,  $d = 0.42$  and  $p = 0.027$ ,  $d = 0.35$ , respectively); (2) complex reaction speed ( $p < 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.22$ ), with a large post-test effect in the stroboscopic group ( $p < 0.001$ ,  $d = 0.87$ ) and a small effect in the non-stroboscopic group ( $p = 0.010$ ,  $d = 0.31$ ); (3) saccade dynamics ( $p = 0.011$ ,  $\eta^2 = 0.09$ ), with *post-hoc* tests in the stroboscopic group not reaching significance ( $p = 0.083$ ,  $d = 0.54$ ); and (4) reactive agility ( $p = 0.039$ ,  $\eta^2 = 0.07$ ), with a post-test improvement in the stroboscopic group ( $p = 0.017$ ,  $d = 0.49$ ). Neither sensory sensitivity nor simple reaction time was statistically significantly affected as a result of the training ( $p > 0.05$ ). A significant TIME vs GENDER effect was observed for saccadic dynamics ( $p = 0.003$ ,  $\eta^2 = 0.226$ ) and reactive agility ( $p = 0.004$ ,  $\eta^2 = 0.213$ ), with stronger performance gains in the females.

**Conclusions:** There was a larger effectiveness from the 6-week volleyball-specific training in the stroboscopic group compared to the non-stroboscopic group. The stroboscopic training resulted in significant improvements on most measures

Submitted 16 December 2022

Accepted 20 March 2023

Published 22 May 2023

Corresponding author

Michał Zwierko,  
michal.zwierko@awf.wroc.pl

Academic editor

Beatriz Redondo

Additional Information and  
Declarations can be found on  
page 17

DOI 10.7717/peerj.15213

© Copyright

2023 Zwierko et al.

Distributed under

Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

(three of five) of visual and visuomotor function with more marked enhancement in visuomotor than in sensory processing. Also, the stroboscopic intervention improved reactive agility, with more pronounced performance gains for short-term compared to the long-term changes. Gender differences in response to the stroboscopic training are inconclusive, therefore our findings do not offer a clear consensus.

**Subjects** Kinesiology, Psychiatry and Psychology, Sports Medicine

**Keywords** Reaction time, Visual training, Team sports, Agility, Stroboscopic eyewear

## INTRODUCTION

In the fast-paced scenario of a volleyball game, players need to rapidly process a considerable amount of information in order to make appropriate motor action responses. In this regard, perceptual-cognitive abilities seem to be a crucial aspect of skilled performance under time pressure. Previous studies have identified several key perceptual-cognitive functions important for skilled player performance. Specifically, compared to non-athletes or novices, experienced volleyball players have an advantage in eye movement dynamics (*Fortin-Guichard et al., 2020; Piras, Lobiatti & Squatrito, 2010*), the ability to track multiple moving targets (*Zhang, Yan & Yangang, 2009*), visuomotor processing (*Piras, Lobiatti & Squatrito, 2014; Zwierko et al., 2010*), and also pattern recall, anticipation, and decision making (*De Waelle et al., 2021; Fortin-Guichard et al., 2020; Piras, Lobiatti & Squatrito, 2014*).

In open-skill sports, expert players have a superior ability to interact with dynamic environments in real-time (*Araújo et al., 2019*). Expert-novice differences in the ability to identify relevant stimuli and fast information processing have been identified extensively in team-based sports, including soccer (*Klatt & Smeeton, 2022*), handball (*Blecharz et al., 2022*), baseball (*Müller, Fadde & Harbaugh, 2017; Ranganathan & Carlton, 2007*), basketball (*England et al., 2019; Zwierko et al., 2018*), and volleyball (*Fortin-Guichard et al., 2020; Trecroci et al., 2021*). While it is clear that perceptual proficiency enables athletes to produce a faster and more accurate motor response, through enhanced information processing and better perception-action coupling (*Farrow & Abernethy, 2003; Mann et al., 2007*), there is still ongoing research on improving athlete's reactive ability for specific sport environments.

Recently, stroboscopic training has been indicated as an effective tool to enhance perceptual-cognitive functions and physical performance (*Appelbaum & Erickson, 2018; Hülsdünker, Gunasekara & Mierau, 2021a, 2021b; Wilkins & Appelbaum, 2020; Wilkins, Nelson & Tweddle, 2018*). In general, the idea of stroboscopic training is based on an exercise with intermittent visual stimuli that force a greater demand on the visuomotor processing, leading to better performance in normal vision conditions (*Wilkins & Appelbaum, 2020*). Scientific evidence has consistently reported beneficial effects of specific stroboscopic intervention in general perceptual-cognitive and motor skills, e.g., information encoding in short-term memory (*Appelbaum et al., 2012*), central visual field motion sensitivity and anticipatory timing (*Appelbaum et al., 2011*), visuomotor reaction

time (Hülsdünker, Gunasekara & Mierau, 2021b), coincidence-anticipation performance (Ballester et al., 2017), hand-eye coordination (Ellison et al., 2020), catching performance (Wilkins & Gray, 2015), and postural control in dynamic balance tasks (Lee et al., 2022). While studies have provided valuable information about the role of stroboscopic training on generic adaptation in perceptual-cognitive and motor skill performance in controlled environments, little is known about its role in the complex fast-paced motor tasks that are more specific to open-skill sports. Here, we aim to investigate the impact of stroboscopic intervention on reactive agility, which has been identified as an essential component of performance in team sports (Sheppard et al., 2006).

Recent evidence (Hülsdünker, Gunasekara & Mierau, 2021a, 2021b) has shown in young athletes that stroboscopic training cause improvements in visuomotor reaction time, which was largely associated with visual processing. Specifically, more than 60% of the reduction in reaction time was due to the adaptations in latency of cortical potentials in brain regions for visual processing. Based on this data, it seems that training-induced changes may provide greater efficiency in visual function after training with a stroboscopic protocol. Therefore, we aimed at examining previously unexplored visual parameters following the stroboscopic training, such as: saccadic dynamics considered as a specific mode of exploratory eye movements that are accompanied by a shift of attention to the selected object (Kowler, 2011), and visual sensitivity identified as a quantitative index of cortical arousal in relation to physical exercise (Davranche & Pichon, 2005; Lambourne & Tomporowski, 2010).

Also, to the authors' knowledge, there are limited studies about the use of *in-situ* stroboscopic intervention in volleyball training. One of the studies in this area was conducted by Kroll et al. (2020), who demonstrated the effectiveness of stroboscopic training in enhancing jumping performance and its potential as an addition to plyometric training in volleyball. Given that the utilization of stroboscopic protocols in a sport-specific context is a significant advantage (Carroll et al., 2021), research in this field is necessary for a practical application in sport training.

Based on the reported research gaps, the current study aimed at investigating the effect of stroboscopic training on young volleyball players. The 6-week program was based on *in-situ* sport-specific tasks performed either with or without stroboscopic eyewear. In line with previous studies (Appelbaum et al., 2011; Hülsdünker, Gunasekara & Mierau, 2021a, 2021b), it was hypothesized that training with the use of stroboscopic eyewear would be more effective in improving visual and visuomotor performance, and in on-field test results measuring reactive agility, in relation to the same training without the stroboscopic eyewear. The potential impact of stroboscopic training will be also analyzed in relation to gender.

## MATERIALS AND METHODS

### Participants

To determine the minimum sample size required for this study, a power analysis was conducted using G\*Power 3.1 (Heinrich Heine Universität Düsseldorf, Düsseldorf, Germany) (Faul et al., 2007). The analysis was based on an effect size of 0.25, an alpha of

**Table 1** Descriptive (mean  $\pm$  standard deviation) characteristics of the experimental sample.

	Stroboscopic group ( $n = 25$ )	Non-stroboscopic group ( $n = 25$ )	$p$
Age (years)	16.4 $\pm$ 0.7	16.6 $\pm$ 0.5	0.254
Female (n)	12	12	
Male (n)	13	13	0.777 <sup>#</sup>
Height (cm)	180.2 $\pm$ 8.2	181.9 $\pm$ 8.1	0.470
Weight (kg)	74.3 $\pm$ 10.4	71.6 $\pm$ 8.9	0.340
Sports experience (years)	6.7 $\pm$ 1.1	6.6 $\pm$ 1.3	0.732
The effective time duration of training intervention (min/week)	45.0 $\pm$ 1.4	46.1 $\pm$ 2.0	0.152

**Note:**  
The ' $p$ ' column corresponded to the t-test, except for one instance marked with '#' where it represented the chi-square statistic with Yates correction.

0.05, and a power of 0.95 for a mixed-model ANOVA with the between-subject factor of group (stroboscopic, non-stroboscopic) and the within-subject factor of time (pre, post, retention). The power analysis indicated that a minimum of 44 participants were necessary for the desired statistical power, which is consistent with the sample size used in a similar study by [Hülsdünker, Gunasekara & Mierau \(2021a\)](#). Initially, 58 participants were recruited for this study. Due to random factors such as injury or illness, ultimately 50 athletes participated in the study (26 males and 24 females, age range 16–18 years, mean age  $\pm$  SD 16.5  $\pm$  0.6 years). The inclusion criteria for the study were: (a) volleyball training on a regular basis, at least 5 days a week, and (b) participating in official volleyball federation competitions during the season. The exclusion criteria included health conditions, such as epilepsy, migraine, or injury that prevented completion of the tests. For each gender, a random selection was made into either the stroboscopic group or the non-stroboscopic group (see [Table 1](#) for a description of the experimental sample). All the participants, as well as their parent(s) or legal guardian(s), were informed of and consented to the testing procedures, and written informed consent was obtained for the use of the data from this research. The Research Ethics Committee of the University School of Physical Education in Wrocław reviewed and authorized the designed research protocol (No. 8/2021).

## Measurements

### Laboratory testing

To evaluate perceptual-cognitive functions (simple reaction speed, complex reaction speed, and sensory sensitivity), a computer-assisted Vienna Test System application (Schuhfried, Austria) was used. To this purpose, a computer (CPU 1.6 GHz) with a monitor (Dell P1913, diagonal 19", resolution 1,280  $\times$  1,024 pixels, refresh rate 85 Hz) and SCHUHFRIED response panel with foot-operated keys were used. Vienna Tests System is a reliable and valid psychometric tool used previously in sports vision training intervention ([Krzepota et al., 2015](#)).

### Simple reaction speed

To assess simple reaction speed, the S1 version of the Reaction Time test was administered. Participants were required to respond to randomly generated light stimuli in the form of a

yellow circle appearing at different time intervals (ranging from 2.5 to 6.0 s) at the bottom center of the screen. A total of 28 stimuli were presented during the test. To begin the test, participants placed their index finger on the 'waiting key' and in response to the stimulus, the finger was moved from the 'waiting key' to the 'response key'. After the response was made, the finger returned to its initial position. Participants were instructed to respond to the visual stimuli as quickly as possible. Two variables were calculated: simple reaction time (ms), defined as the interval of time between the appearance of the stimulus and lifting the finger from the 'waiting key', and simple motor time (ms), which characterizes the interval of time from lifting the 'waiting key' to pressing the 'response key'.

### ***Complex reaction speed***

To assess complex reaction speed, the Determination Test version S1 was used. The Determination Test is a comprehensive and multifaceted reaction test that includes the presentation of both visual stimuli, such as colored stimuli and auditory signals, and is used in sports diagnostics (Ong, 2015). The test is designed to measure the ability to tolerate reactive stress, attention and complex reaction speed. Participants were to react to programmed randomly generated visual stimuli (in red, yellow, white, blue, and green colors) and auditory stimuli (high-pitch and low-pitch sounds) by pressing the appropriate button for the stimulus on the reaction panel. Also, white lights which appeared on a black background on the screen required pressing one of the two reaction pedals with a foot. The visual stimuli randomly appear in different locations on the screen. The rate at which the stimuli are presented was based on the participant's pace of work. The exercise length was approximately 6 min, including the practice phase. An analysis of the uncorrected total complex reaction speed (ms) was conducted. Additionally, incorrect responses in the complex task were monitored.

### ***Sensory sensitivity***

The flicker-fusion frequency test is a widely used and objective measure of central nervous system function capacity, including cortical arousal and visual sensory sensitivity threshold (Davranche & Pichon, 2005; Fuentes et al., 2018; Mankowska et al., 2021). In this study the Flicker Frequency test was used to calculate the sensory sensitivity threshold. The test was performed under stable conditions by placing a light source in a darkened tube with backlighting background and held up to the participant's eyes. Inside the tube, a red point was placed in the center of vision. Initially, the participant recognized the light as steady (non-flickering), then the frequency of the red point gradually decreased until the subjective sensation of flickering. The participant should recognize the frequency change of the light source (steady to flickering) by pressing the button. The mean value of the measurements taken during the decreasing mode corresponded to the frequency (Hz) at which the light appeared to transition from a constant to a flickering state, as perceived subjectively. The decision to use only the descending series, instead of alternating descending and ascending, which is a more common method to avoid anticipation, was made due to time constraints related to the study procedure (Balestra et al., 2018).

### ***Saccade dynamics***

To initiate a saccadic response, a free-viewing visual search activity was conducted, without any design specific to sports, where participants were instructed to identify a target (a red letter 'E') from a field of 47 distractors, including an inverted red letter 'E' ('Э'), a red letter 'F', and a blue letter 'E' (Zwierko *et al.*, 2019). Visual stimuli were displayed on a 55-inch television monitor (55UK6470; LG, Seoul, South Korea) at a distance of 1 m. Participants completed a total of 16 trials, with half of them being target-present trials and the other half being target-absent trials, and which were displayed in a random order. Participants were not informed about the type of trial they were in or the location of the target, ensuring an unbiased outcome. Participants were instructed to use one button to confirm the detection of the target (target-present trials) and another button to indicate the absence of the target (target-absent trials) as quickly as possible. During the visual search task, the saccadic movements of the eyes were recorded and analyzed. The average saccade velocity ( $^{\circ}/s$ ) was used to evaluate the saccade dynamics. Binocular gaze data was collected at a rate of 60 Hz (ETG 2w; SMI, Hamburg, Germany) using a portable eye-tracking system while participants performed the visual search task. A standard one-point calibration procedure was conducted binocularly, and the gaze data was subsequently analyzed using SMI BeGaze 3.5.101 software.

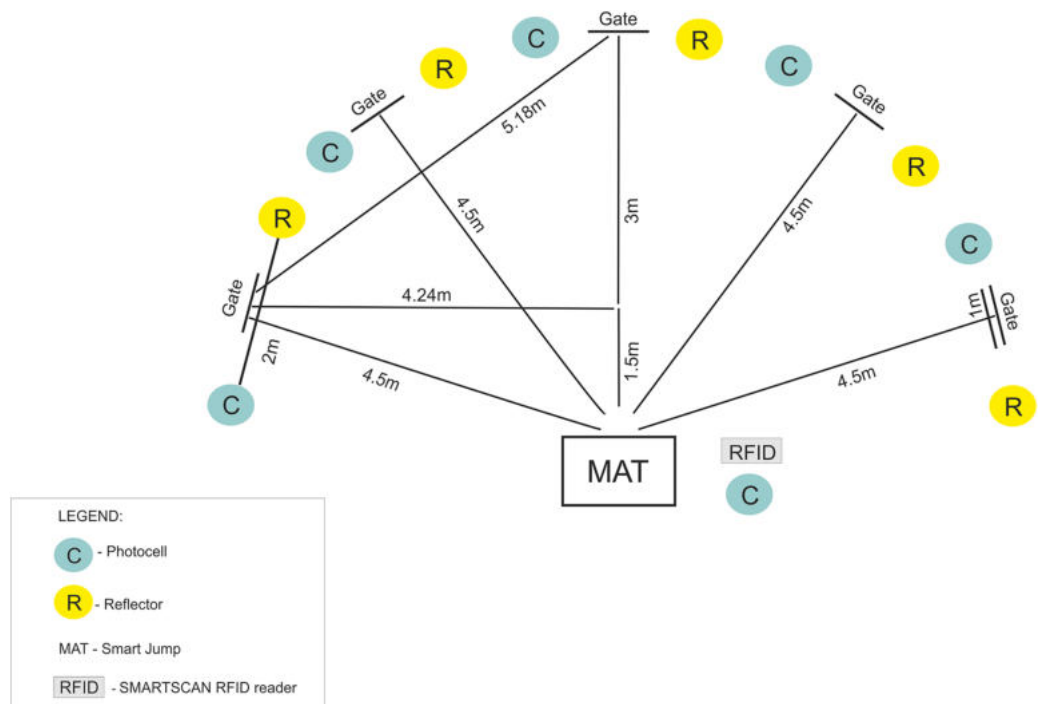
### **Field test**

#### ***Reactive agility***

Following the testing procedure by Popowczak *et al.* (2020), a five-repetition shuttle run to test gates was conducted using a Fusion Smart Speed System (Fusion Sport, Coopers Plains, QLD, Australia). The system included an RFID reader to identify the athlete's tag, electronic gates with a photocell, an infrared transmitter, and light reflector, a smart jump mat integrated with a photocell, and computer software. The timing of movement during repeated stop-and-go directional adjustments in response to a random light signal at the gate was measured. Each participant performed five runs from the beginning mat to each of the designated gates (each 1 m long and positioned between photocells with reflectors). The distance from the mat to the gate was 4.5 m. Prior to beginning the measurements, the participants underwent a standardized warm-up procedure of 15 min. Each participant performed the test twice with a 3-min rest period interval. The shortest run time (s) was used for the analysis. Fig. 1 presents a schematic of the reactive agility test.

#### ***Experimental procedure***

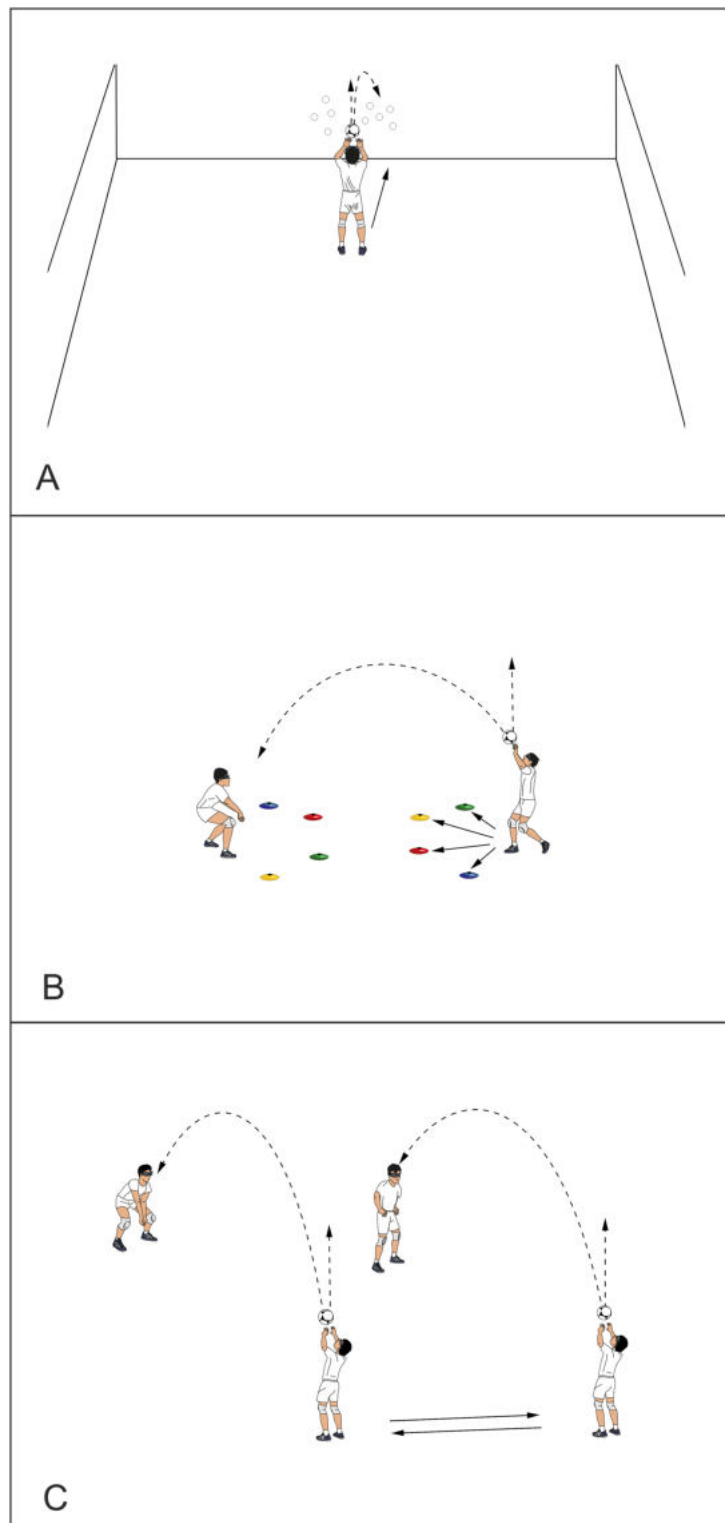
The experiment involved a 6-week training period. The experiment was performed three times per week during the initial part of regular trainings. The pre-tests, post-tests and 4-week retention tests included both a laboratory test (perceptual-cognitive function) and a field test (reactive agility). The total duration of the testing session for one person did not exceed 60 min, with the experimental time for the laboratory sub-tests approximately 40 min, and for the field test 20 min (including warm-up). To minimize potential bias and ensure that the observed effects were truly due to the stroboscopic protocol, and also for logistical reasons, the participants were divided into four groups: a female stroboscopic



**Figure 1** A schematic of the reactive agility test.

Full-size DOI: 10.7717/peerj.15213/fig-1

group, a male stroboscopic group, a female non-stroboscopic group, and a male non-stroboscopic group. Each group was tested on a separate day. Each testing session took place under the same conditions, starting at 9 am. The participants were familiarized with the tests (lab and field) prior to data acquisition using familiarization sessions to avoid any potential learning effects. Furthermore, a standard procedure, including an instruction and practice phase, was carried out in the Vienna Test System prior to each measurement. A method of randomizing the order of tests was used to control for potential order effects. Both, the stroboscopic and non-stroboscopic groups completed identical sport-specific exercises, under either stroboscopic or normal visual conditions, respectively. Each group trained on a separate court. Three volleyball-specific training protocols were undertaken. Protocol I ‘wall passing drills’ consisted of three tasks with the ball, including forms of reaction time exercise (*e.g.*, visual search, time pressure, second balls). Protocol II ‘partner passing drills’ consisted of five tasks in the frontal position, including forms of reaction time exercise by using external light stimuli, tennis balls, or time pressure. Protocol III ‘passing rotation drill’ consisted of two forms of passing (overhead and forearm passes) with changes of direction by forced time pressure. [Fig. 2](#) presents a graphical illustration of the study protocols, along with examples of the exercises. Protocols lasted 25 and 30 min. During the training period, the experimental group wore stroboscopic eyewear (Senaptec Strobe, Beaverton, USA) with both lenses strobing. The eyewear was programmed and controlled *via* bluetooth using the Senaptec Strobe App installed on a smartphone. Following [Hülsdünker, Gunasekara & Mierau \(2021a\)](#), stroboscopic protocols were restricted to 2.5 min with a 2.5-min break interval. The flicker speed of the stroboscopic



**Figure 2** A graphical illustration of the study protocols with examples of the exercises. (A) Protocol I: “Wall Passing Drills”: The player stands in front of a wall on which numbers are placed as optotypes. They bounce the ball off the wall, make an overhead pass above themselves, and then touch the designated number before returning to the starting position for the next bounce. (B) Protocol II: “Partner Passing Drills”: The player makes an overhead shot above themselves, and on the second touch, passes



**Figure 2** (continued)

the ball to their partner. During the first pass, the partner signals one of four colors (blue, green, red, yellow). After the pass, the player must touch the designated color marker and return to the defensive position, and be ready for the next pass. (C) Protocol III: “Passing Rotation Drill”: The players are arranged in two pairs and positioned facing each other. They make overhead or forearm passes to their partner, then simultaneously switch positions according to a rotation scheme to keep the ball in play. The graphic illustrations were prepared using the Easy Sports-Graphics software.

