



**AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO
WE WROCŁAWIU**

Arkadiusz Homańczuk

**Ocena skuteczności wpływu autorskiego
programu ćwiczeń równoważnych na
stabilność postawy strzeleckiej żołnierza**

Promotor:

Dr hab. Małgorzata Sobera, prof. AWF Wrocław

Wrocław 2022

Spis treści

1. Wprowadzenie	3
1.1 Charakterystyka strzelectwa bojowego.....	4
1.2 Kontrola równowagi ciała.....	12
1.3 Poprawa kontroli równowagi ciała pod wpływem specyficznego treningu	15
1.4 Celność strzału a stabilność postawy strzeleckiej	17
1.5 Efektywność strzelecka a kontrola równowagi postawy strzeleckiej.....	20
1.6 Trening równowagi	24
2. Cel pracy i pytania badawcze	31
3. Metody badania i analizy danych.....	32
3.1 Charakterystyka grupy badanej	32
3.2 Opis sprzętu badawczego i metody	33
3.2.1 Organizacja i przebieg treningu ćwiczeń równoważnych.....	40
3.3 Analiza statystyczna	48
4. Wyniki badań.....	50
4.1 Zmiany wielkości kołysania postawy, jako efekt zastosowania autorskiego programu ćwiczeń.....	50
4.1.1 Zakres przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym.....	50
4.1.2 Zakres przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym	54
4.1.3 Pole elipsy przemieszczeń COP	58
4.2 Zmiana jednorodności wykonywania zadania w wyniku zastosowania autorskiego programu ćwiczeń	61
4.2.1 Zmienność przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym.....	61
4.2.2 Zmienność przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym.....	64
4.3 Prędkość zmian nacisku stóp na podłoże w wyniku zastosowania autorskiego programu ćwiczeń.....	67
4.3.1 Średnia prędkość przemieszczeń COP	67
5. Dyskusja	72
5.1 Zmiany w kontroli równowagi w efekcie zastosowania autorskiego programu ćwiczeń	72
5.2 Zmienność wykonania zadania utrzymania stabilnej postawy strzeleckiej	74

5.3 Prędkość zmian położenia nacisku stóp na podłoże w efekcie treningu równowagi	74
5.4 Skuteczność programu ćwiczeń równoważnych	76
Podsumowanie	89
Wnioski.....	91
Piśmiennictwo	92
Streszczenie	121
Summary	123

1. Wprowadzenie

Współcześnie na całym świecie zauważalny staje się proces adaptowania wypracowanych rozwiązań treningowych z dziedziny sportu wyczynowego do resortów siłowych, m.in. wojska, gdzie personel zaczyna coraz częściej być określany mianem „taktycznych sportowców” (Connaboy i wsp. 2011; Irving i wsp. 2019). Coraz więcej uwagi poświęca się przygotowaniu indywidualnemu żołnierzy, tworząc programy treningowe wychodzące naprzeciw potrzebom konkretnych zespołów bojowych (Grier i wsp. 2013; Cocke i Orr 2015; Irving i wsp. 2019). Podstawowym celem tworzonych systemów treningowych jest uzyskanie maksymalnej skuteczności zespołu realizującego działania bojowe, czego jednym z wyników jest maksymalna efektywność wykorzystania środków działań kinetycznych, tj. broni strzeleckiej. Natomiast na skuteczność strzelecką ma wpływ cały szereg czynników, wzajemnie ze sobą związanych, wśród których podstawowe znaczenie ma stabilność postawy strzeleckiej oraz stabilność broni (Mason i wsp. 1990; Zatsiorsky i Aktov 1990; Ball i wsp. 2003; Mononen i wsp. 2007; Ihalainen i wsp. 2016a; Sattlecker i wsp. 2017; Sadowska i wsp. 2019b). Większość przeprowadzonych do tej pory badań nad problemem kontroli posturalnej w kontekście skuteczności strzeleckiej dotyczyła, z różnych względów, strzelców cywilnych - zawodników strzelectwa sportowego. Warunki, w jakich realizuje swoje zadania personel wojskowy są wysoce odmienne od tych podczas konkursów strzeleckich. Zmęczenie, dodatkowe obciążenie zewnętrzne w postaci oporządzenia taktycznego, wpływ czynników zewnętrznych oraz wymuszone postawy strzeleckie i realizacja strzelań sytuacyjnych zaburzają proces kontroli równowagi ciała i dodatkowo zmniejszają stabilność przyjętej postawy strzeleckiej (Frykman i wsp. 2012; Palmer i wsp. 2013; Bermejo i wsp. 2015; Billing i wsp. 2015; Jaworski i wsp. 2015; Hunt i wsp. 2016; Gil-Cosano i wsp. 2019). W kontekście tematu niniejszej pracy, wielu autorów badań nad specyfiką przygotowania wojskowego wskazuje na szczególną potrzebę rozwijania umiejętności równoważnych u personelu wojskowego, co jest związane ze specyfiką prowadzonych operacji wojskowych (Nagai i wsp. 2016). Obecnie

prowadzone są intensywne badania nad efektywnymi sposobami treningu równowagi oraz jej wpływu na zwiększenie skuteczności bojowej żołnierzy (Funk i wsp. 2018).

1.1 Charakterystyka strzelectwa bojowego

Podstawową różnicą między sportem strzeleckim a strzelectwem bojowym jest przeznaczenie wykorzystania nabytych umiejętności strzeleckich. Sporty strzeleckie są wyrazem rywalizacji między zawodnikami gdzie nie dochodzi do bezpośredniej walki. W strzelectwie bojowym nabyte umiejętności służą zwalczaniu siły żywej przeciwnika w bezpośredniej konfrontacji. Strzelectwo bojowe jest wykorzystywane w służbach państwowych podległych Prezesowi Rady Ministrów (tj. Agencja Bezpieczeństwa Wewnętrznego, Agencja Wywiadu, Centralne Biuro Antykorupcyjne), Marszałkowi Sejmu (tj. Straż Marszałkowska), Ministrowi Spraw Wewnętrznych i Administracji (tj. Policja, Straż Graniczna, Służba Ochrony Państwa), Ministrowi Finansów (tj. Krajowa Administracja Skarbowa: Departament Zwalczania Przemocności Ekonomicznej), Ministrowi Obrony Narodowej (tj. Wojska Lądowe, Siły Powietrzne, Marynarka Wojenna, Wojska Specjalne, Wojska Obrony Terytorialnej, Służba Wywiadu Wojskowego, Służba Kontrwywiadu Wojskowego). Ważnym odnotowaniem jest fakt szczególnej techniki operacyjnej w wymienionych organizacjach i liczby odbiorców programów szkolenia strzelectwa bojowego. Siły Zbrojne Rzeczypospolitej Polski posiadają ramowy plan szkolenia ogniowego wydany przez Dowództwo Wojsk Lądowych, w postaci Programu Strzelań z Broni Strzeleckiej (Warszawa 2012). Wspomniany program (cyt.) „jest dokumentem przeznaczonym do organizacji i prowadzenia strzelań oraz sprawdzania umiejętności prowadzenia ognia z broni strzeleckiej do różnych celów w różnorodnych warunkach” (Program Strzelań z Broni Strzeleckiej, Ministerstwo Obrony Narodowej, Warszawa 2012). Program Strzelań z Broni Strzeleckiej jest podstawą dla Dowódców jednostek, którą mogą modyfikować, aby system szkolenia odpowiadał specyfice zadań, które realizuje dana Jednostka Wojskowa. Siły Zbrojne Rzeczypospolitej Polski uczestniczą w różnych strukturach obronnych NATO, co stawia potrzeby organizacji systemów szkolenia

ogniowego w celu podniesienia skuteczności i bezpieczeństwa żołnierzy, wobec zadań realizowanych, oprócz poligonowych, również w składach kontyngentów wojskowych oraz zadań bojowych (Kopeć i Ratajczyk 2020). Do Wojsk Lądowych wprowadzono system walki i bezpiecznego posługiwania się bronią (BLOS), który powstał dzięki współpracy instruktorów Centrum Szkolenia Wojsk Lądowych w Poznaniu z Centrum Szkolenia Wojsk Lądowych armii szwajcarskiej w Walenstadt, a autorami są kmdr por. Włodzimierz Kopeć i kpt. Jacek Kaczmarczyk. W opracowanym systemie podkreśla się rolę wyszkolenia indywidualnego żołnierza, jako predyktora siły (skuteczności) zespołu realizującego działania bojowe (Kopeć i Kaczmarczyk 2010). Autorzy wskazują na dużą dynamikę i różnorodność działań, które charakteryzują zadania realizowane obecnie przez Siły Zbrojne RP, co przekłada się na wymagania, co do efektywności wykorzystania swojego aparatu ruchu w niesprzyjających warunkach spowodowanych wyczerpanym wysiłkiem fizycznym w warunkach ekstremalnego stresu (Kopeć i Kaczmarczyk 2010). System BLOS opisuje 5 zasad oddania celnego strzału, które korelują z wynikami badań naukowych dotyczących sportów strzeleckich, tj. prawidłowy chwyt broni, stabilna postawa strzelecka, prawidłowe celowanie, prawidłowe oddychanie oraz prawidłowa praca na języku spustowym.

Błędy w celności prowadzonego ognia wynikają z wymienionych zasad, w których ważne miejsce stanowi prawidłowa, tj. stabilna, wręcz „nieruchoma”, postawa strzelecka. Stabilność postawy strzeleckiej w strzelectwie bojowym zależy od znacznie większej ilości czynników mających wpływ na jej destabilizację niż w sportach strzeleckich. Biomechanika postawy strzeleckiej również jest wysoce zmienna, a zmiany w szerokości czy kącie postawy względem celu mają wpływ na równowagę ciała i celność ostrzału (Hawkins i Sefton 2011; Hawkins 2013). Zmienność ta wynika z „sytuacyjności” przyjętej postawy, która nierzadko jest wymuszona i nie jest optymalna, ale musi zapewnić kompromis między szansą oddania celnego strzału a maksymalną ochroną przed ogniem nieprzyjaciela (Kopeć i Kaczmarczyk 2010). Czynniki destabilizujące mające wpływ na równowagę ciała występują w większym wymiarze

w strzelectwie bojowym niż sportach strzeleckich. Strzelania w warunkach dynamicznych implikują wysoki poziom obciążenia fizycznego i psychicznego, towarzyszą im szczytowe wartości częstotliwości uderzeń serca czy ciśnienia krwi (Thompson i wsp. 2015). Operacje wojskowe wymagają od żołnierzy przenoszenia ciężkich ładunków, które są uważane za czynnik osłabiający możliwość wykonywania czynności taktycznych na polu bitwy (Billing i wsp. 2015; Hunt i wsp. 2016). Oporządzenie taktyczne wydatnie zmniejsza jakość wykonywanego zadania podczas sytuacji krytycznych (Palmer i wsp. 2013). Badania dotyczące bezpośredniego wpływu na skuteczność strzelecką wskazują, że obciążenie niekoniecznie zmniejsza celność, wydłuża natomiast czas nawiązania kontaktu ogniowego z przeciwnikiem, co ma wpływ na skuteczność walki i przeżywalność (Frykman i wsp. 2012). Najnowsze badania przedstawiają pogorszenie skuteczności strzeleckiej jaki wywiera ciężar plecaka, poprzez negatywne oddziaływanie na dokładność celowania oraz „czystość” pracy na języku spustowym – rozumianej jako prawidłowe pokonywanie oporu języka spustowego z prawidłowym ułożeniem opuszka palca wskazującego na języku spustowym (Gil-Cosano i wsp. 2019). Również inne komponenty procesu oddawania strzału z broni strzeleckiej wydają się ulegać zaburzeniu przez oporządzenie taktyczne (ekwipunek żołnierza – kamizelka taktyczna z wkładami balistycznymi, hełm, systemy łączności, kabury, zasobniki itp.) poprzez zwiększenie sił bezwładności a także zwiększenie opóźnień w funkcjonalnym czasie reakcji. Wywołuje to zmniejszenie szybkości i celności podczas dynamicznego strzelania związane z zakłóconą koordynacją segmentową oraz zmniejszoną zdolnością adaptacji motorycznej podczas zmian postawy między podejmowaniem kontaktu ogniowego z kolejnymi celami (Palmer i wsp. 2013). Również Lim i wsp. (2017) wskazują na postępujący, wraz ze wzrostem obciążenia, spadek koordynacji segmentowej tj. tułowia i głowy w warunkach wykonywania zadań taktycznych. Jak wynika z badań Jaworski i wsp. (2015) skuteczność strzelecka wyrażona zarówno jako celność, jak i skupienie przestrzelin (śląd po przejściu przez cel pocisku) obniża się pod wpływem obciążenia oraz zmęczenia żołnierzy piechoty morskiej (U.S.

Marine Corp.). Jak wynika z badań Bermejo i wsp. (2015) wymogi postawy strzeleckiej modyfikują całą organizację postawy, co stanowi wyzwanie dla kontroli równowagi w większym stopniu niż w przypadku swobodnej pozycji stojącej z oczami otwartymi i zamkniętymi po wyczerpujących ćwiczeniach, trudność zadań związanych z postawą strzelecką potęguje wpływ zmęczenia wysiłkiem fizycznym na stabilność postawy. Frykman i wsp. (2012) wnioskuje, że wyczerpujące ćwiczenia fizyczne przejściowo pogarszają dokładność strzelania żołnierzy. Natomiast badania przeprowadzone na funkcjonariuszach policji nie wykazały bezpośredniego wpływu zmęczenia na dokładność strzelania rozumianą jako celność (mierzona jako średnia odległość najbliższych 4 strzałów od środka tarczy) oraz precyzja (mierzona jako średnia najściślejszej grupy 4 przestrzelin) tłumaczoną automatycznymi reakcjami strzeleckimi, które kompensują niekorzystne konsekwencje zmęczenia po wykonanym wysiłku (Brown i wsp. 2013). Duże znaczenie ma grupa, na której przeprowadzono badania, wykorzystująca odmienną technikę operacyjną od odbiorców wojskowych, u których bardziej jednoznacznie ocenia się wpływ zmęczenia na pogorszenie skuteczności strzeleckiej i wydajności w sytuacjach bojowych po marszu z obciążeniem (Gil-Cosano i wsp. 2019). Po zmęczeniu kontrola równowagi u żołnierzy ulega pogorszeniu (Bermejo i wsp. 2018), co ma istotny wpływ na wykonywane czynności na polu walki. Żołnierze podlegają wielowektorowemu atakowi ze strony przeciwnika, stąd muszą zmieniać kierunki prowadzonego ostrzału, pokonywać przeszkody terenowe i posiadać wysoką świadomość sytuacyjną, a w stanie zmęczenia umiejętności celowania i nawiązania kontaktu ogniowego z przeciwnikiem ulegają pogorszeniu (Davidson i wsp. 2016). Żołnierze, oprócz wymienionych wyżej czynników są poddani również na oddziaływanie znużenia spowodowanego przedłużającym się czasem służby podczas wykonywania czynności operacyjnych, co ma niekorzystny wpływ na m.in. poziom siły i zdolności strzeleckie (Ojanen i wsp. 2018). A także szeregiem czynników specyficznych dla rejonu prowadzenia operacji militarnych, co potwierdzają badania przeprowadzone na żołnierzach po odbyciu tury bojowej

w Afganistanie, a którzy charakteryzowali się gorszą kontrolą równowagi w porównaniu do żołnierzy kontyngentu wojskowego przed rozlokowaniem (Nagai i wsp. 2016). Wnioski z przeprowadzonych badań, a także różnic między strzelectwem bojowym a sportami strzeleckimi, wskazują na potrzebę rozwijania ogólnej sprawności z ukierunkowaniem na umiejętności równoważne w celu optymalizacji gotowości taktycznej (Nagai i wsp. 2016).

Żołnierze wykonując działania bojowe są narażeni na trudne warunki fizyczne i psychiczne (Heard i wsp. 2020). Sukces w wykonywaniu zadań taktycznych i przetrwanie w terenie, determinuje po części zdolność adaptacji do warunków wysoce zmiennego pola walki (Joseph i wsp. 2018). Natomiast jakość wykonywanych czynności wiąże się z jego przeżywalnością na polu walki (Palmer i wsp. 2013). Z tego powodu żołnierze muszą utrzymywać określony poziom sprawności fizycznej, który jest wymagany do prowadzenia działań operacyjnych (Jaenen 2009). Żołnierze muszą charakteryzować się maksymalną wydajnością wykonywanych czynności oraz gotowością na każdą sytuację awaryjną, a w przypadku jej wystąpienia, działać skutecznie przez dłuższy okres czasu niezależnie od niekorzystnych warunków (Jaenen 2009). Stąd w celu uzyskania wysokiej efektywności w walce, wymaga się, aby żołnierze byli w możliwie najwyższej, idealnie szczytowej, formie sprawności fizycznej i motorycznej (Heard i wsp. 2020).

W związku z potrzebami uzyskania, a następnie utrzymania, najwyższego możliwego poziomu sprawności fizycznej personelu taktycznego, zaproponowano spojrzenie na żołnierzy, jako specyficznego rodzaju sportowców, definiując ich jako „taktycznych sportowców” (ang. *tactical athlete*), którzy realizują służbę dla państwa wymagającą szczególnej sprawności i wydajności fizycznej koniecznej do prowadzenia zróżnicowanych i niebezpiecznych zadań operacyjnych (Connaboy i wsp. 2011; Irving i wsp. 2019). W odpowiedzi na potrzebę jak najlepszego przygotowania taktycznych sportowców do specyfiki danej służby, wprowadza się do ich szkolenia metody i bodźce treningowe, które do tej pory były stosowane jedynie w procesie treningowym wyczynowych sportowców (Connaboy i wsp. 2011).

Jedną z kluczowych kwestii w programowaniu i optymalizowaniu treningu wyczynowych sportowców jest analiza wymagań danej dyscypliny sportowej (ang. *Needs Analysis Process*), która ma na celu rozpoznać najważniejsze uwarunkowania fizjologiczne, biomechaniczne oraz podatność na przeciążenia poszczególnych sportowców na tle wymagań dyscypliny (Connaboy i wsp. 2011). Procesy analizy potrzeb są przekładane na kontekst wojskowy i wykorzystując dotychczasową wiedzę tworzone są programy badawcze nad możliwościami poprawy zdolności i przygotowania personelu taktycznego, które co istotne nie są już tylko domeną struktur wojskowych. Również uczelnie niezwiązane bezpośrednio z resortem obrony narodowej są finansowane w celu realizacji projektów, jak na przykład University of Pittsburgh w Stanach Zjednoczonych Ameryki, czy nawet zakładają komórki odpowiedzialne za rozpoznanie taktyczne, jak powołany w 2015 roku Tactical Research Unit na Bond University w Australii. Projekty badawcze spełniające funkcje rozpoznania potrzeb takie jak ETAP (ang. *Eagle Tactical Athlete Program*, University of Pittsburgh, USA) (Sell i wsp. 2010), w pierwszej fazie programu podejmują m.in. tematykę kontroli równowagi ciała, lecz w kontekście jej wpływu na urazowość mięśniowo-szkieletową podczas wypadków niezwiązanych z prowadzeniem działań bojowych (ang. *Non-Battle Musculo-Skeletal Injuries*). Oprócz modeli treningowych opartych na potrzebie zminimalizowania ryzyka wystąpienia urazu mięśniowo-szkieletowego, są rozwijane systemy mające na celu najbardziej efektywne rozwijanie sprawności taktycznych sportowców z dostosowaniem do specjalnych potrzeb danej jednostki (Cocke i Orr 2015). Jest to wyrazem kolejnej fazy programu ETAP, który oprócz zmniejszenia proporcji urazowości żołnierzy 101 Dywizji Powietrznodesantowej (101st Airborne Division (Air Assault)) stacjonującej w Fort Campbell (Kentucky, USA), miał na celu poprawę wydajności fizycznej (Abt i wsp. 2010). Z kolei program SPARTA (ang. *Soldiers Performance, Assessment and Rehabilitation as Tactical Athletes*, Edinburgh Napier University, UK) (Connaboy i wsp. 2011), w szczególności przeznaczony jest do identyfikacji potrzeb w zakresie wyszkolenia oraz włączenia do cyklu szkolenia fizycznego rekrutów.

Badanie efektywności poszczególnych programów i implementacja nowych są tematem aktualnym. Na poziomie brygad i batalionów Armii Stanów Zjednoczonych Ameryki coraz większą uwagę poświęca się na programy treningowe odpowiadające przygotowaniu pod specyfikę wykonywanych misji (Grier i wsp. 2013). Dotychczas wdrożono oraz porównano efektywność takich programów jak m.in.: Advanced Tactical Athlete Conditioning, Ranger Athlete Warrior, Mountain Tactical Institute's Military Athlete, Navy SEAL Fitness & Training Program, US Marine Corps' High Intensity Tactical Training, CrossFit czy program treningowy koncernu zbrojeniowego RAYTHEON (USA) w ramach Enterprise Training Services Contract.

Trwające projekty maksymalizujące efektywność przygotowania do wykonywania kluczowych zadań specyficznych dla danej służby (Irving i wsp. 2019), poszukujące najlepszych metod treningowych dla odbiorców mundurowych (Haddock i wsp. 2016), czy weryfikujące zgodność specjalizacji danych ćwiczeń z wymogami określonej służby (Field Manual 7-22, Department of the Army 2020), dotyczą ogólnego przygotowania żołnierzy, brakuje natomiast opracowań dotyczących rozwijania umiejętności równoważnych, decydujących o stabilności postawy strzeleckiej. Wskazany podręcznik (Field Manual 7-22) podkreśla potrzebę rozwijania równowagi statycznej oraz dynamicznej, jednakże ćwiczenia w nim zaproponowane nie są ćwiczeniami specyficznymi pod kątem rozwijania kontroli równowagi ciała.

Jak wskazują Lim i wsp. (2017) kluczowe znaczenie w sytuacjach niebezpiecznych ma kontrola ruchu i utrzymanie świadomości sytuacyjnej, natomiast zmiany w koordynacji ruchów spowodowane noszeniem oporządzenia taktycznego wpływają na prawdopodobieństwo obrażeń lub śmierci, stąd istotne jest stymulowanie rozwoju sfery koordynacyjnych zdolności motorycznych u żołnierzy, w której z kolei istotnym przejawem są umiejętności równoważne (Raczek i wsp. 2003). Zatem procedury treningowe personelu taktycznego powinny obejmować w szczególności ćwiczenia fizyczne nastawione na zwinność z powodu obniżenia

manewrowości operatora przez dodatkowe obciążenie, które wpływa na wykonywanie czynności taktycznych i może powodować zwiększenie śmiertelności i zagrozić tym samym sukcesowi operacji (Joseph i wsp. 2018). Wysoka zmienność międzyosobnicza na obciążenie zewnętrzne niesie poważne konsekwencje w podatności na ostrzał na polu bitwy zarówno przy zrywaniu kontaktu, jak i prowadzeniu natarcia, stąd krytyczne znaczenie ma dokładne opracowanie planu treningowego odpowiadającego potrzebom żołnierzy w maksymalnej skuteczności wykonywania czynności taktycznych w walce (Billing i wsp. 2015). Wśród takich zaleceń znajdują się: adaptacja ćwiczeń nerwowo-mięśniowych (równoważnych, czucia głębokiego, zwinnościowych), siłowych w celu wzmocnienia tkanek i zwiększenia sprawności oraz ukierunkowane programy treningowe specyficznym dobranej do danej grupy odbiorców (Cocke i Orr 2015). Obniżenie manewrowości żołnierza przyczynia się do zwiększenia ekspozycji na ostrzał przeciwnika (Billing i wsp. 2015). Jak wskazują Funk i wsp. (2018) szczególne znaczenie dla skuteczności wojskowej ma optymalne funkcjonowanie kończyn dolnych i w tym celu wdrożono do armii izraelskiej specjalny program ćwiczeń równoważnych i czucia głębokiego, który „zwiększa wydajność bojową” żołnierzy.

Uważa się, że należy rozważyć większe zróżnicowanie używanych metod, intensywności i objętości treningowej w programie szkolenia żołnierzy (Kyröläinen i wsp. 2018). Autorzy ci wskazują również na konieczność periodyzacji programów treningowych, a w konsekwencji także podział na okresy stopniowego zwiększania obciążeń treningowych oraz roztrenowania organizmu. Projektowanie i implementacja najbardziej efektywnych rozwiązań treningowych nie jest już tylko domeną rywalizacji między poszczególnymi sztabami trenerskimi wyczynowych sportowców, przeniosła się w sferę bezpieczeństwa, tj. odbiorców wojskowych, zarówno w kontekście badań naukowych, jak i wdrażania nowych metod treningowych. Brakuje jednakże opracowań dotyczących rozwijania umiejętności równoważnych, decydujących o stabilności postawy strzeleckiej, stąd potrzeba konstrukcji i weryfikacji efektywności takiego programu.

1.2 Kontrola równowagi ciała

Ciało człowieka utrzymującego równowagę w postawie stojącej pozornie wydaje się nieruchome, jednakże postawa dwunożna jest z natury niestabilna, co jest związane z budową anatomiczną ludzkiego ciała, składającego się z wielu elastycznych segmentów (Masani i wsp. 2006). Kontrola równowagi jest zależna od złożonej interakcji mechanizmów fizjologicznych, przetwarzania informacji pochodzących z układów sensorycznych zgodnie z wewnętrznymi schematami ciała, celami, czynnikami poznawczymi oraz wcześniejszym doświadczeniem (Ivanenko i Gurfinkel 2018). Utrzymywanie postawy stojącej wymaga zrównoważenia niestabilności całego ciała w obrębie podstawy podparcia, a z powodu wielosegmentowej budowy ciała proces dyktuje potrzebę skoordynowanej aktywności wielu elementów ciała (m.in. mięśni, stawów) (Hsu i wsp. 2007; Boonstra i wsp. 2013). Niewielkie odchylenie od idealnej pozycji pionowej tworzy destabilizujący moment obrotowy, któremu musi być przeciwstawiony korekcyjny moment obrotowy, aby pozycja stojąca została utrzymana (Peterka 2002). Dlatego utrzymywanie równowagi postrzegane jest przez badaczy, jako ciągły proces wytracania i odzyskiwania stanu równowagi z powodu destabilizującego działania kołysania ciała (ang. body sway), związanego z ciągłym przemieszczaniem się ogólnego środka masy ciała (COM – ang. center of mass) względem punktu referencyjnego w obszarze stabilności znajdującego się w obrębie podstawy podparcia (Sobera 2010; Błaszczyk 2016). Należy wyjaśnić, iż kontrola równowagi oraz kontrola posturalna, choć z natury ze sobą połączone, wykazują inne podstawy nerwowo-mięśniowe (Ivanenko i Gurfinkel 2018). Jak wskazują ci autorzy, kontrola posturalna określa toniczny rozkład aktywności mięśni w celu utrzymania postawy, natomiast kontrola równowagi odpowiada na zaburzenia wewnętrzne i zewnętrzne w celu zachowania i / lub odzyskania stanu równowagi. Shumway-Cook i Woollacott (2007) dzielą dodatkowo równowagę na statyczną, polegającą na utrzymywaniu stabilnej pozycji podczas wykonywania zadań statycznych, oraz równowagę dynamiczną, polegającą na utrzymywaniu stabilnej pozycji podczas wykonywania zadań dynamicznych.

Klasycznym warunkiem utrzymania równowagi w danej postawie jest kontrolowanie przemieszczającego się COM w granicach pola powierzchni podparcia (BOS – ang. base of support), co jest utrudnione z powodu stosunkowo niewielkiego pola powierzchni podparcia oraz stosunkowo wysokiego położenia COM i jego wysunięciem do przodu, względem stawów skokowych, rzutem pionowym (Trew i Everett 2005; Havens i wsp. 2018). Pole powierzchni podparcia wyznacza obwód stóp oraz obszar znajdujący się pomiędzy nimi, jest to zarazem mechaniczna granica stabilności ciała. Jednakże rzeczywiste granice stabilności są wysoce zindywidualizowane oraz zależne od wykonywanego zadania ruchowego. Są także oddzielone marginesem stabilności, który wskazuje kiedy wymagane jest uruchomienie strategii kontroli równowagi, aby uniknąć upadku (Juras i wsp. 2008; Słomka i wsp. 2020). Aby oszacować położenie COM wymagane są skomplikowane i dokładne pomiary przemieszczeń wszystkich segmentów ciała w odniesieniu do modelu antropometrycznego (Winter i wsp. 1998; Golema 2002). Położenie punktu COM jest kontrolowane przez nadążne, wtórne i o wyższej częstotliwości względem przemieszczeń COM, przemieszczenia punktu nacisku stóp na podłoże (COP – ang. center of pressure). COP jest punktem przyłożenia wypadkowej siły reakcji podłoża (Winter i wsp. 1998; Kuczyński 2003; Sobera 2010; Morasso i wsp. 2019; Morasso 2020). Przemieszczenia COP odzwierciedlają reakcję Ośrodkowego Układu Nerwowego na przemieszczenia COM. Przebieg przemieszczeń COP jest wypadkową sił bezwładności ciała i sił przywracających równowagę, jest w zasadzie sumą położenia rzutu pionowego COM oraz punktu przyłożenia wypadkowej sił sterujących i wynika z działań korekcyjnych mięśni posturalnych. Działania korekcyjne mięśni posturalnych mają za zadanie nie dopuścić do opuszczenia przez COM granic pola podparcia (BOS) (Winter i wsp. 1998; Golema 2002; Kuczyński 2003; Juras i wsp. 2008).

Momenty sił korygujące przemieszczenia COM powstają dzięki aktywnym mechanizmom kontroli sprzężenia zwrotnego efektorów, tj. aktywności mięśni oraz właściwości lepkosprężystych mięśni i ścięgien oddziałujących głównie na stawy skokowe na

podstawie bodźców uzyskiwanych z wyspecjalizowanych układów sensorycznych (Peterka i Loughlin 2004; Morasso 2020). Informacje pochodzące z receptorów wzrokowych, przedsionkowych, proprioceptywnych (wraz z mechanoreceptorami skórnymi) są przekazywane i przetwarzane w Ośrodkowym Układzie Nerwowym (OUN), który na bieżąco monitoruje położenie ciała (COM) i reaguje na wszelkie odchylenia od normy (błędu między przewidywanym a rzeczywistym położeniem segmentów ciała w przestrzeni), wykorzystując zintegrowane bodźce pochodzące z wielu układów sensorycznych (Chiba i wsp. 2016; Ivanenko i Gurfinkel 2018; Carini i wsp. 2017).

Wśród badaczy panuje pogląd, że udział układów sensorycznych w procesie kontroli równowagi jest zmienny, co określa się mianem „ważenia sensorycznego”, w zależności od dostępności i jakości uzyskiwanych bodźców z receptorów wejściowych (Peterka 2002; Assländer i Peterka 2014). Interpretacja bodźców sensorycznych ze wszystkich segmentów ciała jest niezbędna do wytworzenia wzorca aktywacji mięśni w postaci spójnego zestawu synergii mięśniowych mających za zadanie ustabilizować pozycję wykorzystując dostępne odpowiedzi posturalne (Torres-Oviedo i Ting 2010; Chvatal i wsp. 2011). Torres-Oviedo i Ting (2007; 2010) wskazują na ograniczony zestaw synergii mięśniowych, które jako niezmiennie wzorce aktywacji wielu mięśni są łączone w celu wytworzenia złożonych wzorców aktywacji mięśni, tworzą moduły motoryczne odwzorowujące intencje ruchowe w działaniu. Według Torres-Oviedo i Ting (2010) jedynie rekrutacja synergii mięśniowych, a nie ich struktura, ulega zmianie pod wpływem dostarczanych informacji sensorycznych. Chvatal i wsp. (2011) wskazują, że te same synergie mięśniowe są rekrutowane w trakcie zachowań posturalnych o różnej dynamice ruchu, jednak ich rekrutacja jest determinowana przez wywołanie pożądanego kierunku przemieszczenia COM, a nie przez sam kierunek działania zaburzeń.

Podczas kontroli równowagi ciała w pozycji stojącej człowiek posługuje się określonymi strategiami posturalnymi. Podstawowymi strategiami posturalnymi jest strategia stawu skokowego oraz strategia stawu biodrowego (Creath i wsp. 2008). Gebel i wsp. (2019)

wskazują, że niski poziom destabilizacji można zrekompensować korzystając ze strategii stawu skokowego. Natomiast wraz ze wzrostem wymagań wobec systemu kontroli równowagi ciała następuje zmiana strategii postawy ze strategii stawu skokowego na strategię stawu biodrowego. Zatem w przypadku niewielkich odchyłeń ciało człowieka może być porównane do modelu wahadła odwróconego z osią obrotu na wysokości stawów skokowych (Golema 2002). Niniejsza teoria jest uzupełniana przez wyniki badań innych badaczy, jak wskazują Alexandrov i wsp. (2005) stawy skokowe, kolanowe i biodrowe stanowią skoordynowane „tryby własne”, przy czym ruchy w obrębie stawu kolanowego i stawu biodrowego mają istotny wpływ na kontrolę pozycji stojącej. Również Boonstra i wsp. (2013) wskazują, że przy zmniejszaniu powierzchni podparcia, zwiększa się udział stawu biodrowego w procesie kontroli równowagi. Z kolei Krishnamoorthy i wsp. (2005) uważają, że w strategii stabilizacji postawy stojącej skoordynowanych jest wiele stawów wzdłuż łańcucha kinematycznego, aby zminimalizować destabilizację spowodowaną przemieszczaniem COM. Wyniki badań Gebel i wsp. (2019) potwierdzają, że największy udział, na poziomie mięśniowym, w utrzymaniu kontroli równowagi ciała w pozycji stojącej odgrywają mięśnie okolicy stawu skokowego – mięśnie podudzia.

1.3 Poprawa kontroli równowagi ciała pod wpływem specyficznego treningu

Uprawianie sportu rozwija zdolności równoważne jednakże wpływ dyscyplin sportowych na poziom kontroli posturalnej jest zróżnicowany i zależy od specyfiki danej aktywności (Zemková 2014). Sportowcy wykazują mniejsze kołysanie postawy niż osoby, które nie trenują żadnego sportu (Kiers i wsp. 2013). Wyniki badań wskazują również na zróżnicowanie w jakości kontroli postawy na różnych etapach doświadczenia sportowego w obrębie jednej dyscypliny. Sportowcy uzyskujący najwyższe wyniki wykazują najlepszy poziom kontroli równowagi zarówno w postawie specyficznej, jak i niespecyficznej dla danego sportu (Paillard 2019). Wymagania stawiane przed zawodnikami poszczególnych dyscyplin sportowych, mające na celu doprowadzenie do mistrzostwa sportowego, prowadzą do

procesów adaptacji (Welch i Ting 2014) i zmiany wzorców koordynacyjnych (Marin i wsp. 1999). Wysoki poziom zaawansowania zawodniczego prowadzi do zwiększenia ekonomii procesu utrzymywania równowagi w specyficznych dla danego sportu pozycjach, również po zmianie źródeł informacji sensorycznej, wykorzystując efektywniej bodźce z pozostałych wyspecjalizowanych receptorów (Croix i wsp. 2010). Wymiar różnicy między osobami trenującymi a nietrenującymi zmniejsza się w miarę zmniejszania specyfiki danej pozycji (Marcolin i wsp. 2019). Utrzymanie równowagi podczas wykonywania czynności ruchowych ma zasadnicze znaczenie dla zachowania efektywności wykonania zamierzonego ruchu (Snyder i Cinelli 2020). Dlatego dyscypliny sportowe, które charakteryzują się wysoką precyzją wykonywania ruchów, wymagają od zawodników jak najbardziej stabilnej postawy ciała. Dzięki procesowi treningowemu możliwa jest, w pewnym stopniu, dobrowolna kontrola kołysania postawy (Reynolds 2010).

Wśród takich dyscyplin sportowych, których zawodnicy charakteryzują się lepszym, względem przedstawicieli innych sportów, poziomem kontroli równowagi ciała jest gimnastyka sportowa (Davlin 2004), a także strzelectwo sportowe (Schwesig i wsp. 2009; Herpin i wsp. 2010). Strzelcy sportowi wykazują istotnie lepszą kontrolę równowagi niż osoby nietrenujące, zarówno bez stroju strzeleckiego, jak i w samym stroju, który zwiększa stabilność przyjętej pozycji ciała. Strzelcy wykorzystują zwiększoną ilość sygnałów z układu czucia głębokiego i westybularnego dla stabilizacji postawy (Su i wsp. 2000). Doświadczeni strzelcy kontrolują równowagę w mniejszym stopniu polegając na bodźcach wzrokowych (gdyż wzrok jest zaangażowany w proces celowania), a bardziej na bodźcach proprioceptywnych i z receptorów narządu przedsionkowego (Su i wsp. 2000). Sadowska i wsp. (2019a) stwierdzili, że strzelcy – zawodnicy pięcioboju nowoczesnego - w mniejszym stopniu polegali na informacji wzrokowej podczas procesu kontroli równowagi niż osoby nietrenujące strzelectwa. Wśród strzelców zauważalny jest wpływ doświadczenia sportowego na jakość kontroli postawy strzeleckiej, a najbardziej doświadczeni strzelcy są w stanie intencjonalnie zmniejszyć poziom

wychwiał ciała przed oddaniem strzału (Era i wsp. 1996). Wyniki badań przeprowadzonych w innej postawie niż specyficzna dla treningu strzeleckiego - w postawie jednoonóż, wskazują na znacznie lepszą kontrolę posturalną, tj. mniejsze wychwiania ciała u strzelców w porównaniu do osób nietreningujących sportu strzeleckiego (Raffalt i wsp. 2020). Bardziej doświadczeni strzelcy karabinowi charakteryzują się większą stabilnością przyjętej postawy niż zawodnicy o mniejszym doświadczeniu (Hrysomallis 2011). Wyniki badań przeprowadzone na zawodnikach pięcioboju nowoczesnego oraz grupie kontrolnej wskazują, iż pięciobości dysponują lepszą kontrolą równowagi w postawie swobodnej niż nietreningujący (Sadowska i wsp. 2019a). Doświadczeni strzelcy dysponują większą stabilnością postawy niż osoby nietreningujące, podczas badania w postawie swobodnej o oczach otwartych jak i zamkniętych (Su i wsp. 2000). Stabilność postawy jest wynikiem kontroli położenia środka ciężkości przez układ nerwowy, który wybiera, adekwatną do charakterystyki bodźca destabilizującego, reakcję przywracającą równowagę (Błaszczuk 2004).

W procesie szkolenia strzelców bardzo istotne jest dwutorowe działanie w postaci rozwijania zarówno umiejętności technicznych związanych z procesem strzału jak i zdolności do odzyskiwania równowagi ciała - czyli stabilności (Błaszczuk 2004). Nieustannie poszukuje się jak najbardziej efektywnych metod służących poprawie jakości procesu kontroli równowagi ciała.

1.4 Celność strzału a stabilność postawy strzeleckiej

Postawa zawodnika strzelectwa sportowego jest przedmiotem wielu rozważań naukowych (Gulbinskienė i Skarbalius 2009; Hawkins i Sefton 2011; Ihalainen i wsp. 2016a; Ihalainen i wsp. 2018). Trening strzelca polega na oddawaniu strzału z broni strzeleckiej na określonych przez przepisy sportowe dystansach w określonych postawach strzeleckich. Strzelectwo sportowe jest specyficzną dyscypliną, która nie wymaga (cyt.) „uzdolnień motorycznych, gdyż występujące tu ruchy mają standardowy charakter o prostej strukturze i małym zróżnicowaniu” (Naglak 1987). Wymaga jednak wysokiego poziomu kontroli kołysania

postawy (Herpin i wsp. 2010) ponieważ badania strzelców sportowych wskazują na negatywny wpływ ruchów mimowolnych na skuteczność strzelecką (Lakie 2010). Jak piszą Kurzawski i Sobiech (1993), (cyt.) „strzelectwo sportowe wymaga przede wszystkim dużej precyzji ruchów oraz „ciągłej” stabilności postawy ciała, wykluczającej nierównowagę lub wystąpienie tremoru, a także skoncentrowanej uwagi w fazach przygotowania, celowania i oddawania strzału”. Charakter tej dyscypliny sportowej wymaga od strzelca wysokiej wrażliwości kinetycznej, wysokiej wydajności procesu utrzymywania i odzyskiwania stanu równowagi ciała oraz wrażliwości kinestetycznej (Łysiak i Filipkowski 2005).

Proces oddawania strzału z broni strzeleckiej jest wysoce złożony, w którym istotna jest koordynacja informacji wzrokowych, kontroli równowagi w określonych postawach strzeleckich oraz pracy na języku spustowym broni (Ihalainen i wsp. 2016a). W związku z postępowaniem wyników, jaki charakteryzuje sport wyczynowy (Migasiewicz 2006) badacze i praktycy strzelectwa dostrzegają potencjał kryjący się w przygotowaniu fizycznym strzelca (Wodnik 2007), a także wyodrębniają czynniki mające wpływ na skuteczność strzelecką (cyt.): „utrzymanie statycznej postawy strzeleckiej, dostosowanie faz oddychania do wymogu utrzymania takiej postawy z zapewnieniem bezruchu klatki piersiowej w czasie celowania, utrzymanie przemieszczeń punktu wycelowania broni w zadanym rejonie celowania, powtarzanie przebiegu zmian siły nacisku palca na język spustowy (szczególnie w końcowej jego fazie), wyzwalenie strzału w fazie pomiędzy uderzeniami tętna, synchronizacja tych elementów złożenia z bronią w przedziale czasu wystarczającym dla oddania celnego strzału” (Kurzawski i wsp. 2011). Problematyka czynników warunkujących skuteczność strzelecką, jest zagadnieniem złożonym ze względu na zależność od „całego szeregu czynników, z których każdy stanowi warunek konieczny, ale niewystarczający” (Żyła 2003).

Myśl analityczna czynników warunkujących skuteczność strzelecką ewoluuje, autorzy opracowań dotyczących skuteczności strzeleckiej wskazują całe szeregi czynników, które wpływają na celność strzału. Wasilewski (1977) w swojej pozycji o skutecznym strzelaniu

wskazuje na elementy, które składają się na pojedynczy strzał, wyróżniając 21 z nich, w tym m.in. postawę strzelecką, przykładanie broni do postawy strzeleckiej, położenie ciężaru broni w stosunku do ciała, położenie kolby przy różnych postawach czy położenie głowy, które to elementy mają wpływ na statykę przyjętej postawy. Żyła (2003) wyróżnia 7 czynników, które mają istotny wpływ na technikę strzelania, wskazując na nierozzerwalne połączenie postawy strzeleckiej i trzymania broni, zaznaczając jednocześnie, że wszystkie wyróżnione czynniki muszą być wzajemnie skoordynowane. Z kolei Depa (2014) szereguje czynniki zmniejszające celność strzału na 4 grupy, tj.: (1) czynniki ludzkie – w tym niestabilna postawa strzelecka, a także (cyt.): „niewłaściwe trzymanie broni, niewystarczająca stateczność broni, niewłaściwy punkt celowania, niewłaściwe zgranie przyrządów celowniczych, niewłaściwe ściąganie języka spustowego, niewłaściwa koordynacja oddechu, przedłużające się celowanie, zamykanie oczu przed oddaniem strzału, naprowadzanie linii celowania siłą mięśni”; (2) czynniki związane z wadami broni, (3) czynniki pogodowe, a także (4) błąd nastaw celowniczych.

Postawa strzelecka wraz z trzymaniem broni tworzy układ (spoiwo wg autora) pozwalające dokładnie skierować broń w rejon celowania oraz precyzyjnie wykonać wszystkie czynności związane z oddaniem strzału (Żyła 2003). Nie ma jednak jednoznacznych wyników odnośnie procentowego wpływu poszczególnych składowych na wypadkową - efekt celnego strzału. Dotychczas przeprowadzone badania naukowe nie wskazują na jednoznaczny bezpośredni wpływ postawy strzeleckiej na skuteczność strzelecką (Ihalainen i wsp. 2016a). Jak sugerują praktycy strzelectwa, kontrola posturalna odgrywa zasadnicze znaczenie w procesie prowadzenia ostrzału z broni strzeleckiej. Badania naukowe mające na celu wskazanie najważniejszych czynników determinujących skuteczność strzelecką są prowadzone nieprzerwanie od lat 80-tych poprzedniego stulecia. Wykazano zależność skuteczności strzeleckiej od wielu grup czynników, w tym tremoru mięśniowego (Lakie 2010), siły chwytu broni (Yapici i wsp. 2018), czynności układu nerwowego (Gong i wsp. 2018; Zhang i wsp. 2019), czynności układu krążeniowo-oddechowego (Ortega i Wang 2018; Gallicchio i wsp.

2019), kontroli wzrokowej (Di Russo i wsp. 2003), koordynacji oko-ręka (Starkes i wsp. 2002), koordynacji kompleksu ręka-pistolet (Tang i wsp. 2008), stabilności prowadzenia wylotu lufy (Causer i wsp. 2010), szeregu umiejętności technicznych jak: czas celowania, stabilność broni, czystość pracy na języku spustowym, dokładność i stabilność celowania, koordynacja pracy na języku spustowym z oddaniem strzału czy doświadczenie (Pellegrini i Schena 2005; Mononen i wsp. 2007; Ihalainen 2016a; Ihalainen i wsp. 2018), a także charakterystyki przyjętej postawy strzeleckiej (Hawkins i Sefton 2011; Hawkins 2013; Sattlecker 2017). Jednakże problem bezpośredniego wpływu kontroli równowagi ciała na celność strzału nie jest dobrze udokumentowany i wyniki badań są ze sobą sprzeczne (Mason i wsp. 1990; Ihalainen i wsp. 2016a).

1.5 Efektywność strzelecka a kontrola równowagi postawy strzeleckiej

Choć liczbowe określenie wpływu poziomu równowagi ciała na skuteczność strzelecką jest niezwykle trudne i niejasne w świetle naukowej literatury (Mon i wsp. 2015), to wśród praktyków i badaczy panuje zgoda, że wyższy poziom kontroli równowagi prowadzi do lepszych wyników strzeleckich (Herpin i wsp. 2010), a poziom równowagi strzelca jest istotnie związany z celnością strzelania z karabinu (Hrysomallis 2011).

Wielu badaczy wskazuje na bezpośredni wpływ poziomu kontroli równowagi i zależności kontroli kołysania ciała z wynikiem strzelania (Mason i wsp. 1990; Ball i wsp. 2003; Mon i wsp. 2014), zwłaszcza wśród początkujących strzelców (Era i wsp. 1996; Mononen i wsp. 2007). Według niektórych naukowców wymiar kołysania ciała we wszystkich kierunkach jest najważniejszym czynnikiem związanym z celnością strzału z pistoletu (Mason i wsp. 1990). W przypadku strzelania z karabinu wykazano bezpośredni wpływ kołysania ciała na wynik strzelecki u większości przebadanych strzelców (Ball i wsp. 2003). Autorzy ci wskazują zależność polegającą na zmniejszaniu się celności strzałów w miarę zwiększania się wymiaru kołysania ciała w przyjętej postawie strzeleckiej.

Poziom kontroli równowagi ciała i poziom umiejętności strzeleckich są ze sobą powiązane (Hrysomallis 2011). Przyjęcie postawy strzeleckiej – innej niż naturalna pozycja stojąca - wpływa na zwiększenie kołysania ciała w porównaniu do postawy swobodnej (Niinimaa i McAvoy 1983). Postawa strzelecka zawodników o mniejszych umiejętnościach charakteryzuje się większą zmiennością (Ko i wsp. 2018), natomiast doświadczeni strzelcy wykazują istotnie mniejsze wychylenia ciała (Niinimaa i McAvoy 1983; Ko i wsp. 2017). Obserwuje się istotny związek między kołysaniem ciała a wynikiem strzeleckim (Ball i wsp. 2003). Bardziej doświadczeni strzelcy pistoletowi wykazują silniejsze powiązanie kontroli równowagi z ruchami kończyny górnej, i tym samym pistoletu, względem nowicjuszy (Ko i wsp. 2017). Kontrola posturalna wspomaga stabilność kompleksu ruchowego ramię-pistolet (Ko i wsp. 2018). Jak wynika z badań Tang i wsp. (2008) bardziej doświadczeni strzelcy wykazują mniejszy zakres wychwiań ciała w kierunku przyśrodkowo-bocznym w porównaniu do kierunku przednio-tylnego względem mniej doświadczonych strzelców, skąd można wnioskować, że drżenie posturalne jest związane z umiejętnościami strzelca.

Bezpośredni związek równowagi ciała i skuteczności strzelania pozostaje wciąż niejasny, niektóre badania wskazują na mały wpływ kontroli równowagi, która odpowiada za mniej niż 1% zmienności wyniku strzeleckiego (Ihalainen i wsp. 2016a). Wśród wielu czynników mających wpływ na celność strzału, to umiejętność stabilizacji broni wraz z kontrolą orientacji lufy względem celu wydaje się być najważniejsza (Scholz i wsp. 2000; Pellegrini i Schena 2005; Mononen i wsp. 2007). Wykazano zależność między kołysaniem ciała i ruchem broni (Mason i wsp. 1990; Ball i wsp. 2003; Mononen i wsp. 2007; Ihalainen i wsp. 2016a; Sattlecker i wsp. 2017; Sadowska i wsp. 2019b), który z kolei skutkuje mniejszą stabilnością broni strzeleckiej i wpływa na pracę na języku spustowym (Sattlecker i wsp. 2017).

Stabilność broni jest istotnym elementem wpływającym na skuteczność strzelecką (Zatsiorsky i Aktov 1990; Ihalainen i wsp. 2016a), i jak sugerują Gulbinskiene i Skarbalius (2009) wynika z poziomu kontroli równowagi statycznej. Mononen i wsp. (2007) wskazują na

pośredni wpływ stabilności postawy strzeleckiej na celność strzelania poprzez zwiększenie stabilności broni. Kontrola równowagi ciała, zwłaszcza w kierunku strzelania, jest związana z minimalizacją ruchu broni w kierunku pionowym oraz „czystością” pracy na języku spustowym (rozumianą jako ruch punktu celowania na 0,2 sekundy przed oddaniem strzału). Komponenty te są najbardziej istotne zarówno przy strzelaniu w warunkach normalnego treningu, jak i zmęczenia (Ihalainen i wsp. 2018). System kontroli równowagi poprzez swoje skoordynowanie z ruchami ramion w celu minimalizacji ruchów pistoletu, jest krytycznym czynnikiem kontroli ruchu ramienia podczas precyzyjnego celowania z pistoletu (Ko i wsp. 2017). Zatsiorsky i Aktov (1990) wskazują na zmniejszenie zmienności punktu celowania związane z większym poziomem umiejętności strzeleckich, które jest częściowo osiągnane poprzez kompensacje ruchu broni, a także minimalizację losowego błędu w czynności celowania. Ball i wsp. (2003) również wskazują zmienność punktu celowania, jako ważny czynnik w celności strzelania z karabinu, który jest związany z wymiarem kołysania ciała strzelca. Mniejsze kołysanie ciała wiąże się z większą stabilnością broni i mniejszym kołysaniem wylotu lufy oraz większą stabilnością kończyny górnej podczas celowania z pistoletu (Ko i wsp. 2017).

W strzelaniu z pistoletu pneumatycznego, według Mason i wsp. (1990), kołysanie ciała w kierunku do i od celu jest najważniejszym czynnikiem związanym z rozrzutem przestrzelin w linii pionowej, odpowiedzialnym za 40% rozbieżności wyniku strzeleckiego. Z kolei ok. 37% rozrzutu przestrzelin w linii poziomej wynika z niekontrolowanych ruchów pistoletu w kierunku przyśrodkowo-bocznym. Mason i wsp. (1990) wskazują również, że ruchy ciała oraz ruch broni odpowiadają za 53% rozbieżności wyniku strzeleckiego, z czego aż 30 punktów procentowych jest związane z poruszaniem się ciała. Zachwiania stabilności pistoletu są drugim, pod względem ważności, czynnikiem wpływającym na celność strzału, który odpowiada za 13% rozbieżności wyniku strzeleckiego (Mason i wsp. 1990). Ball i wsp. (2003) wskazują, że w strzelaniach karabinowych wszyscy przebadani elitarni strzelcy wykazali zależność między kołysaniem ciała a zmiennością punktu celowania, a u 66% badanych

wykazano bezpośrednią zależność między kołysaniem ciała a wynikiem strzelania. Pellegrini i Schena (2005) wskazują na prawdopodobieństwo odpowiedzialności kołysania ciała za przemieszczenia broni w linii poziomej względem celu, natomiast przemieszczenia broni w linii pionowej względem celu mogą wynikać z ruchów ramienia oraz nadgarstka. Z kolei Mononen i wsp. (2007) szacują, na podstawie przeprowadzonych badań na zawodnikach konkurencji karabinu pneumatycznego, że wskaźnik stabilności ciała, jakim jest prędkość przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym oraz odchylenie punktu celowania w osi poziomej celu odpowiadają za 26% rozbieżności wyniku strzelania. W strzelaniu z karabinu pneumatycznego wśród komponentów, które odpowiadają za 81% wariacji wyniku strzelania, tj. „czystości” pracy na języku spustowym, dokładności celowania, koordynacji pracy na języku spustowym znajduje się stabilność chwytu broni (Ihalainen i wsp. 2016a). Kontrola równowagi w konkurencji karabinu pneumatycznego wzdłuż kierunku strzelania jest związana z „czystością” pracy na języku spustowym, natomiast w poprzek linii celowania jest bardziej związana ze stabilnością chwytu (Ihalainen i wsp. 2016b).

Analizowane badania dotyczyły różnych dyscyplin strzelectwa sportowego jak strzelania z pistoletu, karabinu czy strzelby gładkolufowej, oraz sportów, w których jednym z elementów jest strzelanie z broni strzeleckiej: biathlon oraz pięciobój nowoczesny. Charakterystyka wymienionych sportów jest odmienna, jednakże ogólne zalecenia wskazują na potrzebę rozwijania zdolności kontroli równowagi u strzelców na każdym poziomie doświadczenia, nawet tych elitarnych, co skutkuje polepszeniem wyników strzeleckich (Krasilshchikov i wsp. 2007; Mononen i wsp. 2007; Gulbinskiene i Skarbalius 2009; Sattlecker i wsp. 2013; Sattlecker i wsp. 2014; Ihalainen i wsp. 2016b; Ihalainen i wsp. 2018).

1.6 Trening równowagi

Wprowadzanie ćwiczeń równoważnych do jednostki treningowej nie jest już tylko domeną programów dla osób starszych, mających na celu zapobieganie upadkom, czy rehabilitacji po urazach narządu ruchu, a staje się powszechne również wśród sportowców, zarówno tych wyczynowych, jak i rekreacyjnych (Lesinski i wsp. 2015a; Brachman i wsp. 2017). Jednakże konstruowanie programu ćwiczeń równoważnych stwarza problemy, ponieważ jak wskazują Kümmel i wsp. (2016) nie ustalono, jakie warunki treningowe mogą najefektywniej wpłynąć na zwiększenie stabilności posturalnej. Lesinski i wsp. (2015a) również wskazują na brak jasnych wytycznych dotyczących optymalnych parametrów dla konstrukcji programu ćwiczeń równoważnych. Natomiast zdaniem Gebel i wsp. (2019), podstawowym warunkiem uzyskania skuteczności treningu równowagi jest określenie optymalnej kombinacji i dawki modalności treningowych, rozumianych, jako m.in. okres treningu, częstotliwość, objętość czy intensywność treningu.

DiStefano i wsp. (2009) wskazują, że czas trwania programu ćwiczeń równoważnych nie powinien być krótszy niż 4 tygodnie. Kaliranthiam i wsp. (2016) donoszą z kolei, że trening równoważny powinien trwać nie mniej niż 6 tygodni, natomiast Brachman i wsp. (2017) wskazują na czas trwania nie krótszy niż 8 tygodni. Istnieje wiele badań wykazujących poprawę kontroli równowagi, które trwały krócej niż 8 tygodni, z najistotniejszych: Beck i wsp. (2007), Cuğ i wsp. (2016), Freyler i wsp. (2016) oraz Krause i wsp. (2018) – wszystkie o czasie trwania 4 tygodni, z kolei Giboin i wsp. (2019) sugerują, że zastosowany przez niego 6-tygodniowy program mógł być zbyt krótki i nie wywołał zgeneralizowanych efektów. Jest to zgodne ze wskazaniami Zech i wsp. (2014) sugerującymi dłuższy czas trwania programu niż 6 tygodni. Z kolei McLeod i wsp. (2006) już po 6 tygodniach uzyskali poprawę parametrów stabilności. Natomiast Lesinski i wsp. (2015a) oraz Gebel i wsp. (2018) postulują, że programy treningowe trwające od 11 do 12 tygodni wydają się wykazywać największą skuteczność. Zech i wsp.

(2014) przypuszczają, iż dłuższy okres treningu mógłby doprowadzić do większych i bardziej klarownych efektów treningowych.

Częstotliwość wykonywania jednostek treningowych w przyjętym, trwającym 7 dni, mikrocyklu została określona na 3 razy w tygodniu. Brachman i wsp. (2017) oraz Gebel i wsp. (2018) wskazują na częstotliwość wykonywania treningu nie mniejszą niż 2 razy w tygodniu, natomiast DiStefano i wsp. (2009) oraz Lesinski i wsp. (2015a) - 3 razy w tygodniu, jako najbardziej skuteczną, co potwierdzają badania Cuğ i wsp. (2016). Lesinski i wsp. (2015a) wykazali, że stosowanie ćwiczeń 2 razy lub 4 razy w tygodniu nie przyniosło więcej korzyści od 3 razy w tygodniu. Według Gioftsidou i wsp. (2013) to łączna liczba jednostek treningowych odgrywa kluczowe znaczenie i wskazuje, że program powinien zawierać co najmniej 18 jednostek treningowych, Lesinski i wsp. (2015a) wskazują liczbę powyżej 16 natomiast Gebel i wsp. (2018) od 24 do 36 jednostek treningowych.

Jednym z głównych założeń niniejszej pracy była możliwość wprowadzenia w formie modułowej opracowanego programu (w przypadku stwierdzenia jego skuteczności) do toku zajęć zarówno wychowania fizycznego jak i treningu strzeleckiego w jednostkach wojskowych. Podobnie Granacher i wsp. (2010a) wprowadzili moduł treningu równowagi, jako część jednostki wychowania fizycznego w liceum. Jednakże, jak wskazują Brachman i wsp. (2017) większość badaczy, którzy uzyskali poprawę równowagi, stosowało trening w formie całej jednostki treningowej. Chociaż niektórzy, jak Granacher i wsp. (2010a), uzyskali poprawę kontroli posturalnej po umiejscowieniu ćwiczeń równoważnych w części rozgrzewki (Brachman i wsp. 2017). Brachman i wsp. (2017) wskazują, że nie ma ustalonego standardu trwania pojedynczego treningu równowagi, a rozrzut waha się od krótkich 10-20 minutowych sesji, po całe jednostki treningowe trwające 45 minut i więcej. Jednakże, DiStefano i wsp. (2009) wskazują, że pojedynczy trening powinien trwać nie mniej niż 10 minut, z kolei Lesinski i wsp. (2015a) określili ramy czasowe w przedziale od 11 do 15 minut, jako najbardziej efektywne pod względem poprawy równowagi statycznej. McLeod i wsp. (2009) zastosowali

10 minutowy trening, Freyler i wsp. (2016) oraz Krause i wsp. (2018) zastosowali trening 20 minutowy, a w programie Cuğ i wsp. (2016) jednostka treningowa równowagi trwała 30 minut. We wszystkich przytoczonych badaniach uzyskano poprawę parametrów kontroli równowagi ciała. Jednakże, Lesinski i wsp. (2015a) donoszą, iż czas trwania powyżej 15 minut nie przynosi dodatkowych korzyści.

Beck i wsp. (2007), Lesinski i wsp. (2015a) oraz Freyler i wsp. (2016) wskazują na optymalny dobór 4 ćwiczeń w obrębie jednostki treningowej. Gebel i wsp. (2018) sugerują łączny czas pracy nad daną modalnością treningową w wymiarze między 4 a 15 minut podczas jednej jednostki treningowej.

Określenie intensywności stosowanego treningu równowagi stwarza trudności, co wydaje się wynikać z faktu, iż kontrola postawy wynika z potencjału neuronalnego a nie energetycznego (Gebel i wsp. 2019). Błędnie wykorzystywano dotychczas ocenę postrzeganego wysiłku do określenia dawki ćwiczeń równoważnych, gdyż mierzą one wysiłek a nie intensywność (Gebel i wsp. 2019). Gebel i wsp. (2018) postulują, że intensywność treningu oraz trudność zadań równoważnych mogą być wskaźnikiem dla przewidywania skuteczności treningu równoważnego, jednakże jak wskazują Farlie i wsp. (2018) brakuje narzędzi do ilościowego określenia intensywności treningu równowagi. Stąd modalność trudności ćwiczeń równoważnych wydaje się być obiecująca w kwestii zastąpienia określenia intensywności treningu równowagi, z powodu łatwości modyfikacji za pomocą manipulacji podstawą podparcia oraz bodźcami sensorycznymi (Gebel i wsp. 2019).

Brachman i wsp. (2017) oraz Lesinski i wsp. (2015a) wskazują, że autorzy badań przeważnie stosowali progresję trudności wykonywanych ćwiczeń. Zwiększanie trudności wykonania danego ćwiczenia stawia wymóg dokładniejszego dostosowania segmentów ciała, aby COM znajdował się w ramach powierzchni podparcia (Anderson i Behm 2005). Autorzy publikacji proponują zwiększanie trudności, która spowoduje zwiększenie wymiaru zaburzeń

postawy, za pomocą: zmniejszenia powierzchni podparcia (np. poprzez zmianę strukturalną podparcia z postawy obunóż do postawy jednonóż), ograniczenie dopływu informacji sensorycznych (np. poprzez wyłączenie dopływu bodźców wzrokowych), zmianę charakterystyki powierzchni podparcia (np. wykorzystanie niestabilnego podłoża). Utrudnianie kontroli równowagi ciała stawia wyższe wymagania przy wykorzystaniu informacji somatosensorycznych, a także kombinacji wymienionych zabiegów (Muehlbauer i wsp. 2012; Gebel i wsp. 2020). Cuğ i wsp. (2016) badali zależności między modelem zwiększania trudności ćwiczenia opartym na ilości błędów (podejście indywidualne, polegające na zwiększaniu trudności po uzyskaniu sprawności w wykonywanym zadaniu) oraz modelem opartym na ilości powtórzeń (podejście systemowe, polegające na zwiększaniu trudności po wykonaniu założonej ilości powtórzeń). Choć Cuğ i wsp. (2016) wskazywali, że teoretycznie model oparty na ilości błędów powinien być bardziej wydajny pod względem adaptacji treningowych systemu czuciowo-ruchowego ze względu na dostosowany indywidualnie czas wykonywania zadań o określonej trudności, to wyniki badań wykazały, że oba modele są zbliżone pod względem uzyskania efektów treningowych. Cuğ i wsp. (2016) wskazują, że indywidualne dopasowanie trudności może pozwolić na rozwój lepszych zachowań kompensujących bodźce destabilizujące. Rothermel i wsp. (2004) indywidualnie dobierali trudność ćwiczenia na podstawie testu poziomu z wyznaczonymi kryteriami. Progresa odbywała się systemem "error-based", czyli po wykonaniu bezbłędnie danego poziomu ćwiczeń, ćwiczący zmieniał poziom trudności. Rozwiązania treningowe polegające na indywidualnie dopasowanej progresji trudności posiadają jednak podstawową wadę, mianowicie wymagają one większego nadzoru przeszkolonego instruktora.

Kolejnym istotnym czynnikiem faworyzującym podejście indywidualne jest poziom wytrenowania osób badanych. Zarówno w badaniach Cuğ i wsp. (2016) jak i Vera-Garcia i wsp. (2020) z jednej strony odnotowano osoby bardziej wytrenowane, np. z lepszą kontrolą ruchów tułowia, które reagowały w mniejszym stopniu na wariacje stosowanych ćwiczeń, czy

awansujące w poziomie trudności na każdej sesji treningowej. Z drugiej strony były osoby, dla których nawet najłatwiejsze ćwiczenia okazały się zbyt trudne i nie pozwoliły na progresję trudności. Maitre i Paillard (2016) twierdzą, że osoby aktywne fizycznie mogą lepiej identyfikować dane sensoryczne, co poprzez lepszą integrację centralną umożliwi szybsze przełączanie się między udziałami sensorycznymi w wyniku procesu „ponownego przetwarzania sensorycznego”. Lesinski i wsp. (2015a) uważają poziom wytrenowania za najważniejszą determinantę skuteczności treningu równowagi oraz dowodzą, iż największe efekty treningowe zostały uzyskane u najlepiej wytrenowanych sportowców, przyczyn upatrując w wyższym potencjale Centralnego Układu Nerwowego do adaptacji. Z kolei Gebel i wsp. (2018) wskazują, że trening równowagi jest wysoce skuteczny w poprawie kontroli posturalnej niezależnie od poziomu wytrenowania.

Jak wskazują Brachman i wsp. (2017), wielu autorów stosuje mieszane bodźce treningowe, aby wpłynąć na wszystkie aspekty kontroli nerwowo-mięśniowej, np. zmiany podłoża ze stabilnego na niestabilne. Im bardziej zmienne i złożone są bodźce treningowe, tym więcej systemów kontroli postawy jest zaangażowanych i tym większe jest spektrum trenowanych schematów odpowiedzi (Freyler i wsp. 2016). Według Lesinski i wsp. (2015a) najbardziej efektywne jest projektowanie programów treningowych z dużą różnorodnością ćwiczeń, co jest spowodowane przez wysoką specyficznością adaptacji wywołanych przez stosowane ćwiczenia oraz niską korelację między poszczególnymi rodzajami równowagi, tj. statyczną, dynamiczną, proaktywną, reaktywną (Muehlbauer i wsp. 2012, 2013). Stosowane zazwyczaj treningi równoważne wykorzystują sprzęt, który wprowadza warunki niestabilności do wykonania ćwiczenia, tj. piankowe maty, dyski sensoryczne, piłki szwajcarskie, BOSU (ang. Both Sides Utilized – przyrząd do ćwiczenia równowagi, półpiłka o płaszczyźnie wypukłej z jednej strony a płaskiej z drugiej), „wobble boards” („niestabilne deski”), deski z jedną płaszczyzną ruchu czy specjalistyczne trenażery (DiStefano i wsp. 2009; Brachman i wsp. 2017). W strzelectwie sportowym również wykorzystywane są ćwiczenia polegające na

utrzymywaniu postawy strzeleckiej z jednoczesnym zgrywaniem przyrządów celowniczych w zmienionych warunkach, np. stojąc na dyskach sensorycznych. Cox i wsp. (1993) wskazują, że wykonywanie ćwiczeń na stabilnym podłożu pozwala na dokładną kontrolę nad procesem treningowym, tj. bardziej efektywny trening, w którym ćwiczący czują, że wykonywane ćwiczenie stopniowo staje się łatwiejsze. Natomiast jak wskazują Burdet i wsp. (2011) ćwiczenia wykonywane jednonóż mają wpływ na kontrolę równowagi w postawie obunóż. Gonçaves i wsp. (2020) podają, że trening na stabilnym podłożu skutkuje podobnymi wynikami w poprawie równowagi jak ćwiczenia na niestabilnym podłożu, jednakże pomiary równowagi w jego badaniu nie odbywały się za pomocą platform sił. Dobór ćwiczeń miał zapewnić różnorodność bodźców treningowych, które można podzielić na 3 kategorie: dynamiczne ruchy kończyn z jednoczesnym utrzymaniem statycznej pozycji, ćwiczenia dystalnych segmentów ciała oraz ćwiczenia proksymalnych segmentów ciała. Ćwiczenie w postawie równoważnej stojąc (ang. tandem stance – stopy ustawione w jednej linii w pozycji wykroczo-zakroczonej) miało na celu wywołanie przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym ze zwiększoną aktywnością mięśni w kończynie zakroczonej według wyników badań Sozzi i wsp. (2013). Sozzi i wsp. (2013) wskazują na podział pracy w mięśniach utrzymujących tę postawę, tj. mięśnia płaszczkowatego, którego główne zadanie polega na utrzymaniu postawy wyprostowanej oraz mięśni strzałkowych i piszczelowego przedniego, które głównie stabilizują w płaszczyźnie czołowej. Taube i wsp. (2006) określają mięsień płaszczkowaty, jako kluczowy dla kompensacji zaburzeń postawy. Dodatkowo do ćwiczenia wprowadzono zaburzenie układu przedsionkowego, co, jak podają Appiah-Kubi i Wright (2019), niesie pozytywne efekty treningowe w optymalizacji zadań związanych z równowagą. Anderson i Behm (2005) wskazują, że stabilność tułowia jest istotnym składnikiem zapewniającym solidną podstawę do wykonania czynności ruchowej oraz przeciwstawiania się siłom zaburzającym kontrolę równowagi ciała. Kaji i wsp. (2010) donoszą, iż ćwiczenia stabilizujące tułowia wywołują natychmiastowy efekt w postaci

zmniejszenia obszaru oscylacji COP oraz wychwiał ciała w kierunku przyśrodkowo-tylnym w postawie swobodnej. Brachman i wsp. (2017) podają, że naprzemienne stosowanie ćwiczeń równoważnych z ćwiczeniami stabilizującymi tułowia jest częstym zabiegiem. Natomiast włączenie do programu ćwiczeń grupy mięśni pośladkowej ma odniesienie do badań Emery i wsp. (2005). Filipa i wsp. (2010) oraz Sandreu i Mitzel (2013) uzyskali poprawę w parametrach równowagi dynamicznej po zastosowaniu ćwiczeń tułowia, a Imai i wsp. (2014) również równowagi proaktywnej, co wskazuje na istotność stabilności tułowia w różnych rodzajach zadań równoważnych. Vera-Garcia i wsp. (2020) wskazują, że wydłużenie ramienia dźwigni skutkuje większymi wartościami kołysania ciała, czyli zwiększoną trudnością wykonania ćwiczenia. Johnson i van Emmerik (2012) podają, że jedynie wyprost głowy zmienia proces kontroli równowagi czyniąc go utrudnionym, gdyż głowa w pozycji neutralnej lub zgiętej nie ma wpływu na trudność wykonania zadania ruchowego.