Full-size  DOI: [10.7717/peerj.15213/fig-2](https://doi.org/10.7717/peerj.15213/fig-2)

glasses was modulated for frequency (Hz) and duty cycle (%) (proportion of time the strobe light is on compared to the time it is off) to avoid adaptation effects, with the task difficulty increasing gradually (week 1: 15 Hz, 50%; week 2: 13 Hz, 50%; week 3: 11 Hz, 50%; week 4: 10 Hz, 50%; week 5: 9 Hz, 60%; week 6: 9 Hz, 70%).

### Statistical analyses

Descriptive statistics were presented as means and standard deviations. Normality of the data was examined using a Shapiro-Wilk test, and the homogeneity of variances was confirmed using a Levene test ( $p > 0.05$ ). A mixed model ANOVA was performed, with inter-subject factor GROUP (stroboscopic, non-stroboscopic) and the intra-subject factor TIME (pre, post, retention). To investigate gender differences in response to the stroboscopic training, another mixed-model ANOVA was conducted with the inter-subject factor GROUP (female vs male) and intra-subject factor TIME (pre, post, retention). *Post-hoc* comparisons were adjusted using the Holm-Bonferroni procedure, and statistical significance was set at  $p < 0.05$ . The magnitude of the differences (effect sizes) was reported using Cohen’s  $d$  and partial eta squared ( $\eta^2$ ) for  $t$ - and  $F$ -tests, respectively. The criteria for interpreting the magnitude of the effect sizes were: small (0.2), medium (0.5), and large (0.8) for the Cohen  $d$  and small (0.01), medium (0.06), and large (0.14) for partial eta squared (Cohen, 1988). JASP statistical software (version 16.1) was used for all analyses.

## RESULTS

The control analyses revealed no differences between the groups in anthropometric measures, gender, average training time per week, and training exposure time (as shown in Table 1). Pre-test performance scores between the stroboscopic and non-stroboscopic groups met the criteria for comparability in the control analysis, as all  $p$ -values were not significant ( $p > 0.05$ ) for the following measures: simple motor time  $p = 0.761$ , simple reaction time  $p = 0.842$ , complex reaction speed  $p = 0.351$ , sensory sensitivity  $p = 0.054$ , saccade dynamics  $p = 0.055$ , reactive agility  $p = 0.197$ .

We used the mixed model ANOVA (main effects of TIME and GROUP) to analyze the variability of the perceptual-motor test results of the groups using stroboscopic glasses and without. The descriptive statistics of the sample in pre, post, and retention conditions for stroboscopic and non-stroboscopic groups are presented in Table 2. The interactions between the two-factor variables (TIME  $\times$  GROUP) are displayed in Fig. 3.

**Table 2** Descriptive statistics of the visual, visuomotor and reactive agility parameters in the stroboscopic and non-stroboscopic groups in pre-tests, post-tests, and retention tests.

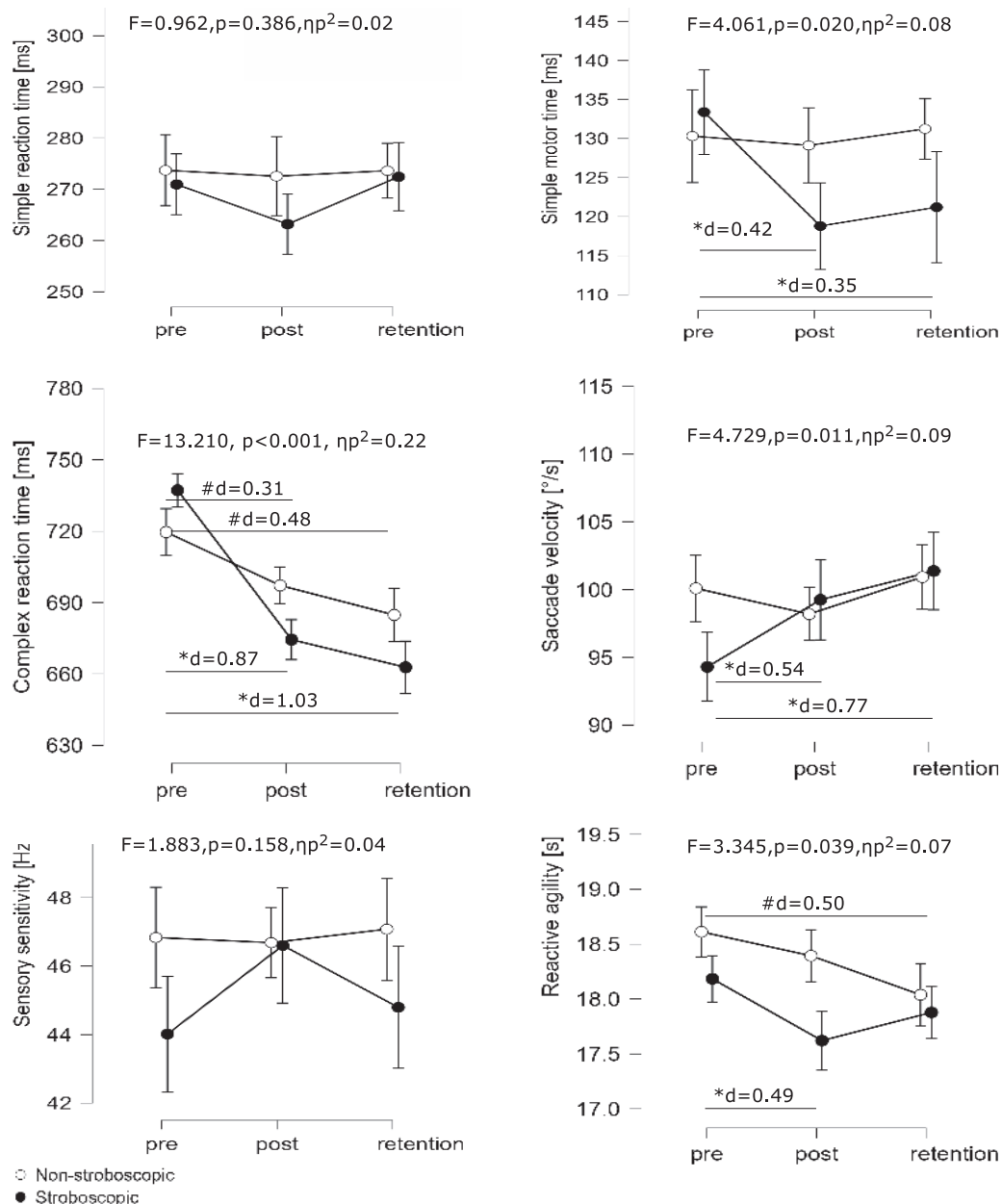
Variable	Group	Pre-test mean $\pm$ SD (min-max)	Post-test mean $\pm$ SD (min-max)	Retention-test mean $\pm$ SD (min-max)
Simple motor time (ms)	Stroboscopic	133.40 $\pm$ 36.75 (80.00–222.00)	118.80 $\pm$ 37.39 (61.00–219.00)	121.20 $\pm$ 40.49 (77.00–227.00)
	Non-stroboscopic	130.32 $\pm$ 34.51 (75.00–207.00)	129.12 $\pm$ 32.18 (79.00–212.00)	131.24 $\pm$ 26.61 (87.00–195.00)
Simple reaction time (ms)	Stroboscopic	270.96 $\pm$ 44.51 (195.00–386.00)	263.20 $\pm$ 35.98 (206.00–322.00)	272.44 $\pm$ 41.03 (206.00–392.00)
	Non-stroboscopic	273.72 $\pm$ 52.66 (220.00–447.00)	272.56 $\pm$ 43.59 (206.00–393.00)	273.64 $\pm$ 42.56 (203.00–401.00)
Complex reaction speed (ms)	Stroboscopic	737.20 $\pm$ 62.49 (620.00–850.00)	674.40 $\pm$ 61.58 (570.00–800.00)	662.80 $\pm$ 81.27 (540.00–870.00)
	Non-stroboscopic	719.60 $\pm$ 69.49 (630.00–870.00)	697.20 $\pm$ 77.81 (600.00–860.00)	684.80 $\pm$ 78.91 (580.00–890.00)
Sensory sensitivity (Hz)	Stroboscopic	44.01 $\pm$ 5.69 (33.90–57.25)	46.60 $\pm$ 5.22 (39.04–59.88)	44.80 $\pm$ 6.23 (30.64–56.20)
	Non-stroboscopic	46.84 $\pm$ 4.31 (39.91–55.36)	46.68 $\pm$ 5.51 (38.53–58.83)	47.08 $\pm$ 6.46 (37.51–59.88)
Saccade dynamics ( $^{\circ}$ /s)	Stroboscopic	94.30 $\pm$ 9.73 (81.03–116.93)	99.26 $\pm$ 9.09 (84.17–119.07)	101.38 $\pm$ 6.89 (88.44–116.58)
	Non-stroboscopic	100.10 $\pm$ 11.07 (81.92–121.49)	98.20 $\pm$ 9.37 (84.32–119.23)	100.93 $\pm$ 8.51 (85.50–119.65)
Reactive agility (s)	Stroboscopic	18.18 $\pm$ 1.23 (16.35–20.58)	17.62 $\pm$ 0.98 (16.40–19.25)	17.88 $\pm$ 1.32 (15.92–20.32)
	Non-stroboscopic	18.61 $\pm$ 1.09 (16.24–20.40)	18.39 $\pm$ 1.14 (16.00–20.35)	18.04 $\pm$ 1.15 (16.19–20.80)

### Simple reaction speed

The ANOVA on the motor time component of the simple reaction speed test revealed a significant main effect for TIME ( $F_{2,96} = 4.59$ ,  $p = 0.013$ ,  $\eta^2 = 0.09$ ) and no effect for GROUP ( $F_{1,48} = 0.38$ ,  $p = 0.542$ ,  $\eta^2 = 0.01$ ). Further, an interaction between the factors TIME and GROUP ( $F_{2,96} = 4.06$ ,  $p = 0.020$ ,  $\eta^2 = 0.08$ ) was observed. In the stroboscopic group, *post-hoc* tests showed significant differences between the pre-test and post-test ( $133.40 \pm 36.75$  vs  $118.80 \pm 37.39$  ms,  $p = 0.003$ ,  $d = 0.42$ ) as well as between the pre-test and retention test ( $133.40 \pm 36.75$  ms vs  $121.20 \pm 40.49$  ms,  $p = 0.027$ ,  $d = 0.35$ ), indicating a significantly faster motor time dependent on the stroboscopic training. The reaction time showed no significant main effect of TIME ( $F_{2,96} = 1.61$ ,  $p = 0.206$ ,  $\eta^2 = 0.03$ ), nor of GROUP ( $F_{1,48} = 0.14$ ,  $p = 0.709$ ,  $\eta^2 < 0.01$ ) nor interaction terms TIME  $\times$  GROUP ( $F_{2,96} = 0.96$ ,  $p = 0.386$ ,  $\eta^2 = 0.02$ ).

### Complex reaction speed

Regarding complex reaction speed, we observed a statistically significant effect of TIME ( $F_{2,96} = 81.54$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.63$ ) and the interaction TIME  $\times$  GROUP ( $F_{2,96} = 13.21$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.22$ ), however, the inter-subject effect—GROUP—was insignificant



**Figure 3** Interaction plots of visual and visuomotor parameters by TIME and GROUP: stroboscopic (black dots) vs non-stroboscopic (white dots) groups in a pre-post-retention design. Pre-test, post-test, and retention test values are presented as means and 95% CIs. Significant changes ( $p < 0.05$ ) in visual and visuomotor parameters are denoted by an asterisk (\*) for the stroboscopic group and a pound sign (#) for the non-stroboscopic group, with accompanying effect sizes (d).

Full-size DOI: 10.7717/peerj.15213/fig-3

( $F_{1,48} = 0.21$ ,  $p = 0.649$ ,  $\eta^2 < 0.01$ ). *Post-hoc* analysis showed that both groups, stroboscopic and non-stroboscopic, achieved better results ( $p < 0.05$ ) in the post-test and retention test compared to the pre-test, and the stroboscopic training yielded a higher magnitude of effect for the compared tests. In particular, pre-test vs post-test differences for the stroboscopic group showed a large effect ( $737.20 \pm 62.48$  ms vs  $674.40 \pm 61.58$  ms,

$p < 0.001$ ,  $d = 0.87$ ) and small effect for the non-stroboscopic group ( $719.60 \pm 69.49$  ms vs  $697.20 \pm 77.81$  ms,  $p = 0.010$ ,  $d = 0.31$ ). Similarly, the pre-test vs retention test differences with a large effect were observed in the stroboscopic group ( $737.20 \pm 62.49$  ms vs  $662.80 \pm 81.27$  ms,  $p < 0.001$ ,  $d = 1.03$ ) and differences with small effect for the non-stroboscopic group ( $719.60 \pm 69.49$  ms vs  $684.80 \pm 78.91$  ms,  $p < 0.001$ ,  $d = 0.48$ ). The control analysis of complex reaction incorrect responses showed no significant main effect for TIME ( $F_{2,96} = 0.91$ ,  $p = 0.405$ ,  $\eta^2 = 0.02$ ) or GROUP ( $F_{1,48} = 1.99$ ,  $p = 0.164$ ,  $\eta^2 = 0.04$ ) factors. The interaction between the factors also had no significant effect ( $F_{2,96} = 1.31$ ,  $p = 0.276$ ,  $\eta^2 = 0.03$ ).

### Sensory sensitivity

The analyses of sensory sensitivity (flicker frequency) did not reveal a significant main effect either for TIME ( $F_{2,96} = 1.34$ ,  $p = 0.267$ ,  $\eta^2 = 0.03$ ) or for GROUP ( $F_{1,48} = 1.68$ ,  $p = 0.201$ ,  $\eta^2 = 0.03$ ) factors. The interaction between factors did not exert significant effects ( $F_{2,96} = 1.88$ ,  $p = 0.158$ ,  $\eta^2 = 0.04$ ).

### Saccade dynamics

Regarding saccade dynamics, the analyses revealed a significant effect of TIME ( $F_{2,96} = 5.23$ ,  $p = 0.007$ ,  $\eta^2 = 0.098$ ) and the interaction TIME  $\times$  GROUP ( $F_{2,96} = 4.73$ ,  $p = 0.011$ ,  $\eta^2 = 0.09$ ). The factor GROUP did not reach statistical significance ( $F_{1,48} = 0.43$ ,  $p = 0.514$ ,  $\eta^2 = 0.01$ ). *Post-hoc* analysis in the stroboscopic group showed a trend toward significance when comparing the pre-test vs post-test results ( $94.30 \pm 9.73^\circ/\text{s}$  vs  $99.25 \pm 9.08^\circ/\text{s}$ ,  $p = 0.083$ ,  $d = 0.54$ ) and significance when comparing pre-test vs retention test results ( $94.30 \pm 9.73^\circ/\text{s}$  vs  $101.38 \pm 6.89^\circ/\text{s}$ ,  $p = 0.002$ ,  $d = 0.77$ ).

### Reactive agility

The analyses of reactive agility revealed a significant main effect of TIME ( $F_{2,96} = 8.24$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.15$ ) and the interaction TIME  $\times$  GROUP ( $F_{2,96} = 3.35$ ,  $p = 0.039$ ,  $\eta^2 = 0.07$ ). The factor GROUP was not significant ( $F_{1,48} = 2.41$ ,  $p = 0.127$ ,  $\eta^2 = 0.05$ ). In the stroboscopic group *post hoc* tests showed a statistically significant difference between the pre-test and post-test results ( $18.18 \pm 1.23$  s vs  $17.62 \pm 0.88$  s,  $p = 0.017$ ,  $d = 0.49$ ), whereas in the non-stroboscopic group a significant difference between the pre-test and retention test results was observed ( $18.61 \pm 1.09$  s vs  $18.04 \pm 1.15$  s,  $p = 0.014$ ,  $d = 0.50$ ).

### Gender differences in response to stroboscopic training

Table 3 presents the differences in the test results between male and female players within the stroboscopic group over time of the experimental procedure. A significant TIME vs GENDER effect was observed for saccadic dynamics ( $F_{2,46} = 6.72$ ,  $p = 0.003$ ,  $\eta^2 = 0.23$ ) and reactive agility ( $F_{2,46} = 6.21$ ,  $p = 0.004$ ,  $\eta^2 = 0.21$ ). *Post-hoc* analysis indicated that in both cases, a significant improvement in post-test results compared to pre-test results occurred in the female group ( $95.65 \pm 8.61^\circ/\text{s}$  vs  $87.08 \pm 5.18^\circ/\text{s}$ ,  $p = 0.018$ ,  $d = 1.14$  for saccadic dynamics and  $18.26 \pm 0.64$  s vs  $19.23$  s,  $p < 0.001$ ,  $d = 1.46$  for reactive agility,

**Table 3** Results of visual, visuomotor and reactive agility tests in relation to gender within the stroboscopic group: descriptive and statistical values in pre-tests, post-tests, retention tests, and interaction effects (TIME × GENDER).

Variable	Group	Pre-test mean ± SD	Post-test mean ± SD	Retention-test mean ± SD	F	p	$\eta^2$
Simple motor time (ms)	F	157.92 ± 35.54	146.09 ± 33.77	146.42 ± 41.78	0.21	0.809	0.01
	M	110.77 ± 19.70 <sup>bb</sup>	93.62 ± 17.87 <sup>abb</sup>	97.92 ± 21.36 <sup>bb</sup>			
Simple reaction time (ms)	F	289.25 ± 54.87	280.33 ± 40.41	288.42 ± 50.31	0.13	0.875	0.01
	M	254.08 ± 23.67 <sup>b</sup>	247.39 ± 23.00 <sup>b</sup>	257.69 ± 23.58 <sup>b</sup>			
Complex reaction speed (ms)	F	755.83 ± 56.96	690.83 ± 59.92 <sup>aa</sup>	691.67 ± 75.30 <sup>aa</sup>	2.29	0.113	0.09
	M	720.00 ± 64.55 <sup>bb</sup>	659.23 ± 61.44 <sup>aabb</sup>	636.15 ± 80.06 <sup>aabb</sup>			
Sensory sensitivity (Hz)	F	44.07 ± 6.51	47.63 ± 5.82	43.76 ± 4.80	1.44	0.247	0.06
	M	43.96 ± 5.08	45.66 ± 4.63	45.75 ± 6.22			
Saccade dynamics (°/s)	F	87.08 ± 5.18	95.65 ± 8.61 <sup>a</sup>	100.70 ± 7.43 <sup>aa</sup>	6.72	0.003	0.23
	M	100.97 ± 8.04 <sup>bb</sup>	102.59 ± 8.49	102.00 ± 6.59			
Reactive agility (s)	F	19.23 ± 0.79	18.26 ± 0.64 <sup>aa</sup>	19.03 ± 0.66	6.21	0.004	0.21
	M	17.21 ± 0.56 <sup>bb</sup>	17.03 ± 0.62 <sup>bb</sup>	16.81 ± 0.72 <sup>bb</sup>			

**Notes:**

<sup>a</sup> Denotes significant differences within groups (between post-test vs pre-test and retention-test vs pre-test).

<sup>b</sup> Denotes significant group difference (female vs male).

<sup>a/b</sup>  $p < 0.05$ .

<sup>aa/bb</sup>  $p < 0.01$ .

F-female, M-male; F-interaction effect (TIME × GENDER).

respectively), with no significant changes in the male group ( $p > 0.05$ ). No significant gender differences ( $p > 0.05$ ) were found in the course of variability of other test results.

## DISCUSSION

Our study evaluated the effects of stroboscopic intervention on visual, visuomotor and reactive agility in youth volleyball players. The results indicated that stroboscopic training were more effective than regular training, with the stroboscopic group showing significant short and long-term improvements in simple motor reaction time and saccade velocity, as well as larger gains in complex reaction speed and reactive agility (in the short-term). Additionally, gender differences in response to the stroboscopic intervention were identified in two out of six variables.

Our findings add further support to the suggestions (*Carroll et al., 2021; Wilkins & Appelbaum, 2020*) that stroboscopic training may be an effective tool for improving visual and visuomotor abilities in sports training. Previous behaviors and neurophysiological evidence (*Hülsdünker, Gunasekara & Mierau, 2021a, 2021b*) showed that visuomotor reaction times after stroboscopic protocols in young elite badminton athletes were largely associated with visual processing rather than motor processes. Similarly, *Poltavski, Biberdorf & Praus Poltavski (2021)* used electrophysiological indexes of EEG and visual evoked potentials to monitor visual training effects and progress in the performance of youth ice hockey players. Training-induced changes in the electrophysiological indexes reflected greater efficiency in visual information processing and cognitive resource allocation following visual training with a stroboscopic protocol. However, the present study results cannot fully confirm the cited data. The laboratory parameters analyzed in

our study, *i.e.*, a visual sensory sensitivity measured by flicker frequency and simple reaction time, did not show significant variations after the reactive training in either the stroboscopic or non-stroboscopic group. On one hand, volleyball is a very visuomotor-demanding sport and may yield beneficial neuroadaptation to visual sensory processing in earlier stages of sports training. In a study using electrophysiological recordings (visual evoked potentials, VEP) in young athletes practicing volleyball for 2 years, [Zwierko et al. \(2014\)](#) observed a decrease in VEP latencies (P100 and N75), suggesting that the effects of regular sports training cause improvements in the sensory stage of information processing. On the other hand, it is also possible that the maturation of the visual system may influence training effects in different ways between athletes aged 13 ([Hülsdünker, Gunasekara & Mierau, 2021b](#)) and 16–18 (current study). Following [Kovács et al. \(1999\)](#) the maturation of the visual system is not homogeneous, and the development in visual spatial integration may extend between 5 and 14 years. That is why stroboscopic training may bring more noticeable effects in younger athletes. It is also possible that the sensory processing measurement used in this study (reaction time to a yellow light appearing on a computer screen, flashing light in a sensory sensitivity test) primarily activated processing in the ventral visual stream, which is responsible for processing visual information such as object recognition and color perception ([Ungerleider & Mishkin, 1982](#)), while the environment of the volleyball players mainly requires the use of the dorsal visual stream, which processes more coarse visual information such as motion, depth and spatial location. The results indicate that athletes required to quickly respond to moving stimuli rely more on their dorsal stream ([Sasada et al., 2015](#)). However, research suggests that there is an interaction between the dorsal and ventral pathways in action contexts ([van Polanen & Davare, 2015](#)), so stroboscopic excitation of the dorsal pathway may influence the ventral pathway. It is important to note that this is just a possible explanation and that further research would be needed to determine the specific mechanisms behind the observed effects.

It appears that stroboscopic protocols may have specific effects on certain types of tasks, as demonstrated in our study, where it improved simple motor time (the speed of a simple reaction involving hand movement) in the stroboscopic group but not in the non-stroboscopic group. The adaptation to stroboscopic training used in sport-specific exercises, by better processing and integrating visual information for efficient movement execution, led to improved coordination and an increase in movement speed. This aligns with previous studies, which have found that stroboscopic protocols are effective in enhancing eye-hand coordination in dynamic and complex coordination tasks ([Ellison et al., 2020](#); [Jones, Carnegie & Ellison, 2016](#)).

This study gives partly supporting evidence to the claim that stroboscopic protocols improve the speed of cognitive and information processes created by the action of multiple stimuli on the player sensory system. We observed a significant effect of the ‘TIME’ factor in the complex reaction speed, which suggests that both groups improved their reaction speed in complex tasks, with more pronounced gains in the stroboscopic group. The main focus of the protocols (especially protocol 2) was to perform specific volleyball exercises that involved complex reaction tasks (*e.g.*, as shown in the [Fig. 2B](#)). It is also possible that

the results of the complex reaction tests may have been influenced by a learning effect, despite the participants having prior familiarity with the tests (both in the lab and field). This is an issue that has been observed in previous studies using a stroboscopic protocol (Wilkins, Nelson & Tweddle, 2018). A number of previous studies have shown that the stroboscopic training leads to improvements in some aspects of visual cognition, in particular central visual field motion sensitivity and transient attention abilities (Appelbaum et al., 2011), some aspects of visual memory (Appelbaum et al., 2012), anticipatory timing (Ballester et al., 2017; Smith & Mitroff, 2012) and Go/No-Go reaction time (Appelbaum et al., 2016). There is also some evidence which does not confirm the positive effect of stroboscopic training on visual and perceptual-cognitive skills in elite athletes (Wilkins, Nelson & Tweddle, 2018). It is possible that these conflicting results may be caused by differences in sporting experience and individual adaptability to stroboscopic conditions.

To our best knowledge, this is the first study where the positive impact of stroboscopic training on saccadic dynamics was reported. In stroboscopic conditions, a player is forced to utilize the limited visual samples, which may cause increased efficiency in the oculomotor system. In consequence, the temporal integration of information during stroboscopic protocols becomes more efficient (Wilkins & Appelbaum, 2020), leading to a saccadic dynamics advantage later. This finding corresponds to the study results by Poltavski, Biberdorf & Praus Poltavski (2021), who observed that training of information processing skills based on visuomotor integration and information processing skills (visual software training) in ice hockey players, indirectly trained their oculomotor system (eye quickness variables, *i.e.*, near-far quickness and target capture tasks). It should be noted that in the current study the baseline level between the stroboscopic and non-stroboscopic groups was close to achieving significance ( $p = 0.055$ ), which may to some extent affect the performance gains in the stroboscopic group being attributed to a lower starting level. The issue of oculomotor processes when performing tasks with a repeated interruption of visual input is worth further investigation. Future research should try to evaluate the eye movements that lead to the successful tracking of moving objects in stroboscopic conditions.

Reactive agility improvements in the post (stroboscopic group) and retention test (non-stroboscopic group) were further observed in the field test; however, final training effects did not differ between groups. While both groups showed improvement in reactive agility, the study results indicate a clear positive impact of stroboscopic intervention on reactive agility. However, it is important to note that reactive agility is also closely associated with motor and biomechanical components, such as running speed and technique, balance, strength and muscle power of the lower limbs (Condello et al., 2016; Freitas et al., 2022; Koźlenia et al., 2020; Spiteri, Newton & Nimphius, 2015; Spiteri et al., 2014). It appears that these observations support the idea that the gains seen in the present study, apart from the perceptual-cognitive factor, may be mainly linked to improvements in strength, power, or other factors, as similar findings have been observed in previous research on reactive agility in male and female volleyball players. In particular, our own previous studies Zwierko et al. (2022) have found that factors such as lower body explosive strength, complex reaction

time, selective attention, and sensory sensitivity play significant roles in determining reactive agility, with adjusted coefficients of determination ( $R^2$ ) of 23.6% (explosive strength and complex reaction time) and 34.5% (explosive strength, selective attention, and sensory sensitivity). Furthermore, other studies [Horníková, Jeleň & Zemková \(2021\)](#) have found that perceptual-cognitive factors contribute to 23.6% of determining reactive agility in team sport players. The contribution of perceptual-cognitive factors in reactive agility seems to be significant.

We found significant gender differences in relation to test result variability only for two of the six analyzed parameters, *i.e.*, saccade dynamics and reactive agility, when the females received improvements with large effect sizes, while the males did not. It is possible that the stronger performance gains in the female group may be attributable to a lower baseline performance level (pre-test value in [Table 3](#)). Our previous study ([Zwierko et al., 2022](#)) on a cohort of 135 participants indicated that male volleyball players highly outperformed female volleyball players in reactive agility test and saccade dynamics, whereas, perceptual and cognitive factors (selective attention, simple reaction speed, complex reaction speed, sensory sensitivity) presented non-significant or small to moderate differences in relation to gender. [Shaqiri et al. \(2018\)](#) reported that the gender-related differences in visual and perceptual function are heterogeneous. Using fifteen different visual tasks, they found that males had significantly better performances than females in simple reaction time, visual acuity, visual backward masking, motion direction detection, biological motion, and the Ponzo illusion. In our view, the observed gender differences in response to stroboscopic intervention are not straightforward or easy to interpret, as there is no clear consensus in previous research. It appears that certain types of tasks are more impacted by stroboscopic training than others. The effects may be specific to the task being performed and may also vary based on gender. In a future study we will try to identify the best parameter or parameter combination to distinguish responders from non-responders in response to stroboscopic intervention, and gender will be considered an independent variable.

The present study provides novel insights into the relationship between stroboscopic training and visual and visuomotor performance in young volleyball players. However, this study is not free of limitations. First, in our study, there is a lack of specific volleyball skill tests that should be designed to transfer standardized laboratory tasks (near transfer) to more sport-specific conditions (far transfer). Achieving far transfer after different kinds of perceptual and cognitive training is so far poorly investigated in research studies ([Fleddermann, Heppe & Zentgraf, 2019](#); [Palmer, Coutts & Fransen, 2022](#); [Sala et al., 2019](#)). It would be interesting for a future study to evaluate the effects of stroboscopic training on specific sporting performance. Second, the experimental sample was limited to young athletes, and it has recently been reported that stroboscopic vision may be used to stimulate larger training effects in more skilled players ([Beavan et al., 2021](#)). Therefore, the generalizability of the present results to other athlete age categories needs to be tested in future studies. Third, the findings of this study should be evaluated in the context of the limitations in the study design. In traditional controlled designs, such as drug trials, it is possible to establish a placebo protocol to balance the experience, expectancy and motivation of the participants. However, in the case of stroboscopic protocols, it is not



possible to create a placebo or conceal the experience of the stroboscope from the participants (Ellison *et al.*, 2020; Wilkins & Appelbaum, 2020). To minimize potential bias, we divided the participants into four separate groups and trained them on different courts. Additionally, the training protocols were conducted by one instructor to ensure consistency. Our study design did not include measures of motivation and expectancy, which can be considered a limitation of the study.

## CONCLUSION

The present results demonstrate a significantly greater effectiveness of 6-week volleyball-specific training in the group using stroboscopic eyewear compared to those who trained using regular methods. Stroboscopic intervention resulted in significant improvements in most measures (three of five) of visual and visuomotor function, with greater enhancement in visuomotor than in sensory processing. Additionally, the stroboscopic training improved reactive agility, with more pronounced performance gains in short-term changes compared to long-term changes. Gender differences in response to the stroboscopic training are inconclusive, and our findings do not offer a clear consensus on this issue.

## ADDITIONAL INFORMATION AND DECLARATIONS

### Funding

The authors received no funding for this work.

### Competing Interests

The authors declare that they have no competing interests.

### Author Contributions

- Michał Zwierko conceived and designed the experiments, performed the experiments, analyzed the data, prepared figures and/or tables, authored or reviewed drafts of the article, and approved the final draft.
- Wojciech Jedziniak conceived and designed the experiments, performed the experiments, analyzed the data, prepared figures and/or tables, authored or reviewed drafts of the article, and approved the final draft.
- Marek Popowczak conceived and designed the experiments, performed the experiments, prepared figures and/or tables, authored or reviewed drafts of the article, and approved the final draft.
- Andrzej Rokita conceived and designed the experiments, authored or reviewed drafts of the article, and approved the final draft.

### Data Availability

The following information was supplied regarding data availability:

The raw measurements are available in the [Supplemental File](#).

## Supplemental Information

Supplemental information for this article can be found online at <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.15213#supplemental-information>.

## REFERENCES

- Appelbaum LG, Cain MS, Schroeder JE, Darling EF, Mitroff SR. 2012.** Stroboscopic visual training improves information encoding in short-term memory. *Attention, Perception & Psychophysics* 74(8):1681–1691 DOI 10.3758/s13414-012-0344-6.
- Appelbaum LG, Erickson G. 2018.** Sports vision training: a review of the state-of-the-art in digital training techniques. *International Review of Sport and Exercise Psychology* 11:160–189 DOI 10.1080/1750984X.2016.1266376.
- Appelbaum LG, Lu Y, Khanna R, Detwiler K. 2016.** The effects of sports vision training on sensorimotor abilities in collegiate softball athletes. *Athletic Training & Sports Health Care* 8(4):154–163 DOI 10.3928/19425864-20160314-01.
- Appelbaum LG, Schroeder JE, Cain MS, Mitroff SR. 2011.** Improved visual cognition through stroboscopic training. *Frontiers in Psychology* 2:276 DOI 10.3389/fpsyg.2011.00276.
- Araújo D, Hristovski R, Seifert L, Carvalho J, Davids K. 2019.** Ecological cognition: expert decision-making behaviour in sport. *International Review of Sport and Exercise Psychology* 12(1):1–25 DOI 10.1080/1750984X.2017.1349826.
- Balestra C, Machado ML, Theunissen S, Balestra A, Cialoni D, Clot C, Besnard S, Kammacher L, Delzenne J, Germonpre P, Lafere P. 2018.** Critical flicker fusion frequency: a marker of cerebral arousal during modified gravitational conditions related to parabolic flights. *Frontiers in Physiology* 9:1403 DOI 10.3389/fphys.2018.01403.
- Ballester R, Huertas F, Uji M, Bennett SJ. 2017.** Stroboscopic vision and sustained attention during coincidence-anticipation. *Scientific Reports* 7(1):17898 DOI 10.1038/s41598-017-18092-5.
- Beavan A, Hanke L, Spielmann J, Skorski S, Mayer J, Meyer T, Fransen J. 2021.** The effect of stroboscopic vision on performance in a football specific assessment. *Science and Medicine in Football* 5(4):317–322 DOI 10.1080/24733938.2020.1862420.
- Blecharz J, Wrześniewski K, Siekańska M, Ambroży T, Spieszny M. 2022.** Cognitive factors in elite handball: do players' positions determine their cognitive processes? *Journal of Human Kinetics* 82:213–221 DOI 10.2478/hukin-2022-0063.
- Carroll W, Fuller S, Lawrence J, Osborne S, Stallcup R, Burch R, Freeman C, Chander H, Strawderman L, Crane C, Younger T, Duvall A, Mock S, Petway A, Burgos B, Piroli A. 2021.** Stroboscopic visual training for coaching practitioners: a comprehensive literature review. *International Journal of Kinesiology and Sports Science* 9(4):49–59 DOI 10.7575/aiac.ijkss.v.9n.4p.49.
- Cohen J. 1988.** *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. New York, NY: Routledge Academic.
- Condello G, Kernozek TW, Tessitore A, Foster C. 2016.** Biomechanical analysis of a change-of-direction task in collegiate soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 11(1):96–101 DOI 10.1123/ijsp.2014-0458.
- Davranche K, Pichon A. 2005.** Critical flicker frequency threshold increment after an exhausting exercise. *Journal of Sport and Exercise Psychology* 27(4):515–520 DOI 10.1123/jsep.27.4.515.

- De Waelle S, Warlop G, Lenoir M, Bennett SJ, Deconinck FJA. 2021.** The development of perceptual-cognitive skills in youth volleyball players. *Journal of Sports Sciences* **39**(17):1911–1925 DOI [10.1080/02640414.2021.1907903](https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1907903).
- Ellison P, Jones C, Sparks SA, Murphy PN, Page RM, Carnegie E, Marchant DC. 2020.** The effect of stroboscopic visual training on eye-hand coordination. *Sport Sciences for Health* **16**(1):1–10 DOI [10.1007/s11332-019-00615-4](https://doi.org/10.1007/s11332-019-00615-4).
- England A, Brusseau T, Burns R, Koester D, Newton M, Thiese M. 2019.** The cognitive structure of the basketball free throw in adolescent physical education students. *Motor Control* **23**(4):1–13 DOI [10.1123/mc.2018-0035](https://doi.org/10.1123/mc.2018-0035).
- Farrow D, Abernethy B. 2003.** Do expertise and the degree of perception-action coupling affect natural anticipatory performance? *Perception* **32**(9):1127–1139 DOI [10.1068/p3323](https://doi.org/10.1068/p3323).
- Faul F, Erdfelder E, Lang AG, Buchner A. 2007.** G\*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods* **39**(2):175–191 DOI [10.3758/BF03193146](https://doi.org/10.3758/BF03193146).
- Fleddermann MT, Heppel H, Zentgraf K. 2019.** Off-court generic perceptual-cognitive training in elite volleyball athletes: task-specific effects and levels of transfer. *Frontiers in Psychology* **10**:1599 DOI [10.3389/fpsyg.2019.01599](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01599).
- Fortin-Guichard D, Laflamme V, Julien AS, Trottier C, Grondin S. 2020.** Decision-making and dynamics of eye movements in volleyball experts. *Scientific Reports* **10**(1):17288 DOI [10.1038/s41598-020-74487-x](https://doi.org/10.1038/s41598-020-74487-x).
- Freitas TT, Pereira LA, Alcaraz PE, Comyns TM, Azevedo P, Loturco I. 2022.** Change-of-direction ability, linear sprint speed, and sprint momentum in elite female athletes: differences between three different team sports. *Journal of Strength and Conditioning Research* **36**(1):262–267 DOI [10.1519/JSC.0000000000003857](https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003857).
- Fuentes JP, Villafaina S, Collado-Mateo D, de la Vega R, Gusi N, Clemente-Suárez VJ. 2018.** Use of biotechnological devices in the quantification of psychophysiological workload of professional chess players. *Journal of Medical Systems* **42**(3):40 DOI [10.1007/s10916-018-0890-0](https://doi.org/10.1007/s10916-018-0890-0).
- Horníková H, Jeleň M, Zemková E. 2021.** Determinants of reactive agility in tests with different demands on sensory and motor components in handball players. *Applied Sciences* **11**(14):6531 DOI [10.3390/app11146531](https://doi.org/10.3390/app11146531).
- Hülsdünker T, Gunasekara N, Mierau A. 2021a.** Short- and long-term stroboscopic training effects on visuomotor performance in elite youth sports. Part 1: reaction and behavior. *Medicine & Science in Sports & Exercise* **53**(5):960–972 DOI [10.1249/MSS.0000000000002541](https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002541).
- Hülsdünker T, Gunasekara N, Mierau A. 2021b.** Short- and long-term stroboscopic training effects on visuomotor performance in elite youth sports. Part 2: brain-behavior mechanisms. *Medicine & Science in Sports & Exercise* **53**(5):973–985 DOI [10.1249/MSS.0000000000002543](https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002543).
- Jones C, Carnegie E, Ellison P. 2016.** The effect of stroboscopic vision training on eye-hand coordination. In: *British Psychological Society (BPS) Division of Sport & Exercise Science Conference*.
- Klatt S, Smeeton NJ. 2022.** Processing visual information in elite junior soccer players: effects of chronological age and training experience on visual perception, attention, and decision making. *European Journal of Sport Science* **22**(4):600–609 DOI [10.1080/17461391.2021.1887366](https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1887366).
- Kovács I, Kozma P, Fehér A, Benedek G. 1999.** Late maturation of visual spatial integration in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences United States of America* **96**(21):12204–12209 DOI [10.1073/pnas.96.21.12204](https://doi.org/10.1073/pnas.96.21.12204).

- Kowler E.** 2011. Eye movements: the past 25 years. *Vision Research* **51**(13):1457–1483  
DOI [10.1016/j.visres.2010.12.014](https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.12.014).
- Koźlenia D, Domaradzki J, Trojanowska I, Czermak P.** 2020. Association between speed and agility abilities with movement patterns quality in team sports players. *Medicina Dello Sport* **73**(2):176–186 DOI [10.23736/S0025-7826.20.03662-5](https://doi.org/10.23736/S0025-7826.20.03662-5).
- Kroll M, Preuss J, Ness BM, Dolny M, Louder T.** 2020. Effect of stroboscopic vision on depth jump performance in female NCAA Division I volleyball athletes. *Sports Biomechanics* **5**:1–11  
DOI [10.1080/14763141.2020.1773917](https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1773917).
- Krzepota J, Zwierko T, Puchalska-Niedbal L, Markiewicz M, Florkiewicz B, Lubinski W.** 2015. The efficiency of a visual skills training program on visual search performance. *Journal of Human Kinetics* **46**(1):231–240 DOI [10.1515/hukin-2015-0051](https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0051).
- Lambourne K, Tomporowski P.** 2010. The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: a meta-regression analysis. *Brain Research* **1341**(Issue 3):12–24  
DOI [10.1016/j.brainres.2010.03.091](https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.03.091).
- Lee H, Han S, Page G, Bruening DA, Seeley MK, Hopkins JT.** 2022. Effects of balance training with stroboscopic glasses on postural control in chronic ankle instability patients. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* **32**(3):576–587 DOI [10.1111/sms.14098](https://doi.org/10.1111/sms.14098).
- Mankowska ND, Marcinkowska AB, Waskow M, Sharma RI, Kot J, Winklewski PJ.** 2021. Critical flicker fusion frequency: a narrative review. *Medicina (Kaunas)* **57**(10):1096  
DOI [10.3390/medicina57101096](https://doi.org/10.3390/medicina57101096).
- Mann DT, Williams AM, Ward P, Janelle CM.** 2007. Perceptual-cognitive expertise in sport: a meta-analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology* **29**(4):457–478  
DOI [10.1123/jsep.29.4.457](https://doi.org/10.1123/jsep.29.4.457).
- Müller S, Fadde PJ, Harbaugh AG.** 2017. Adaptability of expert visual anticipation in baseball batting. *Journal of Sports Sciences* **35**(17):1682–1690 DOI [10.1080/02640414.2016.1230225](https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1230225).
- Ong NCH.** 2015. The use of the vienna test system in sport psychology research: a review. *International Review of Sport and Exercise Psychology* **8**(1):204–223  
DOI [10.1080/1750984X.2015.1061581](https://doi.org/10.1080/1750984X.2015.1061581).
- Palmer T, Coutts AJ, Fransen J.** 2022. An exploratory study on the effect of a four-week stroboscopic vision training program on soccer dribbling performance. *Brazilian Journal of Motor Behavior* **16**:254–265 DOI [10.20338/bjmb.v16i3.310](https://doi.org/10.20338/bjmb.v16i3.310).
- Piras A, Lobietti R, Squatrito S.** 2010. A study of saccadic eye movement dynamics in volleyball: comparison between athletes and non-athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* **50**:99–108.
- Piras A, Lobietti R, Squatrito S.** 2014. Response time, visual search strategy, and anticipatory skills in volleyball players. *Journal of Ophthalmology* **2014**(4):189268 DOI [10.1155/2014/189268](https://doi.org/10.1155/2014/189268).
- Poltavski D, Biberdorf D, Praus Poltavski C.** 2021. Which comes first in sports vision training: the software or the hardware update? Utility of electrophysiological measures in monitoring specialized visual training in youth athletes. *Frontiers in Human Neuroscience* **15**:189  
DOI [10.3389/fnhum.2021.732303](https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.732303).
- Popowczak M, Domaradzki J, Rokita A, Zwierko M, Zwierko T.** 2020. Predicting visual-motor performance in a reactive agility task from selected demographic, training, anthropometric, and functional variables in adolescents. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **17**(15):5322 DOI [10.3390/ijerph17155322](https://doi.org/10.3390/ijerph17155322).
- Ranganathan R, Carlton LG.** 2007. Perception-action coupling and anticipatory performance in baseball batting. *Journal of Motor Behavior* **39**(5):369–380 DOI [10.3200/JMBR.39.5.369-380](https://doi.org/10.3200/JMBR.39.5.369-380).