Proces szkolenia strzelców bojowych odbywa się zarówno na strzelnicach otwartych jak i zamkniętych (znajdujących się w pomieszczeniu). Szkolenie strzeleckie przeprowadzane jest często w warunkach poligonowych oraz dla znacznej ilości strzelców, co utrudnia wykorzystanie specjalistycznego sprzętu mającego zastosowanie w treningu kontroli równowagi ciała. Wdrożenie ćwiczeń wykorzystujących wyłącznie ciężar ciała osoby ćwiczącej pozwoliłoby na przeprowadzenie treningu równowagi niezależnie od warunków treningowych obiektu, w którym będzie realizowany proces szkolenia żołnierza.

2. Cel pracy i pytania badawcze

Celem poznawczym pracy jest określenie zależności zmian kontroli równowagi ciała w postawie strzeleckiej u żołnierzy a efektami zastosowania autorskiego programu ćwiczeń równoważnych.

Celem praktycznym pracy jest uzasadnienie wdrożenia treningu równowagi opartego na specyficznych ćwiczeniach równoważnych do szkolenia żołnierzy Wojska Polskiego.

W pracy postawiono następujące pytania badawcze:

1. Jakie są zmiany w kontroli równowagi w efekcie zastosowania autorskiego programu ćwiczeń dla żołnierzy?
2. Jak efekt autorskiego programu ćwiczeń dla żołnierzy wpłynął na ich poziom zmienności w kontroli równowagi ciała?
3. Jak zmienia się aktywność lewej i prawej kończyny dolnej podczas kontroli równowagi ciała żołnierzy w efekcie zastosowania autorskiego programu ćwiczeń?

3. Metody badania i analizy danych

3.1 Charakterystyka grupy badanej

Badania przeprowadzono na terenie wybranej Jednostki Wojskowej. Zgodę na przeprowadzenie badań uzyskano od Dowódcy Jednostki Wojskowej oraz Dyrektora Centrum Operacyjnego Ministra Obrony Narodowej, a także Senackiej Komisji ds. Etyki Badań Naukowych przy Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu. Badaniami objęto 64 żołnierzy podzielonych na grupę eksperymentalną oraz grupę kontrolną. Podstawowymi kryteriami doboru żołnierzy do badania była planowana obecność w jednostce wojskowej na czas badania wstępnego i końcowego, zbliżone wymiary ciała oraz deklaracja chęci do sumiennego wykonywania zleconych ćwiczeń równoważnych. Grupa eksperymentalna składająca się z 28 żołnierzy wykonała 8-tygodniowy program ćwiczeń równoważnych. Grupa kontrolna składająca się z 36 żołnierzy, w czasie trwania projektu badawczego nie wykonywała programu ćwiczeń równoważnych oraz została poproszona o powstrzymanie się od wykonywania jakichkolwiek ćwiczeń równoważnych we własnym zakresie na czas 8-tygodni.

W tabeli poniżej (tab. 1) przedstawiono podstawowe dane poszczególnych grup, takie jak przedział wieku, masa i wysokość ciała oraz wartości indeksu masy ciała (BMI – ang. body mass index). Pomiary te wykonano podczas pierwszego badania.

TABELA 1. Podstawowa charakterystyka badanych grup.

Grupa	Wiek [w latach]	Masa ciała [kg]	Wysokość ciała [m]	BMI [kg/m ²]
Eksperymentalna (N=28)	19-22	75,77±4,82	177,83±3,54	23,94±1,09
Kontrolna (N=36)	20-22	76,37±4,82	177,86±3,10	24,11±0,90

Przyjęte zostały następujące warunki włączenia do grupy badanych:

1. brak przeciwwskazań zdrowotnych do służby w formacjach uzbrojonych,
2. zaliczenie wojskowego testu sprawności fizycznej,
3. postawa strzeleckiej stojąc z lewą kończyną dolną wykroczną,
4. praworęczność oraz prawa kończyna dolna dominująca czynnościowo.

Wszyscy żołnierze uczestniczący w projekcie badawczym należeli do I kategorii wiekowej (do 25 lat), oraz wykonywali w testach sprawności fizycznej cztery oceniane czynności ruchowe zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Obrony Narodowej z dnia 2 marca 2018 r w sprawie przeprowadzania sprawdzianu sprawności fizycznej żołnierzy zawodowych (Dz. U. poz. 625), tj. marszobiegi na dystansie 3000m lub pływanie w czasie 12 minut, podciąganie na drążku lub uginanie ramion w podporze leżąc przodem, siady z leżenia w czasie 2 minut oraz bieg po kopercie lub bieg wahadłowy na dystansie 10x10 metrów.

Żołnierze przed przystąpieniem do badania zostali pisemnie poinformowani o celach badania, gwarancji zachowania całkowitej anonimowości badanych osób oraz możliwości rezygnacji z dalszego udziału na każdym etapie badania. Wszyscy objęci projektem poznawczym żołnierze wyrazili zgodę na udział w badaniu.

3.2 Opis sprzętu badawczego i metody

Badanie przeprowadzono korzystając z dwóch platform sił (po jednej dla każdej kończyny dolnej) typu AccuSway firmy AMTI (Advanced Mechanical Technology, Inc; Watertown MA, USA) kompatybilnych z oprogramowaniem służącym do zbierania danych NetForce w wersji 2.3.0 firmy AMTI (Watertown MA, USA) oraz BioAnalysis w wersji 2.3.0 firmy Biosoft (Cambridge, UK). Dane uzyskane podczas badania zapisywano na komputerze przenośnym firmy LENOVO (Beijing, China). Rycina poniżej (ryc. 1) ilustruje wygląd pojedynczej platformy typu AccuSway (AMTI).



RYCINA 1. Platforma sił typu AccuSway firmy AMTI (Advanced Mechanical Technology, Inc; Watertown MA, USA). (Źródło: <https://www.technomex.pl>)

Platformy AccuSway (AMTI) umożliwiają pomiar składowych siły reakcji podłoża. Mechanizm działania platformy polega na zbieraniu sygnałów z 12 czujników tensometrycznych, umiejscowionych po 3 w każdym rogu platformy. Czujniki spełniają zadanie pomiaru działania sił reakcji podłoża - w trzech kierunkach: przyśrodkowo-bocznym (F_x), przednio-tylnym (F_y) oraz pionowym (F_z). W trakcie badania uzyskuje się zapis przebiegu punktu COP (ang. center of pressure), tj. punktu przyłożenia wypadkowej siły reakcji podłoża w funkcji czasu. Częstotliwość zbierania danych ustawiono na 100 Hz. Na podstawie zebranych danych o przebiegu punktu COP obliczono wskaźniki równowagi ciała, które stanowią podstawę do oceny jakości procesu kontroli równowagi ciała.

Wskaźniki równowagi ciała

Przebieg punktu COP w funkcji czasu pozwala na obliczenie wskaźników równowagi ciała umożliwiających ocenę kontroli równowagi u badanego. Dla celów niniejszej pracy wybrano do analizy następujące wskaźniki równowagi ciała:

1. Zakres przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym (COP-X), mierzony w [cm], informujący o maksymalnej odległości pomiędzy skrajnymi przemieszczeniami

COP, od wartości minimalnej do maksymalnej. Wskaźnik zakresu przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym pozwala ocenić maksymalny wymiar „kołysania”/wychylenia postawy żołnierza w kierunku przyśrodkowo-bocznym. Mniejsze wartości niniejszego wskaźnika równowagi ciała oznaczają mniejsze kołysanie boczne postawy strzelca, a tym samym mniejsze przemieszczanie się broni w linii poziomej celu (Pellegrini i Schena 2005).

2. Zakres przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym (COP-Y), mierzony w [cm], informujący o maksymalnej odległości pomiędzy skrajnymi przemieszczeniami COP w przód i tył, od wartości minimalnej do maksymalnej. Wskaźnik zakresu przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym pozwala ocenić maksymalny wymiar „kołysania”/wychylenia postawy żołnierza w kierunku przednio-tylnym. Mniejsze wartości niniejszego wskaźnika równowagi ciała mają wpływ na mniejszy rozrzut przestrzelin w linii pionowej celu (Mason i wsp. 1990).
3. Zmienność przemieszczeń COP (odchylenie standardowe) w kierunku przyśrodkowo-bocznym (SD X-COP), mierzony w [cm], informujący o stopniu rozrzutu przemieszczeń COP od wielkości średniej w przebiegu COP w funkcji czasu. Wskaźnik zmienności przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym pozwala ocenić zmienność wychyleń ciała badanego w kierunku przyśrodkowo-bocznym podczas realizacji zadania. Mniejsze wartości niniejszego wskaźnika równowagi odzwierciedlają mniejszą zmienność punktu celowania w kierunku bocznym (Ball i wsp. 2003).
4. Zmienność przemieszczeń COP (odchylenie standardowe) w kierunku przednio-tylnym (SD Y-COP), mierzony w [cm], informujący o stopniu rozrzutu przemieszczeń COP od wielkości średniej w przebiegu COP w funkcji czasu. Wskaźnik zmienności przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym pozwala ocenić zmienność wychyleń ciała badanego w kierunku przednio-tylnym podczas realizacji zadania. Mniejsze

wartości niniejszego wskaźnika równowagi ciała oznaczają mniejszą zmienność punktu celowania w kierunku przednio-tylny i w kierunku „górną-dół” (Ball i wsp. 2003).

5. Pole elipsy przemieszczeń COP, mierzone w [cm²], informujące o średniej wielkości powierzchni na platformie, wewnątrz której punkt COP przemieszcza się we wszystkich kierunkach. Pole to jest automatycznie wyliczane z danego obszaru przebiegu punktu COP w taki sposób, że 5% skrajnych wyników jest odrzucane przez program kompatybilny z urządzeniem pomiarowym, a pozostałe 95% najbardziej skupionych wyników ogranicza pole elipsy. Wskaźnik pola elipsy COP pozwala ocenić wielkość powierzchni zakreślonej przez COP w trakcie wykonywania próby. Mniejsze wartości niniejszego wskaźnika świadczą o mniejszym kołysaniu postawy w różnych kierunkach, co z kolei świadczy o większej stabilności postawy strzeleckiej i broni (Ko i wsp. 2017).
6. Średnia prędkość przemieszczeń COP (V_{COP}), mierzona w [cm/s], informująca o prędkości zmian chwilowego położenia punktu COP w różnych kierunkach podczas wykonywania próby. Wskaźnik średniej prędkości przemieszczeń COP pozwala ocenić szybkość reagowania centralnego układu nerwowego na chwilowe zachwiania równowagi ciała podczas wykonywanej całej 10-sekundowej próby. Większe wartości niniejszego wskaźnika świadczą o szybszej zmianie położenia punktu nacisku stóp na podłoże spowodowanej uruchamianiem reakcji posturalnych w odpowiedzi na wychwiania ciała. Mononen i wsp. (2007) wskazują na wpływ tego wskaźnika stabilności (w kontekście swoich badań w kierunku przyśrodkowo-bocznym) na rozbieżność wyniku strzelania z broni strzeleckiej.

Organizacja i przebieg badania

Badanie kontroli równowagi odbywało się popołudniu po typowych dla danego dnia zajęciach fizycznych. Pomiary przeprowadzono w pomieszczeniu o wymiarach 5x6m i stabilnym betonowym podłożu. Podczas badania równowagi ciała nie wystąpiły czynniki

mogące zaburzyć wynik próby. Żołnierze przystępowali do badania w umundurowaniu polowym wzór 2010 (bluza, spodnie oraz trzewiki) bez zakładania beretu, wraz z oporządzeniem taktycznym (panel udowy z kaburą) i repliką pistoletu Heckler & Koch USP.

Projekt badawczy rozpoczynał się od zebrania obrysów ustawienia stóp podczas ustalenia postawy strzeleckiej na sali gimnastycznej bez wykorzystywania platform sił. Żołnierze przyjmowali postawę strzelecką stając na przydzielonym dla każdej osoby arkuszu białego papieru o formacie A0, przy czym prowadzący badanie dokonywał obrysu ustawienia stóp dla każdego badanego indywidualnie. Uzyskane w ten sposób obrysy stanowiły podstawę do odwzorowania ułożenia stóp na platformach sił w przebiegu całego projektu.

Badanie składało się z dwóch pomiarów kontroli równowagi na platformach sił, jednakowych dla obu grup: początkowy (w dniu rozpoczęcia projektu badawczego) oraz końcowy (po 8-tygodniach trwania projektu badawczego). Każdy pomiar składał się z przyjęcia stabilnej postawy strzeleckiej, jedną kończyną dolną na jednej platformie, a drugą na drugiej, na czas 10 sekund. Każda próba została powtórzona trzykrotnie bez opuszczania przez badanego urządzenia pomiarowego oraz zmiany ustawienia stóp, z przerwą wypoczynkową między powtórzeniami wynoszącą ok. 30s.

Przebieg początkowego oraz końcowego pomiaru był jednakowy, a żołnierze każdorazowo byli instruowani o konieczności powstrzymania się od wykonywania ruchów kończynami górnymi, głową oraz wodzenia wzrokiem po pomieszczeniu, w którym odbywało się badanie.

Procedura badawcza:

1. Po wytarowaniu urządzenia pomiarowego, umieszczano arkusz z obrysem ułożenia stóp w postawie strzeleckiej danego żołnierza na platformach sił.

2. Na komendę „wejść!” – badany stojąc w postawie W KABURZE (ryc. 2, pistolet znajduje się w kaburze, chwyt na rękojeści pistoletu, druga dłoń w okolicy klatki piersiowej) przed urządzeniem pomiarowym, stawał na platformach sił w postawie KONTAKT (ryc. 3, postawa frontem do celu, chwyt broni oburącz, broń skierowana w dół pod kątem ok. 45°) – po jednej platformie sił na każdą stopę, umieszczając stopy w swoich obrysach.

3. Po komendzie „uwaga!”, po której następowało przyjęcie POSTAWY STRZELECKIEJ (ryc. 4, postawa przodem do celu, chwyt broni oburącz, przyrządy celownicze zgrane w rejonie celowania), ustabilizowanie postawy i zgranie przyrządów celowniczych w polu bezpiecznym na tle ściany na wprost, komendą „start!” badany był informowany o rozpoczęciu prowadzenia zapisu (faktyczny zapis próby odbywał się po upływie 3 sekund od momentu podania komendy „start!”, aby uniknąć utrwalenia dodatkowych wychwiał ciała w zapisie przebiegu punktu COP spowodowanych wydaniem komendy).

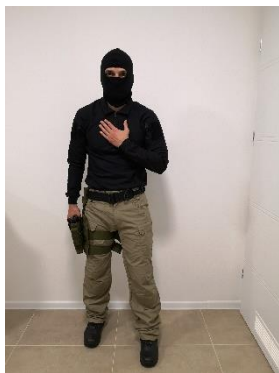
4. Po upływie 10 sekund faktycznego zapisu, komendą „stop!” badany był informowany o zakończeniu rejestracji przebiegu punktu COP i tym samym rozpoczęcia przerwy wypoczynkowej w postawie W KABURZE (ryc. 2) z ramionami ustawionymi swobodnie trwającej 30 sekund bez zmiany ustawienia stóp na platformach sił.

5. Po upływie 30 sekund przerwy wypoczynkowej, na komendę „przygotować się!” badany przyjmował postawę KONTAKT, następnie komendą „uwaga!” badany był informowany o zbliżającej się komendzie „start!” rozpoczynającej zapis kolejnego powtórzenia, po przyjęciu i ustabilizowaniu postawy strzeleckiej oraz zgraniu przyrządów celowniczych w polu bezpiecznym na tle ściany na wprost, podawana komenda „start!” rozpoczynała drugie powtórzenie. Ponownie, faktyczny zapis próby odbywał się po upływie 3 sekund od momentu podania komendy „start!”, aby uniknąć utrwalenia dodatkowych wychwiał ciała w zapisie przebiegu punktu COP spowodowanych wydaniem komendy.

6. Po upływie 10 sekund faktycznego zapisu, komendą „stop!” badany był informowany o zakończeniu rejestracji przebiegu punktu COP i tym samym rozpoczęcia przerwy wypoczynkowej w postawie W KABURZE (ryc. 2) trwającej 30 sekund bez zmiany ustawienia stóp na platformach sił, a tym samym zakończenia drugiego powtórzenia.

7. Przebieg przerwy wypoczynkowej oraz trzeciego powtórzenia taki sam jak w punktach 5-6 powyżej.

8. Po wykonaniu trzeciego powtórzenia komendą „zejdź!” badany był informowany o zakończeniu przebiegu próby w postawie strzeleckiej, po czym po schowaniu broni do kabury na panelu udowym opuszczał platformy sił.



RYCINA 3. Postawa W KABURZE.

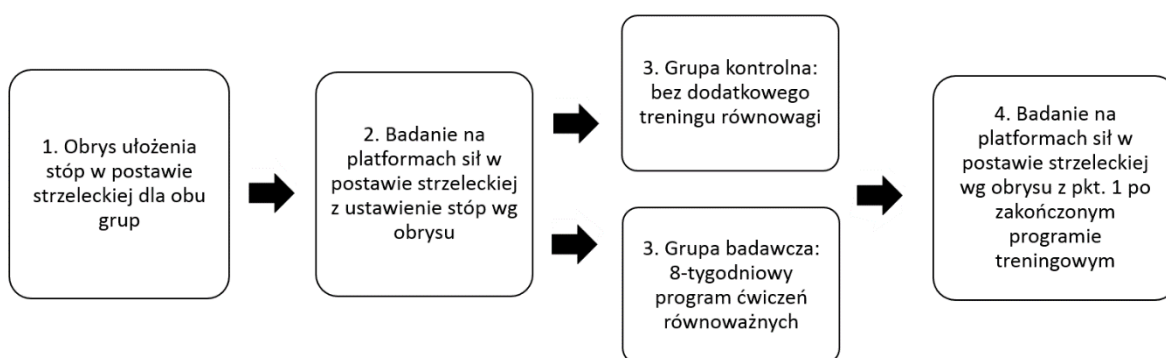


RYCINA 4. Postawa KONTAKT.



RYCINA 5. Postawa STRZELECKA.

Rycina poniżej (ryc. 6) przedstawia przebieg projektu badawczego.



RYCINA 6. Przebieg projektu badawczego.

3.2.1 Organizacja i przebieg treningu ćwiczeń równoważnych

Motywacją podjęcia się problemu sprawdzenia efektywności nowego treningu równowagi jest fakt, że skonstruowany program ćwiczeń równoważnych jest odmienny od powszechnie stosowanych w sporcie strzeleckim programów treningowych. Program ćwiczeń równoważnych składa się z ćwiczeń bez wykorzystania specjalistycznego sprzętu oraz niespecyficznych dla strzelectwa. Dobrane do opracowanego programu ćwiczenia są niespecyficzne dla strzelectwa z powodu braku podobieństw przyjmowanych pozycji do postawy strzeleckiej, a także wykluczenia ćwiczeń polegających na zgrzywaniu przyrządów celowniczych. Brak potrzeby wykorzystania specjalistycznego sprzętu pozwala na wykonanie niniejszego programu ćwiczeń zarówno w warunkach kompleksu koszarowego jak i w warunkach polowych.

Niniejszy program ćwiczeń został opracowany głównie w oparciu o parametry podane w przeglądach systematycznych autorstwa DiStefano i wsp. (2009), Lesinski i wsp. (2015a) oraz Brachman i wsp. (2017). Program ćwiczeń równoważnych realizowany był na sali gimnastycznej. Żołnierze przystępowali do treningu w stroju oraz obuwiu sportowym. Trening trwający ok. 20 minut odbywał się 3 razy w tygodniu przez 8 tygodni, od października do grudnia 2018 roku. Wybór 8 tygodni w niniejszym badaniu jest kompromisem między przesłankami mówiącymi o skuteczności programu oraz kwestią motywacji (niepodlegającą ocenie w niniejszym badaniu) osób objętych programem do rzetelnego wykonywania ćwiczeń. Niniejszy program zawierał łącznie 24 jednostki treningowe, co jest zgodne z wnioskami Gioftsidou i wsp. (2013), Lesinski i wsp. (2015a) oraz Gebel i wsp. (2018). Z powodu braku jednoznacznego wniosku o efektywności różnych czasów trwania pojedynczych jednostek treningowych oraz mając na względzie kwestie praktyczne, określono maksymalny czas trwania pojedynczej jednostki treningowej równowagi na 20 minut. W programie przyjęto wykonywanie ćwiczeń w określonej jednostce czasu pracy a nie względem wskazanej ilości powtórzeń, co miało na celu usprawnienie organizacyjne przeprowadzenia sesji treningowej oraz powtarzalny czas trwania sesji treningowej. Tak jak u innych badaczy, określono czas pracy na 40 sekund (Taube i wsp. 2007b; Taube i wsp. 2008; Lesinski i wsp. 2015a; Freyler i wsp. 2016; Krause i wsp. 2018). Natomiast w przeciwieństwie do Taube i wsp. (2008), Freyler i wsp. (2016) oraz Krause i wsp. (2018) przerwa między poszczególnymi ćwiczeniami była krótsza niż 20 sekund i wynosiła 10 sekund. Skrócenie czasu przerwy było spowodowane wybraną ilością ćwiczeń. W programie przyjęto wykonywanie 6 różnorodnych ćwiczeń w 2 seriach z przerwą wypoczynkową między seriami. Dobór takich parametrów ma odniesienie do badań Lesinski i wsp. (2015a), którzy wskazują, że większa ilość ćwiczeń i mała ilość serii przynosi wysokie efekty treningowe.

Ze względu na przeznaczenie niniejszego programu, tj. możliwość włączenia w formie modułu do zajęć wychowania fizycznego, strzeleckich lub jako zadanie do samokształcenia,

wybrane zostały ćwiczenia wykonywane jednonóż, w postawach równoważnych oraz ćwiczenia tułowia. Podstawę takiej koncepcji treningu stanowiły wyniki badań Cox i wsp. (1993), w których wykorzystano jedynie statyczne utrzymywanie postawy w określonych warunkach i mimo, że nie uzyskano istotnych statystycznie zmian po wykonaniu ćwiczenia na stabilnym podłożu, to zauważalny był trend w kierunku poprawy stabilności. Ćwiczenia stabilizujące tułowia zostały włączone na podstawie badań Imai i wsp. (2014), którzy wskazują, że prowadzą one do zwiększenia równowagi statycznej. Oprócz standardowych ćwiczeń równoważnych wprowadzono do programu ćwiczenia okolicy obręczy biodrowej i tułowia, co miało na celu stymulację proksymalnych segmentów ciała (Anderson i Behm 2005; Kaji i wsp. 2010). Wybrano ćwiczenia równoważne, które destabilizują pozycję ćwiczącego w różnych kierunkach wymuszając tym samym zwiększoną kontrolę równowagi w różnych obszarach marginesu bezpieczeństwa stabilności ciała (Newton 2001). Zastosowano ćwiczenia kompleksowe, ćwiczenia wykorzystujące ograniczenia informacji sensorycznej oraz ćwiczenia stabilizujące tułowia, czego spodziewanym skutkiem była maksymalizacja uzyskanego efektu treningowego (Shin i wsp. 2020).

Autorski program ćwiczeń równoważnych składał się z następujących ćwiczeń:

1. Sięganie wolną kończyną dolną w postawie jednonóż – pozycja wyjściowa - postawa jednonóż na lewej kończynie dolnej, kończyny górne oparte na biodrach; przebieg zadania - sięganie wolną kończyną dolną w kierunkach: 1) na wprost; 2) w tył; 3) w skos w przód w kierunku bocznym; 4) w skos w tył w kierunku przyśrodkowym; 5) w skos w przód w kierunku przyśrodkowym; 6) w skos w tył w kierunku bocznym; 7) w bok w kierunku bocznym; 8) w bok w kierunku przyśrodkowym. Ćwiczenie nazywane inaczej SEBT – ang. Star Excursion Balance Test, jest powszechnie stosowanym testem służącym do oceny równowagi dynamicznej osoby badanej (Filipa i wsp. 2010). Pierwotnie SEBT jest używany jako test służący do oceny funkcjonalnej, natomiast dla celów niniejszej pracy został włączony w program ćwiczeń równoważnych z powodu

zróźnicowania aktywności mięśni biorących udział w wykonywaniu zadania ze względu na różne kierunki ruchu ciała przy wykonywaniu sięgania w kierunkach przednich aktywność mięśni obszernego przyśrodkowego i obszernego bocznego jest największa, natomiast przy sięganiu w kierunkach tylnych mięśni półścięgnistego oraz dwugłowego uda, z kolei ruchy w kierunkach przyśrodkowych angażują w większym stopniu kompleks stawów skokowych (Earl i Hertel 2001; Pozzi i wsp. 2010). W trakcie wykonywania ćwiczenia konieczna jest również aktywność mięśni obręczy biodrowej oraz tułowia, z czego mięśnie o największej aktywności to: mięśnie skośne zewnętrzne brzucha ipsilateralnie przy ruchach bocznych w kierunku przednim, mięsień skośny zewnętrzny brzucha kontralateralnie przy ruchach przyśrodkowych; mięsień prosty brzucha ipsilateralnie przy ruchu w przód; mięsień prosty brzucha kontralateralnie przy ruchu przyśrodkowych w kierunku przednim; mięsień prostownik grzbietu ipsilateralnie przy ruchu bocznym w kierunku tylnym; mięsień prostownik grzbietu kontralateralnie przy ruchu przyśrodkowym w kierunku tylnym; mięsień pośladkowy wielki przy ruchu w kierunku tylnym; mięsień pośladkowy średni przy ruchu w kierunku przyśrodkowym (Bhanot i wsp. 2019).

2. Skręty głowy w postawie równoważnej – pozycja wyjściowa - postawa równoważna, lewa kończyna dolna ustawiona przed prawą, kończyny górne wzdłuż tułowia; przebieg zadania - skręt głowy w lewo / prawo z natychmiastowym powrotem do pozycji neutralnej z utrzymaniem pozycji wyjściowej ok. 3 sekund przed kolejnym powtórzeniem. Ustabilizowanie pozycji w niniejszym ćwiczeniu jest utrudnione ze względu na: 1) zmianę struktury podparcia, wąskie ustawienie stóp utrudnia utrzymanie równowagi ciała zwłaszcza w kierunku przyśrodkowo-bocznym (Goodworth i wsp. 2014), 2) zaburzenie przetwarzania informacji z receptorów: westybularnego oraz wzrokowego, zmiana położenia głowy w przestrzeni lub wyłączenie przebiegu informacji powoduje zmiany w proporcji przetwarzania informacji biegnących z

wyspecjalizowanych receptorów na rzecz pozostałych działających (Johnson i Van Emmerik 2012). Ćwiczenie angażuje przede wszystkim mięśnie piszczelowy przedni oraz strzałkowy długi w celu stabilizacji postawy w przypadku wychwiał ciała w kierunku przyśrodkowo-bocznym (Sozzi i wsp. 2013).

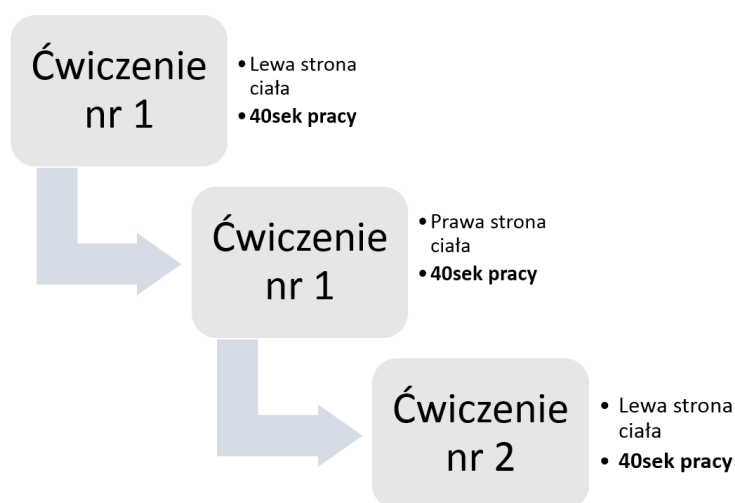
3. Dynamiczne odwiedzenie wolnej kończyny dolnej oraz ramion w postawie jednonóż – pozycja wyjściowa - postawa jednonóż stojąc na lewej kończynie dolnej, kończyny górne wzdłuż tułowia; przebieg zadania - odwiedzenie wolnej kończyny dolnej powyżej kąta 45° oraz ramion powyżej kąta 90° względem tułowia, utrzymanie pozycji ok. 3 sekund i powrót do pozycji wyjściowej. Szybkie odwiedzenie kończyn górnych i wolnej kończyny dolnej powoduje zwiększenie kołysania ciała spowodowane działaniem sił bezwładności wynikających z przyspieszenia ramienia oraz wolnej kończyny dolnej przemieszczenia COM (środka masy ciała) w związku ze zmianą pozycji segmentów ciała (Pozzo i wsp. 2001). Zatrzymanie w końcowej fazie odwiedzenia ramion i wolnej kończyny dolnej zwiększa trudność ćwiczenia w związku z ograniczeniem możliwości wykonywania ruchów korekcyjnych kończynami (Objero i wsp. 2019).
4. Sięganie ramionami w postawie jednonóż – pozycja wyjściowa - postawa jednonóż stojąc na lewej kończynie dolnej, kończyny górne wzdłuż ciała; przebieg zadania - sięganie złączonymi ramionami do podłoża w kierunkach: 1) wprost; 2) w skos w kierunku przyśrodkowym; 3) w skos w kierunku bocznym, z zatrzymaniem uzyskanej pozycji dosiężnej na czas ok. 3 sekund oraz szybkim powrotem i ustabilizowaniem pozycji wyjściowej na czas ok. 2 sekund przed wykonaniem kolejnego powtórzenia. Do wykonania ćwiczenia wymagane jest napięcie mięśni zarówno kończyn górnych, tułowia, kończyny dolnej postawnej oraz koordynacja ruchów i położenia wielu segmentów ciała. Ruchy te powodują zwiększenie destabilizacji uzyskiwanych pozycji ciała, które ćwiczący ma za zadanie ustabilizować w nietypowej pozycji (Kaminski 2007). Ćwiczenie jest modyfikacją stosowanego w fizjoterapii testu HSEBT (ang. Hand

Reach Star Excursion Balance Test) służącego do oceny równowagi dynamicznej w kontekście całego łańcucha kinematycznego (Eriksrud i wsp. 2017). Ćwiczenie zostało wybrane do programu ćwiczeń równoważnych, ponieważ mimo podobieństw do SEBT i faktu wykorzystywania wspólnej strategii wykonywania ruchu, sięganie ramionami jest bardziej wymagające od SEBT (Eriksrud i wsp. 2018), a także powrót do pozycji wyjściowej następuje z pozycji niskiej, co dodatkowo utrudnia wykonanie ćwiczenia.

5. Złączenie ramion w klęku jednonóż równoważnym – pozycja wyjściowa - klęk jednonóż, kończyny dolne ustawionym w linii w pozycji równoważnej, kończyna dolna wykrocza uniesiona, ramiona wyprostowane i odwiedzionymi; przebieg zadania - powolne łączenie dłoni z zatrzymaniem ok. 3 sekund i powrotem do pozycji wyjściowej. Ćwiczenie ma na celu wymuszenie pracy obręczy biodrowej poprzez zaburzoną strukturę podparcia przyjętą w niniejszym ćwiczeniu, a także wzmocnienie aktywności tułowia przez dodatkowy element, jakim jest wykonywanie ruchu zgięcia horyzontalnego kończynami górnymi (Haddad i wsp. 2012). Ruchy manipulacyjne ramion wraz z zadaniem utrzymania pozycji wyjściowej wpływają na zwiększenie przemieszczeń COM spowodowanych korekcjami antycypacyjnymi oraz reakcyjnymi (Cavallari i wsp. 2016).
6. Wyprosty na przemian w podporze na przedramionach leżąc przodem – pozycja wyjściowa - podpór na przedramionach leżąc przodem, łokcie oparte pod kątem prostym względem tułowia; przebieg zadania - wyprost prawej / lewej kończyny górnej oraz uniesienie przeciwległej kończyny dolnej, zatrzymanie uzyskanej pozycji na czas 3 sekund, następnie powrót do pozycji wyjściowej utrzymując przez cały czas ćwiczenia zwiększone tyłopochylenie miednicy. Ćwiczenie angażujące mięśnie tułowia, takie jak: prosty brzucha, skośny wewnętrzny brzucha, skośny zewnętrzny brzucha, poprzeczny brzucha, prostownik grzbietu oraz wielodzielny (Oliva-Lozano i Muyor 2020). Zwiększenie kąta ustawienia stawów łokciowych względem tułowia,

zastosowane, jako modyfikacja ćwiczenia, w sposób istotny zwiększa trudność zachowania pozycji, zwiększając aktywność mięśni biorących udział w ćwiczeniu (Schoenfeld i wsp. 2014).

Przyjęto realizację treningu w formie interwałowej z czasem pracy określonym na 40 sekund, a czasem przerwy na 10 sekund. Żołnierz przystępował do ćwiczeń zaczynając od lewej strony ciała (kończyny dolnej), po zakończeniu czasu pracy odpoczywał 10 sekund, aby następnie przystąpić do wykonywania tego samego ćwiczenia na prawą stronę ciała (kończynę dolną). Po zakończeniu wykonywania ćwiczenia na drugą stronę ciała następowała przerwa wypoczynkowa również o czasie trwania 10 sekund, w czasie której żołnierz przygotowywał się do przystąpienia do kolejnego ćwiczenia. Rycina poniżej (ryc. 7) przedstawia schemat procedury wykonywania ćwiczeń.



RYCINA 7. Procedura treningu. Kolejne ćwiczenia według zaprezentowanego schematu.

W trakcie jednej sesji treningowej wykonywano 2 serie wskazanych ćwiczeń z przerwą wypoczynkową między seriami wynoszącą 30 sekund.

W opracowanym programie wprowadzono elementy progresji trudności, jednakże w przeciwieństwie do Zech i wsp. (2014) oraz Freyler i wsp. (2016) zastosowano rozwiązanie systemowe a nie podejście indywidualne. W określonym tygodniu trwania programu następowała zmiana w przebiegu ćwiczenia polegająca na zmianie struktury powierzchni

podparcia, oraz na wyłączeniu dopływu informacji z receptora wzrokowego. Zdecydowano zastosować w niniejszym programie model progresji trudności oparty na ilości wykonanych powtórzeń, mimo wskazań Lesinski i wsp. (2015a), Cuğ i wsp. (2016) oraz Vera-Garcia i wsp. (2020) rekomendujących indywidualne podejście. Z powodów organizacyjnych nie było możliwe zastosowanie rozwiązania indywidualnego, stąd decyzja wprowadzeniu podejścia systemowego. W części ćwiczeń zastosowano progresję trudności, np. wydłużając ramię dźwigni w unoszeniach kończyn w podporze leżąc przodem na przedramionach (Vera-Garcia i wsp. 2020). Polecono również ćwiczącym stopniowo zwiększać zasięg przy sięganiu wolną kończyną dolną oraz ramionami w postawie jednonóż, co dzięki stabilnej powierzchni wykorzystanej do treningu miało na celu stopniową gradację trudności (Cox i wsp. 1993). Wykorzystano również odchylenie głowy w tył, co miało na celu wymuszenie korzystania głównie z mechanizmów mięśniowych okolicy stawów skokowych w celu utrzymania równowagi (Chong i wsp. 2001). Kolejnym zabiegiem było wyłączenie informacji wzrokowej, która istotnie zwiększa poziom trudności wykonywanego zadania równoważnego (Remaud i wsp. 2012).