- Sala G, Aksayli ND, Tatlidil KS, Tatsumi T, Gondo Y, Gobet F. 2019. Near and far transfer in cognitive training: a second-order meta-analysis. *Collabra: Psychology* 5(1):366 DOI 10.1525/collabra.203.
- Sasada M, Nakamoto H, Ikudome S, Unenaka S, Mori S. 2015. Color perception is impaired in baseball batters while performing an interceptive action. *Attention, Perception, & Psychophysics* 77(6):2074–2081 DOI 10.3758/s13414-015-0906-5.
- Shaqiri A, Roinishvili M, Grzeczowski L, Chkonia E, Pilz K, Mohr C, Brand A, Kunchulia M, Herzog MH. 2018. Sex-related differences in vision are heterogeneous. *Scientific Reports* 8(1):7521 DOI 10.1038/s41598-018-25298-8.
- Sheppard JM, Young WB, Doyle TL, Sheppard TA, Newton RU. 2006. An evaluation of a new test of reactive agility and its relationship to sprint speed and change of direction speed. *Journal of Science and Medicine in Sport* 9(4):342–349 DOI 10.1016/j.jsams.2006.05.019.
- Smith TQ, Mitroff SR. 2012. Stroboscopic training enhances anticipatory timing. *International Journal of Exercise Science* 5:344–353.
- Spiteri T, Newton RU, Nimphius S. 2015. Neuromuscular strategies contributing to faster multidirectional agility performance. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 25(4):629–636 DOI 10.1016/j.jelekin.2015.04.009.
- Spiteri T, Nimphius S, Hart NH, Specos C, Sheppard JM, Newton RU. 2014. Contribution of strength characteristics to change of direction and agility performance in female basketball athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28(9):2415–2423 DOI 10.1519/JSC.0000000000000547.
- Trecroci A, Duca M, Cavaggioni L, Rossi A, Scurati R, Longo S, Merati G, Alberti G, Formenti D. 2021. Relationship between cognitive functions and sport-specific physical performance in youth volleyball players. *Brain Sciences* 11(2):227 DOI 10.3390/brainsci11020227.
- Ungerleider LG, Mishkin M. 1982. Two cortical visual systems. In: Goodale MA, Ingle DJ, Mansfield RJW, eds. *Analysis of Visual Behavior*. Cambridge: MIT Press, 549–586.
- van Polanen V, Davare M. 2015. Interactions between dorsal and ventral streams for controlling skilled grasp. *Neuropsychologia* 79(9):186–191 DOI 10.1016/j.neuropsychologia.2015.07.010.
- Wilkins L, Appelbaum LG. 2020. An early review of stroboscopic visual training: insights, challenges and accomplishments to guide future studies. *International Review of Sport and Exercise Psychology* 13(1):65–80 DOI 10.1080/1750984X.2019.1582081.
- Wilkins L, Gray R. 2015. Effects of stroboscopic visual training on visual attention, motion perception, and catching performance. *Perceptual and Motor Skills* 121(1):57–79 DOI 10.2466/22.25.PMS.121c11x0.
- Wilkins L, Nelson C, Tweddle S. 2018. Stroboscopic visual training: a pilot study with three elite youth football goalkeepers. *Journal of Cognitive Enhancement* 2(1):3–11 DOI 10.1007/s41465-017-0038-z.
- Zhang X, Yan M, Yangang L. 2009. Differential performance of Chinese volleyball athletes and nonathletes on a multiple-object tracking task. *Perceptual and Motor Skills* 109(3):747–756 DOI 10.2466/pms.109.3.747-756.
- Zwierko T, Jedziniak W, Florkiewicz B, Stępiński M, Buryta R, Kostrzewa-Nowak D, Nowak R, Popowczak M, Woźniak J. 2019. Oculomotor dynamics in skilled soccer players: the effects of sport expertise and strenuous physical effort. *European Journal of Sport Science* 19(5):612–620 DOI 10.1080/17461391.2018.1538391.

- Zwierko M, Jedziniak W, Popowczak M, Rokita A. 2022.** Reactive agility in competitive young volleyball players: a gender comparison of perceptual-cognitive and motor determinants. *Journal of Human Kinetics* **85(1)**:87–96 DOI [10.2478/hukin-2022-0112](https://doi.org/10.2478/hukin-2022-0112).
- Zwierko T, Lubinski W, Lesiakowski P, Steciuk H, Piasecki L, Krzepota J. 2014.** Does athletic training in volleyball modulate the components of visual evoked potentials? A preliminary investigation. *Journal of Sports Sciences* **32(16)**:1519–1528 DOI [10.1080/02640414.2014.903334](https://doi.org/10.1080/02640414.2014.903334).
- Zwierko T, Osiński W, Lubiński W, Czepita D, Florkiewicz B. 2010.** Speed of visual sensorimotor processes and conductivity in visual pathway in volleyball players. *Journal of Human Kinetics* **23(2010)**:21–27 DOI [10.2478/v10078-010-0003-8](https://doi.org/10.2478/v10078-010-0003-8).
- Zwierko T, Popowczak M, Woźniak J, Rokita A. 2018.** Visual control in basketball shooting under exertion conditions. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* **58(10)**:1544–1553 DOI [10.23736/S0022-4707.17.07522-3](https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07522-3).

**Publikacja 3**

Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2024). Effects of six-week stroboscopic training program on visuomotor reaction speed in goal-directed movements in young volleyball players: A study focusing on agility performance. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, *16*(1), 59.

<https://doi.org/10.1186/s13102-024-00848-y>

RESEARCH

Open Access



# Effects of six-week stroboscopic training program on visuomotor reaction speed in goal-directed movements in young volleyball players: a study focusing on agility performance

Michał Zwierko<sup>1\*</sup>, Wojciech Jedziniak<sup>2</sup>, Marek Popowczak<sup>1</sup> and Andrzej Rokita<sup>1</sup>

## Abstract

**Background** In team sports, deficits in visuomotor reaction speed are considered a significant and modifiable risk factor that can lead to decreased performance and an increased risk of injuries. Thus, identifying effective methods to enhance visuomotor abilities is crucial. The main objective of this research was to investigate the impact of a six-week stroboscopic intervention on visuomotor reaction speed in goal-directed specific movements based on agility among young volleyball players. Additionally, the study aimed to explore the impact of saccade dynamics on visuomotor reaction speed performance throughout the experiment.

**Methods** There were 50 athletes (26 males and 24 females) with an average age of 16.5 years ( $\pm 0.6$ ) who participated in this study. Over a six-week training period, athletes performed volleyball-specific training either wearing stroboscopic glasses (intervention) or under normal visual conditions (control). Prior to and after the training period, the agility tests based on change-of-direction speed (CODS) and reactive agility (RA) were used to identify visuomotor reaction speed performance. To measure agility performance a five-repetition shuttle run to gates was conducted. The REAC-INDEX, which represents visuomotor reaction speed, was analyzed as the resulting difference between the CODS test and the RA test. To elicit saccadic dynamics, a laboratory visual search task was performed.

**Results** A significant GROUP $\times$ TIME interaction was observed for the REAC-INDEX ( $p = 0.012$ ,  $\eta p^2 = 0.13$ ). ANCOVA analyses revealed significant GROUP differences, indicating improved post-training REAC-INDEX results ( $p = 0.004$ ,  $d = 0.87$ ), regardless of gender. Training-induced modulations in saccade acceleration did not reach significance, but a significant relationship was observed between changes in saccade acceleration and changes in the REAC-INDEX ( $r = -0.281$ ,  $p = 0.048$ ), indicating that higher performance gains following training were associated with a stronger increase in saccade acceleration.

\*Correspondence:

Michał Zwierko  
michal.zwierko@awf.wroc.pl

Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s) 2024. **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated in a credit line to the data.



**Conclusions** This study demonstrates that stroboscopic training effectively enhances visuomotor reaction speed in goal-directed movements based on agility. Furthermore, visuomotor reaction speed gains could potentially be mediated by saccade dynamics. These findings provide valuable insights into the effectiveness of stroboscopic eyewear for training sport-specific visuomotor skills among young volleyball players.

**Keywords** Reaction time, Visual training, Team sports, Agility, Stroboscopic eyewear

## Background

In sports, athletes need to react to visual information related to motion. The ability to rapidly process visual input into motor responses is particularly crucial in ball team sports, where perceiving and analyzing motion attributes such as ball speed, trajectory, and spin are vital for achieving success, especially under fatigue conditions [1]. Furthermore, due to the dynamic nature of the game, athletes need to swiftly identify objects and effectively scan the visual field for relevant points of interest to make optimal motor decisions [2]. Studies have consistently shown that athletes exhibit superior visuomotor reaction performance compared to non-athletes or novices in multiple sports, including soccer [3], baseball [4], volleyball [5, 6], basketball [7] and handball [8, 9]. Importantly, deficits in visuomotor reaction performance are recognized as a significant and modifiable injury risk factor [10, 11]. This becomes particularly crucial during movements involving deceleration, cutting, or landing, which frequently occur in situations of high uncertainty, such as defending [12]. Therefore, the search for new methods of training visuomotor abilities is important from the perspective of both athletic performance and the athletes' health.

Visuomotor reaction speed refers to the ability to perform rapid and precise movements of the body or a part of the body in response to a visual stimulus. It encompasses both the reaction time—from the onset of the stimulus to the initiation of movement—and the time required for the execution of the movement [13]. This ability is crucial in team sports, as it assists players in executing goal-directed movements. These movements involve mechanisms where visual input triggers motor actions [14], facilitating coordinated movements to achieve specific targets during the game. This integration of vision and action is essential for players to respond effectively to the dynamic environment of team sports. The effectiveness of responses to visual stimuli during sport-specific actions in the game typically relies on agility-based maneuvers [15]. Agility in sports encompasses rapid, full-body movements involving alterations in velocity and direction as a response to stimuli [16]. According to this definition, two key aspects of agility can be identified: the change-of-direction speed (CODS) and reactive agility (RA). CODS is typically pattern-based, pre-planned, and closed skill [17]. The assessment of CODS is predominantly influenced by an individual's

physical attributes [18]. In contrast, RA focuses specifically on the ability to react and change direction in response to external cues or stimuli, such as an opponent's movement or a ball trajectory [19]. RA pertains to spontaneous movements that are influenced by factors such as motor abilities, running technique, and perceptual-cognitive traits [20–22]. In the context of agility-related aspects, the key differentiation between RA and CODS lies in the time required for visuomotor reaction processes to occur when responding to an unforeseen signal. This distinction has been quantified in research as the REAC-INDEX, which reflects the difference in the time taken to complete RA and CODS tasks while assuming an identical movement structure for both tasks [23, 24]. In this study, the changes in these aspects of agility resulting from stroboscopic training intervention will be examined.

Stroboscopic training, a method that imposes increased demands on the visuomotor system through intermittent visual stimulation during motor tasks, has the potential to lead to improved performance under normal visual conditions [25]. This technique utilizes stroboscopic glasses, also known as shutter glasses, which purposefully reduce visual information by alternating between transparent and opaque states. Athletes can integrate these glasses into their sport-specific tasks, thereby facilitating the practice and enhancement of their visual, perceptual-cognitive, and motor processing in real-world scenarios. The fundamental principle of stroboscopic training involves delivering a progressive stimulus to the visual system by adjusting the frequency and duty cycle of the stroboscopic goggles. This approach deliberately increases the challenge of performing motor exercises, aiming to elicit adaptive responses [26]. Such adaptations are thought to optimize visuomotor processing efficiency in standard visual conditions, ultimately leading to improved athletic performance. Recent research suggests that stroboscopic training has a significant impact on both perceptual-cognitive and motor factors [26–29], including enhancing postural control in dynamic balance tasks [30]. Current reports on the impact of stroboscopic training on athletes' sport-specific movements (far transfer) are still limited and do not provide clear findings. For instance, an experimental study demonstrated that stroboscopic training resulted in improved on-field performance in badminton [26]. However, the effects of the training were not significantly different from those

observed in the control group. On the other hand, the study in ice hockey, which included on-ice field tests such as shooting accuracy, reaction time, and puck handling, demonstrated that stroboscopic training resulted in an average 18% improvement in on-ice skill performance for the intervention group ( $n=6$ ), while the control group ( $n=5$ ) showed no improvement [31]. However, this study had several limitations, especially regarding the small number of participants ( $n=11$ ), as well as the lack of uniformity in the stroboscopic training procedure. In this case, participants were free to use the stroboscopic eyewear as they wished, provided they wore the eyewear for at least 10 min each day. Furthermore, stroboscopic vision may enhance training effects in football-specific skills, especially among highly skilled players, as no significant improvements were observed among less-skilled players [32]. However, due to the limited number of studies confirming the effectiveness of stroboscopic training on athletes' on-field specific skills, it is crucial to conduct further research in this area to explore its potential applications in broader sports training contexts.

The current study aims to investigate the impact of a six-week stroboscopic intervention on visuomotor reaction speed in specific agility field tasks in young volleyball players. Our objective is to investigate the assessment of changes in visuomotor reaction speed, specifically measured using the REAC-INDEX, following a stroboscopic training program. Additionally, the present study aims to explore the potential relationship between alterations in oculomotor function, specifically measured saccade dynamics, and changes in post-training REAC-INDEX results. Saccadic eye movements are key in directing high acuity foveal vision to significant regions of visual space and are the primary means of conducting visual searches. They facilitate rapid shifts of fixation from one target to another, directing gaze toward objects of interest and aiding in the swift acquisition of visual information [33]. This process, in which saccade dynamics plays an integral role, is crucial for efficient visual scanning and quick attentional shifts in response to visual stimuli. Such capabilities are vital in various real-world scenarios, including fast-paced sports like volleyball, where adapting quickly to changing visual objects and effectively searching the visual field are essential for performance [34]. In our research, the saccade acceleration parameter was analyzed to describe saccade dynamics. Building upon previous findings [26–28], we hypothesized that training with the use of stroboscopic eyewear would be more effective in improving visuomotor reaction speed in on-field task in relation to the same training without stroboscopic eyewear.

## Methods

The research methodology was largely based on a previous study conducted by the authors [35]. In that study, we provided an extensive description of the studied groups, measurement methods, and procedural details. Here, we present a concise summary of those components.

### Participants

The study involved 50 volleyball players, including 26 males and 24 females, with an average age of 16.5 years old ( $\pm 0.6$  years standard deviation). The participants were randomly assigned to either a stroboscopic or non-stroboscopic group, with an almost equal number of males ( $n=13$ ) and females ( $n=12$ ) ensured in each group. The stroboscopic group participants had average heights of 180.2 cm ( $\pm 8.2$  cm) and weights of 74.3 kg ( $\pm 10.4$  kg). The non-stroboscopic group showed similar physical stats, with an average height of 181.9 cm ( $\pm 8.1$  cm) and weight of 71.6 kg ( $\pm 8.9$  kg). Both groups had comparable experience in volleyball training, with an average of 6.7 years ( $\pm 1.1$ ) for the stroboscopic group and 6.6 years ( $\pm 1.3$ ) for the non-stroboscopic group. All participants trained in volleyball on a regular basis, at least 5 days a week, and participated in official volleyball federation competitions during the season.

### Agility performance (field-test)

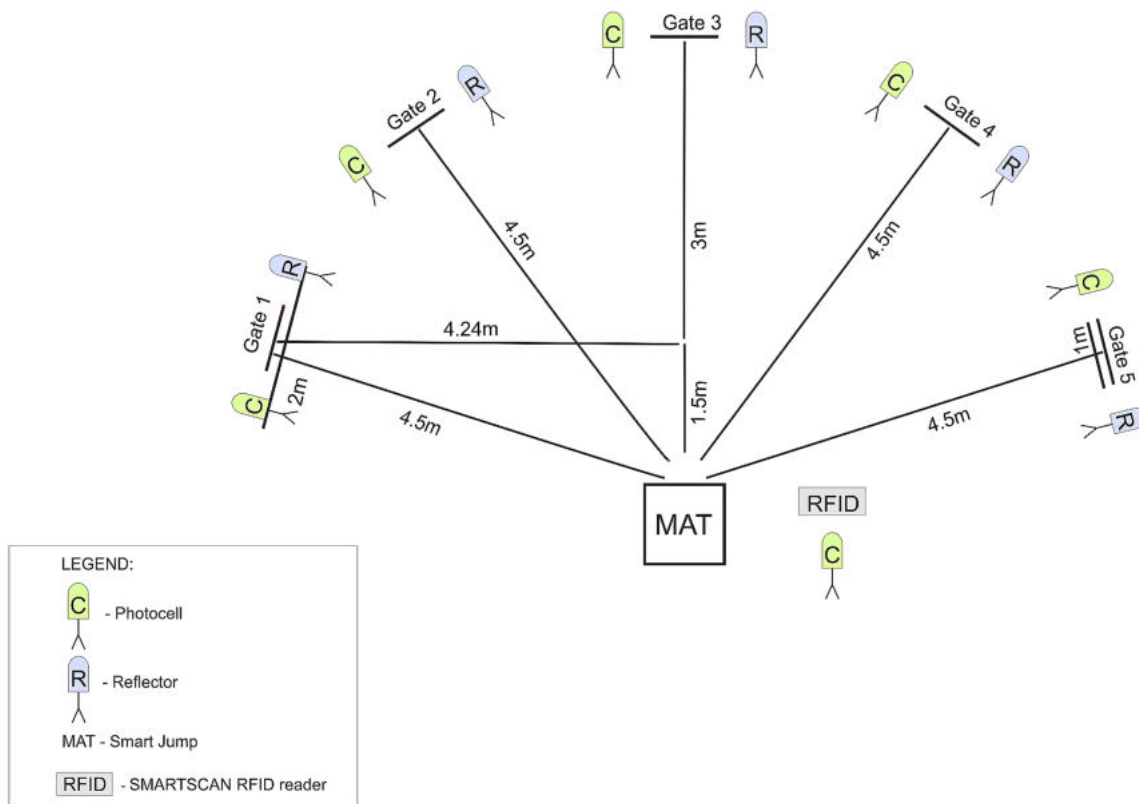
Performance in CODS and RA was measured using a five-time shuttle run to gates, employing the Fusion Sport Smart Speed System (Fusion Sport, Coopers Plains, QLD, Australia). The layout of this test was designed based on methodologies detailed in prior studies [35, 36].

In the first scenario (CODS performance), the test was preplanned, and the participant ran to the gates in a specific order (1-5-2-4-3). In the second scenario (RA performance), the participant ran to randomly selected gates, and the order varied for each participant. Both the CODs test and the RA test were repeated twice, and the best result from each trial was used for analysis. The order of performing the RA and CODS tests was randomized for all participants. Figure 1 provides a visual representation of the schematic for the agility tests.

To determine the visuomotor reaction speed in field test, the REAC-INDEX was calculated. The REAC-INDEX represents the time difference between the RA test result and the CODS test result, as previously described [23]. The REAC-INDEX was calculated using the following formula: REAC-INDEX [s] = RA [s] - CODS [s].