Modyfikacji trudności w toku trwania programu ćwiczeń dokonywano zgodnie z tabelą poniżej (tab. 2).

TABELA 2. Wykaz modyfikacji trudności wykorzystanych ćwiczeń.

L.p.	Ćwiczenie	Tygodnie	
		1-4 tydzień	5-8 tydzień
1.	Sięganie wolną kończyną dolną w postawie jednonóż	bez zmian	
2.	Skręty głowy w postawie równoważnej	oczy otwarte	oczy zamknięte

3.	Dynamiczne odwiedzenie wolnej kończyny dolnej oraz ramion w postawie jednonóż	oczy otwarte	oczy zamknięte
4.	Sięganie ramionami w postawie jednonóż	bez zmian	
5.	Złączenie ramion w klęku jednonóż równoważnym	oczy otwarte	oczy zamknięte
6.	Wyprosty na przemian w podporze na przedramionach leżąc przodem	stawy łokciowe ok. 90° względem tułowia	stawy łokciowe ok. 120° względem tułowia

3.3 Analiza statystyczna

Uzyskane dane biometryczne żołnierzy sprawdzono testem sprawdzającym normalność rozkładów Shapiro-Wilka, który wykazał spełnienie warunków normalności. Homogeniczność grup badanych zweryfikowano testem t-studenta.

Normalność rozkładów wyników uzyskanych w poszczególnych badaniach zostały sprawdzone testem Shapiro-Wilka z uwzględnieniem czynnika grupy, sesji badania, wskaźnika równowagi oraz lewej i prawej kończyny dolnej. W związku z faktem nie spełniania warunku normalności przez większość rozkładów wyników opracowanie statystyczne przeprowadzono stosując techniki nieparametryczne.

Przeprowadzono test Kruskala-Wallisa w celu sprawdzenia czy wartość wskaźników równowagi ciała jest zależna od kolejnych trzech wykonanych powtórzeń danego zadania, z uwzględnieniem lewej i prawej kończyny dolnej.

W celu określenia istotności różnicy między badanymi grupami osobno w pomiarach przed i po zakończeniu projektu badawczego zastosowano test U Manna-Whitneya dla lewej i

prawej kończyny dolnej. Natomiast określenie istotności różnicy wewnątrz danej grupy, zrealizowano porównując efekty treningu ze wstępnymi wynikami badań za pomocą testu kolejności par Wilcoxon z uwzględnieniem lewej i prawej kończyny dolnej. W pracy przyjęty został próg istotności różnicy równy $\alpha < 0,05$.

4. Wyniki badań

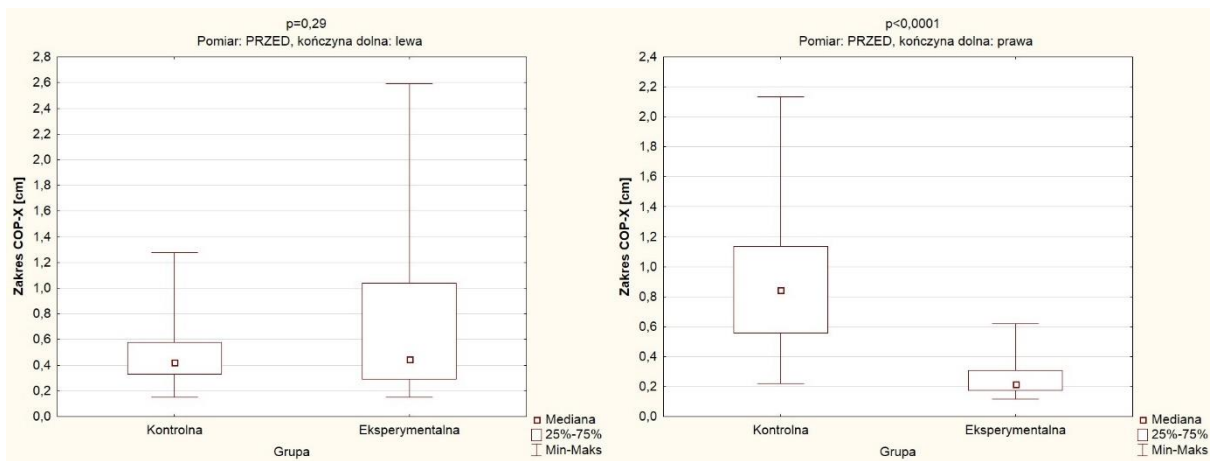
Wyniki badań zostały opisane w podrozdziałach przyporządkowanych kolejnym zagadnieniom tej pracy. Analiza statystyczna przeprowadzona w celu oceny homogeniczności grup badanych wykazała, że obie grupy nie różnią się istotnie od siebie pod względem danych biometrycznych.

Wartości wskaźników kontroli równowagi ciała zostały sprawdzone w kolejnych powtarzanych próbach wykonania danego zadania i nie wykazały istotnej statystycznie zależności od kolejności próby, stąd w dalszej analizie statystycznej przyjęto, że wynik każdej z trzech prób może być traktowany, jako osobny wynik próby. Zatem liczba obserwacji dla grupy eksperymentalnej wynosi $n=84$, dla grupy kontrolnej $n=108$. Liczby te wynikają z potrójnego zapisu przebiegu COP w postawie strzeleckiej w każdym pomiarze (tab. 1)

4.1 Zmiany wielkości kołysania postawy, jako efekt zastosowania autorskiego programu ćwiczeń

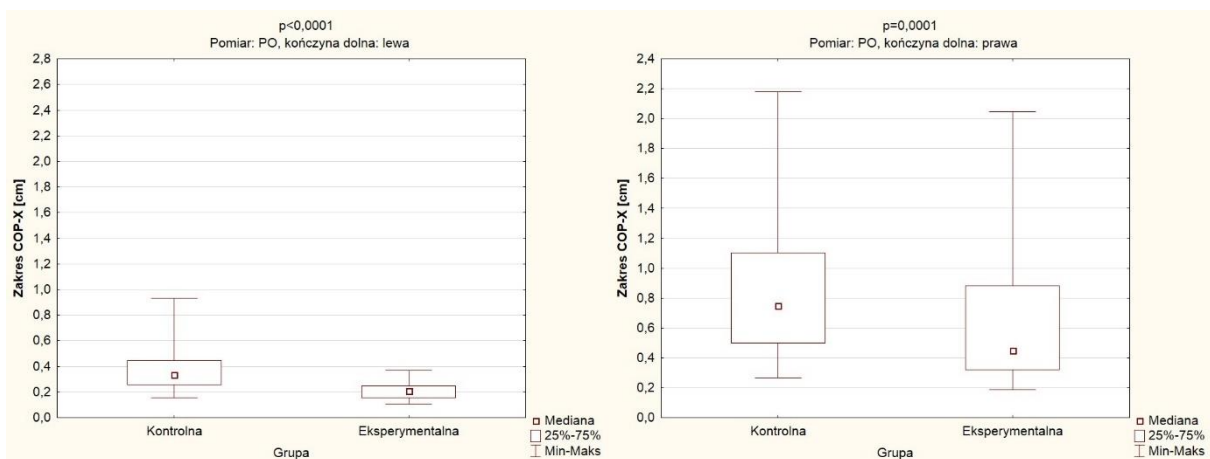
4.1.1 Zakres przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym

Wartości wskaźnika zakresu przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym podczas utrzymywania równowagi w postawie strzeleckiej, przedstawiono w postaci graficznej na rycinach poniżej: dla pomiarów porównujących obie grupy zarówno przed rozpoczęciem projektu badawczego dla lewej i prawej kończyny dolnej (ryc. 8), jak i po zakończeniu projektu badawczego również dla lewej i prawej kończyny dolnej (ryc. 9), oraz dla pomiarów porównujących zmienne zależne przed i po zakończeniu projektu badawczego, osobno dla grupy eksperymentalnej (ryc. 10) i grupy kontrolnej (ryc. 11) również dla lewej i prawej kończyny dolnej.



RYCINA 8. Wyniki wskaźnika zakresu przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym (COP-X) w postawie strzeleckiej dla lewej kończyny dolnej (z lewej strony) oraz prawej kończyny dolnej (z prawej strony) w porównaniu międzygrupowym w pomiarze przed rozpoczęciem projektu badawczego.

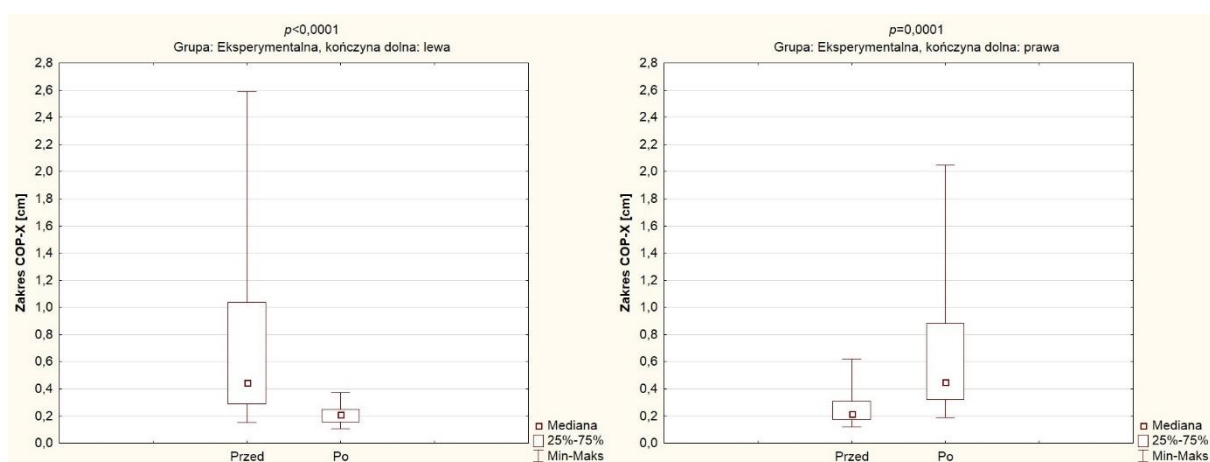
Grupa kontrolna i eksperymentalna nie różniły się istotnie statystycznie pod względem wartości zakresu przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym lewej kończyny dolnej, ($p>0,05$; ryc. 8). Natomiast w przypadku prawej kończyny dolnej różnica między grupami okazała się istotna statystycznie, ($p<0,0001$; ryc. 8). Grupa kontrolna wykazała znacznie większy zakres przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym prawej kończyny dolnej w odniesieniu do grupy eksperymentalnej.



RYCINA 9. Wyniki wskaźnika zakresu przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym (COP-X) w postawie strzeleckiej dla lewej kończyny dolnej (z lewej strony) oraz

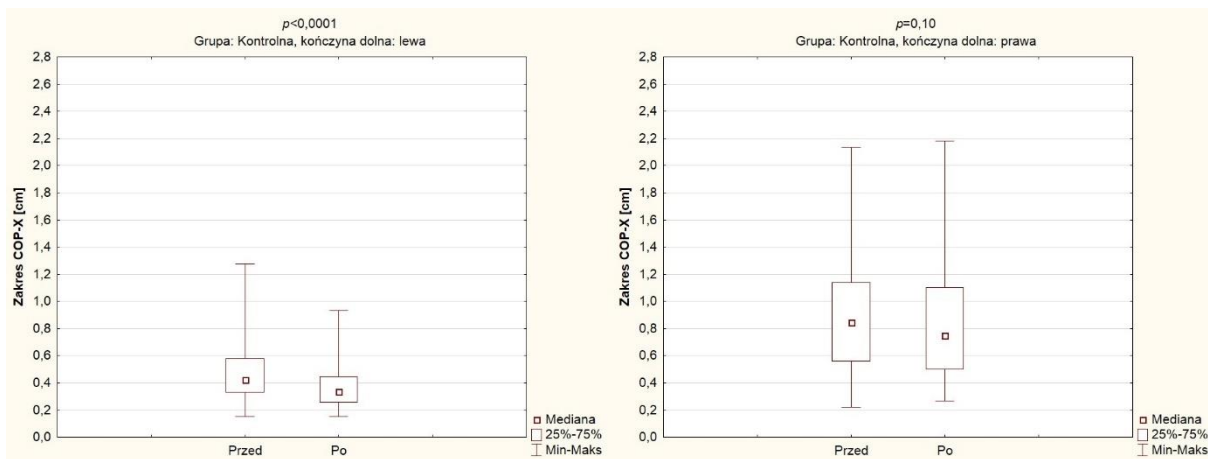
prawej kończyny dolnej (z prawej strony) w porównaniu międzygrupowym w pomiarze po zakończeniu projektu badawczego.

Grupa eksperymentalna i kontrolna istotnie różniły się pod względem wartości zakresu przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym zarówno lewej ($p < 0,0001$; ryc. 9), jak i prawej kończyny dolnej ($p < 0,0001$; ryc. 9). Grupa eksperymentalna uzyskała niższe wartości zakresu przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym lewej i prawej kończyny dolnej w postawie strzeleckiej niż grupa kontrolna.



RYCINA 10. Wyniki wskaźnika zakresu przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym (COP-X) w grupie eksperymentalnej dla lewej i prawej kończyny dolnej, przed i po wykonaniu programu ćwiczeń równoważnych podczas pomiaru w postawie strzeleckiej.

Zakres przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym w grupie eksperymentalnej uległ istotnej zmianie po zastosowaniu autorskiego programu ćwiczeń w odniesieniu do stanu sprzed treningu równowagi w przypadku obu kończyn dolnych, o czym świadczy wartość istotności różnicy $p < 0,0001$ zarówno lewej kończyny dolnej jak i prawej (ryc. 10). W przypadku lewej kończyny dolnej, przed rozpoczęciem treningu wartości niniejszego wskaźnika były większe, natomiast po zakończeniu uległy istotnemu spadkowi. Natomiast dla prawej kończyny dolnej, przed rozpoczęciem treningu wartości te były niższe, a po zakończeniu istotnie zwiększyły się.



RYCINA 11. Wyniki wskaźnika zakresu przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym (COP-X) w grupie kontrolnej dla lewej i prawej kończyny dolnej, przed i po zakończeniu projektu badawczego podczas pomiaru w postawie strzeleckiej.

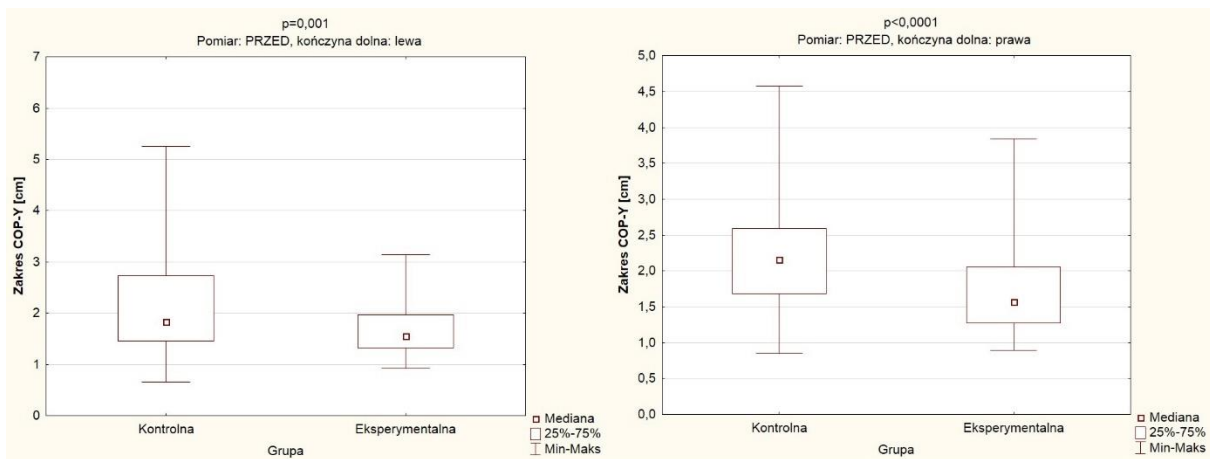
Zakres przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym w grupie kontrolnej uległ istotnie statystycznej zmianie jedynie w przypadku lewej kończyny dolnej, o czym świadczy wartość istotności różnicy $p < 0,0001$ (ryc. 11), natomiast dla prawej kończyny dolnej zmiana okazała się nieistotna statystycznie ($p > 0,05$; ryc. 11). Żołnierze grupy kontrolnej uzyskali wyższe wartości niniejszego wskaźnika równowagi dla lewej kończyny dolnej podczas pomiaru po zakończeniu projektu badawczego względem pomiaru rozpoczynającego projekt.

Zwraca uwagę fakt, że w grupie eksperymentalnej w przypadku lewej kończyny dolnej doszło do znacznego zmniejszenia przeciętnej wartości przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym, natomiast w przypadku prawej kończyny dolnej odwrotnie, przy pomiarze po zastosowaniu autorskiego programu ćwiczeń mediana wartości badanego wskaźnika równowagi wyraźnie się zwiększyła. W grupie kontrolnej zarówno dla lewej jak i prawej kończyny dolnej zauważalne jest zmniejszenie mediany uzyskanych wyników dla badanego wskaźnika równowagi ciała, jednak jedynie dla lewej kończyny dolnej zmiana ta była istotna statystycznie. Wyróżniający się jest również fakt uzyskania przez grupę eksperymentalną wyraźnie wyższych, względem grupy kontrolnej, wartości zakresu

przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym dla lewej kończyny dolnej w pomiarze przed przystąpieniem do programu ćwiczeń równoważnych. W przypadku prawej kończyny dolnej grupa eksperymentalna uzyskała istotnie wyższe wartości w pomiarze po wykonaniu programu ćwiczeń, natomiast w grupie kontrolnej zmiany: w medianie, 50% wartości w przedziale między 25% a 75% uzyskanych wyników ani wartości minimalnej oraz maksymalnej nie odbiegają znacząco od siebie między przeprowadzonymi pomiarami. Przy pomiarze przed treningiem lewej kończyny dolnej grupy nie różniły się w sposób istotny statystycznie, natomiast pomiar po zastosowaniu autorskiego programu ćwiczeń wskazał, że grupa eksperymentalna uzyskała istotnie mniejsze wartości względem grupy kontrolnej dla niniejszego wskaźnika równowagi. Natomiast w przypadku prawej kończyny dolnej zarówno w pomiarze przed, jak i po treningu grupy różniły się istotnie od siebie, grupa eksperymentalna uzyskała w obu pomiarach istotnie niższe wartości od grupy kontrolnej.

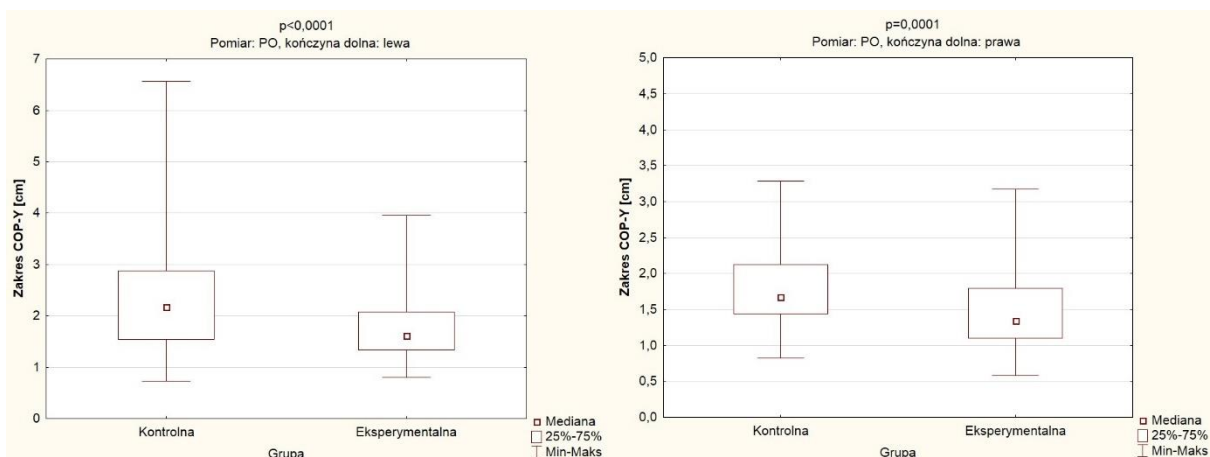
4.1.2 Zakres przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym

Wartości wskaźnika zakresu przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym podczas utrzymywania postawy strzeleckiej, przedstawiono w postaci graficznej na rycinach poniżej: dla pomiarów porównujących obie grupy zarówno przed rozpoczęciem projektu badawczego dla lewej i prawej kończyny dolnej (ryc. 12) jak i po zakończeniu projektu badawczego również dla lewej i prawej kończyny dolnej (ryc. 13), oraz dla pomiarów porównujących zmienne zależne przed i po zakończeniu projektu badawczego, osobno dla grupy eksperymentalnej (ryc. 14) i grupy kontrolnej (ryc. 15) również dla lewej i prawej kończyny dolnej.



RYCINA 12. Wyniki wskaźnika zakresu przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym (COP-Y) w postawie strzeleckiej dla lewej kończyny dolnej (z lewej strony) oraz prawej kończyny dolnej (z prawej strony) w porównaniu międzygrupowym w pomiarze przez rozpoczęciem projektu badawczego.

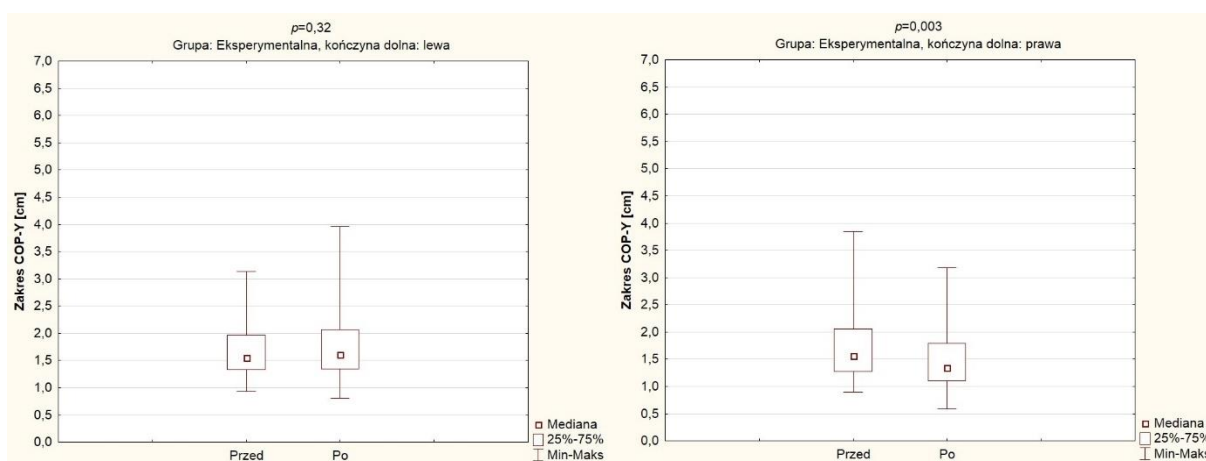
Grupa eksperymentalna i kontrolna w pomiarze przed treningiem równowagi istotnie różniły się pod względem wartości zakresu przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym zarówno lewej ($p=0,001$; ryc. 12) jak i prawej kończyny dolnej ($p<0,0001$; ryc. 12) Grupa eksperymentalna uzyskała niższe wartości zakresu przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym lewej i prawej kończyny dolnej w postawie strzeleckiej niż grupa kontrolna.



RYCINA 13. Wyniki wskaźnika zakresu przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym (COP-Y) w postawie strzeleckiej dla lewej kończyny dolnej (z lewej strony) oraz prawej

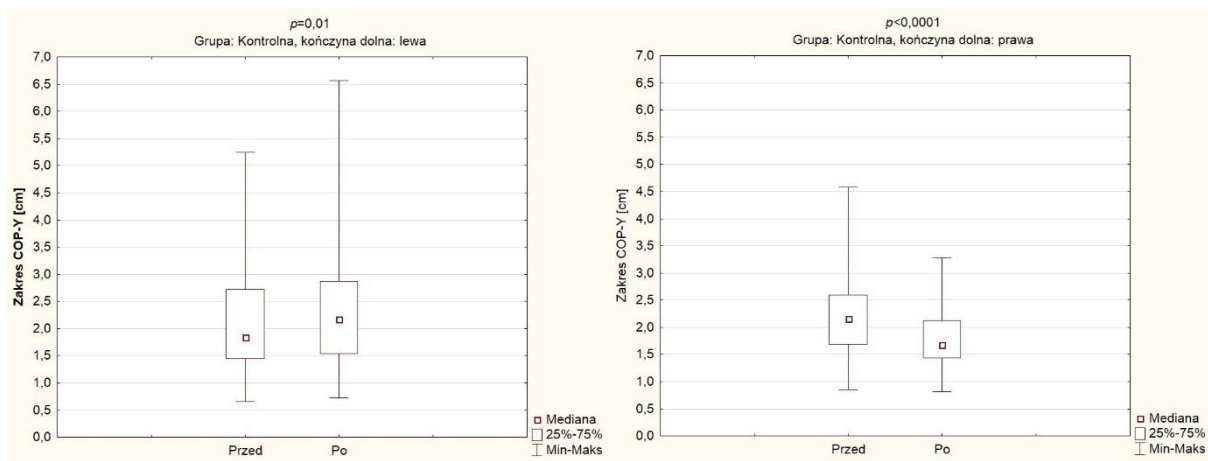
kończyny dolnej (z prawej strony) w porównaniu międzygrupowym w pomiarze po zakończeniu projektu badawczego.

W pomiarze po zastosowaniu autorskiego programu ćwiczeń równoważnych również wykazano istotną różnicę między badanymi grupami pod względem wartości zakresu przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym lewej kończyny dolnej ($p < 0,0001$; ryc. 13), jak i prawej ($p < 0,0001$; ryc. 13). Grupa eksperymentalna uzyskała znacznie niższe wartości zakresu przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym lewej i prawej kończyny dolnej w postawie strzeleckiej niż grupa kontrolna.



RYCINA 14. Wyniki wskaźnika zakresu przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym (COP-Y) w grupie eksperymentalnej dla lewej i prawej kończyny dolnej, przed i po wykonaniu programu ćwiczeń równoważnych podczas pomiaru w postawie strzeleckiej.

Zakres przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym w grupie eksperymentalnej uległ istotnej zmianie po zastosowaniu autorskiego programu ćwiczeń w odniesieniu do stanu sprzed treningu w przypadku prawej kończyny dolnej, o czym świadczy wartość istotności różnicy $p = 0,003$ (ryc. 14). Zakres przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym lewej kończyny dolnej nie uległ istotnej zmianie ($p > 0,05$; ryc. 13).



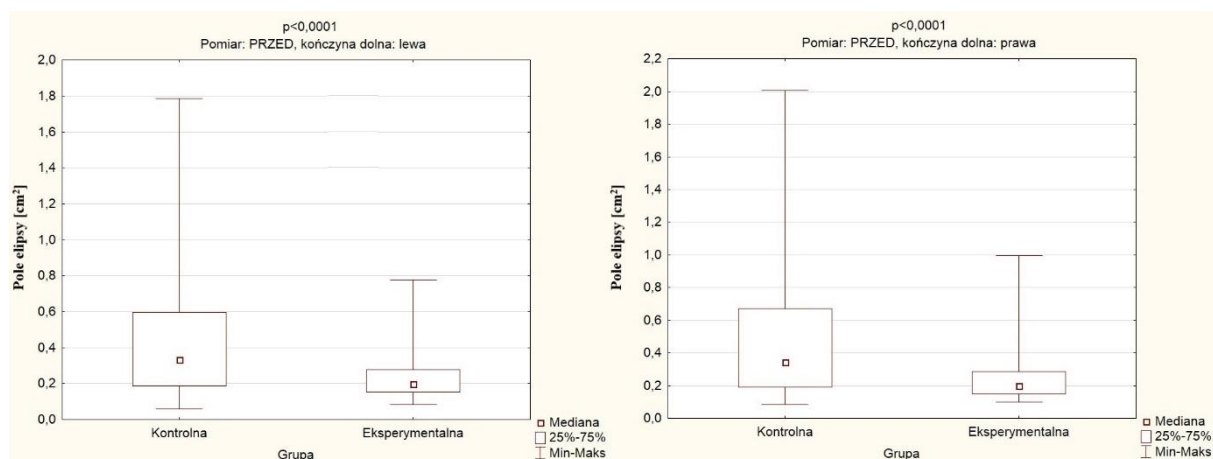
RYCINA 15. Wyniki wskaźnika zakresu przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym (COP-Y) w grupie kontrolnej dla lewej i prawej kończyny dolnej, przed i po zakończeniu projektu badawczego podczas pomiaru w postawie strzeleckiej.

Zakres przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym w grupie kontrolnej uległ istotnej zmianie zarówno w przypadku lewej kończyny dolnej ($p=0,01$; ryc. 15) jak i prawej ($p<0,0001$; ryc. 15). Żołnierze grupy kontrolnej w przypadku lewej kończyny dolnej uzyskali po zakończeniu projektu badawczego wyższe wartości badanego wskaźnika równowagi względem pomiaru rozpoczynającego projekt (ryc. 15), natomiast w przypadku prawej kończyny dolnej wartości zakresu przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym uległy zmniejszeniu względem stanu w dniu rozpoczęcia projektu badawczego (ryc. 15).

Zwraca uwagę fakt, że minimalne wartości zakresu przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym uzyskane przez grupę eksperymentalną podczas pomiaru po wykonaniu programu ćwiczeń są niższe w stosunku do pomiaru sprzed zastosowania treningu, natomiast w przypadku grupy kontrolnej uzyskane wartości minimalne są wyższe lub równe porównując obydwie przeprowadzone pomiary. W przypadku lewej jak i prawej kończyny dolnej zarówno w pomiarze sprzed rozpoczęcia programu ćwiczeń jak i pomiarze po zakończeniu treningu grupy różniły się istotnie od siebie pod względem zakresu przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym, przy czym grupa eksperymentalna uzyskała w obu pomiarach istotnie niższe wartości badanego wskaźnika równowagi od grupy kontrolnej.

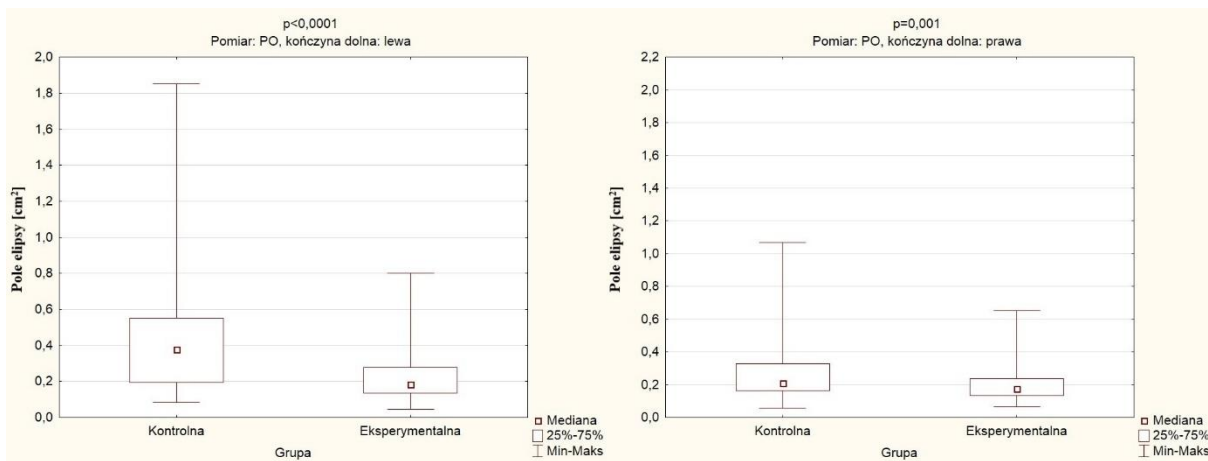
4.1.3 Pole elipsy przemieszczeń COP

Wartości wskaźnika pola powierzchni przemieszczeń COP we wszystkich kierunkach podczas utrzymywania równowagi w postawie strzeleckiej, przedstawiono w postaci graficznej na rycinach poniżej: dla pomiarów porównujących obie grupy zarówno przed rozpoczęciem projektu badawczego dla lewej i prawej kończyny dolnej (ryc. 16), jak i po zakończeniu projektu badawczego również dla lewej i prawej kończyny dolnej (ryc. 17), oraz dla pomiarów porównujących zmienne zależne przed i po zakończeniu projektu badawczego, osobno dla grupy eksperymentalnej (ryc. 18) i grupy kontrolnej (ryc. 19) również dla lewej i prawej kończyny dolnej.



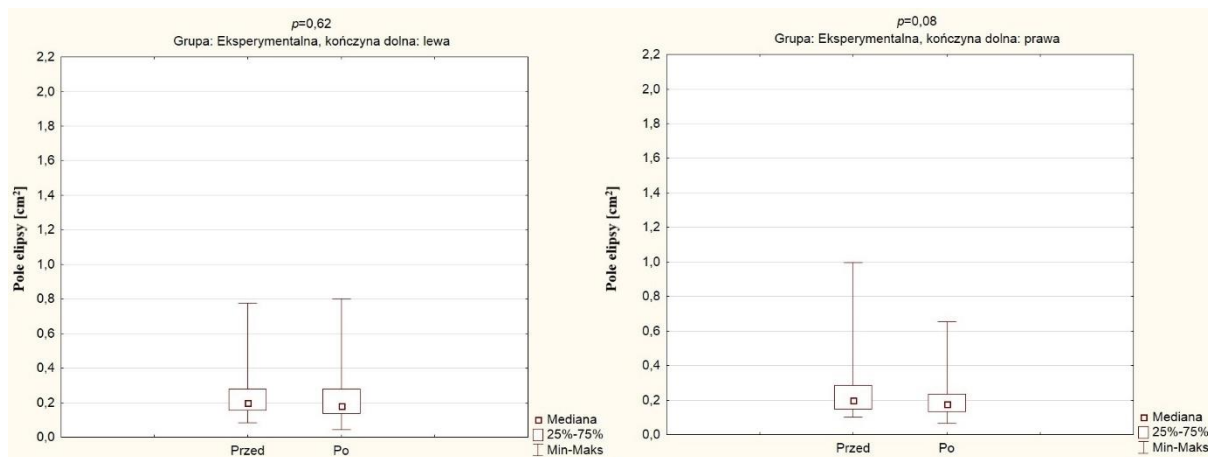
RYCINA 16. Wyniki wskaźnika pola elipsy przemieszczeń COP we wszystkich kierunkach w postawie strzeleckiej dla lewej kończyny dolnej (z lewej strony) oraz prawej kończyny dolnej (z prawej strony) w porównaniu międzygrupowym w pomiarze przed rozpoczęciem projektu badawczego.

Grupa eksperymentalna i kontrolna w pomiarze przed treningiem równowagi istotnie różniły się pod względem wartości pola elipsy przemieszczeń COP we wszystkich kierunkach zarówno lewej ($p < 0,0001$; ryc. 16) jak i prawej kończyny dolnej ($p < 0,0001$; ryc. 16). Grupa eksperymentalna uzyskała niższe wartości pola elipsy przemieszczeń COP we wszystkich kierunkach lewej i prawej kończyny dolnej w postawie strzeleckiej niż grupa kontrolna.