### Saccade dynamics (lab-test)

Saccade dynamics were evaluated during a visual search task performed in a free-viewing paradigm. The task involved identifying a red letter 'E' from a field of 47



**Fig. 1** A schematic of the agility tests. The system includes an RFID reader for athlete tag recognition, electronic gates equipped with a photocell (C), an infrared transmitter and light reflector (R), and a smart jump mat (MAT) integrated with a photocell. The software records movement times during the runs. Participants perform five runs to designated gates, each time starting and returning to the smart jump mat, following a preplanned route for the CODS with gate order 1-5-2-4-3 and a random sequence for the RA

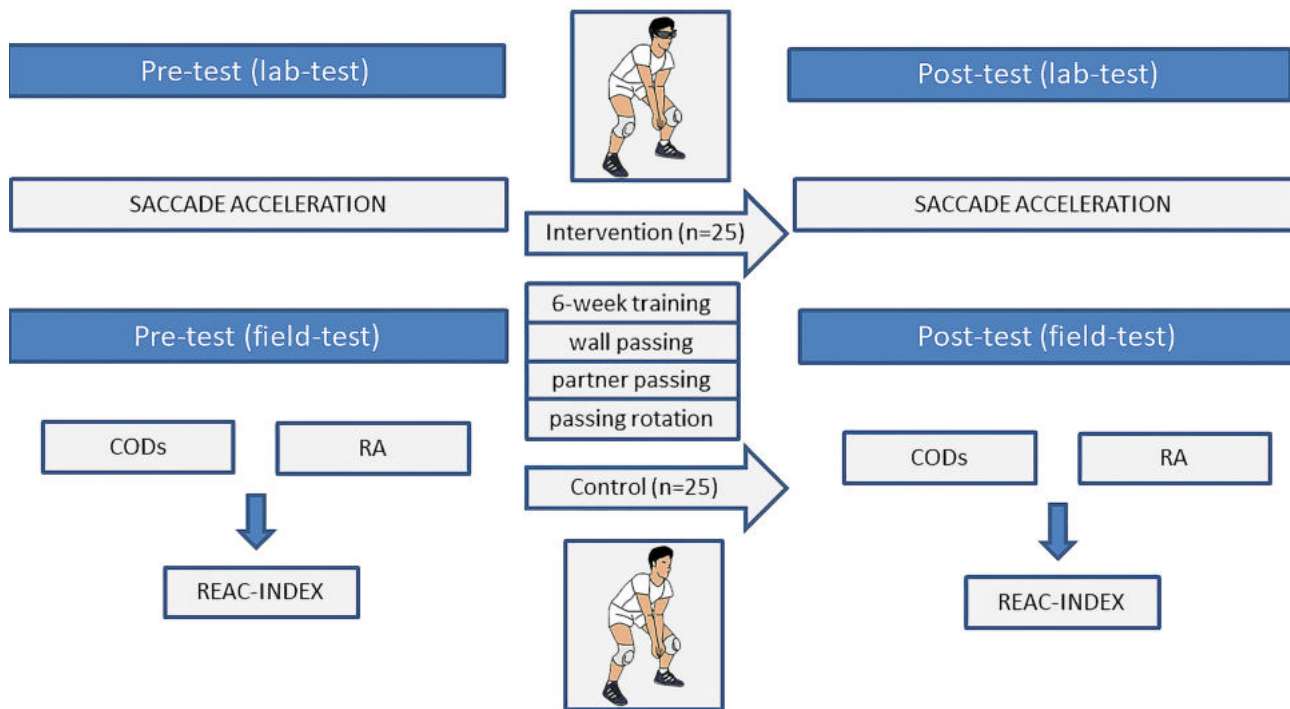
distractors displayed on a screen. Saccadic eye movements were recorded and analyzed, as described previously [37]. The saccade dynamics were evaluated by calculating the average saccade acceleration ( $\text{deg/s}^2$ ). Binocular gaze data were collected at a rate of 60 Hz (SMI ETG 2w, Germany) using a portable eye-tracking system. A standard three-point calibration procedure was conducted binocularly.

### Procedure

The study involved a six-week training period, with training sessions conducted three times per week. Both the stroboscopic and non-stroboscopic groups performed identical sport-specific exercises. However, they experienced different visual conditions. The experimental (stroboscopic) group wore stroboscopic glasses during the exercises, while the control (non-stroboscopic) group completed the same exercises without wearing any glasses. Three volleyball-specific training protocols with ball exercises were conducted. Protocol 1, “wall passing drills,” included tasks involving reaction time exercises such as visual search. Protocol 2, “partner passing

drills,” featured tasks in a frontal position, incorporating reaction time exercises with external light stimuli, tennis balls, and time pressure. Protocol 3, “passing rotation drill,” involved two passing forms (overhead and forearm passes) with directional changes under forced time pressure. The protocols had durations of 25 and 30 min, with 2.5-minute intervals and 2.5-minute breaks. The stroboscopic group used stroboscopic eyewear (Senaptec Strobe, Beaverton, USA) during the exercises. The glasses were modulated for frequency (Hz) and duty cycle (%) to prevent adaptation effects. Task difficulty increased gradually over six weeks (week 1: 15 Hz, 50%; week 2: 13 Hz, 50%; week 3: 11 Hz, 50%; week 4: 10 Hz, 50%; week 5: 9 Hz, 60%; week 6: 9 Hz, 70%). Further details of the research procedure were described in our previous study [35].

Pre- and post-tests were conducted, which included a laboratory test for saccadic acceleration, field tests for agility performance (CODS, RA), and calculation of the REAC-INDEX as a measure of visuomotor reaction speed. Figure 2 provides an overview of the experimental protocol.



**Fig. 2** Overview of the experimental protocol for the study. After undergoing a pre-test, athletes were randomly assigned to either the intervention (stroboscopic) group ( $n=25$ ) or the control (non- stroboscopic) group ( $n=25$ ) within their respective gender groups

Note: CODs– change-of-direction speed, RA– reactive agility, REAC-INDEX– visuomotor reaction speed

### Statistical methods

Descriptive statistics were used to present means and standard deviations. Normality of data was tested using the Shapiro-Wilk test, and homogeneity of variances was verified using the Levene test ( $p>0.05$ ). To investigate the impact of stroboscopic training on sport-specific visuomotor performance, ANOVAs were conducted with the between-subjects factor GROUP and the within-subjects factor TIME for CODs, RA, REAC-INDEX, and saccade acceleration. Additional analyses of covariance (ANCOVA) were performed for CODs, RA, REAC-INDEX, and saccade acceleration. Post-training performance was used as the dependent variable, while group, gender, and pre-training performance were considered as categorical factors and covariate, respectively. The Holm-Bonferroni procedure was applied for post-hoc comparisons, with a significance level set at  $p<0.05$ . Effect sizes were reported using Cohen's  $d$  for t-tests and partial eta squared ( $\eta^2$ ) for F-tests. Cohen's criteria were used to interpret effect sizes, with values of 0.2, 0.5, and 0.8 representing small, medium, and large effects, respectively, for Cohen's  $d$ . For partial eta squared, values of 0.01, 0.06, and 0.14 represented small, medium, and large effects, respectively. Pearson product-moment correlation analysis was used to determine the relationship between training-induced changes in saccade dynamics

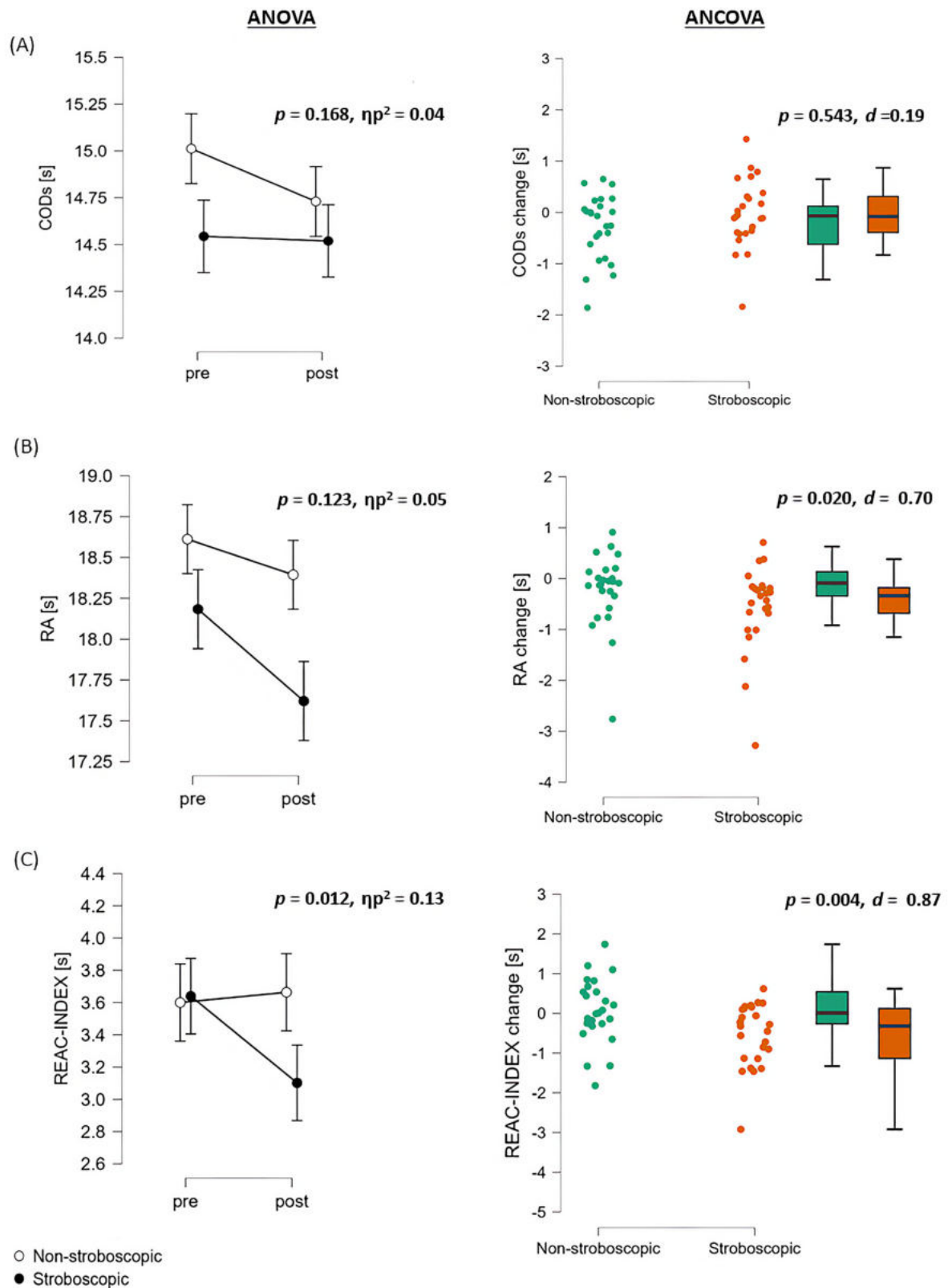
and visuomotor adaptation. All statistical analyses were performed using JASP software (version 16.1).

### Results

The ANOVA results examining agility parameters revealed that there was no statistically significant main effect of TIME on CODs performance ( $F_{1,48} = 2.07$ ,  $p=0.156$ ,  $\eta^2=0.04$ ). However, notable main effects were observed for RA results ( $F_{1,48} = 12.64$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta^2=0.21$ ) and REAC-INDEX ( $F_{1,48} = 4.26$ ,  $p=0.044$ ,  $\eta^2=0.08$ ). Regarding the main effects of GROUP, only RA results reached the significance level ( $F_{1,48} = 4.34$ ,  $p=0.043$ ,  $\eta^2=0.08$ ). Additionally, significant GROUP  $\times$  TIME interactions were observed specifically for REAC-INDEX ( $F_{1,48} = 6.87$ ,  $p=0.012$ ,  $\eta^2=0.13$ ).

ANCOVA analyses revealed significant GROUP differences, as reflected by improved post-training RA results ( $F_{1,45} = 5.82$ ,  $p=0.020$ ,  $\eta^2=0.12$ ) as well as REAC-INDEX ( $F_{1,45} = 9.35$ ,  $p=0.004$ ,  $\eta^2=0.17$ ) in the stroboscopic group. When considering the pre-training performance in terms of CODs, RA, and REAC-INDEX as a covariate, there were no statistically significant differences observed between genders. Gender was not a factor that interacted with the effects of GROUP. The ANOVA and ANCOVA results are presented in Fig. 3.

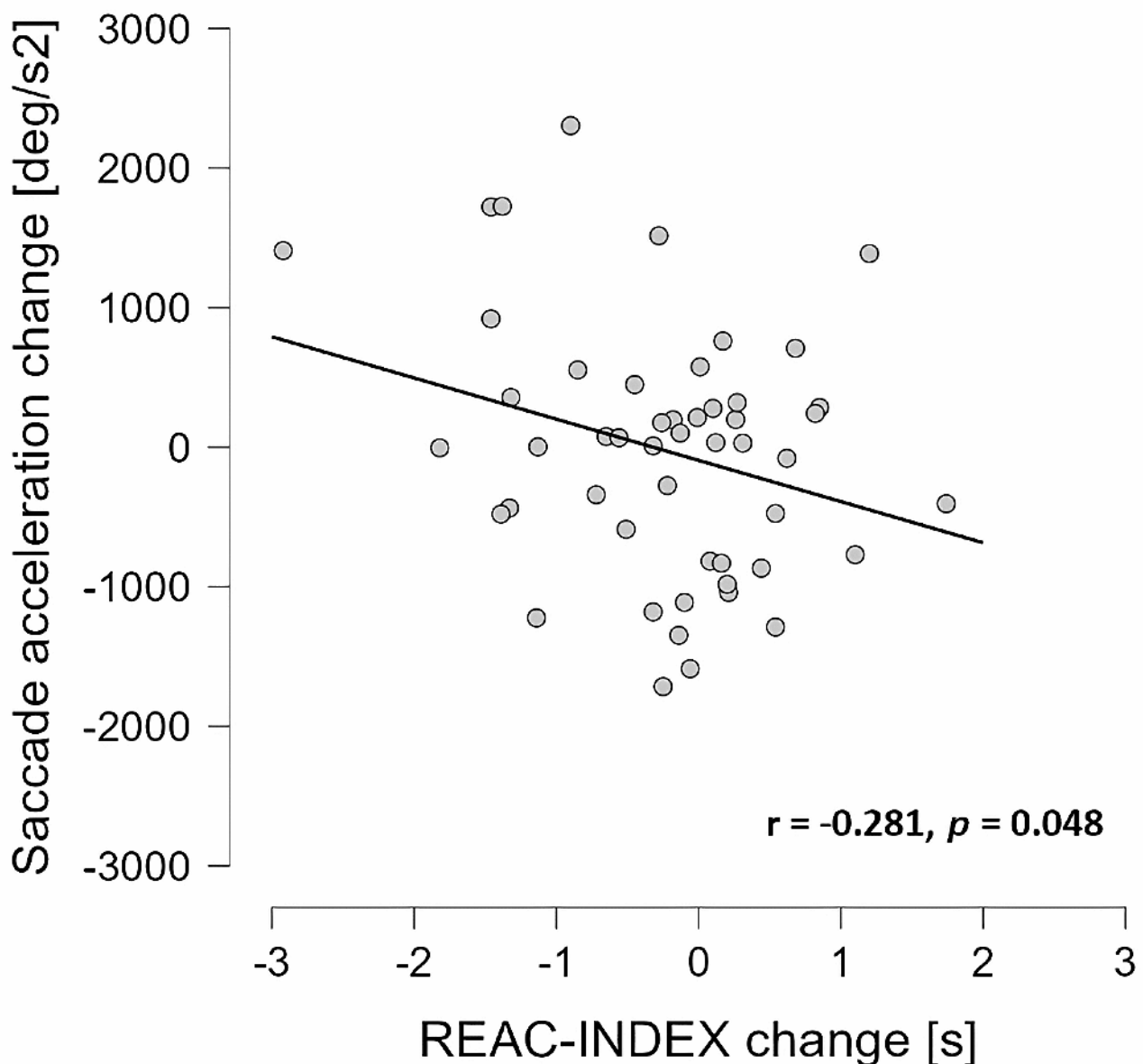
The results from the visual search lab-test, designed to initiate saccadic movements, indicate no significant



**Fig. 3** Results obtained from the ANOVA, ANCOVA, and raincloud plots of individual data showing single-subject training-induced changes in (A) change-of-direction speed (CODs), (B) reactive agility (RA), and (C) REAC-INDEX for intervention (stroboscopic) and control (non-stroboscopic) groups. In the right column, boxes represent the interquartile range, and whiskers indicate the overall range of values in each group; the vertical line in each box represents the median

changes ( $p < 0.05$ ) before and after the intervention across the studied groups. The mean reaction times for trials where the target was present (the red letter 'E') in the saccadic group were  $5.180 \pm 0.683$ s and  $4.795 \pm 0.924$ s for pre- and post-tests, respectively. In contrast, for the non-stroboscopic group, these times were  $5.068 \pm 0.978$ s before the intervention and  $4.999 \pm 0.706$ s afterwards. For trials where the target was absent, the mean reaction times in the saccadic group were  $7.423 \pm 0.689$ s before the intervention and  $7.147 \pm 0.772$ s after it. Meanwhile, in the non-stroboscopic group, the reaction times were  $7.296 \pm 0.827$  before the intervention and  $7.163 \pm 0.831$ s afterwards.

Regarding saccade dynamics, the ANOVA for average saccade acceleration did not show a significant GROUP  $\times$  TIME interaction ( $F_{1,48} = 2.30$ ,  $p = 0.136$ ,  $\eta^2 = 0.05$ ). Furthermore, the ANCOVA analysis did not reveal a significant GROUP difference between the stroboscopic and non-stroboscopic groups in post-training saccade acceleration ( $F_{1,45} = 0.68$ ,  $p = 0.415$ ,  $\eta^2 = 0.02$ ). Pearson product-moment correlation analyses indicated a negative relationship ( $r = -0.281$ ,  $p = 0.048$ ) between training-induced changes in saccade acceleration and REAC-INDEX (Fig. 4).



**Fig. 4** Correlation between changes in saccade acceleration and changes in REAC-INDEX during the training period ( $n = 50$ )

## Discussion

This study aimed to examine the impact of a six-week stroboscopic intervention on the visuomotor performance of young volleyball players during agility tasks. The results of this study provide compelling evidence supporting the effectiveness of stroboscopic training in improving visuomotor reaction speed, as indicated by the REAC-INDEX score. Furthermore, while the differences between groups did not reach statistical significance, there was a correlation observed between the improvements in visuomotor reaction speed performance and saccade acceleration. These findings suggest a notable influence of saccade dynamics on reactive goal-directed movements.

The enhanced visuomotor performance in the stroboscopic group supports previous research. For instance, a study on elite youth badminton players examined the effects of stroboscopic training in both lab and field settings [26]. However, when it came to specific field tasks like badminton's smash-defense, the differences compared to the control group were not statistically significant, indicating mixed effects. In the present study, initial observations revealed significant variability in the REAC-INDEX following the intervention. Subsequent analysis using ANCOVA confirmed a significant group effect on the RA and REAC-INDEX as well. Employing ANCOVA, which is known for its superior statistical power compared to ANOVA [38], further strengthens the evidence supporting the effectiveness of stroboscopic training for volleyball players, especially in terms of reducing the RA and REAC-INDEX times.

Our study has significant practical implications, particularly in the context of team sports where reactive goal-directed movements, such as agility, play a crucial role in performance [21]. Traditionally, agility training has focused on improving running speed, running technique, balance, and lower limb strength and power [18, 39–41]. However, our study reveals that the improvements in RA during the stroboscopic intervention were not solely a result of changes in running speed, as evidenced by the lack of significant differences in CODS between the experimental or control group. Considering the positive impact of stroboscopic training on RA performance, particularly in the aspect of visuomotor reaction speed, it seems that the benefits of this type of training may also extend to injury prevention. High-intensity agility movements, such as rapid changes of direction and deceleration, are known to be associated with non-contact lower limb injuries [42]. While this aspect was not explored in our article, this observation points to a promising path for future research into how stroboscopic training could potentially help reduce the risk of sports-related injuries. Previous research has indicated that decreased reaction time is moderately correlated with reduced sagittal plane

knee motion and increased frontal plane knee loading among collegiate athletes with a history of sports-related concussion [11], which justifies exploring injury prevention through the application of stroboscopic training in the future.

Our findings revealed a direct correlation between changes in saccade dynamics and visuomotor reaction speed performance, as measured by the REAC-INDEX. In the analyzed relationship for the entire study sample, we observed that greater improvements in REAC-INDEX were accompanied by an increase in saccade acceleration. This suggests that the acceleration of saccades may potentially underlie the observed enhancements in visuomotor reaction speed performance during RA. Wilkins and Gray [43] explored ball-catching skill development over six weeks with stroboscopic intervention. Their study found no significant differences in catching skills or in a suite of visual tests, including visual and motion perception assessments. However, a notable correlation emerged between improved ball-catching performance and visual test scores. These observations may suggest that the influence of visual and oculomotor functions observed in our studies on task performance relates to their complexity. In simple motor tasks, intermittent visual input might suffice, augmented by feedback from other modalities like vestibular responses [44]. But in dynamic, complex movements, such as in RA tasks, oculomotor and visual functions become more crucial.

Furthermore, the utilization of stroboscopic training holds the potential to enhance visuomotor reaction function by triggering functional neural plasticity in the visual motion system [28], including saccade acceleration as a coordinated process involving the cerebral cortex, particularly the frontal eye fields, and the superior colliculus [45]. This aspect is particularly significant for volleyball training, as previous research in this sport has highlighted the importance of various oculomotor functions that significantly impact skilled player performance. Specifically, experienced volleyball players have demonstrated superior eye movement dynamics compared to non-athletes or beginners [5, 34].

The present study provides new insights into the relationship between stroboscopic training and visuomotor processes among young volleyball players. However, it is important to acknowledge the limitations of this study. Firstly, the assessment of saccade dynamics in the study was conducted using a laboratory-based test, which may have influenced the observed correlation between changes in visuomotor reaction during reactive agility and saccade acceleration. To validate this relationship, future research should concentrate on directly evaluating saccade dynamics during the execution of reactive agility tasks in real-life settings. Secondly, the inclusion of a retention test in this study was lacking, which leaves

uncertainties regarding the sustained improvement of visuomotor performance and saccadic acceleration over the long term after the cessation of stroboscopic training. Thirdly, as we have not evaluated any specific far-transfer tasks, we are unable to confirm further advantages of stroboscopic intervention, such as improved game performance. Additionally, in future research, it would be valuable to consider the position on the court as a differentiating variable in visuomotor processing during reactive goal-directed movements.

## Conclusion

This study provides important insights into the trainability of sport-specific visuomotor processing using stroboscopic eyewear among young volleyball players. The use of stroboscopic training has been found to enhance visuomotor reaction speed in on-field specific skills. Furthermore, visuomotor performance gains could potentially be mediated by saccadic adaptations. Stroboscopic training shows promise as an effective method for enhancing visuomotor processing and its relevance in sport-specific training scenarios. By specifically targeting visuomotor reaction speed, coaches and athletes can incorporate stroboscopic training as a valuable addition to their training regimens, aiming to improve reactive agility and ultimately enhance on-field performance.

## Abbreviations

CODS	change of direction speed
RA	reactive agility
REAC INDEX	visuomotor reaction speed

## Supplementary Information

The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.1186/s13102-024-00848-y>.

Supplementary Material 1

## Acknowledgements

The authors would like to thank the teams: Gwardia Wrocław, AZS AWF Wrocław and SMS Police for the support.

## Author contributions

MZ, MP, AR were responsible for the study conceptualization and methodology; all authors validated the study design; MZ, WJ, MP were responsible for the data collection; MZ and WJ were responsible for the formal analysis of the dataset; MZ, WJ, MP were responsible for writing the original draft and prepared figures; All authors were responsible for the review and edit of the original draft; AR supervised the project.