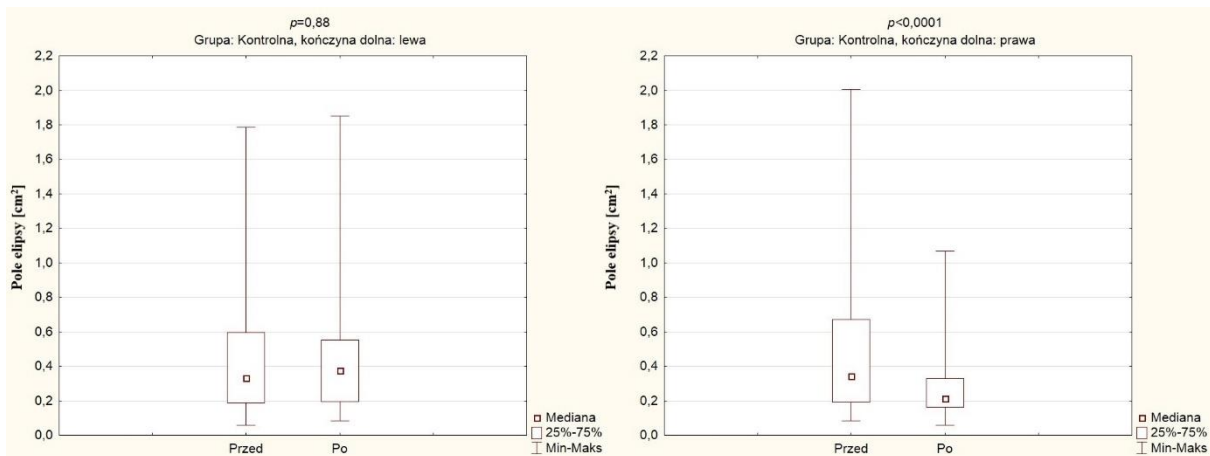
RYCINA 17. Wyniki wskaźnika pola elipsy przemieszczeń COP we wszystkich kierunkach w postawie strzeleckiej dla lewej kończyny dolnej (z lewej strony) oraz prawej kończyny dolnej (z prawej strony) w porównaniu międzygrupowym w pomiarze po zakończeniu projektu badawczego.

Grupa eksperymentalna i kontrolna po zakończeniu autorskiego programu ćwiczeń również istotnie się różniły pod względem pola elipsy przemieszczeń COP we wszystkich kierunkach lewej ($p < 0,0001$; ryc. 17) i prawej kończyny dolnej ($p = 0,0001$; ryc. 17). Grupa kontrolna wykazała znacznie większe wartości pola elipsy przemieszczeń COP we wszystkich kierunkach obu kończyn dolnych w odniesieniu do grupy eksperymentalnej (ryc. 17).



RYCINA 18. Wyniki wskaźnika pola elipsy przemieszczeń COP we wszystkich kierunkach w grupie eksperymentalnej dla lewej i prawej kończyny dolnej, przed i po wykonaniu programu ćwiczeń równoważnych podczas pomiaru w postawie strzeleckiej.

Pole elipsy przemieszczeń COP we wszystkich kierunkach nie uległo zmianie w grupie eksperymentalnej po zastosowaniu autorskiego programu ćwiczeń w odniesieniu do stanu sprzed treningu równowagi w przypadku obu kończyn dolnych, o czym świadczy wartość istotności różnicy $p > 0,05$ (ryc. 18).



RYCINA 19. Wyniki wskaźnika pola elipsy przemieszczeń COP we wszystkich kierunkach w grupie kontrolnej dla lewej i prawej kończyny dolnej, przed i po zakończeniu projektu badawczego podczas pomiaru w postawie strzeleckiej.

Porównując wyniki grupy kontrolnej uzyskane po zakończeniu projektu badawczego względem stanu w dniu rozpoczęcia projektu badawczego, pole elipsy przemieszczeń COP we wszystkich kierunkach uległo zmianie w przypadku prawej kończyny dolnej ($p < 0,001$; ryc. 19). Natomiast pole elipsy przemieszczeń COP we wszystkich kierunkach nie uległo zmianie w przypadku lewej kończyny dolnej ($p > 0,05$; ryc. 19).

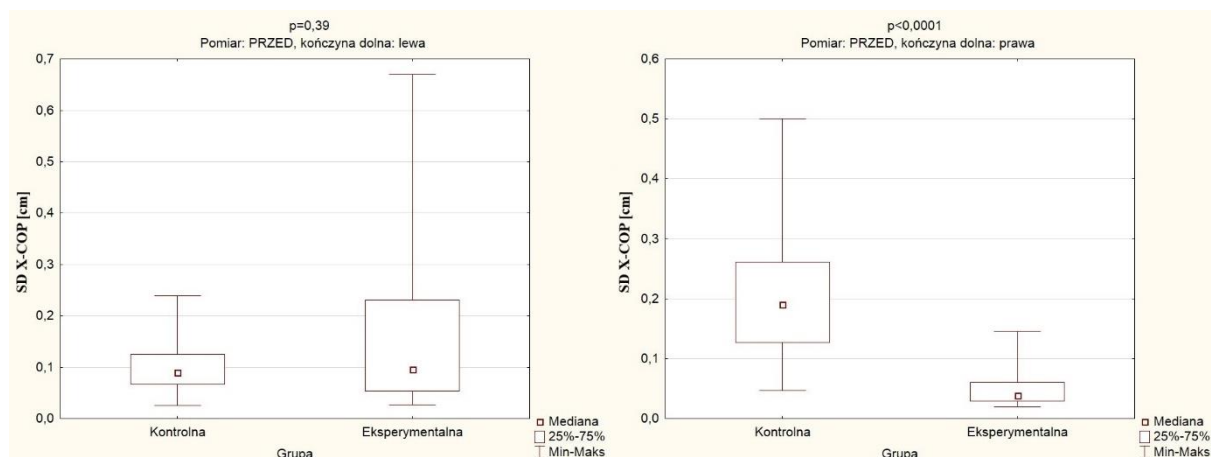
Zwraca uwagę fakt, że grupa kontrolna uzyskała istotnie niższe przeciętne wartości pola elipsy przemieszczeń COP we wszystkich kierunkach prawej kończyny dolnej po zakończeniu projektu badawczego względem rozpoczęcia, jednakże były one i tak znacznie wyższe niż wyniki badanego wskaźnika równowagi prawej kończyny dolnej grupy eksperymentalnej po zastosowaniu treningu. W przypadku lewej jak i prawej kończyny dolnej zarówno w pomiarze przed treningiem jak i po zastosowaniu autorskiego programu ćwiczeń grupy istotnie różniły

się od siebie, grupa eksperymentalna uzyskała w obu pomiarach istotnie niższe wartości od grupy kontrolnej.

4.2 Zmiana jednorodności wykonywania zadania w wyniku zastosowania autorskiego programu ćwiczeń

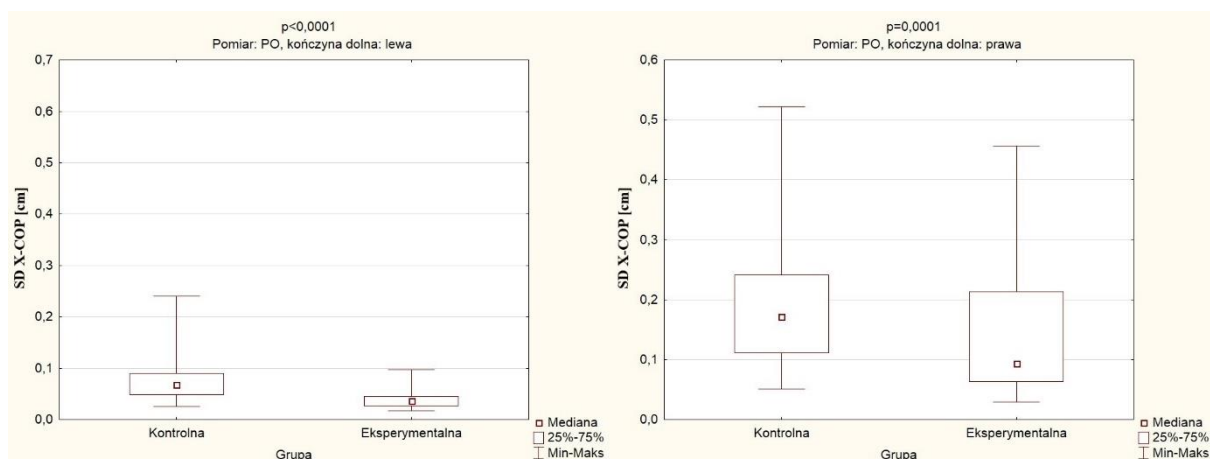
4.2.1 Zmienność przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym

Wartości wskaźnika zmienności przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym podczas utrzymywania postawy strzeleckiej, przedstawiono w postaci graficznej na rycinach poniżej: dla pomiarów porównujących obie grupy zarówno przed rozpoczęciem projektu badawczego dla lewej i prawej kończyny dolnej (ryc. 20), jak i po zakończeniu projektu badawczego również dla lewej i prawej kończyny dolnej (ryc. 21), a także dla pomiarów porównujących zmienne zależne przed i po zakończeniu projektu badawczego, osobno dla grupy eksperymentalnej (ryc. 22) i grupy kontrolnej (ryc. 23) również dla lewej i prawej kończyny dolnej.



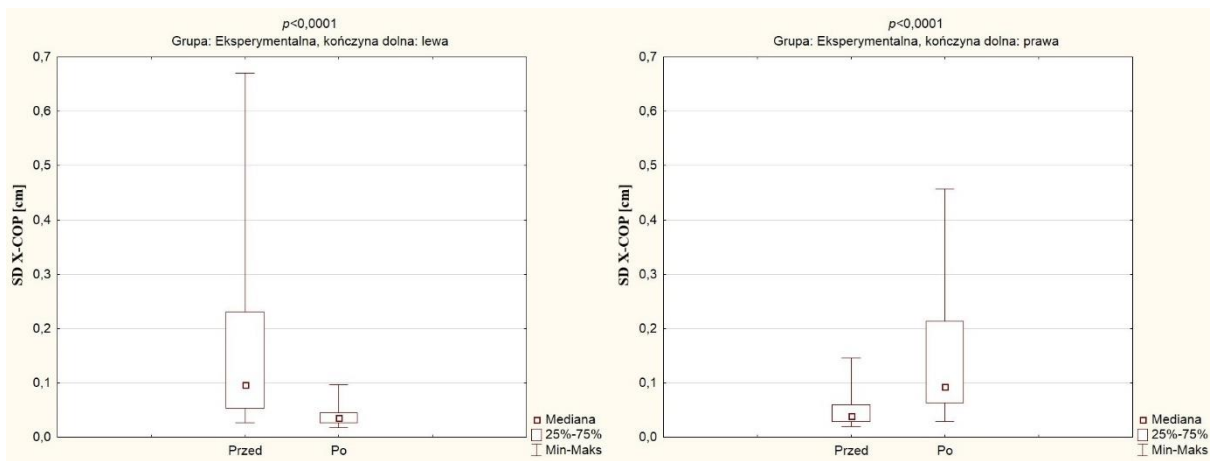
RYCINA 20. Wyniki wskaźnika zmienności przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym (SD X-COP) w postawie strzeleckiej dla lewej kończyny dolnej (z lewej strony) oraz prawej kończyny dolnej (z prawej strony) w porównaniu międzygrupowym w pomiarze przed rozpoczęciem projektu badawczego.

Grupa kontrolna i eksperymentalna nie różniły się w sposób istotny statystycznie po względem wartości zmienności przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym lewej kończyny dolnej ($p > 0,05$; ryc. 20). Natomiast w przypadku prawej kończyny dolnej różnica między grupami okazała się istotna statystycznie ($p < 0,001$; ryc. 20). Grupa kontrolna wykazała znacznie większą zmienność przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym prawej kończyny dolnej w odniesieniu do grupy eksperymentalnej.



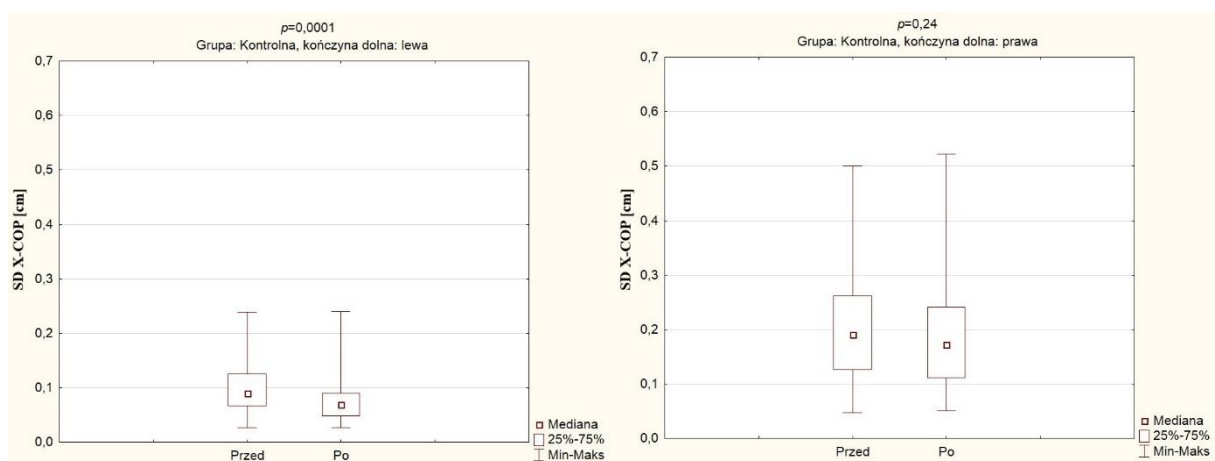
RYCINA 21. Wyniki wskaźnika zmienności przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym (SD X-COP) w postawie strzeleckiej dla lewej kończyny dolnej (z lewej strony) oraz prawej kończyny dolnej (z prawej strony) w porównaniu międzygrupowym w pomiarze po zakończeniu projektu badawczego.

Po zakończeniu projektu badawczego grupa eksperymentalna i kontrolna istotnie różniły się pod względem zmienności przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym zarówno lewej ($p < 0,001$; ryc. 21) jak i prawej kończyny dolnej ($p < 0,001$; ryc. 21). Grupa eksperymentalna uzyskała niższe wartości zmienności przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym obu kończyn dolnych podczas utrzymywania postawy strzeleckiej niż grupa kontrolna (ryc. 21).



RYCINA 22. Wyniki wskaźnika zmienności przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym (SD X-COP) w grupie eksperymentalnej dla lewej i prawej kończyny dolnej, przed i po wykonaniu programu ćwiczeń równoważnych podczas pomiaru w postawie strzeleckiej.

Zmienność przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym w grupie eksperymentalnej uległa istotnej zmianie po zastosowaniu autorskiego programu ćwiczeń w odniesieniu do stanu sprzed treningu równowagi w przypadku zarówno lewej ($p < 0,001$; ryc. 22) jak i prawej kończyny dolnej ($p < 0,001$; ryc. 22). W przypadku lewej kończyny dolnej, przed rozpoczęciem treningu wartości niniejszego wskaźnika były większe, natomiast po zakończeniu uległy istotnemu spadkowi. Natomiast dla prawej kończyny dolnej, przed rozpoczęciem treningu wartości te były niższe, a po zakończeniu istotnie zwiększyły się.



RYCINA 23. Wyniki wskaźnika zmienności przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-

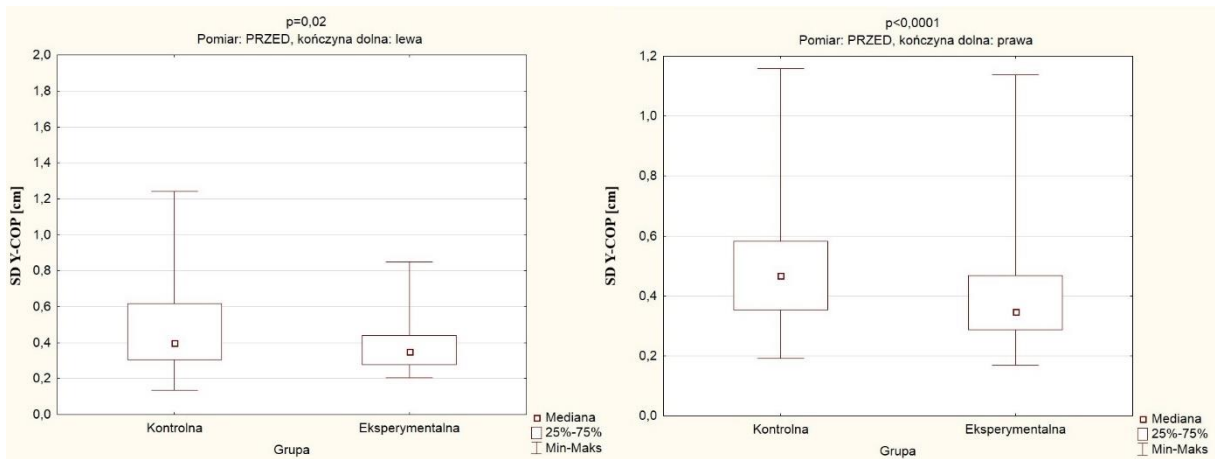
bocznym (SD X-COP) w grupie kontrolnej dla lewej i prawej kończyny dolnej, przed i po zakończeniu projektu badawczego podczas pomiaru w postawie strzeleckiej.

Porównując wyniki uzyskane przez grupę kontrolną po zakończeniu projektu badawczego względem wyników z dnia rozpoczęcia projektu, zmienność przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym uległa zmianie jedynie w przypadku lewej kończyny dolnej ($p < 0,001$; ryc. 23), natomiast w przypadku prawej kończyny dolnej nie zauważono różnicy ($p > 0,05$; ryc. 23). Grupa kontrolna uzyskała w pomiarze kończącym projekt badawczy istotnie mniejsze wartości zmienności przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym lewej kończyny dolnej względem pomiaru rozpoczynającym projekt.

Zwraca uwagę fakt, że nie wykazano istotnej różnicy w zmienności przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym lewej kończyny dolnej między badanymi grupami w pomiarze rozpoczynającym projekt badawczy, natomiast po zakończeniu treningu grupa eksperymentalna wykazała istotnie niższe wartości względem grupy kontrolnej. Natomiast w przypadku prawej kończyny dolnej zarówno w pomiarze przed rozpoczęciem autorskiego programu ćwiczeń równoważnych jak i po zakończeniu treningu, grupa eksperymentalna uzyskała znacząco niższe wartości badanego wskaźnika równowagi.

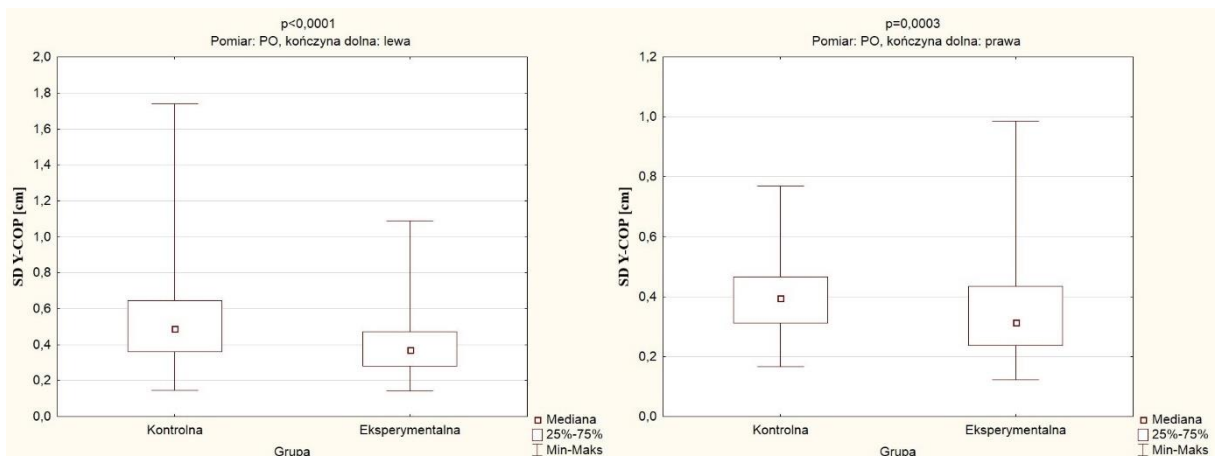
4.2.2 Zmienność przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym

Wartości wskaźnika zmienności przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym podczas utrzymywania postawy strzeleckiej, przedstawiono w postaci graficznej na rycinach poniżej: dla pomiarów porównujących obie grupy zarówno przed rozpoczęciem projektu badawczego dla lewej i prawej kończyny dolnej (ryc. 24) jak i po zakończeniu projektu badawczego również dla lewej i prawej kończyny dolnej (ryc. 25), a także dla pomiarów porównujących zmienne zależne przed i po zakończeniu projektu badawczego, osobno dla grupy eksperymentalnej (ryc. 26) i grupy kontrolnej (ryc. 27) również dla lewej i prawej kończyny dolnej.



RYCINA 24. Wyniki wskaźnika zmienności przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym (SD Y-COP) w postawie strzeleckiej dla lewej kończyny dolnej (z lewej strony) oraz prawej kończyny dolnej (z prawej strony) w porównaniu międzygrupowym w pomiarze przed rozpoczęciem projektu badawczego.

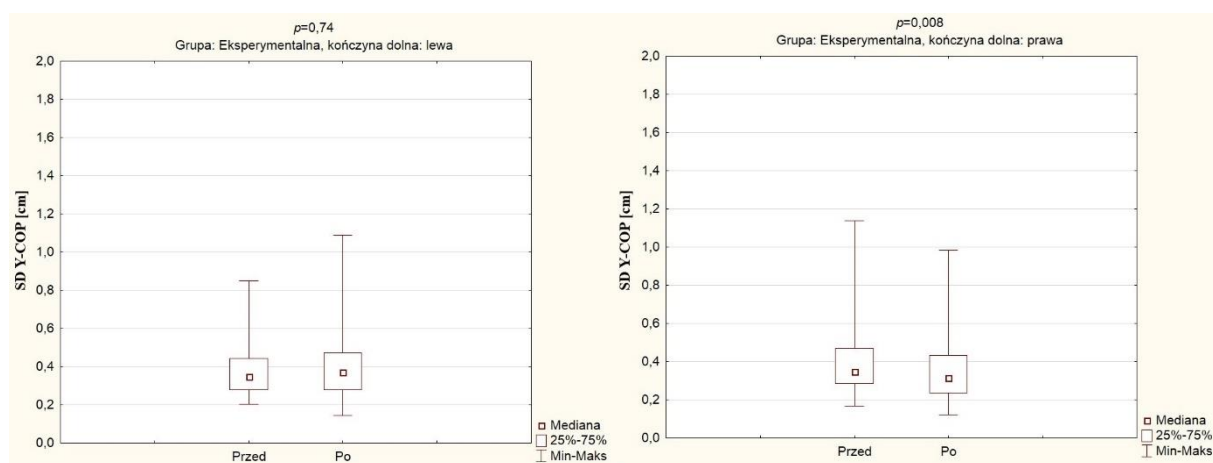
Wykazano różnicę między grupą kontrolną a eksperymentalną zmienności przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym lewej kończyny dolnej, ($p < 0,05$; ryc. 24) oraz prawej kończyny dolnej, ($p < 0,001$; ryc. 24). Grupa eksperymentalna charakteryzowała się niższymi wartościami zmienności przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym lewej jak i prawej kończyny dolnej.



RYCINA 25. Wyniki wskaźnika zmienności przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym (SD Y-COP) w postawie strzeleckiej dla lewej kończyny dolnej (z lewej strony) oraz

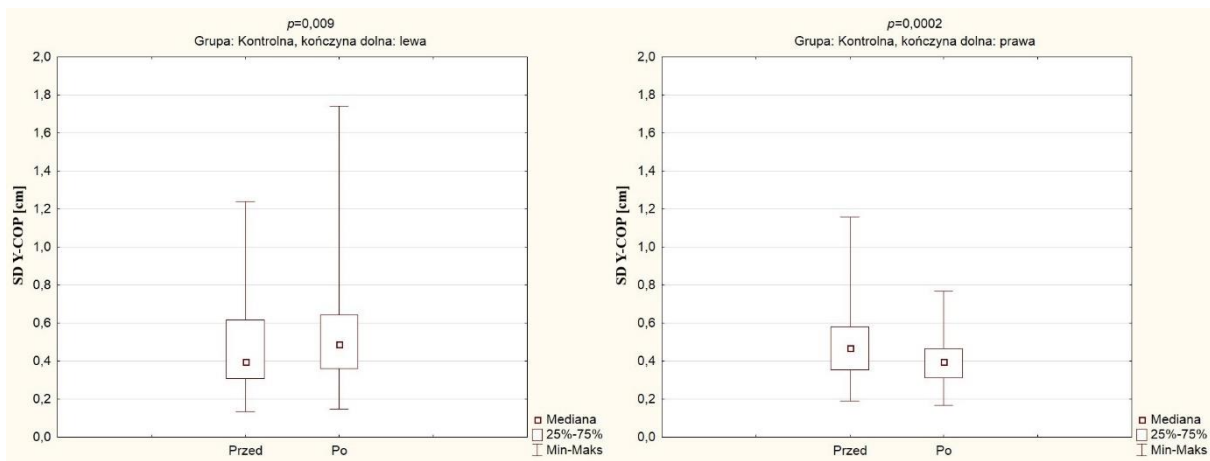
prawej kończyny dolnej (z prawej strony) w porównaniu międzygrupowym w pomiarze po zakończeniu projektu badawczego.

Również w pomiarze kończącym projekt badawczy grupa kontrolna i eksperymentalna istotnie różniły się od siebie wynikami wskaźnika zmienności przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym, zarówno lewej, ($p < 0,001$; ryc. 25), jak i prawej kończyny dolnej, ($p < 0,001$; ryc. 25). Grupa eksperymentalna w przypadku obu kończyn dolnych uzyskała znacząco niższe wartości wskaźnika zmienności przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym podczas pomiaru po zakończeniu autorskiego programu ćwiczeń równoważnych (ryc. 25).



RYCINA 26. Wyniki wskaźnika zmienności przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym (SD Y-COP) w grupie eksperymentalnej dla lewej i prawej kończyny dolnej, przed i po wykonaniu programu ćwiczeń równoważnych podczas pomiaru w postawie strzeleckiej.

Zmienność przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym po zastosowaniu treningu równowagi uległa zmianie w grupie eksperymentalnej w przypadku prawej kończyny dolnej, ($p = 0,008$; ryc 26). Natomiast w przypadku lewej kończyny dolnej nie wykazano zmiany w odniesieniu do stanu sprzed rozpoczęcia autorskiego programu ćwiczeń równoważnych, ($p > 0,05$; ryc. 26). Zmienność przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym prawej kończyny dolnej po zakończeniu treningu przyjęła niższe wartości niż przed rozpoczęciem treningu (ryc. 26).



RYCINA 27. Wyniki wskaźnika zmienności przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym (SD Y-COP) w grupie kontrolnej dla lewej i prawej kończyny dolnej, przed i po zakończeniu projektu badawczego podczas pomiaru w postawie strzeleckiej.

W grupie kontrolnej zmienność przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym uległa zmianie zarówno w przypadku lewej, ($p=0,009$; ryc. 27), jak i prawej kończyny dolnej ($p<0,001$; ryc. 27). Grupa kontrolna po zakończeniu projektu badawczego wykazała istotnie wyższe wartości zmienności przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym lewej kończyny dolnej, natomiast w przypadku prawej kończyny dolnej wartości okazały się znacząco niższe (ryc. 27).

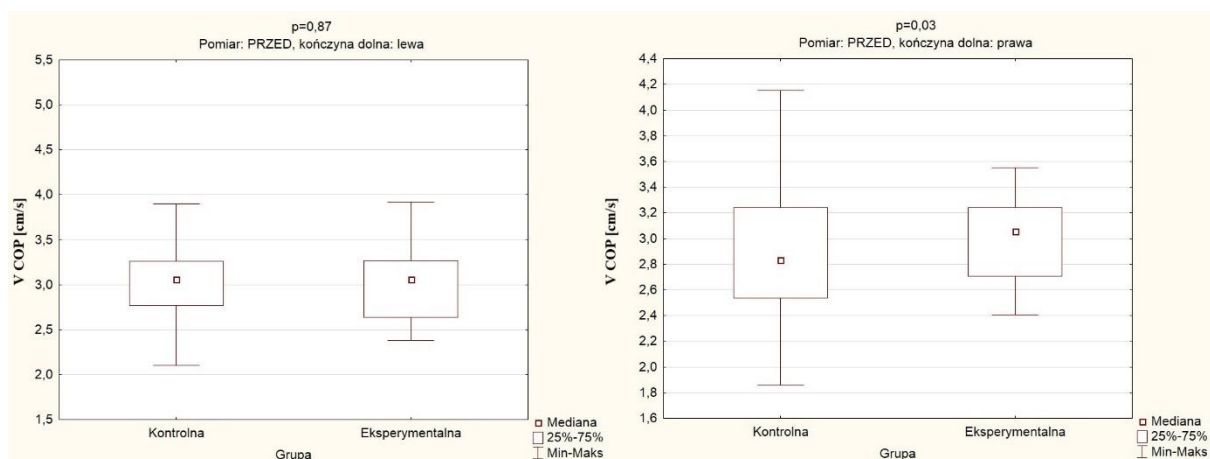
Zwraca uwagę fakt, że mimo istotnych zmian w zmienności przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym grupy kontrolnej, uzyskała ona znacząco wyższe wartości w pomiarze po zakończeniu projektu badawczego w porównaniu do grupy eksperymentalnej po zakończeniu autorskiego programu ćwiczeń równoważnych zarówno w przypadku lewej jak i prawej kończyny dolnej.

4.3 Prędkość zmian nacisku stóp na podłoże w wyniku zastosowania autorskiego programu ćwiczeń

4.3.1 Średnia prędkość przemieszczeń COP

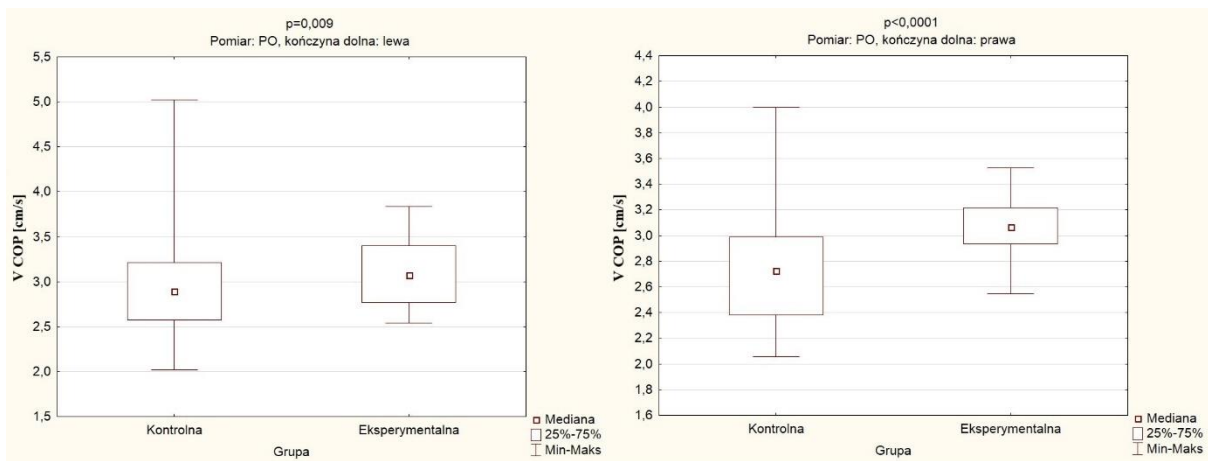
Wartości wskaźnika średniej prędkości przemieszczeń COP podczas utrzymywania równowagi w postawie strzeleckiej, przedstawiono w postaci graficznej na rycinach poniżej:

dla pomiarów porównujących obie grupy dla pomiarów porównujących obie grupy zarówno przed rozpoczęciem projektu badawczego dla lewej i prawej kończyny dolnej (ryc. 28) jak i po zakończeniu projektu badawczego również dla lewej i prawej kończyny dolnej (ryc. 29), a także dla pomiarów porównujących zmienne zależne przed i po zakończeniu projektu badawczego, osobno dla grupy eksperymentalnej (ryc. 30) i grupy kontrolnej (ryc. 31) również dla lewej i prawej kończyny dolnej.



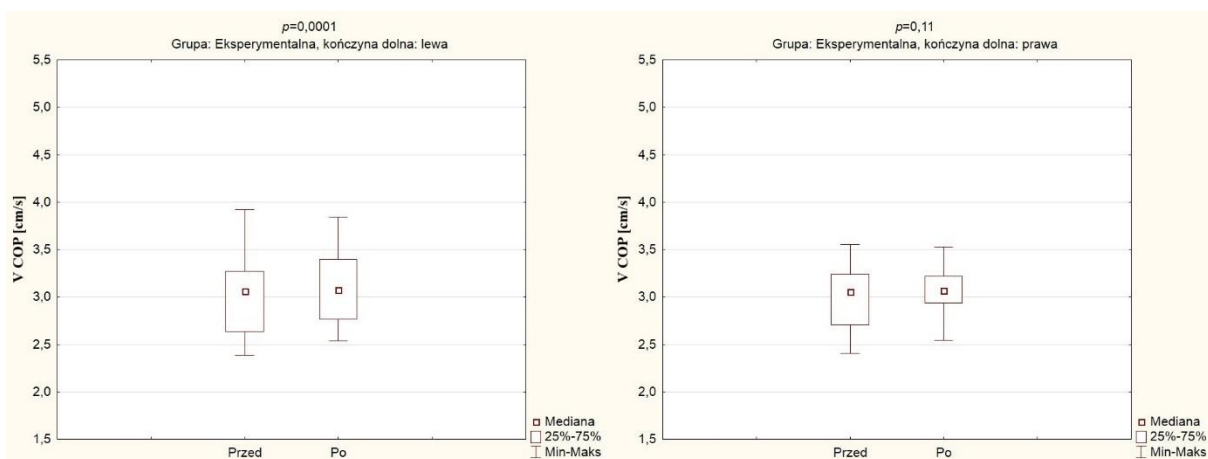
RYCINA 28. Wyniki wskaźnika średniej prędkości przemieszczeń COP (V COP) w postawie strzeleckiej dla lewej kończyny dolnej (z lewej strony) oraz prawej kończyny dolnej (z prawej strony) w porównaniu międzygrupowym w pomiarze przed rozpoczęciem projektu badawczego.

Podczas rozpoczęcia projektu badawczego grupa kontrolna i eksperymentalna nie różniły się pod względem wartości średniej prędkości przemieszczeń COP w przypadku lewej kończyny dolnej, ($p > 0,05$; ryc. 28), natomiast w przypadku prawej kończyny dolnej różnica okazała się być istotna, ($p = 0,03$; ryc. 28). Grupa eksperymentalna wykazała większe wartości średniej prędkości przemieszczeń COP prawej kończyny dolnej w porównaniu do grupy kontrolnej (ryc. 28).