## Funding

None.

## Data availability

The dataset supporting the conclusions of this article is included within the article (and its additional file).

## Declarations

### Ethics approval and consent to participate

This study was approved by the Research Ethics Committee of the University School of Physical Education in Wrocław, under protocol number 8/2021. All methods were carried out in accordance with relevant guidelines and regulations stated in the Declaration of Helsinki, and informed consent was obtained from all subjects.

### Consent for publication

Not applicable.

### Competing interests

The authors declare no competing interests.

### Author details

<sup>1</sup>Department of Team Sports Games, Wrocław University of Health and Sport Sciences, Wrocław, Poland

<sup>2</sup>Institute of Physical Culture Sciences, University of Szczecin, Szczecin, Poland

Received: 6 July 2023 / Accepted: 14 February 2024

Published online: 29 February 2024

## References

1. Thomson K, Watt AP, Liukkonen J. Differences in ball sports athletes speed discrimination skills before and after exercise induced fatigue. *J Sports Sci Med*. 2009;8(2):259–64.
2. Mann DL, Causer J, Nakamoto H, Runswick OR. Visual search behaviours in expert perceptual judgements. *Anticipation and decision making in sport*. edn.: Routledge; 2019. pp. 59–78.
3. Klatt S, Smeeton NJ. Processing visual information in elite junior soccer players: effects of chronological age and training experience on visual perception, attention, and decision making. *Eur J Sport Sci*. 2022;22(4):600–9.
4. Nakamoto H, Mori S. Effects of stimulus-response compatibility in mediating expert performance in baseball players. *Brain Res*. 2008;1189:179–88.
5. Fortin-Guichard D, Laflamme V, Julien A-S, Trottier C, Grondin S. Decision-making and dynamics of eye movements in volleyball experts. *Sci Rep*. 2020;10(1):17288.
6. Piras A, Lobiatti R, Squatrito S. Response time, visual search strategy, and anticipatory skills in volleyball players. *J Ophthalmol*. 2014;2014:189268.
7. Fujii K, Shinya M, Yamashita D, Oda S, Kouzaki M. Superior reaction to changing directions for skilled basketball defenders but not linked with specialised anticipation. *Eur J Sport Sci*. 2014;14(3):209–16.
8. Przednowek K, Śliż M, Lenik J, Dziadek B, Cieszkowski S, Lenik P, Kopeć D, Wardak K, Przednowek KH. Psychomotor abilities of professional handball players. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(11).
9. Zwierko T, Glowacki T, Osirski W. The effect of specific anaerobic exercises on peripheral perception in handball players. *Kinesiology Slov*. 2008;14:68–76.
10. Wilkerson GB, Simpson KA, Clark RA. Assessment and training of visuomotor reaction time for football injury prevention. *J Sport Rehabil*. 2017;26(1):26–34.
11. Avedesian JM, Covassin T, Baez S, Nash J, Nagelhout E, Dufek JS. Relationship between cognitive performance and lower extremity biomechanics: implications for sports-related concussion. *Orthop J Sports Med*. 2021;9(8):23259671211032246.
12. Taberner M, Allen T, Cohen DD. Progressing rehabilitation after injury: consider the 'control-chaos continuum'. *Br J Sports Med*. 2019;53(18):1132–6.
13. Hülsmüller T, Mierau A. Visual perception and visuomotor reaction speed are independent of the individual alpha frequency. *Front Neurosci*. 2021;15:620266.
14. Desmurget M, Pélisson D, Rossetti Y, Prablanc C. From eye to hand: planning goal-directed movements. *Neurosci Biobehav Rev*. 1998;22(6):761–88.
15. Paul DJ, Gabbett TJ, Nassis GP. Agility in Team sports. Testing, training and factors affecting performance. *Sports Med*. 2016;46(3):421–42.
16. Sheppard JM, Young WB. Agility literature review: classifications, training and testing. *J Sports Sci*. 2006;24(9):919–32.
17. Young WB, Dawson B, Henry G. Agility and change-of-direction speed are independent skills: implications for agility in invasion sports. *Int J Sports Sci Coach*. 2015;10(1):159–69.



**Publikacja 4**

Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2024). Effects of a 6-week stroboscopic training program on specific blocking reaction speed in young volleyball players. *Physical Activity Review*, 12(2),1-10.

<https://doi.org/10.16926/par.2024.12.16>



# Effects of a 6-week stroboscopic training program on specific blocking reaction speed in young volleyball players

Michał Zwierko <sup>1ABCDE</sup>, Wojciech Jedziniak <sup>2ABD</sup>, Marek Popowczak <sup>1ABD</sup>,  
Andrzej Rokita <sup>1ADE</sup>

<sup>1</sup> Department of Team Sports Games, Wrocław University of Health and Sport Sciences, Wrocław, Poland

<sup>2</sup> Institute of Physical Culture Sciences, University of Szczecin, Szczecin, Poland

Authors' Contribution: A – Study Design, B – Data Collection, C – Statistical Analysis, D – Manuscript Preparation, E – Funds Collection

**Abstract:** Background: Although stroboscopic effects are recognized as an effective tool for enhancing information processing in general perceptual-cognitive tasks, research on their transfer to sport-specific skills is limited. This study aims to evaluate the impact of a 6-week stroboscopic intervention on volleyball-specific blocking reaction speed. Additionally, it analyzes the variation in explosive leg strength as a potential factor influencing the effectiveness of volleyball blocking. Material and Methods: This study included 50 young volleyball players (26 males, 24 females), divided into an experimental and a control group. Both groups performed the same volleyball-specific tasks, but the experimental group did so under stroboscopic conditions. Participants were evaluated three times using a volleyball-specific blocking reaction task: pre-training, post-6-week training, and four weeks later. Additionally, a countermovement jump with arm swing (CMJA) test assessed its impact on blocking reaction speed. Results: The ANOVA conducted on the blocking reaction speed test revealed a significant effect of time ( $p < 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.17$ ). In the stroboscopic group, significant differences were found between pre-test and post-test ( $p = 0.031$ ,  $d = 0.54$ ) and between post-test and retention test ( $p = 0.017$ ,  $d = 0.58$ ). The ANCOVA analysis revealed that variations in CMJA did not significantly affect the improvements in blocking reaction speed ( $p = 0.426$ ,  $\eta^2 = 0.01$ ). Conclusion: Over six weeks, stroboscopic training was more effective than regular training in improving volleyball-specific blocking reaction speed, though these effects were short-term and ultimately showed no lasting differences between the groups. Furthermore, the enhancements in reaction speed were more likely due to adaptations in perceptual-cognitive performance rather than motor factors.

**Keywords:** training intervention; stroboscopic glasses; skill transfer; volleyball blocking skills; reactive training

Corresponding author: Michał Zwierko, email: [michal.zwierko@gmail.com](mailto:michal.zwierko@gmail.com)

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Received: 09.01.2024; Accepted: 26.01.2024; Published online: 3.07.2024

Citation: Zwierko M, Jedziniak W, Popowczak M, Rokita A. Effects of a 6-week stroboscopic training program on specific blocking reaction speed in young volleyball players. Phys Act Rev 2024; 12(2): 1-10. doi: 10.16926/par.par.2024.12.16



## INTRODUCTION

The speed of visuomotor reactions is commonly regarded as an essential aspect of goal-directed movements in team sports, especially those requiring agility maneuvers. Volleyball is a multifaceted sport that relies on a combination of technical, tactical, and physical skills. It involves various dynamic movements, including vertical jumps, shots, and quick changes of direction [1]. In volleyball, the effectiveness of movement in blocking is a crucial element of special agility, requiring quick, goal-directed movements in response to the opponent's actions in attack to prevent the opponent from scoring points. Effective volleyball blocking movement demands not only the synchronization of team actions and the recall of strategic patterns, but also a combination of anticipation and decision-making skills [2-5]. Additionally, it requires precise coordination of movements, optimal body positioning, and a thorough understanding of the biomechanical elements involved in the action [6].

In the dynamic and fast-paced environment of volleyball, players are required to quickly process a large amount of information to make accurate motor actions. Specifically, in blocking scenarios, players must swiftly assess the trajectory and timing of the incoming attack, and adjust their blocking strategy in real-time based on these dynamic factors. This need for quick assessment and adaptation places an emphasis on perceptual-cognitive skills, adding another layer to the comprehensive skill set required for effective blocking in volleyball. Perceptual-cognitive skills are crucial for achieving proficiency in this context, particularly under the pressure of time constraints [4, 7]. These volleyball-specific skills and perceptual-cognitive functions not only differentiate players at different competitive levels [8] and positions on the court [9], but also vary across age groups [4] and genders [10]. This variation underscores the importance of understanding how perceptual-cognitive training can be adapted and applied effectively in diverse contexts.

Accordingly, in recent years, there has been extensive investigation into the impact of perceptual-cognitive training on volleyball skills using a variety of different approaches. For instance, the study conducted by Fleddermann et al. [11] focused on evaluating the impact of an eight-week, off-court, visually oriented perceptual-cognitive training program, which utilized a three-dimensional multiple-object tracking task, in elite volleyball players. Their research confirmed positive outcomes in task-specific assessments and two near-transfer tests directly related to the perceptual-cognitive intervention. However, it did not find significant improvements in far-transfer tests, particularly in the volleyball-specific blocking test. In turn, Fortes et al. [12] demonstrated an improvement in the passing decision-making performance of young volleyball athletes through an eight-week imagery training protocol. The experimental group engaged in training that involved observing images and videos of successful competitive volleyball actions, aimed at enhancing imaginative capacity. The assessment of passing decision-making was conducted using a simulation that replicated the conditions of an official volleyball game. In their 6-week study, Formenti et al. [13], evaluated the impact of sport vision training (with generic or volleyball-specific motor actions) in a non-sport-specific context, comparing it to traditional volleyball training in a sport-specific context among female volleyball players. The study found that traditional training improved the accuracy of volleyball-specific skills (accuracy of passing, setting, and serving skills) more than vision training, but the vision training groups showed greater improvement in cognitive performance (clinical reaction time, executive control, and perceptual speed). These results indicate that the training environment is crucial for enhancing sport-specific skills and cognitive performance, supporting an ecological approach to sports training.

One of the emerging trends in perceptual-cognitive training within sports scenarios involves integrating stroboscopic stimulation into on-field tasks. Stroboscopic training is a technique that intensifies the requirements on the visuomotor system by providing intermittent visual input during motor activities, leading to improved

performance in standard visual situations [14]. Our recent study [15] demonstrated the positive impact of stroboscopic training, especially in terms of improvements in laboratory tasks measuring simple motor reaction time, complex reaction speed, and saccade velocity. In addition, we noted significant gains in reactive agility during field tests post-intervention in the stroboscopic group. However, the final training effects did not show a significant difference between the stroboscopic and control groups. While both groups exhibited improvements in reactive agility, the results clearly highlighted the beneficial effects of stroboscopic training on this skill. It is important to acknowledge that reactive agility is closely linked to motor and biomechanical factors, including running speed, technique, balance, and the strength and muscle power of the lower limbs [16-20]. Consequently, this study aimed to assess the efficacy of stroboscopic intervention in specific agility tasks. This included evaluating reaction speed in a volleyball-specific blocking task, while controlling for the motor factor, specifically the variation in explosive leg strength.

Current research into the effects of stroboscopic training on athletes' sport-specific skills, also known as far transfer, remains limited and has yielded mixed results. For example, an experimental study in badminton found that stroboscopic training appeared to enhance on-field performance [21], though these improvements weren't statistically significant when compared to a control group. In contrast, ice hockey research involving on-ice tests such as shooting accuracy, reaction time, and puck handling demonstrated that participants who underwent stroboscopic training improved their on-ice skills by an average of 18%, a significant contrast to the non-improving control group [22]. Despite this, the comprehensive effectiveness of far transfer through various perceptual and cognitive training methods, including stroboscopic training, remains underexplored [11, 23-26].

Therefore, this study aims to assess the impact of a 6-week stroboscopic intervention on specific volleyball skills, particularly in the speed of movement in responding to visual cues during blocking. Additionally, to understand post-training effects, we evaluated the variability in explosive leg strength as a potential influencing factor on the effectiveness of volleyball blocking [27, 28].

## **MATERIAL AND METHODS**

### *Participants*

The study involved a group of 50 athletes, comprising 26 males and 24 females, with an average age of 16.5 years ( $\pm 0.6$  years standard deviation). Participants were randomly assigned to either a stroboscopic or non-stroboscopic group, ensuring an equal gender distribution in both groups. The stroboscopic group had an average height of 180.2 cm ( $\pm 8.2$  cm) and weight of 74.3 kg ( $\pm 10.4$  kg), while the non-stroboscopic group had an average height of 181.9 cm ( $\pm 8.1$  cm) and weight of 71.6 kg ( $\pm 8.9$  kg). Both groups had similar sports experience, averaging around 6.6-6.7 years. Inclusion criteria required regular volleyball training and participation in official competitions. Exclusion criteria included specific health conditions, such as epilepsy, migraine, or injuries that would impede the completion of the designated tests. Written consent was obtained from all participants and their guardians.

### *Protocol*

#### *Volleyball-specific blocking reaction task*

The Fitlight® system (FITLIGHT Corp., Ontario, Canada) was used to analyze the reaction speed in a specific blocking task in volleyball. This protocol, adapted from the one initially outlined by Piasecki et al. [29], was first implemented in a study with a group of young volleyball players (n=97). It demonstrated good reliability, evidenced by ICC of 0.81, CV of 2.53%, and TE of 0.89 seconds.

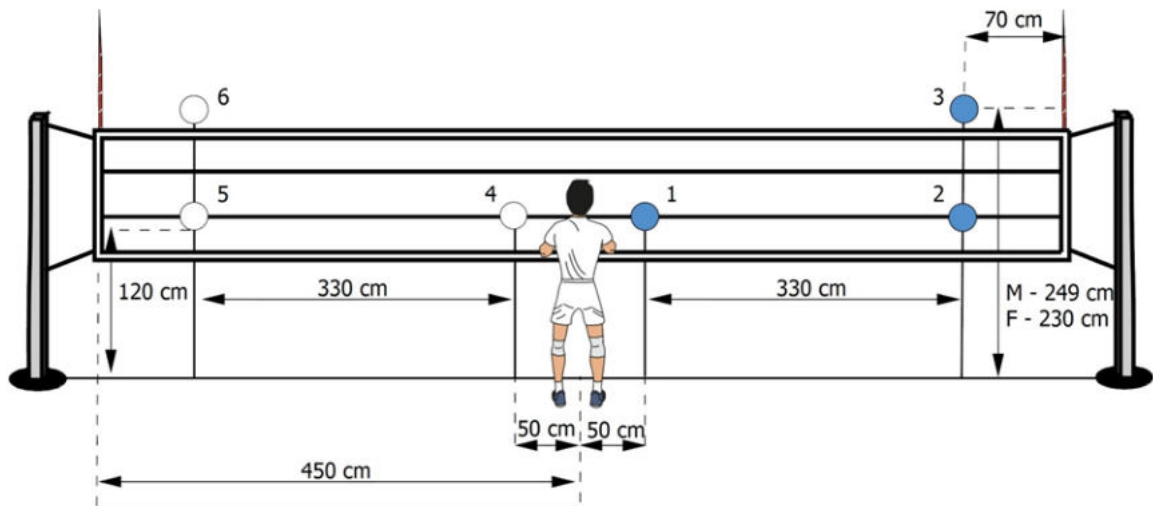


Figure 1. Volleyball-specific blocking reaction test protocol. The graphic illustrations were prepared using Easy Sports-Graphics software. Abbreviation: M - Male, F - Female.

In the study, participants assumed a ready position at the court's center, 450 cm from the sideline, as shown in Figure 1. The initial light discs (1 and 4) were positioned 50 cm from this starting point. Discs 1, 2, 4, and 5 were set at a height of 120 cm to mimic typical match conditions, ensuring the player's initial posture and reaction to visual stimuli were realistic. Considering FIVB net height regulations for youth players (243 cm for males, 224 cm for females), the final light discs (3 and 6) were placed 6 cm above the upper net band (249 cm for males, 230 cm for females). A total of six light discs were used, arranged in sequence 3 for left side and 3 for right side in randomized order. The task required participants to quickly react to a blue light signal shown either on the right side (discs 1, 2, 3) or the left side (discs 4, 5, 6). Athletes were allowed to use any blocking technique of their choice. Deactivating the last light disc (3 or 6) had to be done following a jump with both hands, simulating a volleyball block. Deactivation of all light discs was configured in a "distance deactivation mode" of 60 cm. The delay in activating the next trial, varying from 3 to 5 seconds, occurred immediately after deactivating the last disc (3 or 6). The test began with a standard 15-minute warm-up, after which the participant received test instructions and performed one adaptation test module. All participants performed the test twice with a 5-minute break. The best overall time (s) taken to complete the trial was included in further analysis.

#### *Explosive leg strength*

A countermovement jump with an arm swing (CMJA) (ICC = 0.95; CV = 4.88%; TE = 1.79 cm) was performed to assess explosive leg strength, following the protocol by Bosquet et al. [30]. The jumps were measured using the Optojump Next system (Microgate Next, Bolzano, Italy). Participants performed three jumps, with no specific instructions given regarding the depth or speed of the countermovement or the arm swing. A minimum 30-second recovery period was allowed between jumps. The highest jump for CMJA was selected for further analysis. Jump height [cm] was the primary metric analyzed.

#### *Procedure*

The study included a six-week training period with sessions conducted three times weekly, alongside regular training. Assessments were performed pre-, post-, and at retention stages, evaluating volleyball-specific blocking reaction speed test and countermovement jumps with arm swing (CMJA). Both stroboscopic and non-stroboscopic groups engaged in identical sport-specific exercises, differing only in visual conditions. Each group followed three volleyball-specific training protocols: 'wall passing drills' (three

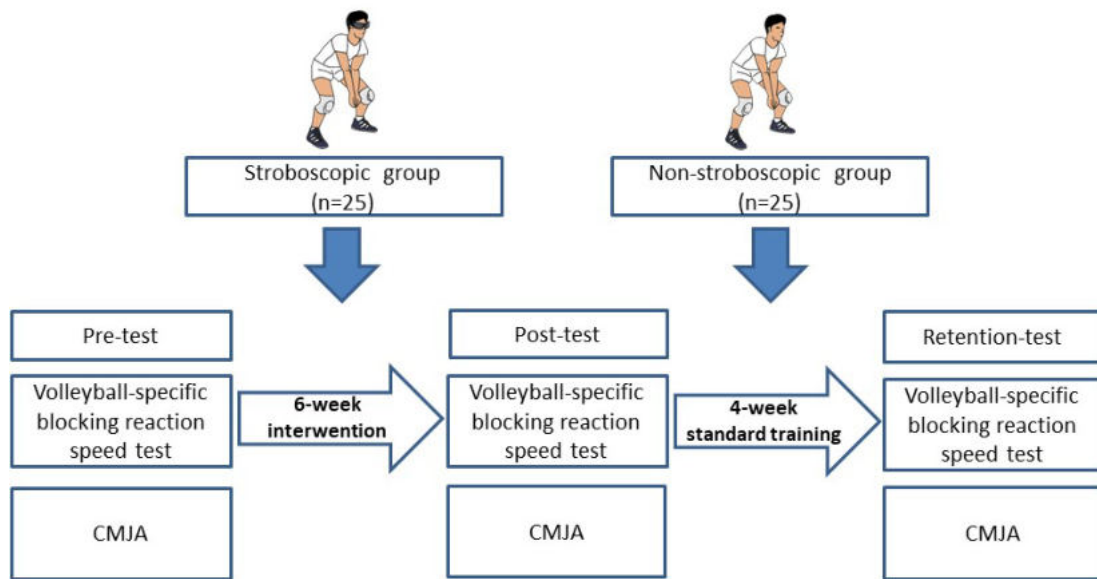


Figure 2. Overview of the experimental protocol for the study. Note: CMJA - countermovement jump with an arm swing.

tasks), 'partner passing drills' (five tasks), and 'passing rotation drill' (two forms of passing with directional changes) [15]. All protocols included reactive exercises based on various forms of reaction time training, lasting 25-30 minutes. The experimental group wore stroboscopic eyewear (Senaptec Strobe, Beaverton, USA) during training, controlled via Bluetooth and the Senaptec Strobe App. The stroboscopic sessions lasted 2.5 minutes each, followed by a 2.5-minute break. To progressively challenge visual processing, the flicker frequency and duty cycle were adjusted weekly: week 1 at 15 Hz, 50%; week 2 at 13 Hz, 50%; and so on, culminating in week 6 at 9 Hz, 70%. The weekly training duration averaged  $45.0 \pm 1.4$  minutes for the stroboscopic group and  $46.1 \pm 2.0$  minutes for the non-stroboscopic group. Figure 2 provides an overview of the experimental protocol.

### Statistical analysis

Descriptive statistics were utilized to present means and standard deviations. The normality of data was assessed using the Shapiro-Wilk test, while the homogeneity of variances was verified using the Levene test ( $p > 0.05$ ). To examine the impact of stroboscopic training on volleyball-specific blocking reaction speed, ANOVAs were conducted with 'GROUP' as the between-subjects factor and 'TIME' as the within-subjects factor. Additional analyses of covariance (ANCOVA) were performed to analyze changes in volleyball-specific blocking reaction speed, with post-training changes as the dependent variable. In this analysis, 'group' was treated as a categorical factor, and the explosive leg strength (CMJA) post-training changes were considered as a covariate. The Holm-Bonferroni procedure was applied for post-hoc comparisons, setting the significance level at  $p < 0.05$ . Effect sizes were reported using Cohen's  $d$  [31] for t-tests and partial eta squared ( $\eta^2$ ) for F-tests. According to Cohen's criteria, effect size values of 0.2, 0.5, and 0.8 were interpreted as small, medium, and large, respectively, for Cohen's  $d$ . For partial eta squared, values of 0.01, 0.06, and 0.14 represented small, medium, and large effects, respectively. Pearson product moment correlation analysis determined whether training-induced changes in explosive leg strength were related to changes in volleyball-specific blocking reaction speed performance. All statistical analyses were performed using JASP software (version 16.1).

*Ethics committee*

The investigations were conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki. The study adhered to ethical standards and received approval from the Research Ethics Committee of the University School of Physical Education in Wrocław, under protocol number 8/2021.

**RESULTS**

The descriptive statistics of the sample in pre-, post-, and retention conditions for stroboscopic and non-stroboscopic groups are presented in Table 1.

Table 1. Descriptive statistics of the volleyball-specific blocking reaction speed and explosive leg strength in the stroboscopic and non-stroboscopic groups in pre-tests, post-tests, and retention tests.

Variable	Group	Pre-test mean±SD (min-max)	Post-test mean±SD (min-max)	Retention-test mean±SD (min-max)
Volleyball-specific blocking reaction speed [s]	stroboscopic	33.96±1.82 (30.27-36.86)	32.84±1.48 (29.93-35.01)	34.03±1.19 (31.00-35.45)
	non-stroboscopic	34.21±2.51 (29.28-39.13)	33.50±2.83 (29.45-39.43)	34.35±2.17 (29.85-38.16)
Explosive leg strength [cm]	stroboscopic	38.71±10.13 (25.10-66.80)	39.39±11.51 (21.20-65.70)	38.64±11.29 (24.80-63.80)
	non-stroboscopic	36.41±7.69 (25.90-53.40)	37.02±7.44 (24.20-50.50)	35.98±7.23 (25.10-49.50)

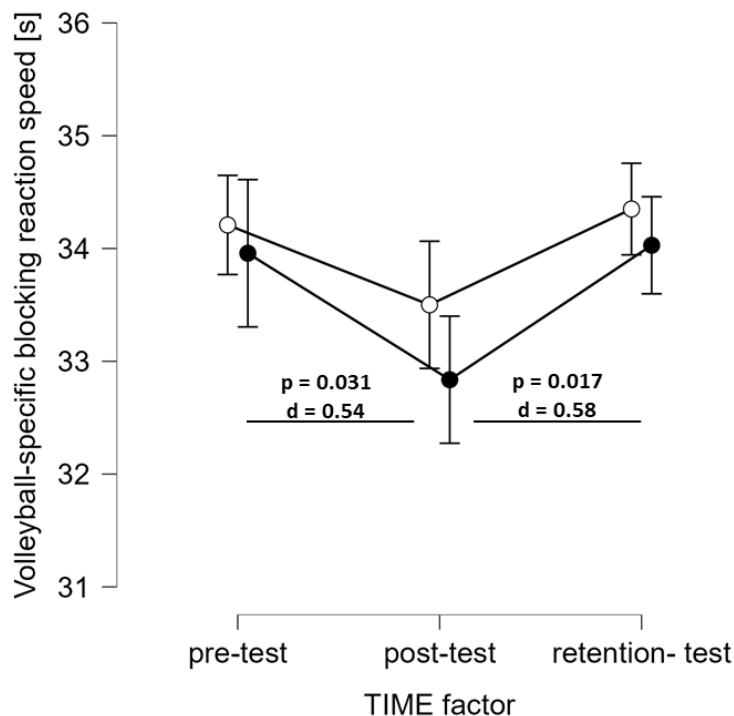


Figure 3. Interaction plots of volleyball-specific blocking reaction speed by TIME and GROUP: stroboscopic (black dots) vs non-stroboscopic (white dots) groups in a pre-post-retention design. Pre-, post-, and retention test values are presented as means and 95% CIs. Significant changes ( $p < 0.05$ ) are observed for the stroboscopic group.

The ANOVA on the volleyball-specific blocking reaction speed test revealed a significant main effect for TIME ( $F_{2,96} = 10.03$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.17$ ) and no effect for GROUP ( $F_{1,48} = 0.65$ ,  $p = 0.424$ ,  $\eta^2 = 0.01$ ). Further, the interaction between TIME and GROUP factors also had no significant effect ( $F_{2,96} = 0.39$ ,  $p = 0.679$ ,  $\eta^2 = 0.01$ ). In the stroboscopic group, post-hoc tests showed significant differences between the pre-test and post-test ( $p = 0.031$ ,  $d = 0.54$ ) as well as between the post-test and retention test ( $p = 0.017$ ,  $d = 0.58$ ), indicating a significantly faster volleyball-specific blocking reaction speed dependent on the stroboscopic training (Figure 3).

The ANCOVA, regardless of the group ( $F_{1,47} = 0.36$ ,  $p = 0.551$ ,  $\eta^2 = 0.01$ ), did not reveal the impact of post-test explosive leg strength changes on post-test volleyball-specific blocking reaction speed changes ( $F_{1,47} = 0.64$ ,  $p = 0.426$ ,  $\eta^2 = 0.01$ ). Pearson product moment correlation analyses revealed a lack of relationship between training-induced changes in volleyball-specific blocking reaction speed and the explosive leg strength changes ( $r = 0.188$ ,  $p = 0.414$ ).

## DISCUSSION

This study evaluated the effects of stroboscopic intervention on volleyball-specific blocking reaction speed in young volleyball players. The results indicated that stroboscopic training was more effective than regular training, with participants in the stroboscopic group demonstrating significant improvement in volleyball-specific blocking reaction tasks after 6 weeks of intervention. However, it was noted that this effect was short-term, and ultimately, no lasting difference in performance achievements between the stroboscopic and control groups could be confirmed. Furthermore, it was determined that volleyball-specific blocking reaction speed improvements were independent of any changes in the athletes' explosive leg strength levels, suggesting that the observed enhancement was not influenced by analyzed motor factor.

Our findings lend additional support to the notion that stroboscopic training can effectively enhance visuomotor abilities in sports training [14, 32]. Specifically, the study results corroborated our earlier observations [15] where stroboscopic intervention improved reactive agility, with more pronounced performance gains observed in the short-term as opposed to long-term changes. Furthermore, our findings suggest that the enhanced performance in the stroboscopic group was not determined by motor aspects. The results show that variability in explosive leg strength during the intervention did not influence the variability in outcomes for volleyball-specific blocking reaction speed. This leads to the assumption that the stroboscopic intervention positively affected the perceptual-cognitive factor, which plays a key role in movements requiring directional changes in response to a signal. Recent studies highlight the importance of perceptual-cognitive expertise in the context of agility movements [10, 33]. This involves an athlete's ability to scan and process the environment, integrating relevant information into their actions and coordinating this with the execution of adequate motor responses

Furthermore, our research results can be related to the findings from the studies by Hülzdünker et al. [34], which revealed that in young elite badminton players, the improvements in visuomotor reaction times post-stroboscopic training were predominantly linked to advancements in visual processing, rather than to motor process enhancements. Other studies conducted among elite handball players [35] also indicated that the stroboscopic training program significantly impacts early visual processing. This is evidenced by a decrease in the P100 implicit time for both the dominant eye and binocular vision, especially in extra-foveal vision. Contrary to this, our previous study [15] demonstrated that stroboscopic training led to significant improvements in the majority of measures (three out of five) related to visual and visuomotor functions in laboratory tasks, with a more noticeable enhancement in visuomotor as opposed to sensory processing. It seems that the impact of the intervention, which disrupted the visual process during exercises, can affect various levels of information processing and largely depends on the



specifics of the exercises performed. A recent study in this field by Kroll et al. [36] showcased the efficacy of stroboscopic training in improving jumping performance, highlighting its potential as a supplementary method to plyometric training for volleyball. In our exercise protocols, we concentrated on reactive exercises incorporating various forms of reaction time training. These exercises demanded enhanced alertness, heightened attention, faster eye movements, and more rapid body movements. In our view, the results suggest a significant utility of the training method involving stroboscopic glasses for both near and far transfer, as evidenced in both previous [15] and current studies.

The findings of our study indicate that stroboscopic training enhances the effectiveness of a task that simulates volleyball blocking, thereby emphasizing the importance of the perceptual-cognitive factor. Fleddermann and Zentgraf [37] demonstrated that elite athletes experience disruptions between their motor skills and cognitive functions in a dual-task scenario, as observed through a simulated blocking task in a lab setting designed to replicate a game situation. Specifically, they observed that athletes achieved greater jumping height in self-initiated block jumps without any additional cognitive load, as opposed to when they were faced with a perceptual-cognitive task (dual-task). This suggests that cognitive demands can significantly affect motor performance, as evidenced by the decreased jumping height when athletes engaged in a perceptual-cognitive task simultaneously. In this context, our research requires further continuation.

Exploring the effectiveness of stroboscopic training, our study offers new insights on its utility concerning specific volleyball skills. However, our research is not without limitations. Since we have tested only a single specific far-transfer task, we cannot dismiss the possibility of other benefits from stroboscopic intervention, such as improved reactions during practice and games. Additionally, our task did not require players to differentiate their reactions, a crucial aspect for effective blocking. Decision-making in a sports context is a complex process. It relies on athletes' abilities to identify the correct information in their environment, plan future actions, and choose the most suitable response tailored to the specific play situation [38]. It should also be considered that sports situations are highly variable, and it's difficult to precisely determine which variables might be affected [39]. Consequently, the perceptual-cognitive factor is one of many influencing the effectiveness of actions, in this case, the reaction speed associated with movement in blocking. Future research should focus on examining perceptual-cognitive strategies and evaluating an athlete's ability to effectively integrate perception and action under dynamic and ecologically valid conditions. Finally, in our studies, we did not analyze the influence of players' positions as a variable that could affect the study results. From previous research, it is known that anthropometric characteristics, muscular strength and power test scores, and perceptual-cognitive skills of players vary in relation to their playing positions on the field [9, 40,41].

## CONCLUSION

In conclusion, our study's findings reveal that a 6-week volleyball-specific training program using stroboscopic eyewear significantly outperformed traditional training methods. The athletes in the stroboscopic group exhibited considerable improvement in volleyball-specific blocking reaction tasks following the intervention, which may be associated with adaptations in the perceptual-cognitive gains of performance. However, it's important to note that these enhancements were observed in the short term. Therefore, the continuation of exercises that enhance visuomotor efficiency appears to be justified in the context of training young volleyball players.

**Funding Statement:** This research received no external funding

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest

## REFERENCES

1. Forthomme B, Croisier JL, Ciccarone G, Crielaard JM, Cloes M. Factors correlated with volleyball spike velocity. *Am J Sports Med* 2005;33(10):1513-9. doi: 10.1177/0363546505274935
2. Araújo R, Mesquita I, Marcelino R. Relationship between block constraints and set outcome in elite male volleyball. *Int J Perform Anal Sport* 2009; 9(3): 306-13. doi: 10.2202/1559-0410.1216
3. Nuri L, Shadmehr A, Ghotbi N, Attarbashi Moghadam B. Reaction time and anticipatory skill of athletes in open and closed skill-dominated sport. *Eur J Sport Sci* 2013; 13(5): 431-6. doi: 10.1080/17461391.2012.738712
4. De Waelle S, Warlop G, Lenoir M, Bennett SJ, Deconinck FJA. The development of perceptual-cognitive skills in youth volleyball players. *J Sports Sci* 2021; 39(17): 1911-25. doi: 10.1080/02640414.2021.1907903
5. Cieśluk K, Sadowska D, Krzepota J. The use of modern measuring devices in the evaluation of movement in the block in volleyball depending on the difficulty of the task determined by light signals. *Appl Sci* 2023; 13(20): 11462. doi: 10.3390/app132011462
6. Lobietti R. A review of blocking in volleyball: From the notational analysis to biomechanics. *J Hum Sport Exerc* 2009;4(2):93-9. doi: 10.4100/jhse.2009.42.03
7. Mann DT, Williams AM, Ward P, Janelle CM. Perceptual-cognitive expertise in sport: a meta-analysis. *J Sport Exerc Psychol* 2007; 29(4): 457-78. doi: 10.1123/jsep.29.4.457
8. Formenti D, Trecroci A, Duca M, Vanoni M, Ciovati M, Rossi A, et al. Volleyball-specific skills and cognitive functions can discriminate players of different competitive levels. *J Strength Cond Res* 2022; 36(3): 813-9. doi: 10.1519/jsc.0000000000003519
9. Fortin-Guichard D, Laflamme V, Julien A-S, Trottier C, Grondin S. Decision-making and dynamics of eye movements in volleyball experts. *Sci Rep* 2020; 10(1): 17288. doi: 10.1038/s41598-020-74487-x
10. Zwierko M, Jedziniak W, Popowczak M, Rokita A. Reactive agility in competitive young volleyball players: a gender comparison of perceptual-cognitive and motor determinants. *J Hum Kinet* 2022; 85: 87-96. doi: 10.2478/hukin-2022-0112
11. Fleddermann MT, Heppel H, Zentgraf K. Off-court generic perceptual-cognitive training in elite volleyball athletes: task-specific effects and levels of transfer. *Front Psychol* 2019; 10: 1599. doi: 10.3389/fpsyg.2019.01599
12. Fortes LS, Freitas-Júnior CG, Paes PP, Vieira LF, Nascimento-Júnior JRA, Lima-Júnior DRAA, et al. Effect of an eight-week imagery training programme on passing decision-making of young volleyball players. *Int J Sport Psychol* 2020; 18(1): 120-8. doi: 10.1080/1612197x.2018.1462229
13. Formenti D, Duca M, Trecroci A, Ansaldo L, Bonfanti L, Alberti G, et al. Perceptual vision training in non-sport-specific context: effect on performance skills and cognition in young females. *Sci Rep* 2019; 9(1): 18671. doi: 10.1038/s41598-019-55252-1
14. Wilkins L, Appelbaum LG. An early review of stroboscopic visual training: insights, challenges and accomplishments to guide future studies. *Int Rev Sport Exerc Psychol* 2020; 13(1): 65-80. doi: 10.1080/1750984x.2019.1582081
15. Zwierko M, Jedziniak W, Popowczak M, Rokita A. Effects of in-situ stroboscopic training on visual, visuomotor and reactive agility in youth volleyball players. *PeerJ* 2023; 11: e15213. doi: 10.7717/peerj.15213
16. Condello G, Kernozek TW, Tessitore A, Foster C. Biomechanical analysis of a change-of-direction task in collegiate soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 2016; 11(1): 96-101. doi: 10.1123/ijspp.2014-0458
17. Koźlenia D, Domaradzki J, Trojanowska I, Czermak P. Association between speed and agility abilities with movement patterns quality in team sports players. *Medicina dello Sport*. 2020; 73(2): 176-86. doi: 10.23736/s0025-7826.20.03662-5
18. Freitas TT, Pereira LA, Alcaraz PE, Comyns TM, Azevedo P, Loturco I. Change-of-direction ability, linear sprint speed, and sprint momentum in elite female athletes: differences between three different team sports. *J Strength Cond Res* 2022; 36(1): 262-7. doi: 10.1519/jsc.0000000000003857
19. Spiteri T, Newton RU, Nimphius S. Neuromuscular strategies contributing to faster multidirectional agility performance. *J Electromyogr Kinesiol* 2015; 25(4): 629-36. doi: 10.1016/j.jelekin.2015.04.009
20. Spiteri T, Nimphius S, Hart NH, Specos C, Sheppard JM, Newton RU. Contribution of strength characteristics to change of direction and agility performance in female basketball athletes. *J Strength Cond Res* 2014; 28(9): 2415-23. doi: 10.1519/jsc.0000000000000547

21. Hülzdünker T, Gunasekara N, Mierau A. Short- and long-term stroboscopic training effects on visuomotor performance in elite youth sports. Part 1: Reaction and Behavior. *Med Sci Sports Exerc* 2021; 53(5): 960-72. doi: 10.1249/mss.0000000000002541
22. Mitroff SR, Friesen P, Bennett D, Yoo H, Reichow AW. Enhancing ice hockey skills through stroboscopic visual training: a pilot study. *Athl Train Sports Health Care* 2013; 5(6): 261-4. doi: 10.3928/19425864-20131030-02
23. Palmer T, Coutts AJ, Fransen J. An exploratory study on the effect of a four-week stroboscopic vision training program on soccer dribbling performance. *Braz J Mot Behav* 2022; 16(3): 254-65. doi: 10.20338/bjmb.v16i3.310
24. Sala G, Aksayli ND, Tatlidil KS, Tatsumi T, Gondo Y, Gobet F. Near and far transfer in cognitive training: a second-order meta-analysis. *Collabra Psychol* 2019; 5(1): 18. doi: 10.1525/collabra.203
25. Krzepota J, Zwierko T, Puchalska-Niedbal L, Markiewicz M, Florkiewicz B, Lubinski W. The efficiency of a visual skills training program on visual search performance. *J Hum Kinet* 2015; 46: 231-40. doi: 10.1515/hukin-2015-0051
26. Zwierko T, Jedziniak W, Florkiewicz B, Stepiński M, Buryta R, Kostrzewa-Nowak D, et al. Oculomotor dynamics in skilled soccer players: The effects of sport expertise and strenuous physical effort. *Eur J Sport Sci* 2019; 19(5): 612-20. doi: 10.1080/17461391.2018.1538391
27. Tramel W, Lockie RG, Lindsay KG, Dawes JJ. Associations between absolute and relative lower body strength to measures of power and change of direction speed in division ii female volleyball players. *Sports* 2019; 7(7): 160 doi: 10.3390/sports7070160
28. Sattler T, Hadžić V, Dervišević E, Markovic G. Vertical jump performance of professional male and female volleyball players: effects of playing position and competition level. *J Strength Cond Res* 2015; 29(6): 1486-93. doi: 10.1519/jsc.0000000000000781
29. Piasecki L, Florkiewicz B, Krzepota J, Steciuk H, Zwierko T. System FitLight Trainer™ - Nowoczesna technologia w kontroli procesu treningu sportowego w piłce siatkowej. *Mark Rynek*. 2015; 11: 41-8.
30. Bosquet L, Berryman N, Dupuy O. A comparison of 2 optical timing systems designed to measure flight time and contact time during jumping and hopping. *J Strength Cond Res* 2009; 23(9): 2660-5. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b1f4ff.
31. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. New York, NY: Routledge Academic; 1988.
32. Carroll W, Fuller S, Lawrence J, Osborne S, Stallcup R, Burch R, et al. Stroboscopic visual training for coaching practitioners: a comprehensive literature review international. *J Kinesiol Sports Sci* 2021; 9(4): 49-59. doi: 10.7575/aiac.ijkss.v.9n.4p.49
33. Spiteri T, McIntyre F, Specos C, Myszka S. Cognitive training for agility: the integration between perception and action. *Strength Cond J* 2018; 40(1): 39-46. doi: 10.1519/ssc.0000000000000310
34. Hülzdünker T, Gunasekara N, Mierau A. Short- and long-term stroboscopic training effects on visuomotor performance in elite youth sports. part 2: brain-behavior mechanisms. *Med Sci Sports Exerc* 2021; 53(5): 973-85. doi: 10.1249/mss.0000000000002543
35. Zwierko T, Jedziniak W, Domaradzki J, Zwierko M, Opolska M, Lubiński W. Electrophysiological evidence of stroboscopic training in elite handball players: visual evoked potentials study. *J Hum Kinet* 2024;90. doi: 10.5114/jhk/169443
36. Kroll M, Preuss J, Ness BM, Dolny M, Louder T. Effect of stroboscopic vision on depth jump performance in female NCAA Division I volleyball athletes. *Sports Biomech* 2020: 1-11. doi: 10.1080/14763141.2020.1773917
37. Fleddermann M-T, Zentgraf K. Tapping the full potential? Jumping performance of volleyball athletes in game-like situations. *Front Psych* 2018; 9: 1375 doi: 10.3389/fpsyg.2018.01375
38. MacMahon C, McPherson SL. Knowledge base as a mechanism for perceptual-cognitive tasks: Skill is in the details! *Int J Sport Psychol* 2009; 40(4): 565-579.
39. Walton CC, Keegan RJ, Martin M, Hallock H. The potential role for cognitive training in sport: more research needed. *Front Psych* 2018; 9: 1121. doi: 10.3389/fpsyg.2018.01121
40. Marques MC, van den Tillaar R, Gabbett TJ, Reis VM, González-Badillo JJ. Physical fitness qualities of professional volleyball players: determination of positional differences. *J Strength Cond Res* 2009; 23(4): 1106-11. doi: 10.1519/jsc.0b013e31819b78c4
41. Domaradzki J, Popowczak M, Zwierko T. The mediating effect of change of direction speed in the relationship between the type of sport and reactive agility in elite female team-sport athletes. *J Sports Sci Med*. 2021; 20(4): 699-705. doi: 10.52082/jssm.2021.699