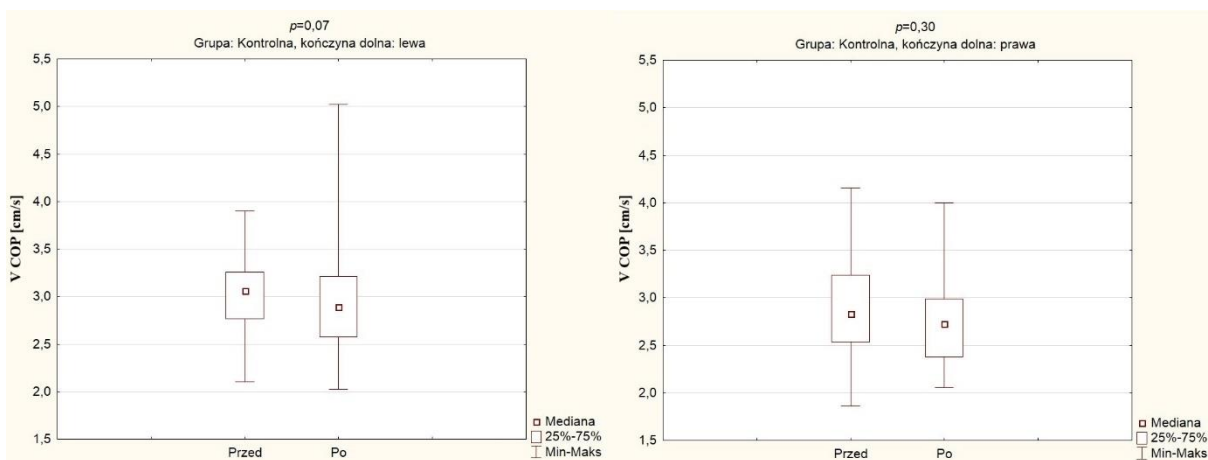
RYCINA 29. Wyniki wskaźnika średniej prędkości przemieszczeń COP (V COP) w postawie strzeleckiej dla lewej kończyny dolnej (z lewej strony) oraz prawej kończyny dolnej (z prawej strony) w porównaniu międzygrupowym w pomiarze po zakończeniu projektu badawczego.

W pomiarze po zakończeniu treningu równowagi grupa eksperymentalna i kontrolna różniły się pod względem średniej prędkości przemieszczeń COP zarówno lewej, ($p=0,009$; ryc. 29), jak i prawej kończyny dolnej, ($p<0,001$; ryc. 29). Grupa eksperymentalna po zakończeniu autorskiego programu ćwiczeń równoważnych wykazała znacząco wyższe wartości średniej prędkości przemieszczeń COP zarówno lewej jak i prawej kończyny dolnej w porównaniu do grupy kontrolnej (ryc. 29).



RYCINA 30. Wyniki wskaźnika średniej prędkości przemieszczeń COP (V COP) w grupie eksperymentalnej dla lewej i prawej kończyny dolnej, przed i po wykonaniu programu ćwiczeń równoważnych podczas pomiaru w postawie strzeleckiej.

Średnia prędkość przemieszczeń COP w grupie eksperymentalnej uległa istotnej zmianie po zastosowaniu treningu równowagi w odniesieniu do stanu sprzed treningu w przypadku lewej kończyny dolnej, ($p < 0,001$; ryc. 30). Natomiast w przypadku prawej kończyny dolnej nie wykazano istotnej zmiany w średniej prędkości przemieszczeń COP, ($p > 0,05$; ryc. 30). Przed rozpoczęciem treningu wartości średniej prędkości przemieszczeń COP lewej kończyny dolnej były niższe, a po zakończeniu treningu wartości te zwiększyły się (ryc. 30).



RYCINA 31. Wyniki wskaźnika średniej prędkości przemieszczeń COP (V COP) w grupie kontrolnej dla lewej i prawej kończyny dolnej, przed i po wykonaniu programu ćwiczeń równoważnych podczas pomiaru w postawie strzeleckiej.

W grupie kontrolnej nie wykazano zmian w średniej prędkości przemieszczeń COP po zakończeniu projektu badawczego w odniesieniu do stanu w dniu rozpoczęcia projektu zarówno w przypadku lewej, ($p > 0,05$; ryc. 31), jak i prawej kończyny dolnej, ($p > 0,05$; ryc. 31).

Zwraca uwagę fakt, że przed rozpoczęciem autorskiego programu ćwiczeń równoważnych grupa eksperymentalna nie różniła się od grupy kontrolnej w średniej prędkości przemieszczeń COP lewej kończyny dolnej, natomiast po zakończeniu treningu grupa eksperymentalna wykazała znacząco wyższe wartości tego wskaźnika względem grupy kontrolnej. Po zakończeniu treningu grupa eksperymentalna w przypadku obu kończyn dolnych

wykazał znacząco wyższe wartości średniej prędkości przemieszczeń COP w odniesieniu do grupy kontrolnej.

5. Dyskusja

Celem niniejszej pracy była ocena skuteczności wpływu autorskiego programu ćwiczeń równoważnych na stabilność postawy strzeleckiej. Analiza wybranych wskaźników równowagi ciała, pozwala na ocenę zmian i zmienności w kontroli równowagi oraz aktywności kończyn dolnych podczas kontroli równowagi ciała w postawie strzeleckiej. Poprawę kontroli równowagi podczas utrzymywania postawy strzeleckiej rozumie się, w kontekście niniejszej pracy, przez zmniejszenie wartości wskaźników równowagi ciała w wyniku wykonania autorskiego programu ćwiczeń równoważnych. Mniejsze wartości wskaźników równowagi ciała w odniesieniu do stanu sprzed rozpoczęcia treningu równowagi wskazują na większą stabilność żołnierza w przyjętej pozycji.

5.1 Zmiany w kontroli równowagi w efekcie zastosowania autorskiego programu

ćwiczeń

Kontrola postawy ciała w pozycji strzeleckiej polega na zminimalizowaniu odchylenia ciała od idealnego pionu. Człowiek w pozycji stojącej nigdy nie znajduje się trwale w stanie równowagi, a jedynie w stanie równowagi chwiejnej (Golema 2002), ze względu na ciągłe zmiany napięcia mięśni posturalnych i położenie środka masy ciała, które wyzwała w polu grawitacji jego przemieszczanie się do przodu. W naturalny sposób nacisk stóp na podłoże w okolicy przodostopia powoduje zatrzymanie przemieszczania się środka masy ciała i powrót do położenia „bezpiecznego”, niezagrażającego trwałemu utraceniu równowagi. Czynności te powtarzają się przez cały czas (poza świadomością) kiedy człowiek przebywa w pionowej pozycji ciała. W przypadku strzelca poprawa kontroli równowagi oznacza zmniejszenie kołysania postawy, nawet w tym naturalnym wymiarze.

Kołysanie postawy strzeleckiej w obu kierunkach grupy eksperymentalnej uległo zmniejszeniu po zastosowaniu autorskiego programu ćwiczeń równoważnych, jednakże nie we wszystkich wskaźnikach równowagi ciała odnotowano taki wynik. Po wykonaniu autorskiego programu ćwiczeń równoważnych grupa eksperymentalna, w przeciwieństwie do grupy

kontrolnej, uzyskała zmiany wartości wskaźnika zakresu przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym obu kończyn dolnych. Z kolei wartość wskaźnika zakresu przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym lewej kończyny dolnej grupy eksperymentalnej uległa zmianie zwiększając swoje wartości, w przeciwieństwie do prawej kończyny dolnej, gdzie doszło do zmniejszenia wartości. Wartości wskaźnika zakresu przemieszczeń COP w kierunku przednio-tylnym grupy kontrolnej uległy analogicznym zmianom co w przypadku grupy eksperymentalnej, tj. zwiększeniu w lewej kończynie dolnej, a zmniejszeniu w prawej kończynie dolnej. Przeprowadzenie programu ćwiczeń równoważnych nie przyniosło skutku w postaci jednakowego wpływu na obie kończyny dolne, co może po części wynikać z dominacji w funkcji czynnościowej i stabilizacyjnej prawej kończyny dolnej u badanych i związanej z tą problematyką asymetrią postawy (Stodółka i Sobera 2017). Zmniejszenie wartości wskaźników zakresu przemieszczeń COP zarówno w kierunku przednio-tylnym jak i przyśrodkowo-bocznym, w wyniku zastosowanych programów ćwiczeń równoważnych, koreluje z wynikami badań innych autorów (Romero-Franco i wsp. 2014; Freyler i wsp. 2016; Nagy i wsp. 2018). Jednakże, wskazane badania nie były prowadzone w postawie strzeleckiej, a także w niniejszej pracy doszło do selektywnej zmiany opisywanych wskaźników równowagi ciała. Freyler i wsp. (2016) odnotowała procentowo większą zmianę w przemieszczeniach COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym niż przednio-tylnym, co w kontekście niniejszej pracy również się potwierdziło. Natomiast wskaźnik pola elipsy przemieszczeń COP w grupie eksperymentalnej nie uległ zmianie, co pokrywa się z wnioskami Low i wsp. (2017), którzy nie odnotowali istotnych zmian wielkości przemieszczeń COP po treningu równowagi w odniesieniu do początkowego stanu. Z kolei Heleno i wsp. (2016), Fernandez-Rio i wsp. (2019) oraz Cuğ i wsp. (2016) wskazują na zmniejszenie pola powierzchni elipsy wewnątrz której przemieszcza się nacisk stóp po zastosowanym przez nich treningu ćwiczeń równoważnych. Niejednoznaczne wyniki badań dotyczące wskaźnika pola elipsy przemieszczeń COP mogą wynikać z twierdzenia Low i wsp. (2017), którzy wskazują,

że pomiar pola elipsy przemieszczeń COP przy oczach otwartych prawdopodobnie nie odzwierciedla mechanizmów kontroli postawy, które ulegają poprawie podczas ćwiczeń.

5.2 Zmienność wykonania zadania utrzymania stabilnej postawy strzeleckiej

W przypadku kontroli postawy strzeleckiej ważnym aspektem minimalizacji kołysania postawy jest obniżenie zmienności położenia nacisku stóp na podłoże podczas zgrywania przyrządów celowniczych. Poprawa kontroli równowagi podczas strzelania polega m.in. na zmniejszeniu rozrzutu chwilowych odchyłeń od średniego przebiegu nacisku stóp na podłoże. Zmienność wykonania zadania utrzymania stabilnej postawy strzeleckiej w kierunku przyśrodkowo-bocznym niedominującej kończyny dolnej uległa obniżeniu w grupie eksperymentalnej po zakończeniu treningu w odniesieniu do stanu sprzed rozpoczęcia programu ćwiczeń. Choć należy wskazać również na zmiany tego wskaźnika w obrębie grupy kontrolnej. Jednakże, mimo uzyskanej poprawy, tj. zmniejszenia wartości tego wskaźnika, grupa eksperymentalna wykazała znacząco mniejsze wartości zmienności przemieszczeń COP zarówno w kierunku przyśrodkowo-bocznym jak i przednio-tylnym od grupy kontrolnej. Dotychczas przeprowadzone badania stabilności postawy na platformach sił, wykazały skuteczność treningu równowagi w zmniejszaniu zmienności przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym (Myer i wsp. 2006; Iacono i wsp. 2014; Romero-Franco i wsp. 2014; Cankaya i wsp. 2015; Manolopoulos i wsp. 2015; Freyler i wsp. 2016; Nagy i wsp. 2018). Chociaż żadne z przytoczonych badań nie odbywało się w postawie strzeleckiej, a w dodatku przyjęta do pomiaru pozycja była zróżnicowana (postawa jednonóż, postawa swobodna), wyniki wskazują na pewną prawidłowość do poprawy wskaźników przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym po zastosowaniu treningu równowagi, z którą wyniki niniejszego badania się zgadzają.

5.3 Prędkość zmian położenia nacisku stóp na podłoże w efekcie treningu równowagi

Podczas wykonywania zadania kontroli równowagi polegającego na zminimalizowaniu kołysania ciała i w efekcie jak najmniejszych odchyłeń broni od linii strzału, istotną rolę pełni

prędkość zmiany położenia nacisku stóp na podłoże, a tym samym prędkość reagowania na chwilowe zachwiania równowagi generowane w naturalny sposób przez układ ruchu człowieka. Wzrost tego wskaźnika równowagi oznacza, że układ nerwowy kontrolujący postawę ciała rozpoznaje daną pozycję, jako trudniejsze zadanie w porównaniu do naturalnego stanu (Rothermel i wsp. 2004; Paillard i Noé 2015) i odwrotnie, obniżenie prędkości zmian położenia nacisku stóp na podłoże jest efektem „wytrenowania” układu sterującego (Sobera i Rutkowska-Kucharska 2019). Wskaźnik średniej prędkości przemieszczeń COP przez niektórych badaczy jest określany mianem globalnego wskaźnika kontroli posturalnej (Rothermel i wsp. 2004). W badaniach tej pracy można stwierdzić, że grupa eksperymentalna uzyskała wyższe wartości średniej prędkości COP lewej kończyny dolnej po zakończeniu programu treningowego względem pomiaru początkowego. Możliwość bezpośredniego odniesienia uzyskanych wyników do doniesień naukowych jest ograniczona z powodu braku dostępnych badań dotyczących wybranej w niniejszej pracy grupy badanych - żołnierzy Wojsk Lądowych. Inni badacze wykazują w swoich badaniach zmniejszenie wskaźnika średniej prędkości przemieszczeń COP (Rothermel i wsp. 2004; Heleno i wsp. 2016; Simpson i wsp. 2017), natomiast w niniejszej pracy uzyskano zwiększenie wskaźnika średniej prędkości przemieszczeń COP prawej kończyny dolnej w grupie eksperymentalnej. Z kolei Zech i wsp. (2014), po zastosowanym treningu równowagi, nie uzyskali istotnej zmiany wskaźnika prędkości przemieszczeń COP. Cuğ i wsp. (2016) również nie wykazali zmniejszenia wartości średniej prędkości przemieszczeń COP. Natomiast Fernández-Rio i wsp. (2019) uzyskali zmniejszenie wartości wskaźnika prędkości przemieszczeń COP kończyny niedominującej po zastosowaniu treningu równowagi.

Zastosowanie autorskiego programu ćwiczeń równoważnych nie wywołało oczekiwanych zmian w wartościach wskaźnika średniej prędkości przemieszczeń COP. W przypadku prawej kończyny dolnej nie uzyskano istotnej zmiany, natomiast w przypadku lewej kończyny dolnej wartości wskaźnika średniej prędkości COP uległy zwiększeniu w odniesieniu

do stanu sprzed rozpoczęcia programu ćwiczeń. Fakt ten stwarza trudności w jednoznacznej interpretacji skuteczności opracowanego programu ćwiczeń równoważnych.

5.4 Skuteczność programu ćwiczeń równoważnych

Niniejsze badanie miało na celu weryfikację skuteczności skonstruowanego programu ćwiczeń równoważnych, który został zastosowany wśród żołnierzy i miał na celu zmniejszenie wartości wskaźników równowagi ciała. Wielu badaczy potwierdziło skuteczność zastosowanych specyficznych programów treningowych w zróżnicowanych grupach wiekowych, uzyskując poprawę jakości kontroli równowagi ciała (Riemann i wsp. 2003; Yaggie i Campbell. 2006; Granacher i wsp. 2010a; Zemková i Hamar 2010; Romero-Franco 2012; Boccolini i wsp. 2013). Jednakże, część ze wskazanych wyżej badań dotyczyła osób, u których jeszcze przebiegają procesy rozwojowe. W kontekście przyjętej metodologii w niniejszej pracy badania zdrowych dorosłych osób (żołnierzy), inni badacze wskazują, iż trening równowagi również przynosi pożądane rezultaty (Hoffman i Payne 1995; Heitkamp i wsp. 2001; Behrens i wsp. 2015; Karakaya i wsp. 2015; Krause i wsp. 2018). Badania dotyczące równowagi dynamicznej także wykazują skuteczność zastosowanych rozwiązań treningowych takich jak: trening nerwowo-mięśniowy nastawiony na zwiększenie stabilności tułowia i siły kończyn dolnych oraz wykorzystanie specjalnego sprzętu (Emery i wsp. 2006; McLeod i wsp. 2009; Filipa i wsp. 2010; Donath i wsp. 2013; Boccolini i wsp. 2016; Gürkan i wsp. 2016). Doniesienia naukowe autorstwa DiStefano i wsp. (2009), Lesinski i wsp. (2015a) oraz Brachman i wsp. (2017) potwierdzają, iż większość zastosowanych treningów równowagi prowadziła do poprawy kontroli posturalnej u młodych i zdrowych dorosłych.

Chociaż wyniki przeprowadzonego w tej pracy badania potwierdziły oczekiwane zmiany wskaźników równowagi w grupie eksperymentalnej w porównaniu do grupy kontrolnej, to nie uzyskano wymaganego progu istotności we wszystkich zmiennych. Granacher i wsp. (2010b) również uzyskali selektywną poprawę badanych wskaźników równowagi po wykonanym treningu ćwiczeń równoważnych. Niektóre wartości wskaźników

równowagi w grupie eksperymentalnej uległy zwiększeniu w pomiarze końcowym, z czym spotkali się również Hoffman i Payne (1995) tłumacząc to zjawisko możliwością dodatkowej aktywności badanych osób w dniu testowania. Zwiększenie wartości wskaźników jest zauważalne zwłaszcza w przypadku prawej kończyny dolnej, która została zakwalifikowana, jako dominująca u wszystkich badanych. Donath i wsp. (2013) oraz Boccolini i wsp. (2013) wskazują, że zastosowany przez nich trening równowagi miał większy wpływ na kończynę niedominującą, z czym pokrywają się wyniki niniejszej pracy wskazujące na większe zmiany wskaźników równowagi lewej kończyny dolnej po zastosowaniu autorskiego programu ćwiczeń równoważnych.

Problematycznym dla jednoznacznej oceny skuteczności programu jest również fakt zmniejszenia wartości niektórych wskaźników równowagi ciała u grupy kontrolnej. Inni badacze również wskazywali na to zjawisko (Granacher i wsp. 2010a, 2010b; Zech i wsp. 2014; Giboin i wsp. 2015; Karakaya i wsp. 2015; Winter i wsp. 2015; Giboin i wsp. 2018b; Giboin i wsp. 2019a). Giboin i wsp. (2018b) sugerują wręcz, że efekt zmiany wartości wskaźników w grupie kontrolnej jest typowy w badaniach zależności treningowych z powtarzaniem pomiarów. Tak jak w przypadku badań Granacher i wsp. (2010a) mimo, że uzyskano poprawę w grupie kontrolnej to jednak zmiany były zdecydowanie bardziej znaczące w grupie eksperymentalnej. Giboin i wsp. (2018b) tłumaczą, że wykonanie przez grupę kontrolną małej ilości powtórzeń zadania pomiarowego (w ich przypadku - cztery) nie mogło wpłynąć na wytworzenie się adaptacji nerwowo-mięśniowych specyficznych dla badanej czynności. Karakaya i wsp. (2015) wskazują, że zmiany w grupie kontrolnej mogły być spowodowane efektem uczenia się związanym z techniką wykonywania pomiarów. Niewykluczone, że efekt uczenia się wpłynął również na wyniki grupy eksperymentalnej w badaniach przedstawionych w tej pracy. Szerzej problematykę efektu uczenia się w kontekście treningu równowagi podjęli Hupperets i wsp. (2009) twierdząc, że zmniejszenie kołysania ciała jest głównie efektem uczenia się, jednakże przeanalizowane badania dotyczyły osób z deficytami kontroli

posturalnej a nie zdrowych i “wytrenowanych” dorosłych. Z kolei Giboin i wsp. (2018b) sugerują, że pierwsze pomiary mogły zredukować obawę przed upadkiem - w przypadku ich badań, natomiast w kontekście niniejszego badania pozwoliły zapoznać się z aparaturą pomiarową. W toku prowadzonego badania w tej pracy kolejne pomiary mogły przyzwycząić badanego do wykonywanego zadania i pozwolić na zastosowanie lepszej strategii osiągnięcia równowagi. Warto jednak zwrócić uwagę, iż badanie zależności kolejności wykonanej próby (w obrębie jednego pomiaru) od uzyskanego wyniku nie wykazało takiej zależności. Nie jest wykluczone, że połączenie wymienionych zjawisk mogło mieć wpływ na poprawę wyników kontroli równowagi także grupy kontrolnej, która nie realizowała programu specyficznych ćwiczeń, chociaż głównie upatruje się przyczynę w zbyt dużym skupieniu wewnętrznym żołnierzy na wykonaniu zadania w warunkach laboratoryjnych (stojąc na platformach sił), które, jak wskazują Donker i wsp. (2007), może w niektórych sytuacjach być “szkodliwe” dla określenia zmian jakości kontroli posturalnej. Być może zasadne byłoby podejście Simpson i wsp. (2017), którzy w swoim badaniu zastosowali okres poznawczy, w którym uczestnicy mogli się zapoznać i wykonać wedle uznania ilość powtórzeń zadań pomiarowych, aby wykluczyć efekt uczenia się. Jednakże w przypadku badań w niniejszej pracy, z powodów organizacyjnych, zapoznanie ze sprzętem odbyło się tego samego dnia, w którym rozpoczął się projekt badawczy. Niemniej, co istotne, żadna z badanych osób nie uczestniczyła wcześniej w badaniu na platformach sił, więc dla wszystkich było to jednakowo „nowe” zadanie.

Istnieją również doniesienia o braku efektywności zastosowanego programu ćwiczeń równoważnych (Verhagen i wsp. 2005; Eisen i wsp. 2010; Zech i wsp. 2014). Verhagen i wsp. (2005) sugerują, iż trening równowagi nie prowadzi do zmniejszenia wymiaru przemieszczeń COP w populacji składającej się z osób, które nie doświadczyły urazu kończyn dolnych. Z kolei Eisen i wsp. (2010) nie uzyskali poprawy testu funkcjonalnego SEBT (ang. Star Excursion Balance Test) po zastosowanym treningu równowagi wśród studentów. Testem tym „mierzy” się jednak zupełnie inne aspekty kontroli równowagi niż umożliwia to obiektywny pomiar

momentów sił na platformach sił. Natomiast Zech i wsp. (2014) wskazują, że nie uzyskano jednoznacznych wyników, tzn. trening wydaje się być skuteczny, ale nie we wszystkich aspektach kontroli równowagi, co sugeruje, iż zastosowany trening nie wpłynął na wszystkie składowe kontroli równowagi.

Dlatego, jak podają Beck i wsp. (2007) należy z ostrożnością porównywać różnego rodzaju treningi równowagi, gdyż efekty są trudno mierzalne i zależne od obranego celu. W przypadku niektórych badaczy, którzy wykorzystywali testy statyczne oraz dynamiczne, zaobserwowano zmiany tylko w jednym typie testu (Holm i wsp. 2004). Dlatego też Brachman i wsp. (2017) zalecają stosowanie obu rodzajów testów, aby zmniejszyć ryzyko sformułowania niepoprawnego lub ogólnego wniosku o nieskuteczności treningu. Beck i wsp. (2007) sugerują włączenie trenowanych zadań do testów służących ocenie efektów treningowych, ponieważ, jak sądzą, wykazanie określonych efektów treningowych jest uwarunkowane zgodnością między treningiem a warunkami testowymi podczas pomiaru. Beck i wsp. (2007) wskazują również, że warunki, w jakich efekty treningowe są oceniane mogą mieć taki sam wpływ na wynik, jak sam trening. Wyniki badań Low i wsp. (2017) sugerują, aby wykonywać badania oceny poprawy eferentnej funkcji nerwowo-mięśniowej i czuciowo-ruchowej w testach przy oczach zamkniętych. Ringhof i Stein (2018) z kolei dostarczają dowodów wskazujących, że różne testy równowagi dynamicznej nie badają w istocie tego konstrukt, raczej umiejętności specyficzne dla wykonywanego zadania.

W przypadku równowagi statycznej różne testy są w pewien sposób ze sobą skorelowane, jednakże wydają się badać inne komponenty stabilności posturalnej (Clark i wsp. 2010). Granacher i Gollhofer (2011) nie wykazali żadnych korelacji między miarami równowagi statycznej a dynamicznej u młodzieży. Volery i wsp. (2017) spekulują, iż część sprzecznych wyników dotyczących skuteczności treningu równowagi można przypisać niedopasowaniu między treścią treningu równowagi a zastosowanymi testami do oceny efektów treningowych. W związku z tym, trenerzy powinni identyfikować konkretne zadania

wymagające poprawy i włączać je do programu treningowego oraz jako część baterii testowej służącej do oceny skuteczności programu treningowego (Kümmel i wsp. 2016). W niniejszej pracy postanowiono jednak celowo wykorzystać inne zadanie testowe niż wykonywane w programie ćwiczenia. Niewykluczone, że wynikające z tego różnice mogły wpłynąć na wyniki badania. Mogłoby się okazać, że wykonanie opracowanego programu wpłynęło na inne kategorie równowagi, tj. dynamiczną, proaktywną czy reaktywną. Równowaga proaktywna uzewnętrznia się w zadaniach równoważnych z antycypowanymi zaburzeniami stabilności, a równowaga reaktywna z kolei, gdy dochodzi do kompensacji w reakcji na nieprzewidziane zaburzenia równowagi ciała (Shumway-Cook i Woollacott 2007). Jednakże według wiedzy autora tej pracy, do tej pory badany przez innych autorów był jedynie stopień zależności między poziomem równowagi statycznej a skutecznością strzelecką. Dostępne są jedynie wyniki badań nad zależnością między równowagą statyczną a skutecznością prowadzenia ostrzału z broni strzeleckiej, stąd wykorzystano w badaniu tylko miary stabilności ciała na podstawie obliczeń przebiegu punktu nacisku stóp na podłoże w pozycji statycznej, tj. postawie strzeleckiej stojąc.

Trudność w jednoznacznej ocenie skuteczności zastosowanego treningu według autorskiego programu ćwiczeń może być spowodowana zjawiskiem specyficznego oddziaływania stosowanych ćwiczeń w różnych rodzajach treningu równowagi. Szereg badaczy wskazuje, że efekty treningu równowagi są specyficzne dla trenowanego zadania i nie zachodzi przeniesienie umiejętności do nietrenowanych zadań (Beck i wsp. 2007; Giboin i wsp. 2015; Naumann i wsp. 2015; Kümmel i wsp. 2016; Serrien i wsp. 2017; ; Giboin i wsp. 2018b; Krause i wsp. 2018; Nagy i wsp. 2018; Giboin i wsp. 2019; Ringhof i wsp. 2019; Ruffieux i wsp. 2019). Giboin i wsp. (2015) wykazali, że trening równowagi nie poprawia „ogólnej” zdolności równowagi, a raczej specyficzną umiejętność, która podlega treningowi, co potwierdzają dalsze badania Giboin i wsp. (2018b) oraz Ringhof i wsp. (2019).

Giboin i wsp. (2015) wykazali, że grupa, która trenowała równowagę z użyciem specjalnego sprzętu uzyskała istotnie lepsze rezultaty tylko w trenowanym zadaniu, natomiast

w nietrenowanych ćwiczeniach nie uzyskała lepszych wyników. Również Naumann i wsp. (2015) oraz Serrien i wsp. (2017) wskazują, iż nie odnotowali transferu (przeniesienia efektów treningowych) do zadań z innymi wymaganiami dotyczącymi postawy. Beck i wsp. (2007) donoszą o braku transferu do zadań o zbliżonych wymaganiach, a Nagy i wsp. (2018) uzyskali poprawę tylko w pomiarze odzwierciedlającym warunki treningowe, bez przeniesienia efektów, nawet do łatwiejszych, nietrenowanych zadań. Jest to zgodne z wnioskami Donath i wsp. (2013) wskazującymi na poprawę umiejętności równoważnych, które były ograniczone jedynie do trenowanego przyrządu, bez istotnego transferu do innych zadań. Transfer efektów treningowych z ćwiczeń równoważnych na "slackline" (przyrząd do ćwiczeń równoważnych - elastyczna lina przymocowana między dwoma podporami) do równowagi statycznej, dynamicznej czy stabilizacji po podskoku również wydaje się być ograniczony (Donath i wsp. 2013). Jednakże, Granacher i wsp. (2010b) odnotowali brak poprawy parametrów równowagi statycznej po programie ćwiczeń równoważnych na "slackline", co stoi w opozycji do wyników innego badania Granacher i wsp. (2010a), kiedy to autorzy uzyskali poprawę w równowadze statycznej po takim samym czasie treningu, ale z wykorzystaniem innego sprzętu. Donath i wsp. (2016) również wskazują, że transfer efektów treningowych po ćwiczeniach na "slackline" do zadań równowagi statycznej wydaje się być ograniczony.

Brak transferu efektów treningu równowagi do nietrenowanych zadań można tłumaczyć specyficznymi dla wykonywanego zadania adaptacjami neuronalnymi powstałymi na skutek treningu (Giboin i wsp. 2019b). Giboin i wsp. (2019a) wskazują, że sieci neuronowe mogą być na tyle zoptymizowane dla konkretnego zadania, że nie są rekrutowane albo są bezużyteczne dla innego zadania. Giboin i wsp. (2015) twierdzą, że trenowanie określonego zadania może wywoływać adaptacje tylko w konkretnie potrzebnych podsystemach oraz w częściach hierarchicznie nadrzędnych struktur, które koordynują te podsystemy, i w zależności od wykonywanego zadania systemy i podsystemy mogą być w mniejszym lub większym stopniu rekrutowane. Kontrola tych systemów przez struktury nadrzędne może być różna.

Powyższe twierdzenia korelują z wnioskami Kümmel i wsp. (2016), którzy stawiają hipotezę, że słaby stopień przenoszenia wydajności między dwoma zadaniami równowagi może być związany z przypuszczalnie wysoką specyficzną adaptacji neuronalnych wywołanych przez trening, tj. specyficznych korowo-rdzeniowych i rdzeniowych adaptacji, które są obserwowane jedynie podczas wykonywania specyficznych (trenowanych) zadań równoważnych. Specyficzność adaptacji na poziomie nerwowym potwierdzają Freyler i wsp. (2016) wskazując, że odmienne bodźce treningowe spowodowały różne adaptacje. Już wcześniej Taube i wsp. (2007) wskazywali na selektywne zmniejszenie pobudliwości korowo-rdzeniowej jedynie podczas zaburzeń postawy podobnych do tych, które były wykonywane podczas treningu. Beck i wsp. (2007) również wskazują na neurofizjologiczne adaptacje obserwowane jedynie w trakcie zaburzeń, które odpowiadały trenowanym zadaniom. Wyniki badania Nagy i wsp. (2018) wydają się to potwierdzać, ponieważ w ich przypadku trening był prowadzony w warunkach z oczami zamkniętymi a badanie odbywało się z oczami otwartymi, który to czynnik kontroli równowagi nie był trenowany. Zadania równoważne wykonywane z oczami zamkniętymi posiadają zarówno inne podłoże przetwarzania nerwowego jak i tło percepcyjne, stąd tej konkretnej umiejętności nie można przenieść do sytuacji rzekomo łatwiejszej. W badaniu Nagy i wsp. (2018) ani informacje wzrokowe (oczy zamknięte) ani somatosensoryczne (niestabilne podłoże) nie były dostępne, dlatego trening spowodował polepszenie kontroli przedsionkowej dzięki procesowi „ponownego przetwarzania sensorycznego”. W momencie braku informacji wzrokowych, ale gdy informacje somatosensoryczne i przedsionkowe są dostępne i dokładne, człowiek wykorzystuje w pierwszej kolejności kanały somatosensoryczne, a w sposób drugorzędny przedsionkowe (Nagy i wsp. 2018). Może to tłumaczyć niepowodzenie w przeniesieniu ulepszenia wykonywania umiejętności równoważnych do łatwiejszej sytuacji, kiedy ponownie dostępne były sygnały somatosensoryczne traktowane, jako najważniejsze źródła informacji sensorycznej (Nagy i wsp. 2018). Jak wskazują ci autorzy rodzaj zmian zachodzących podczas

treningu jest spowodowany „ponownym przetwarzaniem sensorycznym”, czyli dostosowaniem kontroli postawy do wymagań konkretnego zadania, co więcej, tłumaczy wykazaną poprawę kontroli równowagi, jako nauczanie się przez grupę badawczą specyficznej umiejętności treningowej w konkretnej sytuacji, tj. w warunkach, które bodźczą konkretny podsystem (Giboin i wsp. 2015). U osób, które odbyły trening równoważny wykryto zmiany łączności funkcjonalnej w obszarach mózgu związanych z kontrolą postawy i równowagi oraz specyficzne, dla wykonywanego zadania, zmiany pobudliwości rdzeniowej, jednak te same osoby w porównaniu z grupą kontrolną podczas badania w nietrenowanym zadaniu wcale nie wykazały innych wyników (Giboin i wsp. 2019b). We wcześniejszym doniesieniu Giboin i wsp. (2015) zaznaczają, że przeprowadzone przez nich badania były zbyt krótkie (2 tygodnie) i być może efekt generalizacji można uzyskać po zastosowaniu dłuższego programu ćwiczeń. Jednakże w przypadku ich badania niektóre z badanych osób nie uzyskiwały już poprawy w wykonaniu zleconego zadania po 3-4 jednostce treningowej, co by sugerowało, że dłuższy czas trwania programu nie miałby wpływu na większe efekty. Późniejsze wyniki badań Giboin i wsp. (2018b) wydają się potwierdzać, że nawet długotrwały trening równoważny na slackline wywołuje wyraźną poprawę specyficzną dla wykonywanego zadania, jednakże nie zachodzi transfer efektów treningowych do nietrenowanych zadań. Istotne wnioski przedstawia Ruffieux i wsp. (2019), którzy nie odnotowali transferu efektów treningowych z zadań wykonywanych na niestabilnych przyrządach do nietrenowanego zadania, czyli pomiaru na stabilnej platformie sił, jednakże badania te dotyczyły seniorów. Również bardzo istotne, w kontekście niniejszej pracy, są wnioski Giboin i wsp. (2015), którzy zastosowali trening jedynie z ćwiczeniami wykonywanymi jedno nogą, co mogło zmniejszyć generalizację odpowiedzi na bodźce destabilizujące, jednakże autorzy ci uważają to za mało prawdopodobne, aby nie nastąpił transfer umiejętności w obrębie jednej kategorii równowagi.