18. Freitas TT, Pereira LA, Alcaraz PE, Comyns TM, Azevedo P, Loturco I. Change-of-direction ability, linear sprint speed, and sprint momentum in elite female athletes: differences between three different team sports. *J Strength Cond Res.* 2022;36(1):262–7.
19. Young W, Rayner R, Talpey S. It's time to change direction on agility research: a call to action. *Sports Med Open.* 2021;7(1):12.
20. Scanlan AT, Humphries BJ, Tucker PS, Dalbo VJ. The influence of physical and cognitive factors on reactive agility performance in men basketball players. *J Sports Sci.* 2014;32:367–74.
21. Spiteri T, McIntyre F, Specos C, Myszka S. Cognitive training for agility: the integration between perception and action. *Strength Cond J.* 2018;40(1):39–46.
22. Spiteri T, Newton RU, Binetti M, Hart NH, Sheppard JM, Nimphius S. Mechanical determinants of faster change of direction and agility performance in female basketball athletes. *J Strength Cond Res.* 2015;29(8):2205–14.
23. Fiorilli G, Iuliano E, Mitrotasios M, Pistone EM, Aquino G, Calcagno G, di Cagno A. Are change of direction speed and reactive agility useful for determining the optimal field position for young soccer players? *J Sports Sci Med.* 2017;16(2):247–53.
24. Zwierko T, Nowakowska A, Jedziniak W, Popowczak M, Domaradzki J, Kubaszewska J, Kaczmarczyk M, Ciechanowicz A. Contributing factors to sensorimotor adaptability in reactive agility performance in youth athletes. *J Hum Kinet.* 2022;83:39–48.
25. Wilkins L, Appelbaum LG. An early review of stroboscopic visual training: insights, challenges and accomplishments to guide future studies. *Int Rev Sport Exerc Psychol.* 2020;13(1):65–80.
26. Hülndünker T, Gunasekara N, Mierau A. Short- and long-term stroboscopic training effects on visuomotor performance in elite youth sports. Part 1: reaction and behavior. *Med Sci Sports Exerc.* 2021;53(5):960–72.
27. Appelbaum LG, Schroeder JE, Cain MS, Mitroff SR. Improved visual cognition through stroboscopic training. *Front Psychol.* 2011;2:276.
28. Hülndünker T, Gunasekara N, Mierau A. Short- and long-term stroboscopic training effects on visuomotor performance in elite youth sports. Part 2: brain-behavior mechanisms. *Med Sci Sports Exerc.* 2021;53(5):973–85.
29. Wilkins L, Nelson C, Tweddle S. Stroboscopic visual training: a pilot study with three elite youth football goalkeepers. *J Cogn Enhanc.* 2018;2:3–11.
30. Lee H, Han S, Page G, Bruening DA, Seeley MK, Hopkins JT. Effects of balance training with stroboscopic glasses on postural control in chronic ankle instability patients. *Scand J Med Sci Sports.* 2022;32(3):576–87.
31. Mitroff SR, Friesen P, Bennett D, Yoo H, Reichow AW. Enhancing ice hockey skills through stroboscopic visual training: a pilot study. *Athl Train Sports Health Care.* 2013;5(6):261–4.
32. Beavan A, Hanke L, Spielmann J, Skorski S, Mayer J, Meyer T, Fransen J. The effect of stroboscopic vision on performance in a football specific assessment. *Sci Med Footb.* 2021;5(4):317–22.
33. Zhao M, Gersch TM, Schnitzer BS, Doshier BA, Kowler E. Eye movements and attention: the role of pre-saccadic shifts of attention in perception, memory and the control of saccades. *Vis Res.* 2012;74:40–60.
34. Piras A, Lobiotti R, Squatrito S. A study of saccadic eye movement dynamics in volleyball: comparison between athletes and non-athletes. *J Sports Med Phys Fit.* 2010;50(1):99–108.
35. Zwierko M, Jedziniak W, Popowczak M, Rokita A. Effects of in-situ stroboscopic training on visual, visuomotor and reactive agility in youth volleyball players. *PeerJ.* 2023;11:e15213.
36. Domaradzki J, Popowczak M, Zwierko T. The mediating effect of change of direction speed in the relationship between the type of sport and reactive agility in elite female team-sport athletes. *J Sports Sci Med.* 2021;20(4):699–705.
37. Zwierko T, Jedziniak W, Florkiewicz B, Stępiński M, Buryta R, Kostrzewa-Nowak D, Nowak R, Popowczak M, Woźniak J. Oculomotor dynamics in skilled soccer players: the effects of sport expertise and strenuous physical effort. *Eur J Sport Sci.* 2019;19(5):612–20.
38. Van Breukelen GJ. ANCOVA versus change from baseline: more power in randomized studies, more bias in nonrandomized studies [corrected]. *J Clin Epidemiol.* 2006;59(9):920–5.
39. Condello G, Kernozek TW, Tessitore A, Foster C. Biomechanical analysis of a change-of-direction task in collegiate soccer players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2016;11(1):96–101.
40. DosSantos T, Thomas C, Comfort P, Jones PA. The effect of angle and velocity on change of direction biomechanics: an angle-velocity trade-off. *Sports Med.* 2018;48(10):2235–53.
41. Loturco I, Pereira LA, Freitas TT, Alcaraz PE, Zanetti V, Bishop C, Jeffreys I. Maximum acceleration performance of professional soccer players in linear sprints: is there a direct connection with change-of-direction ability? *PLoS ONE.* 2019;14(5):e0216806.
42. DosSantos T, McBurnie A, Thomas C, Jones PA, Harper D. Attacking agility actions: match play contextual applications with coaching and technique guidelines. *Strength Cond J.* 2022;44(5):102–18.
43. Wilkins L, Gray R. Effects of stroboscopic visual training on visual attention, motion perception, and catching performance. *Percept Mot Skills.* 2015;121(1):57–79.
44. Ellison P, Jones C, Sparks SA, Murphy PN, Page RM, Carnegie E, Marchant DC. The effect of stroboscopic visual training on eye–hand coordination. *Sport Sci Health.* 2020;16:401–10.
45. Thompson KG. Dissociation of selection from saccade programming. in: *neurobiology of attention.* edn. Edited by Itti L, Rees G, Tsotsos JK. Burlington: Academic Press; 2005:124–129.

### Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

**ANEKS****OŚWIADCZENIA O WSPÓLAUTORSTWIE PUBLIKACJI**

Prof. dr hab. Andrzej Rokita

Wrocław, 04.09.2024 r.

Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

### Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy *Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2024). Effects of six-week stroboscopic training program on visuomotor reaction speed in goal-directed movements in young volleyball players: A study focusing on agility performance. BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation, 16(1), 59*, mój udział polegał na:

<input checked="" type="checkbox"/> koncepcja pracy	<input type="checkbox"/> redagowanie publikacji
<input checked="" type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki	<input type="checkbox"/> zbieranie danych
<input type="checkbox"/> prowadzenie badań	<input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników
<input type="checkbox"/> analiza statystyczna	<input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa
<input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków	<input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku
<input checked="" type="checkbox"/> konsultacja	<input type="checkbox"/> inne: .....

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr *Michała Zwierko*.

*Rokita*

.....  
Podpis współautora

Prof. dr hab. Andrzej Rokita

Wrocław, 04.09.2024 r.

Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

### Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy *Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2023). Effects of in-situ stroboscopic training on visual, visuomotor and reactive agility in youth volleyball players. PeerJ, 11, e15213*, mój udział polegał na:

<input checked="" type="checkbox"/> koncepcja pracy	<input type="checkbox"/> redagowanie publikacji
<input checked="" type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki	<input type="checkbox"/> zbieranie danych
<input type="checkbox"/> prowadzenie badań	<input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników
<input type="checkbox"/> analiza statystyczna	<input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa
<input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków	<input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku
<input checked="" type="checkbox"/> konsultacja	<input type="checkbox"/> inne: .....

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr *Michała Zwierko*.

*Rokita*

.....  
Podpis współautora

Prof. dr hab. Andrzej Rokita

Wrocław, 04.09.2024 r.

Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

### Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy *Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2022). Reactive agility in competitive young volleyball players: A gender comparison of perceptual-cognitive and motor determinants. Journal of Human Kinetics, 85(1), 87-96*, mój udział polegał na:

<input checked="" type="checkbox"/> koncepcja pracy	<input type="checkbox"/> redagowanie publikacji
<input checked="" type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki	<input type="checkbox"/> zbieranie danych
<input type="checkbox"/> prowadzenie badań	<input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników
<input type="checkbox"/> analiza statystyczna	<input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa
<input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków	<input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku
<input checked="" type="checkbox"/> konsultacja	<input type="checkbox"/> inne: .....

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr *Michała Zwierko*.

*Rokita*

.....  
Podpis współautora



Prof. dr hab. Andrzej Rokita

Wrocław, 04.09.2024 r.

Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

### Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy *Zwierko M, Jedziniak W, Popowczak M, Rokita A. (2024). Effects of a 6-week stroboscopic training program on specific blocking reaction speed in young volleyball players. Physical Activity Review, 12(2):1-10*, mój udział polegał na:

<input checked="" type="checkbox"/> koncepcja pracy	<input type="checkbox"/> redagowanie publikacji
<input checked="" type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki	<input type="checkbox"/> zbieranie danych
<input type="checkbox"/> prowadzenie badań	<input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników
<input type="checkbox"/> analiza statystyczna	<input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa
<input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków	<input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku
<input checked="" type="checkbox"/> konsultacja	<input type="checkbox"/> inne: .....

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr *Michała Zwierko*.

*Rokita*

.....  
Podpis współautora

Dr hab. Marek Popowczak

Wrocław, 04.09.2024 r.

Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

### Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy: *Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2022). Reactive agility in competitive young volleyball players: A gender comparison of perceptual-cognitive and motor determinants. Journal of Human Kinetics, 85(1), 87-96*, mój udział polegał na:

<input checked="" type="checkbox"/> koncepcja pracy	<input type="checkbox"/> redagowanie publikacji
<input checked="" type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki	<input checked="" type="checkbox"/> zbieranie danych
<input checked="" type="checkbox"/> prowadzenie badań	<input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników
<input type="checkbox"/> analiza statystyczna	<input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa
<input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków	<input type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku
<input checked="" type="checkbox"/> konsultacja	<input type="checkbox"/> inne: .....

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr *Michała Zwierko*.

  
.....  
Podpis współautora

Dr hab. Marek Popowczak

Wrocław, 04.09.2024 r.

Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

### Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy *Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2023). Effects of in-situ stroboscopic training on visual, visuomotor and reactive agility in youth volleyball players. PeerJ, 11, e15213*, mój udział polegał na:

<input checked="" type="checkbox"/> koncepcja pracy	<input type="checkbox"/> redagowanie publikacji
<input checked="" type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki	<input type="checkbox"/> zbieranie danych
<input checked="" type="checkbox"/> prowadzenie badań	<input checked="" type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników
<input type="checkbox"/> analiza statystyczna	<input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa
<input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków	<input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku
<input checked="" type="checkbox"/> konsultacja	<input type="checkbox"/> inne: .....

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr *Michała Zwierko*.

  
.....  
Podpis współautora

Dr hab. Marek Popowczak

Wrocław, 04.09.2024 r.


Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

### Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy *Zwierko M, Jedziniak W, Popowczak M, Rokita A. (2024). Effects of a 6-week stroboscopic training program on specific blocking reaction speed in young volleyball players. Physical Activity Review, 12(2):1-10*, mój udział polegał na:

<input checked="" type="checkbox"/> koncepcja pracy	<input checked="" type="checkbox"/> redagowanie publikacji
<input checked="" type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki	<input checked="" type="checkbox"/> zbieranie danych
<input checked="" type="checkbox"/> prowadzenie badań	<input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników
<input type="checkbox"/> analiza statystyczna	<input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa
<input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków	<input type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku
<input checked="" type="checkbox"/> konsultacja	<input type="checkbox"/> inne: .....

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr *Michała Zwierko*.

  
.....  
Podpis współautora

Dr hab. Marek Popowczak

Wrocław, 04.09.2024 r.

Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

### Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy *Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2024). Effects of six-week stroboscopic training program on visuomotor reaction speed in goal-directed movements in young volleyball players: A study focusing on agility performance. BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation, 16(1), 59*, mój udział polegał na:

<input checked="" type="checkbox"/> koncepcja pracy	<input checked="" type="checkbox"/> redagowanie publikacji
<input checked="" type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki	<input checked="" type="checkbox"/> zbieranie danych
<input type="checkbox"/> prowadzenie badań	<input checked="" type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników
<input type="checkbox"/> analiza statystyczna	<input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa
<input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków	<input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku
<input checked="" type="checkbox"/> konsultacja	<input type="checkbox"/> inne: .....

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr *Michała Zwierko*.

*Marek Popowczak*  
.....  
Podpis współautora

Mgr Michał Zwierko

Wrocław, 04.09.2024 r.

Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

### Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zwierko M, Jedziniak W, Popowczak M, Rokita A. (2024). Effects of a 6-week stroboscopic training program on specific blocking reaction speed in young volleyball players. *Physical Activity Review*, 12(2):1-10. mój udział polegał na:

- |  |  |
|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> koncepcja pracy                              | <input checked="" type="checkbox"/> redagowanie publikacji                 |
| <input checked="" type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki            | <input checked="" type="checkbox"/> zbieranie danych                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> prowadzenie badań                            | <input checked="" type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników       |
| <input checked="" type="checkbox"/> analiza statystyczna                         | <input checked="" type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa                |
| <input checked="" type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input type="checkbox"/> konsultacja   | <input type="checkbox"/> inne: .....                                       |

Oświadczam, że miałem/am-wiodący udział w powstaniu powyższej publikacji.



.....  
Podpis kandydata

Mgr Michał Zwierko

Wrocław, 04.09.2024 r.

Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

### Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2024). Effects of six-week stroboscopic training program on visuomotor reaction speed in goal-directed movements in young volleyball players: A study focusing on agility performance. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 16(1), 59. mój udział polegał na:

- |  |  |
|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> koncepcja pracy                              | <input checked="" type="checkbox"/> redagowanie publikacji                 |
| <input checked="" type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki            | <input checked="" type="checkbox"/> zbieranie danych                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> prowadzenie badań                            | <input checked="" type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników       |
| <input checked="" type="checkbox"/> analiza statystyczna                         | <input checked="" type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa                |
| <input checked="" type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input type="checkbox"/> konsultacja   | <input type="checkbox"/> inne: .....                                       |

Oświadczam, że miałem/~~am~~-wiodący udział w powstaniu powyższej publikacji.



.....  
Podpis kandydata

Mgr Michał Zwierko

Wrocław, 04.09.2024 r.

Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

### Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2023). Effects of *in-situ* stroboscopic training on visual, visuomotor and reactive agility in youth volleyball players. *PeerJ*, 11, e15213. mój udział polegał na:

koncepcja pracy

redagowanie publikacji

zaplanowanie badań wybór metodyki

zbieranie danych

prowadzenie badań

graficzne przedstawienie wyników

analiza statystyczna

zbieranie piśmiennictwa

interpretacja wyników i opracowanie wniosków

korekta pracy przed złożeniem do druku

konsultacja

inne: .....

Oświadczam, że miałem/~~am~~ wiodący udział w powstaniu powyższej publikacji.



.....  
Podpis kandydata



Mgr Michał Zwierko

Wrocław, 04.09.2024 r.

Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

### Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2022). Reactive agility in competitive young volleyball players: A gender comparison of perceptual-cognitive and motor determinants. *Journal of Human Kinetics*, 85(1), 87-96. mój udział polegał na:

koncepcja pracy

redagowanie publikacji

zaplanowanie badań wybór metodyki

zbieranie danych

prowadzenie badań

graficzne przedstawienie wyników

analiza statystyczna

zbieranie piśmiennictwa

interpretacja wyników i opracowanie wniosków

korekta pracy przed złożeniem do druku

konsultacja

inne: .....

Oświadczam, że miałem/am-wiodący udział w powstaniu powyższej publikacji.



.....  
Podpis kandydata

Dr Wojciech Jedziniak

Wrocław, 04.09.2024 r.

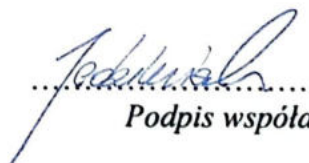
Instytut Nauk o Kulturze Fizycznej Uniwersytetu Szczecińskiego

### Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy *Zwierko M, Jedziniak W, Popowczak M, Rokita A. (2024). Effects of a 6-week stroboscopic training program on specific blocking reaction speed in young volleyball players. Physical Activity Review, 12(2):1-10*, mój udział polegał na:

- |   |   |
|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> koncepcja pracy                   | <input checked="" type="checkbox"/> redagowanie publikacji      |
| <input checked="" type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input checked="" type="checkbox"/> zbieranie danych            |
| <input checked="" type="checkbox"/> prowadzenie badań                 | <input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników       |
| <input type="checkbox"/> analiza statystyczna                         | <input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa                |
| <input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input checked="" type="checkbox"/> konsultacja                       | <input type="checkbox"/> inne: .....                            |

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr *Michała Zwierko*.

  
.....  
Podpis współautora

Dr Wojciech Jedziniak

Wrocław, 04.09.2024 r.

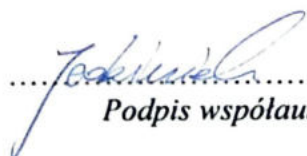
Instytut Nauk o Kulturze Fizycznej Uniwersytetu Szczecińskiego

### Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy *Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2024). Effects of six-week stroboscopic training program on visuomotor reaction speed in goal-directed movements in young volleyball players: A study focusing on agility performance. BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation, 16(1), 59*, mój udział polegał na:

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> koncepcja pracy                              | <input checked="" type="checkbox"/> redagowanie publikacji                 |
| <input type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki            | <input checked="" type="checkbox"/> zbieranie danych                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> prowadzenie badań                 | <input checked="" type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników       |
| <input checked="" type="checkbox"/> analiza statystyczna              | <input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa                           |
| <input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input checked="" type="checkbox"/> konsultacja                       | <input type="checkbox"/> inne: .....                                       |

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr *Michała Zwierko*.

  
.....  
Podpis współautora

Dr Wojciech Jedziniak

Wrocław, 04.09.2024 r.

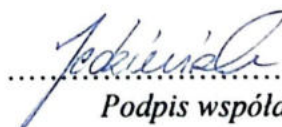
Instytut Nauk o Kulturze Fizycznej Uniwersytetu Szczecińskiego

### Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy *Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2023). Effects of in-situ stroboscopic training on visual, visuomotor and reactive agility in youth volleyball players. PeerJ, 11, e15213*, mój udział polegał na:

- |   |  |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> koncepcja pracy                   | <input type="checkbox"/> redagowanie publikacji                            |
| <input checked="" type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input checked="" type="checkbox"/> zbieranie danych                       |
| <input checked="" type="checkbox"/> prowadzenie badań                 | <input checked="" type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników       |
| <input type="checkbox"/> analiza statystyczna                         | <input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa                           |
| <input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input checked="" type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input checked="" type="checkbox"/> konsultacja                       | <input type="checkbox"/> inne: .....                                       |

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr *Michała Zwierko*.

  
.....  
Podpis współautora

Dr Wojciech Jedziniak

Wrocław, 04.09.2024 r.

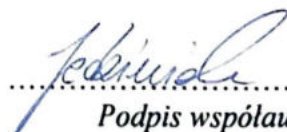
Instytut Nauk o Kulturze Fizycznej Uniwersytetu Szczecińskiego

### Oświadczenie o współautorstwie publikacji

Niniejszym oświadczam, że w pracy *Zwierko, M., Jedziniak, W., Popowczak, M., & Rokita, A. (2022). Reactive agility in competitive young volleyball players: A gender comparison of perceptual-cognitive and motor determinants. Journal of Human Kinetics, 85(1), 87-96*, mój udział polegał na:

- |   |   |
|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> koncepcja pracy                   | <input type="checkbox"/> redagowanie publikacji                 |
| <input checked="" type="checkbox"/> zaplanowanie badań wybór metodyki | <input checked="" type="checkbox"/> zbieranie danych            |
| <input checked="" type="checkbox"/> prowadzenie badań                 | <input type="checkbox"/> graficzne przedstawienie wyników       |
| <input type="checkbox"/> analiza statystyczna                         | <input type="checkbox"/> zbieranie piśmiennictwa                |
| <input type="checkbox"/> interpretacja wyników i opracowanie wniosków | <input type="checkbox"/> korekta pracy przed złożeniem do druku |
| <input type="checkbox"/> konsultacja                                  | <input type="checkbox"/> inne: .....                            |

Przyjmuję do wiadomości, że powyższa praca jako część rozprawy doktorskiej będzie podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora przez mgr *Michała Zwierko*.

  
.....  
Podpis współautora

**UCHWAŁA KOMISJI DS. ETYKI BADAŃ NAUKOWYCH**

**Senacka Komisja ds. Etyki Badań  
Naukowych przy Akademii Wychowania  
Fizycznego we Wrocławiu**

**Uchwała  
w sprawie opinii o projekcie eksperymentu poznawczego**

Na podstawie uchwały Senatu Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu z dnia 20.12.2002 r. w sprawie powołania Senackiej Komisji ds. Etyki Badań Naukowych i uchwały z dnia 4.11.2003 r. – regulamin działań oraz w oparciu o art.27 ustawy z dnia 6.06.1997 r. kodeks karny (Dz.U. z 1997 r., poz.553 z późniejszymi zmianami) i zasady zawarte w „Dobrych obyczajach w nauce. Zbiór zasad i wytycznych” Komitetu Etyki w Nauce PAN z 2001r.

Przewodniczący Senackiej Komisji ds. Etyki Badań Naukowych przy  
Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu  
po zapoznaniu się z opinią Członków Komisji Etyki wniosku złożonego przez Pana:

**mgra Michała Zwierko**

*pt. „Wpływ ćwiczeń reakcyjnych na poziom efektów percepcyjnych  
i motorycznych w piłce siatkowej”*

podjął decyzję o pozytywnym zaopiniowaniu tego wniosku, nie wnosząc żadnych zastrzeżeń.

Wydana opinia dotyczy tylko rozpatrywanego wniosku z uwzględnieniem przedstawionego projektu. Każda zmiana i modyfikacja wymaga uzyskania odrębnej opinii. Wnioskodawca obowiązany jest do informowania o ciężkich lub niespodziewanych zdarzeniach, niepożądanych i nieprzewidzianych okolicznościach, o zakończeniu badania, o jego wynikach i innych istotnych decyzjach ewentualnych innych komisji etycznych (bioetycznych).

Od powyższej uchwały podmiot zamierzający przeprowadzić eksperyment, kierownik jednostki organizacyjnej, w którym eksperyment poznawczy ma być przeprowadzony oraz komisja etyczna (bioetyczna) właściwa dla ośrodka, który ma ewentualnie uczestniczyć w wieloosrodkowym eksperymencie, mogą wnieść odwołanie do Zespołu Opiniodawczo-Doradczego do Spraw Etyki w Nauce Ministerstwa Nauki i Informatyzacji, za pośrednictwem Senackiej Komisji ds. Etyki Badań Naukowych przy Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu w terminie 14 dni od daty otrzymania niniejszej uchwały.

Przewodniczący Senackiej Komisji  
ds. Etyki Badań Naukowych

Prof. dr hab. n. med. Marek Mędraś

Wrocław, dnia 21.04.21