Kümmel i wsp. (2016) twierdzą, że trening równowagi w zdrowych populacjach może poprawić wynik w trenowanych zadaniach, ale może nie mieć wpływu na nietrenowane

zadanie. Co więcej możliwość przeniesienia efektów treningowych do nietrebowanych zadań jest niezależna od podobieństw w pozycji ciała i zaburzeń równowagi (Kümmel i wsp. 2016), jednakże niektórzy badacze odnotowali poprawę w nietrebowanych zadaniach (Yaggie i Campbell 2006; Yavuzer i wsp. 2006; Keller i wsp. 2012; Pfusterschmied i wsp. 2013; Santos i wsp. 2014; Notarnicola i wsp. 2015; Freyler i wsp. 2016; Santos i wsp. 2016; Thomas i Kalicinski 2016; Fernandez-Rio i wsp. 2019). Większość z przytoczonych badań dotyczyła wpływu treningu równoważnego na "slackline" i uzyskania przeniesienia efektów treningowych do nietrebowanych zadań. Jednakże, wyniki tych badań (Keller i wsp. 2012; Pfusterschmied i wsp. 2013b; Santos i wsp. 2016; Thomas i Kalicinski 2016), choć wykazały poprawę w nietrebowanych zadaniach, to tylko przy niektórych, co według Giboin i wsp. (2018b) nie popiera koncepcji zwiększenia ogólnej zdolności kontroli równowagi. Dodatkowo, Santos i wsp. (2016) wskazują na uzyskanie poprawy w parametrach stabilności statycznej jedynie na powierzchni o charakterystyce podobnej do "slackline". Z kolei Fernandez-Rio i wsp. (2019) odnotowali poprawę w badaniach kontroli równowagi statycznej na twardym podłożu w postawie swobodnej obunóż (zmniejszone pole elipsy) jak i jednonóż na lewej kończynie dolnej (zmniejszenie długości ścieżki COP, pole elipsy oraz prędkość przemieszczeń COP), po treningu równowagi na slackline. Wyniki niniejszej pracy korelują z wynikami badania Fernandez-Rio i wsp. (2019), ale niestety, przebadali oni dzieci, czyli zupełnie odmienną grupę odbiorców. Obiecujące jednak, w kontekście domniemanego w niniejszej pracy transferu efektów treningowych z trenowanych do nietrebowanych zadań, wydają się wyniki badań Freyler i wsp. (2016), którzy uzyskali poprawę w nietrebowanym zadaniu kontrolowania równowagi. Freyler i wsp. (2016) zastosowali 2 odrębne modele treningowe i wskazują, że różne modele treningowe powodują inne segmentowe adaptacje nerwowo-mięśniowe. Autorzy ci uzyskali transfer do zadania nietrebowanego w wyniku obu protokołów treningowych (poprawa głównie w przemieszczeniach w kierunku przyśrodkowo-bocznym), jednakże protokół RBT (ang. reactive balance training) uzyskał 64% większą poprawę

względem SMT (ang. sensorimotor training) w nietrenowanym zadaniu. Również badając zależności między zastosowanymi treningami a stabilnością posturalną uzyskano poprawę od 11 do 36% w zależności od tego czy pomiar odzwierciedlał trenowane zadanie. Freyler i wsp. (2016) wskazują, że po RBT zaobserwowano większy transfer efektów treningowych do zadania nietrenowanego, co by wskazywało na zwiększone możliwości transferu z modelu treningowego RBT do innego zadania równoważnego. Należy tu zaznaczyć, że wybrane zadanie (nietrenowane) nie różniło się od trenowanych pod względem wymagań biomechanicznych. Niemniej Freyler i wsp. (2016) wskazują, że w treningu RBT zmienność jest większa niż w SMT poprzez zastosowanie losowych zaburzeń, co do kierunku, amplitudy, pauzy i czasu trwania zaburzenia. Być może to właśnie ta modalność w postaci różnorodności stosowanych bodźców treningowych jest odpowiedzialna za możliwość przeniesienia efektów treningowych, czego nie wykluczają Giboin i wsp. (2019), a czego można również upatrywać w wynikach niniejszej pracy. Giboin i wsp. (2019) wskazują, iż dotychczasowe badania dotyczące możliwości transferu badały tylko jedno zadanie równoważne, natomiast wykazano, że dla zadań wizualno-równoważnych trening z szerszym zakresem bodźców równoważnych może prowadzić do lepszej generalizacji efektów (Berniker i wsp. 2014; Giboin i wsp. 2019). Kluczowe zatem znaczenie, w kontekście generalizacji efektów treningowych i transferu do nietrenowanych zadań, może mieć zróżnicowany trening równowagi wykorzystujący wiele różnych zadań równoważnych oraz przyrządów treningowych. DiStefano i wsp. (2009) wskazują z kolei, że trening powinien zawierać różne metody treningowe. W kontekście powyższych rozważań niniejszy program treningowy został właśnie skonstruowany mając na celu wykorzystanie możliwie największej ilości bodźców treningowych bez wykorzystania dodatkowego sprzętu.

Przyczyna poprawy w nietrenowanym zadaniu może być jednak jeszcze inna. Giboin i wsp. (2015) tłumaczą, iż zjawisko poprawy nietrenowanych zadań, może być raczej wywołane poprawą innych komponentów sprawności, a nie transferem umiejętności równoważnych

uzyskanych przez trening. Zgadza się to z wnioskami Kwon i wsp. (2013) wskazującymi, że poprawa równowagi może się odbyć z powodu np. wzrostu parametrów siły i/lub kontroli motorycznej. Efekt ten, tj. poprawy innych komponentów, może być silniejszy u populacji wykazujących deficyty sprawności, tj. u osób starszych czy po przebytych kontuzjach (Giboin i wsp. 2015). Wyniki dotychczas przeprowadzonych badań wydają się potwierdzać możliwość przenoszenia efektów treningowych z jednej składową na drugą (Gruber i wsp. 2007b; Granacher i wsp. 2009; Granacher i wsp. 2010). Trening równowagi może zwiększać możliwości produkcji siły w krótkim czasie, co w teorii może prowadzić do szybszego przeciwdziałania skutkom bodźca destabilizującego (Gruber i Gollhofer 2004; Giboin i wsp. 2018b). Dostępnych jest sporo doniesień, które wykazały korelacje między równowagą statyczną a parametrami siły mięśni kończyn dolnych (Muehlbauer i wsp. 2015). Jednakże wyniki badań i w tym przypadku nie są jednoznaczne, ponieważ Taube i wsp. (2007b) wskazują, iż nie uzyskali zwiększenia tempa rozwijania siły maksymalnej (mocy) po zastosowanym treningu równoważnym. Także Granacher i Gollhofer (2011) nie wykazali istotnych korelacji między zmiennymi kontroli posturalnej a siłą mięśniową u młodzieży. Donath i wsp. (2016) nie odnotowali wpływu na równowagę statyczną i parametry siły okolicy stawów skokowych po programie ćwiczeń równoważnych na "slackline", a z kolei Giboin i wsp. (2019) nie uzyskali również transferu umiejętności równoważnych do nietrenowanego zadania, ani po treningu równowagi ani po treningu siłowym.

Występuje możliwość, że hipotetyczne przeniesienie umiejętności między dwoma różnymi zadaniami, może w istocie być wykorzystaniem tej samej umiejętności w funkcjonalnie takim samym zadaniu, np. balansowanie w postawie jedno nogi w kierunku przysrodkowo-bocznym oraz przednio-tylnym (Giboin i wsp. 2015). Należy podkreślić, iż Freyler i wsp. (2016) wykorzystali w celu oceny transferu efektów treningowych, nietrenowane zadanie, które nie różniło się pod względem wymagań biomechanicznych. Giboin i wsp. (2018b) sugerują, że przeniesienie efektów treningowych może nastąpić po treningu

równowagi, jeśli testowane zadanie „nietrenowane” jest bardzo podobne do trenowanego zadania. Transfer umiejętności może pochodzić ze specyficznych umiejętności, które podlegały treningowi, które mogą być wykorzystane bezpośrednio w bardzo podobnym zadaniu, a także na podstawie doświadczenia poznawczego nabytego podczas treningu, które może pomóc, na przykład, antycypować kolejne nadchodzące zaburzenia posturalne (Giboin i wsp. 2018b). Niewykluczone, że charakterystyka przyjętej w niniejszym badaniu postawy strzeleckiej stojąc, tj. stawy skokowe, kolanowe oraz biodrowe w lekkim zgięciu oraz nieznaczne pochylenie tułowia w przód (por. ryc. 5), może być w istocie podobna, przynajmniej w wybranych segmentach ruchu, do wykonywanych ćwiczeń.

Pewne niejednoznaczności w wynikach przeprowadzonego badania mogą również być następstwem ograniczenia, którego nie udało się wyeliminować przystępując do rozpoczęcia projektu badawczego. W niniejszej pracy wzięty pod uwagę został jedynie parametr jednorodności najmniejszego wymaganego poziomu wytrenowania (na podstawie podziału dychotomicznego na zaliczony i niezaliczony coroczny egzamin sprawności fizycznej i testy wstępne wybranej jednostki wojskowej), co wydaje się być pewną niedoskonałością kryterium włączenia do grupy badanych i należałoby przeprowadzić pomiary zmierzające do określenia poziomu wytrenowania wszystkich żołnierzy objętych badaniem, gdyż ta determinanta mogła w sposób istotny wpłynąć na uzyskane wyniki. Jednak, Gebel i wsp. (2018) wykazali brak istotnej zależności wpływu stopnia wytrenowania osoby na efekty treningu równowagi. Co równie istotne, w programie nie zastosowano, w odróżnieniu do Giboin i wsp. (2019), metody zmniejszania obciążeń treningowych pod koniec trwania programu („tapering off”) celem zapobiegnięcia zakłóceniom pomiarowym powstałym na skutek akumulacji zmęczenia, co z perspektywy zakończonego projektu mogło wpłynąć na wyniki badania.

Nie można też wykluczyć, iż wyniki uzyskane w niniejszym badaniu są zaburzone przez występujący „efekt sufitu”, który oznacza, że pomiar odbył się w zbyt prostym zadaniu (DiStefano i wsp. 2009; Nagy i wsp. 2018; Ruffieux i wsp. 2019). Mogłoby to oznaczać, iż w

początkowym pomiarze wyniki były zaburzone przez „nowe” zadanie, a w rzeczywistości znane zadanie (utrzymywanie postawy strzeleckiej stojąc) wykonywane w zmienionych warunkach (tj. warunkach pomiarowych: obrys ustawienia stóp, postawa na platformach sił, itp.). Natomiast w końcowym pomiarze nie doszło do poprawy kontroli równowagi, a jedynie wskaźniki „wróciły” do standardowych dla danego żołnierza wartości. Najlepsze warunki do pomiaru rzeczywistej stabilności strzeleckiej zachodzą w trakcie realizacji zadania strzeleckiego w treningu ogniowym. Utrzymywanie postawy strzeleckiej jest zadaniem wykorzystywanym podczas treningów bez strzałowych, jednakże nie odzwierciedla rzeczywistych mechanizmów i wymagań dotyczących kontroli posturalnej przy prowadzeniu ostrzału.

Podsumowanie

Autorski program ćwiczeń równoważnych okazał się skuteczny w poprawie jakości wybranych aspektów kontroli równowagi podczas utrzymywania postawy strzeleckiej stojąc zwłaszcza w przypadku kończyny dolnej niedominującej. Wielkość i zmienność kołysania postawy uległa zmniejszeniu w grupie eksperymentalnej w wyniku zastosowania specyficznego programu ćwiczeń dla żołnierzy. Z kolei aktywność kończyn dolnych nie uległa poprawie w grupie eksperymentalnej w odniesieniu do stanu sprzed rozpoczęcia projektu, co stwarza trudności w jednoznacznej ocenie skuteczności zastosowanego programu ćwiczeń równoważnych.

Po przeanalizowaniu wyników niniejszej pracy, można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Zastosowanie wśród żołnierzy autorskiego programu ćwiczeń równoważnych spowodowało poprawę jakości kontroli równowagi ciała w postaci zmniejszenia wielkości kołysania postawy, zwłaszcza w przypadku kończyny dolnej niedominującej.
2. Poziom zmienności w kontroli równowagi żołnierzy uległ poprawie w wyniku zastosowania autorskiego programu ćwiczeń równoważnych.
3. Przeprowadzenie autorskiego programu ćwiczeń równoważnych nie spowodowało poprawy aktywności kończyn dolnych podczas kontroli równowagi ciała żołnierzy w postawie strzeleckiej stojąc.
4. Grupa eksperymentalna po zakończeniu projektu badawczego charakteryzowała się lepszą stabilnością podczas utrzymywania postawy strzeleckiej stojąc względem grupy kontrolnej.

Upatruje się przyczyn domniemanego przeniesienia efektów treningowych do postawy strzeleckiej w zgodności konstrukcji programu treningowego z aktualnym stanem wiedzy na temat stosowanych programów ćwiczeń równoważnych oraz różnorodności zastosowanych bodźców treningowych. Jednakże, podłoże tych zmian może być inne, tj. sztuczne warunki

pomiarowe, efekt uczenia się, zmiany w parametrach siły kończyn dolnych, wyższy poziom wytrenowania żołnierzy grupy eksperymentalnej czy ewentualne podobieństwo zadań treningowych z testowym.

Wnioski

Wykorzystanie wyników niniejszego badania w praktyce strzeleckiej pozwoli zaproponować rozwiązania treningowe zwiększające stabilność postawy strzeleckiej stojąc i tym samym optymalizację procesu szkolenia. Charakterystyka procesu kontrolowania równowagi podczas prowadzenia ostrzału z bojowej broni strzeleckiej wraz z wynikającymi z niej zależnościami między kontrolą równowagi a skutecznością prowadzonego ostrzału nie są do końca poznane. Niemniej, stworzenie warunków większej stabilności dla strzelca może pozwolić na efektywniejsze i szybsze wykonanie zadania strzeleckiego, co szczególnie ważne w kontekście strzelectwa bojowego, gdzie czas oddania strzału i skuteczność ma zasadnicze znaczenie.

Piśmiennictwo

1. Abt J.P., Sell T.C., Crawford K., Lovalekar M., Nagashi T., Deluzio J.B., Smalley B.W., McGrail M.A., Rowe R.S., Cardin S., Lephart S.M. (2010) Warrior Model for Human Performance and Injury Prevention: Eagle Tactical Athlete Program (ETAP) Part II. *Journal of Special Operations Medicine*, 10(4):22-33.
2. Alexandrov A.V., Frolov A.A., Horak F.B., Carlson-Kuhta P., Park S. (2005) Feedback equilibrium control during human standing. *Biological Cybernetics*, 93(5):309-22. doi: 10.1007/s00422-005-0004-1.
3. Anderson K., Behm D.G. (2005) The impact of instability resistance training on balance and stability. *Sports Medicine*, 35(1):43-53. doi: 10.2165/00007256-200535010-00004.
4. Appiah-Kubi K.O., Wright W.G. (2019) Vestibular training promotes adaptation of multisensory integration in postural control. *Gait & Posture*, 73:215-220. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.07.197.
5. Assländer L., Peterka R.J. (2014) Sensory reweighting dynamics in human postural control. *Journal of Neurophysiology*, 111(9):1852-64. doi: 10.1152/jn.00669.2013.
6. Ball K.A., Best R.J., Wrigley T.V. (2003) Body sway, aim point fluctuation and performance in rifle shooters: inter- and intra-individual analysis. *Journal of Sports Sciences*, 21(7):559-66. doi: 10.1080/0264041031000101881.
7. Beck S., Taube W., Gruber M., Amtage F., Gollhofer A., Schubert M. (2007) Task-specific changes in motor evoked potentials of lower limb muscles after different training interventions. *Brain Research*, 1179:51-60. doi: 10.1016/j.brainres.2007.08.048.
8. Behrens M., Mau-Moeller A., Wassermann F., Bader R., Bruhn S. (2015) Effect of balance training on neuromuscular function at rest and during isometric maximum voluntary contraction. *European Journal of Applied Physiology*, 115(5):1075-85. doi: 10.1007/s00421-014-3089-1.

9. Bermejo J.L., García-Massó X., Gomis M., Noé F., Huertas F., Pablos C., Paillard T. (2015) The difficulty of postural tasks amplifies the effects of fatigue on postural stability. *European Journal of Applied Physiology*, 115(3):489-95. doi: 10.1007/s00421-014-3038-z.
10. Bermejo J.L., García-Massó X., Paillard T., Noé F. (2018) Fatigue does not conjointly alter postural and cognitive performance when standing in a shooting position under dual-task conditions. *Journal of Sports Sciences*, 36(4):429-435. doi: 10.1080/02640414.2017.1313443.
11. Bhanot K., Kaur N., Brody L.T., Bridges J., Berry D.C., Ode J.J. (2019) Hip and Trunk Muscle Activity During the Star Excursion Balance Test in Healthy Adults. *Journal of Sport Rehabilitation*, 28(7):682-691. doi: 10.1123/jsr.2017-0145.
12. Billing D.C., Silk A.J., Tofari P.J., Hunt A.P. (2015) Effects of Military Load Carriage on Susceptibility to Enemy Fire During Tactical Combat Movements. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(Suppl 11):S134-8. doi: 10.1519/JSC.0000000000001036.
13. Błaszczyk J.W. (2004) *Biomechanika kliniczna. Podręcznik dla studentów medycyny i fizjoterapii*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa.
14. Błaszczyk J.W. (2016) The use of force-plate posturography in the assessment of postural instability. *Gait & Posture*, 44:1-6. doi: 10.1016/j.gaitpost.2015.10.014.
15. Boccolini G., Brazziti A., Bonfanti L., Alberti G. (2013) Using balance training to improve the performance of youth basketball players. *Sport Sci Health*, 9(2):37-42. doi: 10.1007/s11332-013-0143-z.
16. Boonstra T.A., Schouten A.C., van der Kooij H. (2013) Identification of the contribution of the ankle and hip joints to multi-segmental balance control. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 10:23. doi: 10.1186/1743-0003-10-23.

17. Brachman A., Kamieniarz A., Michalska J., Pawłowski M., Słomka K.J., Juras G. (2017) Balance Training Programs in Athletes - a Systematic Review. *Journal of Human Kinetics*, 58:45-64. doi: 10.1515/hukin-2017-0088.
18. Brown M.J., Tandy R.D., Wulf G., Young J.C. (2013) The effect of acute exercise on pistol shooting performance of police officers. *Motor Control*, 17(3):273-82.
19. Burdet C., Vuillerme N., Rougier P.R. (2011) How performing a repetitive one-legged stance modifies two-legged postural control. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(10):2911-8. doi: 10.1519/JSC.0b013e31820f6ef5.
20. Cankaya S., Gokmen B., Tasmektepligil M.Y., Con M. (2015) Special Balance Developer Training Applications on Young Males' Static and Dynamic Balance Performance. *Anthropologist*, 19(1):31-39.
21. Carini F., Mazzola M., Fici C., Palmeri S., Messina M., Damiani P., Tomasello G. (2017) Posture and posturology, anatomical and physiological profiles: overview and current state of art. *Acta Bio-Medica*, 88(1):11-16. doi: 10.23750/abm.v88i1.5309.
22. Causer J., Bennett S.J., Holmes P.S., Janelle C.M., Williams A.M. (2010) Quiet eye duration and gun motion in elite shotgun shooting. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(8):1599-608. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181d1b059.
23. Cavallari P., Bolzoni F., Bruttini C., Esposti R. (2016) The Organization and Control of Intra-Limb Anticipatory Postural Adjustments and Their Role in Movement Performance. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10:525. doi: 10.3389/fnhum.2016.00525.
24. Chiba R., Takakusaki K., Ota J., Yozu A., Haga N. (2016) Human upright posture control models based on multisensory inputs; in fast and slow dynamics. *Neuroscience Research*, 104:96-104. doi: 10.1016/j.neures.2015.12.002.

25. Chong C.K., Ambrose A., Carzoli J., Hardison L., Jacobson B. (2001) Source of improvement in balance control after a training program for ankle proprioception. *Perceptual and Motor Skills*, 92(1):265-72. doi: 10.2466/pms.2001.92.1.265.
26. Chvatal S.A., Torres-Oviedo G., Safavynia S.A., Ting L.H. (2011) Common muscle synergies for control of center of mass and force in nonstepping and stepping postural behaviors. *Journal of Neurophysiology*, 106(2):999-1015. doi: 10.1152/jn.00549.2010.
27. Clark R.C., Saxion C.E., Cameron K.L., Gerber J.P. (2010) Associations between three clinical assessment tools for postural stability. *North American Journal of Sports Physical Therapy*, 5(3):122–130.
28. Cocke C., Orr R.M. (2015) The impact of physical training programs on the fitness of tactical populations: A critical review. *Journal of Australian Strength and Conditioning*, 23(1):39-46.
29. Connaboy C., Lyall N., Simpson R.J., Graham S.M., Florida-James G.F., Coleman S. (2011) Soldiers as Tactical Athletes: Incorporating Military Drill Within a Periodised Training Programme. *Materiały konferencyjne: 2nd International Congress on Soldiers' Physical Performance*. Jyvaskyla, Finlandia. Str. 142.
30. Cox E.D., Lephart S.M., Irrgang J.J. (1993) Unilateral Balance Training of Noninjured Individuals and the Effects on Postural Sway. *Journal of Sport Rehabilitation*, 2:87-96.
31. Creath R., Kiemel T., Horak F., Jeka J.J. (2008) The role of vestibular and somatosensory systems in intersegmental control of upright stance. *Journal of Vestibular Research: Equilibrium & Orientation*, 18(1):39-49.
32. Croix G., Chollet D., Thouvarecq R. (2010) Effect of expertise level on the perceptual characteristics of gymnasts. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(6):1458-63. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181d2c216.

33. Cuğ M., Ak E., Özdemir R.A., Korkusuz F., Behm D.G. (2012) The effect of instability training on knee joint proprioception and core strength. *Journal of Sports Science & Medicine*, 11(3):468-74.
34. Davidson S.P., Cain S.M., McGinnis R.S., Vitali R.R., Perkins N.C., McLean S.G. (2016) Quantifying warfighter performance in a target acquisition and aiming task using wireless inertial sensors. *Applied Ergonomics*, 56:27-33. doi: 10.1016/j.apergo.2016.03.001.
35. Davlin C.D. (2004) Dynamic balance in high level athletes. *Perceptual Motor Skills*, 98(3 pt 2):1171-6.
36. Depa W. (2014) *Modus operandi sił specjalnych. Tom V: Taktyka strzelecka*. ABW, Kraków.
37. Department of the Army. *Army Physical Readiness Training (FM 7–22)*. 22%20INC%20C1%20Final.pdf Published May 3, 2013. Dostęp dnia 3.11.2020 Adres: https://armypubs.army.mil/epubs/DR_pubs/DR_a/pdf/web/ARN7938_FM%207-
38. Di Russo F., Pitzalis S., Spinelli D. (2003) Fixation stability and saccadic latency in elite shooters. *Vision Research*, 43(17):1837-45. doi: 10.1016/s0042-6989(03)00299-2.
39. DiStefano L.J., Clark M.A., Padua D.A. (2009) Evidence supporting balance training in healthy individuals: a systemic review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(9):2718-31. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c1f7c5.
40. Donath L., Roth R., Ruegge A., Groppa M., Zahner L., Faude O. (2013) Effects of slackline training on balance, jump performance & muscle activity in young children. *International Journal of Sports Medicine*, 34(12):1093-8. doi: 10.1055/s-0033-1337949
41. Donath L., Roth R., Zahner L., Faude O. (2016) Slackline training and neuromuscular performance in seniors: A randomized controlled trial. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(3):265-83. doi: 10.1111/sms.12423.

42. Donker S.F., Roerdink M., Greven A.J., Beek P.J. (2007) Regularity of center-of-pressure trajectories depends on the amount of attention invested in postural control. *Experimental Brain Research*, 181(1):1-11. doi: 10.1007/s00221-007-0905-4.
43. Earl-Boehm J., Hertel J. (2001) Lower-Extremity Muscle Activation during the Star Excursion Balance Tests. *Journal of Sport Rehabilitation*, 10(2):93-104. doi: 10.1123/jsr.10.2.93
44. Eisen T., Danoff J.V., Leone J.E., Miller T.A. (2010) The effects of multiaxial and uniaxial unstable surface balance training in college athletes. *J Strength Cond Res.*, 24(7):1740-5. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e2745f.
45. Emery C.A., Cassidy J.D., Klassen T.P., Rosychuk R.J., Rowe B.H. (2005) Effectiveness of a home-based balance-training program in reducing sports-related injuries among healthy adolescents: a cluster randomized controlled trial. *CMAJ*, 172(6):749-54. doi: 10.1503/cmaj.1040805.
46. Era P., Konttinen N., Mehto P., Saarela P., Lyytinen H. (1996) Postural stability and skilled performance – a study on top-level and naïve rifle shooters. *Journal of Biomechanics*, 29(3):301-6. doi: 10.1016/0021-9290(95)00066-6.
47. Eriksrud O., Federolf P., Anderson P., Cabri J. (2018) Hand reach star excursion balance test: An alternative test for dynamic postural control and functional mobility. *PLoS One*, 13(5):e0196813. doi: 10.1371/journal.pone.0196813.
48. Eriksrud O., Federolf P., Sæland F., Litsos S., Cabri J. (2017) Reliability and Validity of the Hand Reach Star Excursion Balance Test. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 2(3):28. doi: 10.3390/jfmk2030028
49. Farlie M.K., Robins L., Haas R., Keating J.L., Molloy E., Haines T.P. (2019) Programme frequency, type, time and duration do not explain the effects of balance exercise in older adults: a systematic review with a meta-regression analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 53(16):996-1002. doi: 10.1136/bjsports-2016-096874.

50. Fernández-Rio J., Santos L., Fernández- García B., Robles R., Casquero I., Paredes R. (2019) Effects of Slackline Training on Acceleration, Agility, Jump Performance and Postural Control in Youth Soccer Players. *Journal of Human Kinetics*, 67:235-245. doi: 10.2478/hukin-2018-0078.
51. Filipa A., Byrnes R., Paterno M.V., Myer G.D., Hewett T.E. (2010) Neuromuscular training improves performance on the star excursion balance test in young female athletes. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 40(9):551-8. doi: 10.2519/jospt.2010.3325.
52. Freyler K., Krause A., Gollhofer A., Ritzmann R. (2016) Specific Stimuli Induce Specific Adaptations: Sensorimotor Training vs. Reactive Balance Training. *PLoS One*, 11(12): e0167557. doi: 10.1371/journal.pone.0167557.
53. Frykman P.N., Merullo D.J., Banderet L.E., Gregorczyk K., Hasselquist L. (2012) Marksmanship deficits caused by an exhaustive whole-body lifting task with and without torso-borne loads. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(Suppl 2):S30-6. doi: 10.1519/JSC.0b013e31825cedfa.
54. Funk S., Jacob T., Ben-Dov D., Yanovich E., Tirosh O., Steinberg N. (2018) A balance and proprioception intervention programme to enhance combat performance in military personnel. *Journal of the Royal Army Medical Corps*, 164(1):52-57. doi: 10.1136/jramc-2017-000809.
55. Gallicchio G., Finkenzeller T., Sattlecker G., Lindinger S., Hoedlmoser K. (2019) The influence of physical exercise on the relation between the phase of cardiac cycle and shooting accuracy in biathlon. *European Journal of Sport Science*, 19(5):567-575. doi: 10.1080/17461391.2018.1535626.
56. Gebel A., Lehmann T., Granacher U. (2020) Balance task difficulty affects postural sway and cortical activity in healthy adolescents. *Experimental Brain Research*, 238(5):1323-1333. doi: 10.1007/s00221-020-05810-1.

57. Gebel A., Lesinski M., Behm D.G., Granacher U. (2018) Effects and Dose-Response Relationship of Balance Training on Balance Performance in Youth: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 48(9):2067-2089. doi: 10.1007/s40279-018-0926-0.
58. Gebel A., Lüder B., Granacher U. (2019) Effects of Increasing Balance Task Difficulty on Postural Sway and Muscle Activity in Healthy Adolescents. *Frontiers in Physiology*, 10:1135. doi: 10.3389/fphys.2019.01135.
59. Giboin L.S., Gruber M., Kramer A. (2015) Task-specificity of balance training. *Human Movement Science*, 44:22-31. doi: 10.1016/j.humov.2015.08.012.
60. Giboin L.S., Gruber M., Kramer A. (2018b) Three months of slackline training elicit only task-specific improvements in balance performance. *PLoS One*, 13(11):e0207542. doi: 10.1371/journal.pone.0207542.
61. Giboin L.S., Gruber M., Kramer A. (2019a) Six weeks of balance or power training induce no generalizable improvements in balance performance in healthy young adults. *BMC Sports Sci Med Rehabil.*, 11:31. doi: 10.1186/s13102-019-0146-4.
62. Giboin L.S., Loewe K., Hassa T, Kramer A., Dettmers C., Spiteri S., Gruber M., Schoenfeld M.A. (2019b) Cortical, subcortical and spinal neural correlates of slackline training-induced balance performance improvements. *Neuroimage*, 202:116061. doi: 10.1016/j.neuroimage.2019.116061.
63. Giboin L.S., Weiss B., Thomas F., Gruber M. (2018a) Neuroplasticity following short-term strength training occurs at supraspinal level and is specific for the trained task. *Acta Physiologica*, 222(4):e12998. doi: 10.1111/apha.12998.
64. Gil-Cosano J.J., Orantes-Gonzalez E., Heredia-Jimenez J. (2019) Effect of carrying different military equipment during a fatigue test on shooting performance. *European Journal of Sport Science*, 19(2):186-191. doi: 10.1080/17461391.2018.1502359.

65. Gioftsidou A., Malliou P., Pafis G., Beneka A., Godolias G., Maganaris C.N. (2006) The effects of soccer training and timing of balance training on balance ability. *Eur J Appl Physiol*, 96(6):659-64. doi: 10.1007/s00421-005-0123-3.
66. Gioftsidou A., Malliou P., Pafis G., Beneka A., Tsapralis K., Sofokleous P., Kouli O., Roka S., Godolias G. (2012) Balance training programs for soccer injuries prevention. *Journal of Human Sport & Exercise*, 7(3):639-647.
67. Golema M. (2002) Charakterystyka procesu utrzymywania równowagi ciała człowieka w obrazie stabilograficznym. AWF, Wrocław
68. Gonçalves C., Bezerra P., Clemente F.M., Vila-Chã C., Leão C., Brandão A., Cancela J.M. (2020) Effect of Instability and Bodyweight Neuromuscular Training on Dynamic Balance Control in Active Young Adults. *Int J Environ Res Public Health*, 17(23):8879. doi: 10.3390/ijerph17238879.
69. Gong A., Liu J., Jiang C., Fu Y. (2018) Rifle Shooting Performance Correlates with Electroencephalogram Beta Rhythm Network Activity during Aiming. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2018:4097561. doi: 10.1155/2018/4097561.
70. Goodworth A.D., Mellodge P., Peterka R.J. (2014) Stance width changes how sensory feedback is used for multisegmental balance control. *Journal of Neurophysiology*, 112(3):525-42. doi: 10.1152/jn.00490.2013.
71. Granacher U., Gollhofer A. (2011) Is there an association between variables of postural control and strength in adolescents? *J Strength Cond Res.*, 25(6):1718-25. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181dbdb08.
72. Granacher U., Gollhofer A., Kriemler S. (2010a) Effects of balance training on postural sway, leg extensor strength, and jumping height in adolescents. *Res Q Exerc Sport.*, 81(3):245-51. doi: 10.1080/02701367.2010.10599672
73. Granacher U., Iten N., Roth R., Gollhofer A. (2010b) Slackline training for balance and strength promotion. *Int J Sports Med.*, 31(10):717-23. doi: 10.1055/s-0030-1261936.

74. Grier T., Canham-Chervak M., McNulty V., Jones B.H. (2013) Extreme conditioning programs and injury risk in a US Army Brigade Combat Team. U.S. Army Medical Department Journal, Oct-Dec:36-47.
75. Gruber M., Gollhofer A. (2004) Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *European Journal of Applied Physiology*, 92(1-2):98-105. doi: 10.1007/s00421-004-1080-y.
76. Gruber M., Gruber B.H., Taube W., Schbert M., Beck S.C., Gollhofer A. (2007b) Differential effects of ballistic versus sensorimotor training on rate of force development and neural activation in humans. *J Strength Cond Res.*, 21(1):274-82. doi: 10.1519/00124278-200702000-00049.
77. Gruber M., Taube W., Gollhofer A., Beck S., Amtage F., Schubert M. (2007a) Training-specific adaptations of H- and stretch reflexes in human soleus muscle. *J Mot Behav.*, 39(1):68-78. doi: 10.3200/JMBR.39.1.68-78.
78. Gulbinskienė V., Skarbalius A. (2009) Peculiarities of investigated characteristics of lithuanian pistol and rifle shooters training and sport performance. *Ugdymas Kuno Kultura* 73: 21–27.
79. Gürkan A.C., Demirel H., Demir M., Atmaca E.S., Bozöyük G., Dane S. (2016) Effects of Long-Term Training Program on Static and Dynamic Balance in Young Subjects. *Clinical and Investigative Medicine*, 39(6):27497.
80. Haddad J.M., Claxton L.J., Keen R., Berthier N.E., Riccio G.E., Hamill J., van Emmerik R.E.A. (2012) Development of the coordination between posture and manual control. *Journal of Experimental Child Psychology*, 111(2):286-98. doi: 10.1016/j.jecp.2011.08.002.
81. Haddock C.K., Poston W.S.C., Heinrich K.M., Jahnke S.A., Nattinee J. (2016) The Benefits of High-Intensity Functional Training Fitness Programs for Military Personnel. *Military Medicine*, 181(11):e1508-e1514. doi: 10.7205/MILMED-D-15-00503.

82. Havens K.L., Mukherjee T., Finley J.M. (2018) Analysis of Biases in Dynamic Margins of Stability Introduced by the Use of Simplified Center of Mass Estimates during Walking and Turning. *Gait & Posture*, 59:162-167. doi:10.1016/j.gaitpost.2017.10.002
83. Hawkins R.N. (2013) Effects of stance angle on postural stability and performance with national-standard air pistol competitors. *European Journal of Sport Science*, 13(5):483-9. doi: 10.1080/17461391.2012.755569.
84. Hawkins R.N., Sefton J.M. (2011) Effects of stance width on performance and postural stability in national-standard pistol shooters. *Journal of Sports Sciences*, 29(13):1381-7. doi: 10.1080/02640414.2011.593039.
85. Heard C., Willcox M., Falvo M., Blatt M., Helmer D. (2020) Effects of Linear Periodization Training on Performance Gains and Injury Prevention in a Garrisoned Military Unit. *Journal of Military and Veterans' Health*, 28(3):23-34.
86. Heitkamp HC, Horstmann T, Mayer F, Weller J, Dickhuth HH (2001) Gain in strength and muscular balance after balance training. *Int J Sports Med* 22:285–290
87. Heleno L.R., da Silva R.A., Shigaki L., Araújo C.G., Coelho Candido C.R., Okazaki V.H., Frisseli A., Macedo C.S. (2016) Five-week sensory motor training program improves functional performance and postural control in young male soccer players - A blind randomized clinical trial. *Phys Ther Sport.*, 22:74-80.
88. Herpin G., Gauchard G.C., Lion A., Collet P., Keller D., Perrin P.P. (2010) Sensorimotor specificities in balance control of expert fencers and pistol shooters. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(1):162-9. doi: 10.1016/j.jelekin.2009.01.003.
89. Hoffman M., Payne V.G. (1995) The effects of proprioceptive ankle disk training on healthy subjects. *J Orthop Sports Phys Ther.*, 21(2):90-3. doi: 10.2519/jospt.1995.21.2.90.

90. Holm I., Fosdahl M.A., Friis A., Risberg M.A., Myklebust G., Steen H. (2004) Effect of neuromuscular training on proprioception, balance, muscle strength, and lower limb function in female team handball players. *Clin J Sport Med.*, 14(2):88-94. doi: 10.1097/00042752-200403000-00006.
91. Hrysomallis C. (2011) Balance ability and athletic performance. *Sports Medicine*, 41(3):221-32. doi: 10.2165/11538560-000000000-00000.
92. Hsu W.L., Scholz J.P., Schöner G., Jeka J.J., Kiemel T. (2007) Control and estimation of posture during quiet stance depends on multijoint coordination. *Journal of Neurophysiology*, 97(4):3024-35. doi: 10.1152/jn.01142.2006.
93. Hunt A.P., Tofari P.J., Billing D.C., Silk A.J. (2016) Tactical combat movements: inter-individual variation in performance due to the effects of load carriage. *Ergonomics*, 59(9):1232-41. doi: 10.1080/00140139.2015.1132780.
94. Hupperets M.D.W., Verhagen E.A.L.M., van Mechelen W. (2009) Effect of sensorimotor training on morphological, neurophysiological and functional characteristics of the ankle: a critical review. *Sports Medicine*, 39(7):591-605. doi: 10.2165/00007256-200939070-00005.
95. Iacono A.D., Martone D., Alfieri A., Ayalon M., Buono P. (2014) Core Stability Training Program (CSTP) effects on static and dynamic balance abilities. *Arch Sci Med.*, 173:197-206.
96. Ihalainen S., Kuitunen S., Mononen K., Linnamo V. (2016a) Determinants of elite-level air rifle shooting performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(3):266-74. doi: 10.1111/sms.12440.
97. Ihalainen S., Laaksonen M.S., Kuitunen S., Leppävuori A., Mikkola J., Lindinger S.J., Linnamo V. (2018) Technical determinants of biathlon standing shooting performance before and after race simulation. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(6):1700-1707. doi: 10.1111/sms.13072.

98. Ihalainen S., Linnamo V., Mononen K., Kuitunen S. (2016b) Relation of Elite Rifle Shooters' Technique-Test Measures to Competition Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(5):671-7. doi: 10.1123/ijsp.2015-0211.
99. Imai A., Kaneoka K., Okubo Y., Shiraki H. (2014) Comparison of the immediate effect of different types of trunk exercise on the star excursion balance test in male adolescent soccer players. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 9(4):428-35.
100. Irving S., Orr R., Pope R. (2019) Profiling the occupational tasks and physical conditioning of specialist police. *International Journal of Exercise Science*, 12(3):173-186.
101. Ivanenko Y., Gurfinkel V.S. (2018) Human Postural Control. *Frontiers in Neuroscience*, 12:171. doi: 10.3389/fnins.2018.00171.
102. Jaenen S. (red.) (2009) *Optimizing Operational Physical Fitness*. RTO Technical report TR-HFM-080. North Atlantic Treaty Organization. Dostępny: <http://aerade.cranfield.ac.uk/subject-listing/comb.html>; dostęp dnia 3.11.2020.
103. Jaworski R.L., Jensen A., Niederberger B., Congalton R., Kelly K.R. (2015) Changes in combat task performance under increasing loads in active duty marines. *Military Medicine*, 180(3 Suppl):179-86. doi: 10.7205/MILMED-D-14-00432.
104. Johnson M.B., van Emmerik R.E.A. (2012) Effect of head orientation on postural control during upright stance and forward lean. *Motor Control*, 16(1):81-93. doi: 10.1123/mcj.16.1.81.
105. Joseph A., Wiley A., Orr R., Schram B., Dawes J.J. (2018) The Impact of Load Carriage on Measures of Power and Agility in Tactical Occupations: A Critical Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(1):88. doi: 10.3390/ijerph15010088.
106. Juras G., Słomka K., Fredyk A., Sobota G., Bacik B. (2008) Evaluation of the Limits of Stability (LOS) Balance Test. *Journal of Human Kinetics*, 19:39-52.

107. Kaji A., Sasagawa S., Kubo T., Kanehisa H. (2010) Transient effect of core stability exercises on postural sway during quiet standing. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(2):382-8. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c06bdd.
108. Kaliranthiam D., Saha S., Singh T., Saha S., Sadagatullah A.N., Ismail M.S., Hashim H.A. (2016) Effect of Neuromuscular Training in the Rehabilitation of Ankle Lateral Ligament Injuries – A Review. *Health Science Journal*, 10(3):1-10.
109. Kaminski T.R. (2007) The coupling between upper and lower extremity synergies during whole body reaching. *Gait & Posture*, 26(2):256-62. doi: 10.1016/j.gaitpost.2006.09.006.
110. Karakaya M.G., Rutbil H., Akpınar E., Yildirim A., Karakaya I.C. (2015) Effect of ankle proprioceptive training on static body balance. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(10):3299-302. doi: 10.1589/jpts.27.3299
111. Keller M., Pfusterschmied J., Buchecker M., Müller E., Taube W. (2012) Improved postural control after slackline training is accompanied by reduced H-reflexes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 22(4):471-7. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01268.x.
112. Kiers H., van Dieën J., Dekkers H., Wittink H., Vanhees L. (2013) A systematic review of the relationships between physical activities in sports or daily life and postural sway in upright stance. *Sports Medicine*, 43(11):1171-89. doi: 10.1007/s40279-013-0082-5.
113. Ko J.H., Han D.W., Newell K.M. (2017) Skill level constrains the coordination of posture and upper-limb movement in a pistol-aiming task. *Human Movement Science*, 55:255-263. doi: 10.1016/j.humov.2017.08.017.
114. Ko J.H., Han D.W., Newell K.M. (2018) Skill level changes the coordination and variability of standing posture and movement in a pistol-aiming task. *Journal of Sports Sciences*, 36(7):809-816. doi: 10.1080/02640414.2017.1343490.

115. Kopeć W., Kaczmarczyk J. (2010) Podręcznik metodyczny do walki i bezpiecznego posługiwania się bronią. Poznań.
116. Kopeć W., Ratajczyk M. (2020) System szkolenia ogniowego – wyzwania. *Przegląd Sił Zbrojnych*, 4:116-120.
117. Krasilshchikov O., Zuraidee E., Singh R. (2007) Effect of general and auxiliary conditioning on specific fitness of young pistol and rifle shooters. *Asian Journal of Exercise & Sports Science*, 4(1):1-6.
118. Krause A., Freyler K., Gollhofer A., Stocker T., Brüderlin U., Colin R., Töpfer H., Ritzmann R. (2018) Neuromuscular and Kinematic Adaptation in Response to Reactive Balance Training - a Randomized Controlled Study Regarding Fall Prevention. *Frontiers in Physiology*, 9:1075. doi: 10.3389/fphys.2018.01075.
119. Krishnamoorthy V., Yang J.F., Scholz J.P. (2005) Joint coordination during quiet stance: effects of vision. *Experimental Brain Research*, 164(1):1-17. doi: 10.1007/s00221-004-2205-6.
120. Kuczyński M. (2003) Model lepko-sprężysty w badaniach stabilności postawy człowieka. AWF, Wrocław
121. Kümmel J., Kramer A., Giboin L.S., Gruber M. (2016) Specificity of Balance Training in Healthy Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.*, 46(9):1261-71. doi: 10.1007/s40279-016-0515-z
122. Kurzawski K., Kijowski A., Kucharczyk K., Netzem P. (2011) Komputerowe systemy wspomaganie procesu szkolenia w strzelectwie sportowym – cz. II *Sport Wyczynowy*, 4:32-44.
123. Kurzawski K., Sobiech K.A. (1993) Wybrane element specyficznego wysiłku w strzelectwie sportowym. *Studia i Monografie AWF we Wrocławiu*, 35.

124. Kwon Y.J., Park S.J., Jefferson J., Kim K. (2013) The effect of open and closed kinetic chain exercises on dynamic balance ability of normal healthy adults. *Journal of Physical Therapy Science*, 25(6):671-4. doi: 10.1589/jpts.25.671
125. Kyröläinen H., Pihlainen K., Vaara J.P., Ojanen T., Santtila M. (2018) Optimising training adaptations and performance in military environment. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(11):1131-38. doi: 10.1016/j.jsams.2017.11.019.
126. Lakie M. (2010) The influence of muscle tremor on shooting performance. *Experimental physiology*, 95(3):441-50. doi: 10.1113/expphysiol.2009.047555.
127. Lesinski M., Hortobágyi T., Muehlbauer T., Gollhofer A., Granacher U. (2015) Dose-response relationships of balance training in healthy young adults: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.*, 45(4):557-76. doi: 10.1007/s40279-014-0284-5.
128. Lim J., Palmer C.J., Busa M.A., Amado A., Rosado L.D., Ducharme S.W., Simon D., van Emmerik R.E.A. (2017) Additional helmet and pack loading reduce situational awareness during the establishment of marksmanship posture. *Ergonomics*, 60(6):824-836. doi: 10.1080/00140139.2016.1222001.
129. Low D.C., Walsh G.S., Arkesteijn M. (2017) Effectiveness of Exercise Interventions to Improve Postural Control in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analyses of Centre of Pressure Measurements. *Sports Medicine*, 47(1):101-112. doi: 10.1007/s40279-016-0559-0.
130. Łysiak M., Filipkowski S. (2005) Środki treningowe i pomoce dydaktyczne wykorzystywane przy nauczaniu i doskonaleniu techniki strzelania z karabinu i pistoletu na wstępnym etapie szkolenia. *Strzelectwo Sportowe Nowoczesne rozwiązania szkoleniowe zeszyt 2*, Wydawnictwo BK, Wrocław.

131. Maitre J., Paillard T. (2016) Postural Effects of Vestibular Manipulation Depend on the Physical Activity Status. *PLoS One*, 11(9): :e0162966. doi: 10.1371/journal.pone.0162966.
132. Manolopoulos K., Gissis I., Galazoulas C., Manolopoulos E., Patikas D., Gollhofer A., Kotzamanidis C. (2016) Effect of Combined Sensorimotor-Resistance Training on Strength, Balance, and Jumping Performance of Soccer Players. *J Strength Cond Res.*, 30(1):53-9. doi: 10.1519/JSC.0000000000001012.
133. Marcolin G., Rizzato A., Zuanon J., Bosco G., Paoli A. (2019) Expertise level influences postural balance control in young gymnasts. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(4):593-599. doi: 10.23736/S0022-4707.18.08014-3.
134. Marin L., Bardy BG., Bootsma RJ. (1999) Level of gymnastic skill as an intrinsic constraint on postural coordination. *Journal of Sports Sciences*, 17(8):615-26. doi: 10.1080/026404199365641.
135. Masani K., Vette A.H., Popovic M.R. (2006) Controlling balance during quiet standing: proportional and derivative controller generates preceding motor command to body sway position observed in experiments. *Gait & Posture*, 23(2):164-72. doi: 10.1016/j.gaitpost.2005.01.006.
136. Mason B.R., Cowan L.F., Gonczol T. (1990) Factors affecting accuracy in pistol shooting. *EXCEL*, 6(4):2-6.
137. McLeod T.C., Armstrong T., Miller M., Sauers J.L. (2009) Balance improvements in female high school basketball players after a 6-week neuromuscular-training program. *Journal of Sport Rehabilitation*, 18(4):465-81. doi: 10.1123/jsr.18.4.465.
138. Migasiewicz J. (2006) Wybrane zagadnienia skuteczności szkolenia sportowego. *Strzelectwo Sportowe. Nowoczesne rozwiązania treningowe*, 3:33-37.

139. Mon D., Zakythinaki M.S., Cordente C.A., Antón A.J., Rodríguez B.R., Jiménez D.L. (2015) Finger Flexor Force Influences Performance in Senior Male Air Pistol Olympic Shooting. *PLoS One*, 10(6):e0129862. doi: 10.1371/journal.pone.0129862.
140. Mon D., Zakythinaki M.S., Cordente C.A., Monroy Antón A., López Jiménez D. (2014) Validation of a dumbbell body sway test in olympic air pistol shooting. *PLoS One*, 9(4):e96106. doi: 10.1371/journal.pone.0096106.
141. Mononen K., Konttinen N., Viitasalo J., Era P. (2007) Relationships between postural balance, rifle stability and shooting accuracy among novice rifleshooters. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 17(2):180-5. doi: 10.1111/j.1600-0838.2006.00549.x.
142. Morasso P. (2020) Centre of pressure versus centre of mass stabilization strategies: the tightrope balancing case. *Royal Society Open Science*, 7(9):200111. doi: 10.1098/rsos.200111.
143. Morasso P., Cherif A., Zenzeri J. (2019) Quiet standing: The Single Inverted Pendulum model is not so bad after all. *PLoS One*, 14(3):e0213870. doi: 10.1371/journal.pone.0213870.
144. Muehlbauer T., Gollhofer A., Granacher U. (2013) Association of balance, strength, and power measures in young adults. *J Strength Cond Res*, 27(3):582-9. doi: 10.1097/JSC.0b013e31825c2bab.
145. Muehlbauer T., Roth R., Bopp M., Granacher U. (2012) An exercise sequence for progression in balance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(2):568-74. doi: 10.1519/JSC.0b013e318225f3c4.
146. Myer G.D., Ford K.R., Brent J.L., Hewett T.E. (2006) The effects of plyometric vs. dynamic stabilization and balance training on power, balance, and landing force in

- female athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(2):345-53. doi: 10.1519/R-17955.1.
147. Nagai T., Abt J.P., Sell T.C., Keenan K.A., McGrail M.A., Smalley B.W., Lephart S.M. (2016) Effects of Deployment on Musculoskeletal and Physiological Characteristics and Balance. *Military Medicine*, 181(9):1050-7. doi: 10.7205/MILMED-D-15-00370.
148. Naglak Z. (1987) Społeczne i metodyczne aspekty sportu klasyfikowanego. *Studia i Monografie AWF we Wrocławiu*, 16.
149. Nagy E., Posa G., Finta R., Szilagyi L., Sziver E. (2018) Perceptual Aspects of Postural Control: Does Pure Proprioceptive Training Exist? *Perceptual and Motor Skills*, 125(3):581-595. doi: 10.1177/0031512518764493.
150. Naumann T., Kindermann S, Joch M., Munzert J., Reiser M. (2015) No transfer between conditions in balance training regimes relying on tasks with different postural demands: Specificity effects of two different serious games. *Gait & Posture*, 41(3):774-9. doi: 10.1016/j.gaitpost.2015.02.003.
151. Newton R.A. (2001) Validity of the multi-directional reach test: a practical measure for limits of stability in older adults. *J Gerontol A Sci Med Sci.*, 56(4):M248-52. doi: 10.1093/gerona/56.4.m248
152. Niinimaa V., McAvoy T. (1983) Influence of exercise on body sway in the standing rifle shooting position. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*, 8(1):30-3.
153. Notarnicola A., Maccagnano G, Tafuri S., Pesce V., Digiglio D., Moretti B. (2016) Effects of training on postural stability in young basketball players. *Muscles Ligaments Tendons J.*, 5(4):310-5. doi: 10.11138/mltj/2015.5.4.310.

154. Objero C.N., Wdowski M.M., Hill M.W. (2019) Can arm movements improve postural stability during challenging standing balance tasks? *Gait & Posture*, 74:71-75. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.08.010.
155. Ojanen T., Kyröläinen H., Igenia M., Häkkinen K. (2018) Effect of Prolonged Military Field Training on Neuromuscular and Hormonal Responses and Shooting Performance in Warfighters. *Military Medicine*, 183(11-12):e705-e712. doi: 10.1093/milmed/usy122.
156. Oliva-Lozano J.M., Muyor J.M. (2020) Core Muscle Activity During Physical Fitness Exercises: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(12):4306. doi: 10.3390/ijerph17124306.
157. Ortega E., Wang C.J.K. (2018) Pre-performance Physiological State: Heart Rate Variability as a Predictor of Shooting Performance. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 43(1):75-85. doi: 10.1007/s10484-017-9386-9.
158. Paillard T. (2019) Relationship between sport expertise and postural skills. *Frontiers in Psychology*, 10:1428. doi: 10.3389/fpsyg.2019.01428
159. Paillard T., Noé F. (2015) Techniques and methods for testing the postural function in healthy and pathological subjects. *Biomed. Res. Int.* 2015:891390. doi: 10.1155/2015/891390
160. Palmer C.J., Bigelow C., van Emmerik R.E.A. (2013) Defining soldier equipment trade space: load effects on combat marksmanship and perception-action coupling. *Ergonomics*, 56(11):1708-21. doi: 10.1080/00140139.2013.832805.
161. Pellegrini B., Schena F. (2005) Characterization of arm-gun movement during air pistol aiming phase. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 45(4):467-75.
162. Peterka R.J. (2002) Sensorimotor integration in human postural control. *Journal of neurophysiology*, 88(3):1097-118. doi: 10.1152/jn.2002.88.3.1097.

163. Peterka R.J., Loughlin P.J. (2004) Dynamic regulation of sensorimotor integration in human postural control. *Journal of Neurophysiology*, 91(1):410-23. doi: 10.1152/jn.00516.2003.
164. Pfueterschmied J., Buchecker M., Keller M., Wagner H., Taube W., Müller E. (2013a) Supervised slackline training improves postural stability. *European Journal of Sport Science*, 13(1):49-57.
165. Pfueterschmied J., Stöggel T., Buchecker M., Lindinger S., Wagner H., Müller E. (2013b) Effects of 4-week slackline training on lower limb joint motion and muscle activation. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(6):562-6. doi: 10.1016/j.jsams.2012.12.006.
166. Pozzo T., Ouamer M., Gentil C. (2001) Simulating mechanical consequences of voluntary movement upon whole-body equilibrium: the arm-raising paradigm revisited. *Biological Cybernetics*, 85(1):39-49. doi: 10.1007/PL00007995.
167. Raczek J., Mynarski W., Ljach W. (2003) *Kształtowanie i diagnozowanie koordynacyjnych zdolności motorycznych*. AWF, Katowice.
168. Raffalt P.C., Fillingsnes Marker I., Adler A.T., Alkjaer T. (2020) Dynamics of Postural Control in Elite Sport Rifle Shooters. *Journal of Motor Behavior*, 11:1-10. doi: 10.1080/00222895.2020.1723478
169. Remaud A., Boyas S., Caron G.A.R., Bilodeau M. (2012) Attentional demands associated with postural control depend on task difficulty and visual condition. *Journal of Motor Behavior*, 44(5):329-40. doi: 10.1080/00222895.2012.708680.
170. Reynolds R.F. (2010) The ability to voluntarily control sway reflects the difficulty of the standing task. *Gait & Posture*, 31(1):78-81. doi: 10.1016/j.gaitpost.2009.09.001.

171. Riemann B.L., Tray N.C., Lephart S.M. (2003) Unilateral Multiaxial Coordination Training and Ankle Kinesthesia, Muscle Strength, and Postural Control. *Journal of Sport Rehabilitation*, 12:13-30.
172. Ringhof S., Stein T. (2018) Biomechanical assessment of dynamic balance: Specificity of different balance tests. *Human Movement Science*, 58:140-147. doi: 10.1016/j.humov.2018.02.004.
173. Ringhof S., Zeeb N., Altmann S., Neumann R., Woll A., Stein T. (2019) Short-term slackline training improves task-specific but not general balance in female handball players. *Eur J Sport Sci.*, 19(5):557-566. doi: 10.1080/17461391.2018.1534992.
174. Romero-Franco N., Martínez-Amat A., Hita-Contreras F., Martínez-López E.J. (2014) Short-term Effects of a Proprioceptive Training Session with Unstable Platforms on the Monopodal Stabilometry of Athletes. *J Phys Ther Sci.*, 26(1):45-51. doi: 10.1589/jpts.26.45.
175. Romero-Franco N., Martínez-López E., Lomas-Vega R., Hita-Contreras F., Martínez-Amat A. (2012) Effects of proprioceptive training program on core stability and center of gravity control in sprinters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(8):2071-7. doi: 10.1519/JSC.0b013e31823b06e6.
176. Rothermel S.A., Hale S.A., Hertel J., Denegar C.R. (2004) Effect of active foot positioning on the outcome of a balance training program. *Physical Therapy in Sport*, 5:98-103.
177. Ruffieux J., Mouthon A., Keller M., Wälchli M., Taube W. (2017) Behavioral and neural adaptations in response to five weeks of balance training in older adults: a randomized controlled trial. *J Negat Results Biomed.*, 16(1):11. doi: 10.1186/s12952-017-0076-1.

178. Sadowska D., Krzepota J., Klusiewicz A. (2019b) Postural balance and rifle stability in a standing shooting position after specific physical effort in biathletes. *Journal of Sports Sciences*, 37(16):1892-1898. doi: 10.1080/02640414.2019.1603136.
179. Sadowska D., Sacewicz T., Lichota M., Krzepota J., Ładyga M. (2019a) Static Postural Balance in Modern Pentathletes: A Pilot Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(10):1760. doi: 10.3390/ijerph16101760.
180. Sandrey M.A., Mitzel J.G. (2013) Improvement in dynamic balance and core endurance after a 6-week core-stability-training program in high school track and field athletes. *J Sport Rehabil.*, 22(4):264-71.
181. Santos L., Fernández-Río J., Fernández-García B, Jakobsen M.D. (2014) The effects of supervised slackline training on postural balance in judoists. *Med Sport*, 67(4):539-553.
182. Santos L., Fernández-Río J., Fernández-García B., Jakobsen M.D., González-Gómez L., Suman O.E. (2016) Effects of Slackline Training on Postural Control, Jump Performance, and Myoelectrical Activity in Female Basketball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(3):653-64. doi: 10.1519/JSC.0000000000001168.
183. Sattlecker G., Buchecker M., Gressenbauer C., Müller E., Lindinger S.J. (2017) Factors Discriminating High From Low Score Performance in Biathlon Shooting. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(3):377-384. doi: 10.1123/ijsp.2016-0195.
184. Sattlecker G., Buchecker M., Müller E., Lindinger S.J. (2014) Postural balance and rifle stability during standing shooting on an indoor gun range without physical stress in different groups of biathletes. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 9(1):171-183.

185. Sattlecker G., Buchecker M., Rampl J., Müller E., Lindinger S.J. (2013) Biomechanical aspects in biathlon shooting. *Science and Nordic Skiing II*: 35-42.
186. Schoenfeld B.J., Contreras B., Tiryaki-Sonmez G., Willardson J.M., Fontana F. (2014) An electromyographic comparison of a modified version of the plank with a long lever and posterior tilt versus the traditional plank exercise. *Sports Biomechanics*, 13(3):296-306. doi: 10.1080/14763141.2014.942355.
187. Scholz J.P., Schöner G., Latash M.L. (2000) Identifying the control structure of multijoint coordination during pistol shooting. *Experimental Brain Research*, 135(3):382-404. doi: 10.1007/s002210000540.
188. Schwesig R., Kluttig A., Leuchte S., Becker S., Schmidt H., Esperer H.D. (2009) [The impact of different sports on posture regulation] [artykuł w jęz. niemieckim]. *Sportverletz Sportschaden*, 23(3):148-54. doi: 10.1055/s-0028-1109576.
189. Sell T.C., Abt J.P., Crawford K., Lovalekar M., Nagai T., Deluzio J.B., Smalley B.W., McGrail M.A., Rowe R.S., Cardin S., Lephart S.M. (2010) Warrior Model for Human Performance and Injury Prevention: Eagle Tactical Athlete Program (ETAP) Part I. *Journal of Special Operations Medicine*, 10(4):2-21.
190. Serrien B., Hohenauer E., Clijsen R., Taube W., Baeyens J.P., Küng U. (2017) Changes in balance coordination and transfer to an unlearned balance task after slackline training: a self-organizing map analysis. *Experimental Brain Research*, 235(11):3427-3436. doi: 10.1007/s00221-017-5072-7.
191. Shin H.J., Jung J.H., Kim S.H., Hahm S.C., Cho H.Y. (2020) A Comparison of the Transient Effect of Complex and Core Stability Exercises on Static Balance Ability and Muscle Activation during Static Standing in Healthy Male Adults. *Healthcare (Basel)*, 8(4):375. doi: 10.3390/healthcare8040375.
192. Shumway-Cook A., Woollacott M.H. (2007) *Motor control: translating research into clinical practice*. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.

193. Simpson J.D., Miller B.L., O'Neal E.K., Chander H., Knight A.C. (2018) External load training does not alter balance performance in well-trained women. *Sports Biomechanics*, 17(3):336-349. doi: 10.1080/14763141.2017.1341546.
194. Słomka K.J., Michalska J., Marszałek W., Bacik B., Juras G. (2019) Forward functional stability indicator (FFSI) as a reliable measure of limits of stability. *MethodsX*, 7:10-16. doi: 10.1016/j.mex.2019.11.029.
195. Snyder N., Cinelli M. (2020) Comparing balance control between soccer players and non-athlete during a dynamic lower limb reaching task. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 91(1):166-171. doi: 10.1080/02701367.2019.1649356.
196. Sobera M. (2010) Charakterystyka procesu utrzymywania równowagi ciała u dzieci w wieku 2-7 lat. *Studia i Monografie nr 97*, AWF Wrocław.
197. Sobera M., Rutkowska-Kucharska A. (2019) Postural control in female rhythmic gymnasts in selected balance exercises: a study of two cases. *Pol. J. Sport Tourism* 2019, 26(1):3-7.
198. Sozzi S., Honeine J.L., Do M.C., Schieppati M. (2013) Leg muscle activity during tandem stance and the control of body balance in the frontal plane. *Clin Neurophysiol.*, 124(6):1175-86. doi: 10.1016/j.clinph.2012.12.001.
199. Starkes J., Helsen W., Elliott D. (2002) A ménage à trois: the eye, the hand and on-line processing. *Journal of Sports Sciences*, 20(3):217-24. doi: 10.1080/026404102317284772.
200. Stodółka J., Sobera M. (2017) Symmetry of lower limb loading in healthy adults during normal and abnormal stance. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 19(3):93-100.
201. Su F., Wu W., Lee W. (2000) Stance stability in shooters. *Chinese Journal of Medical and Biological Engineering*, 20(4):187-192.

202. Tang W.T., Zhang W.Y., Huang C.C., Young M.S., Hwang I.S. (2008) Postural tremor and control of the upper limb in air pistol shooters. *Journal of Sports Sciences*, 26(14):1579-87. doi: 10.1080/02640410802287063.
203. Taube W., Gruber M., Gollhofer A. (2008) Spinal and supraspinal adaptations associated with balance training and their functional relevance. *Acta Physiol (Oxf)*, 193(2):101-16. doi: 10.1111/j.1748-1716.2008.01850.x.
204. Taube W., Kullmann N., Leukel C., Kurz O., Amtage F., Gollhofer A. (2007b) Differential reflex adaptations following sensorimotor and strength training in young elite athletes. *Int J Sports Med.*, 28(12):999-1005. doi: 10.1055/s-2007-964996.
205. Taube W., Schubert M., Gruber M., Beck S., Faist M., Gollhofer A. (2006) Direct corticospinal pathways contribute to neuromuscular control of perturbed stance. *J Appl Physiol (1985)*, 101(2):420-9. doi: 10.1152/jappphysiol.01447.2005.
206. Thomas M., Kalicinski M. (2016) The Effects of Slackline Balance Training on Postural Control in Older Adults. *Journal of Aging and Physical Activity*, 24(3):393-8. doi: 10.1123/japa.2015-0099.
207. Thompson A.G., Swain D.P., Branch J.D., Spina R.J., Grieco C.R. (2015) Autonomic response to tactical pistol performance measured by heart rate variability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(4):926-33. doi: 10.1519/JSC.0000000000000615.
208. Torres-Oviedo G., Ting L.H. (2007) Muscle synergies characterizing human postural responses. *Journal of Neurophysiology*, 98(4):2144-56. doi: 10.1152/jn.01360.2006.
209. Torres-Oviedo G., Ting L.H. (2010) Subject-specific muscle synergies in human balance control are consistent across different biomechanical contexts. *Journal of Neurophysiology*, 103(6):3084-98. doi: 10.1152/jn.00960.2009.

210. Trew M., Everett T. (2005) Human movement an introductory text. Elsevier Churchill Livingstone, Edinburgh
211. Valovich McLeod T.C., Armstrong T., Miller M., Sauers J.L. (2009) Balance improvements in female high school basketball players after a 6-week neuromuscular-training program. *Journal of Sport Rehabilitation*, 18(4):465-81. doi: 10.1123/jsr.18.4.465.
212. Vera-Garcia F., Irlles-Vidal B., Prat-Luri A., García-Vaquero M.P., Barbado D., Juan-Recio C. (2020) Progressions of core stabilization exercises based on postural control challenge assessment. *European Journal of Applied Physiology*, 120(3):567-577. doi: 10.1007/s00421-020-04313-9.
213. Verhagen E., Bobbert M., Inklaar M., van Kalken M., van der Beek A., Bouter L., van Mechelen W. (2005) The effect of a balance training programme on centre of pressure excursion in one-leg stance. *Clinical Biomechanics*, 20(10):1094-100. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2005.07.001.
214. Volery S., Singh N., de Bruin E.D., List R., Jaeggi M.M., Baur B.M., Lorenzetti S. (2017) Traditional balance and slackline training are associated with task-specific adaptations as assessed with sensorimotor tests. *Eur J Sport Sci.*, 17(7):838-846. doi: 10.1080/17461391.2017.1317833.
215. Wasilewski B. (1977) Sztuka celnego strzelania. Wydawnictwo Sport i Turystyka, Warszawa.
216. Welch T.D., Ting L.H. (2014) Mechanisms of motor adaptation in reactive balance control. *PLoS One*, 9(5):e96440. doi: 10.1371/journal.pone.0096440.
217. Winter D.A., Patla A.E., Prince F., Ishac M., Gielo-Perczak K. (1998) Stiffness control of balance in quiet standing. *Journal of Neurophysiology*, 80(3):1211-21. doi: 10.1152/jn.1998.80.3.1211.

218. Winter T., Beck H., Walther A., Zwipp H., Rein S. (2015) Influence of a proprioceptive training on functional ankle stability in young speed skaters - a prospective randomised study. *J Sports Sci.*, 33(8):831-40. doi: 10.1080/02640414.2014.964751.
219. Wodnik J. (2007) Przygotowanie fizyczne w treningu strzelca. *Strzelectwo Sportowe. Nowoczesne rozwiązania treningowe*, 4:151-154.
220. Yaggie J.A., Campbell B.M. (2006) Effects of balance training on selected skills. *J Strength Cond Res.*, 20(2):422-8. doi: 10.1519/R-17294.1.
221. Yapici A., Bacak C., Celik E. (2018) Relationships between shooting performance and motoric characteristics, respiratory function test parameters of the competing shooters in the youth category. *European Journal of Physical Education and Sport Science*, 4(10):113-124.
222. Zatsiorsky V.M., Aktov A.V. (1990) Biomechanics of highly precise movements: the aiming process in air rifle shooting. *Journal of Biomechanics*, 23 Suppl 1:35-41. doi: 10.1016/0021-9290(90)90039-6
223. Zech A., Klahn P., Hoefl J., zu Eulenburg C., Steib S. (2014) Time course and dimensions of postural control changes following neuromuscular training in youth field hockey athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 114(2):395-403. doi: 10.1007/s00421-013-2786-5.
224. Zemková E. (2014) Sport-specific balance. *Sports Medicine*, 44(5):579-90.
225. Zemková E., Hamar D. (2010) The effect of 6-week combined agility-balance training on neuromuscular performance in basketball players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 50(3):262-7.
226. Zhang L., Zhou Q., Liu Z., Tang S. (2019) Evaluation on Directed Functional Brain Connectivity during the Expert Rifle Pre-shot Period. *Journal of Motor Behavior*, 51(5):511-520. doi: 10.1080/00222895.2018.1523128.

227. Żyła S. (2003) Strzelanie sportowe z pistoletu. TDM Agencja Wydawniczo-Reklamowa, Poznań.

Streszczenie

Tytuł: Ocena skuteczności wpływu autorskiego programu ćwiczeń równoważnych na stabilność postawy strzeleckiej żołnierza.

Słowa kluczowe: kontrola równowagi, trening równowagi, stabilność postawy strzeleckiej, strzelectwo bojowe.

Cel pracy. Celem pracy jest określenie zależności zmian kontroli równowagi ciała w postawie strzeleckiej u żołnierzy a efektami zastosowania autorskiego programu ćwiczeń równoważnych.

Metody badania i analizy danych. Grupę badanych stanowiło 64 żołnierzy, podzielonych na grupę eksperymentalną (N=28) oraz grupę kontrolną (N=36). Badani żołnierze przyjmowali postawę strzelecką ze zgrywaniem przyrządów celowniczych pistoletu HK USP stojąc na platformach sił AccuSway (AMTI, USA). Na podstawie przebiegu COP w funkcji czasu obliczono i wybrano do analizy następujące wskaźniki równowagi ciała: zakres przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym oraz przednio-tylnym oraz pole elipsy przemieszczeń COP, zmienność przemieszczeń COP w kierunku przyśrodkowo-bocznym oraz przednio-tylnym a także średnią prędkość przemieszczeń COP. Grupa eksperymentalna wykonała 8-tygodniowy autorski program ćwiczeń równoważnych, natomiast grupa kontrolna nie wykonywała w tym czasie dodatkowego treningu równowagi. Program ćwiczeń równoważnych składał się z ćwiczeń niespecyficznych dla strzelectwa, wykonywanych w pozycjach jednonóż, z zaburzeniami funkcjonalnymi układu równowagi oraz ćwiczeń tułowia.

Wyniki. Autorski program ćwiczeń równoważnych okazał się skuteczny w poprawie jakości wybranych aspektów kontroli równowagi podczas utrzymywania postawy strzeleckiej stojąc zwłaszcza w przypadku kończyny dolnej niedominującej. Wielkość i zmienność kołysania postawy uległa zmniejszeniu w grupie eksperymentalnej w wyniku zastosowania specyficznego programu ćwiczeń dla żołnierzy. Z kolei aktywność kończyn dolnych nie uległa

poprawie w grupie eksperymentalnej w odniesieniu do stanu sprzed rozpoczęcia projektu, co stwarza trudności w jednoznacznej ocenie skuteczności zastosowanego programu ćwiczeń równoważnych.

Wnioski. Wykorzystanie wyników niniejszego badania w praktyce strzeleckiej pozwoli zaproponować rozwiązania treningowe zwiększające stabilność postawy strzeleckiej stojąc i tym samym optymalizację procesu szkolenia.

Summary

Title: The assessment of the effectiveness of the proprietary balance exercises training programme on the stability of soldier's standing shooting stance.

Keywords: body balance control, balance training, shooting stance stability, military shooting.

Aim of the study. The aim of the study is to determine the dependence of changes in body balance control during shooting stance in soldiers due to implementation of the proprietary balance exercises training programme.

Research groups and methods. The study group consisted of 64 soldiers, divided into the experimental group (N=28) and the control group (N=36). Examined soldiers assumed a shooting stance with the HK USP pistol sights aligned on the target, while standing on the AccuSway force platforms (AMTI, USA). On the basis of the course of the COP as a function of time, the following body balance indices were calculated and selected for analysis: the range of COP displacements in the medi-lateral and antero-posterior directions and the area of the COP displacement ellipse, the variability of the COP displacement in the medi-lateral direction and anterior-posterior, and the average velocity of COP displacements. The experimental group performed the 8-week proprietary balance exercise programme, while the control group did not perform any additional balance training at that time. The balance exercise training programme consisted of exercises not specific for shooting, performed in single-legged positions, with functional disturbance of the equilibrium system, and trunk exercises.

Results. The proprietary balance exercises training programme turned out to be effective in improving the quality of selected aspects of balance control during maintaining the shooting stance, especially of the non-dominant lower limb. The magnitude and variability of the body sway in shooting stance decreased in the experimental group. However, the average velocity of the COP displacement variable value of the experimental group did not decrease, which makes it difficult to unequivocally assess the effectiveness of the applied programme.

Conclusions. The results of this study allow to propose training solutions increasing the stability of the standing shooting stance and thus optimize the training process.