

AKADEMIA WYCHOWANIA
FIZYCZNEGO
IM. J. KUKUCZKI W KATOWICACH

WYDZIAŁ WYCHOWANIA FIZYCZNEGO

Damian Sikora

WPŁYW ĆWICZEŃ SENSOMOTORYCZNYCH NA
RÓWNOWAGĘ CIAŁA ORAZ GRUBOŚĆ MIĘŚNIA
POPRZECZNEGO BRZUCHA U DZIECI I MŁODZIEŻY
UPRAWIAJĄCYCH PIŁKĘ NOŻNĄ

Rozprawa na stopień doktora nauk o kulturze fizycznej

Promotor:
dr hab. Paweł Linek, prof. AWF

Katowice 2020

*Serdeczne podziękowania składam Promotorowi,
dr hab. Pawłowi Linkowi prof. AWF, za poświęcony czas, cenne
wskazówki merytoryczne, zaangażowanie, życzliwość i ogrom
okazanej cierpliwości oraz słowa motywacji dzięki którym
wszystko się zaczęło.*

*Dziękuję również wszystkim, którzy w jakikolwiek sposób
przyczynili się do powstania niniejszej pracy.*

Pracę dedykuję Rodzicom

Spis treści

SPIS SKRÓTÓW STOSOWANYCH W PRACY	5
1. WPROWADZENIE.....	7
2. ĆWICZENIA A RÓWNOWAGA CIAŁA W ŚWIETLE LITERATURY	12
2.1 Rekomendacje i ograniczenia badań	17
3. MIĘŚNIEN POPRZECZNY BRZUCHA	21
3.1 Funkcja mięśnia poprzecznego brzucha	21
3.2 Możliwości oceny mięśnia poprzecznego brzucha.....	26
4. ZAŁOŻENIA I CEL PRACY.....	30
5. MATERIAŁ I METODY BADAŃ	32
5.1 Rodzaj i miejsce badań	32
5.2 Uczestnicy badań	32
5.3 Narzędzia badawcze	32
5.3.1 Platforma stabilometryczna	32
5.3.2 Test równowagi „Y”	34
5.3.3 Test równowagi BESS	35
5.3.4 Fizjoterapeutyczna ultrasonografia obrazowa mięśnia poprzecznego brzucha.....	36
5.3.5 Test utrzymania piłki na stopie.....	37
5.3.6 Test zwinnosci	38
5.4 Eksperyment naukowy.....	39
5.5 Zaślepienie badań	45
5.6 Analiza statystyczna	45
6. WYNIKI	47

6.1 Uczestnicy badań	47
6.2 Wpływ 10-tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na równowagę ciała dzieci i młodzieży uprawiających piłkę nożną	50
6.2.1 Test równowagi „Y”	50
6.2.2 Test równowagi BESS	56
6.2.3 Platforma stabilometryczna	57
6.2.4 Test utrzymania piłki na stopie	61
6.3 Wpływ 10-tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na zwinność dzieci i młodzieży uprawiających piłkę nożną.....	62
6.4 Wpływ 10-tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na grubość mięśnia poprzecznego brzucha dzieci i młodzieży uprawiających piłkę nożną	63
7. DYSKUSJA.....	65
8. WNIOSKI	81
9. BIBLIOGRAFIA	82
10. STRESZCZENIE.....	100
11. SUMMARY	102
12. SPIS TABEL.....	104
13. SPIS RYCIN	105

SPIS SKRÓTÓW STOSOWANYCH W PRACY

B ₁	- badanie pierwsze
B ₂	- badanie drugie
BESS	- (<i>ang. Balance Error Scoring System</i>) test oceny błędów równowagi
BMI	- (<i>ang. body mass index</i>) wskaźnik masy ciała
cm	- centymetr
COP	- (<i>ang. Center of Pressure</i>) środek nacisku stóp
E	- grupa eksperymentalna
E ₁	- grupa eksperymentalna badanie pierwsze
E ₂	- grupa eksperymentalna badanie drugie
EBM	- (<i>ang. Evidence Based Medicine</i>) medycyna oparta na faktach
eEMG	- elementarna elektromiografia
EMG	- elektromiografia
FIFA	- (<i>fr. Fédération Internationale de Football Association</i>) międzynarodowa federacja piłki nożnej
gEMG	- globalna elektromiografia
Hz	- herce
K	- grupa kontrolna
K ₁	- grupa kontrolna badanie pierwsze
K ₂	- grupa kontrolna badanie drugie
KDL	- kończyna dolna lewa
KDP	- kończyna dolna prawa
Kg	- kilogram
L-P	- cel lewy przód
L-T	- cel lewy tył
max	- maximum
Me	- mediana
MHz	- mega herce
min	- minimum
mm	- milimetry
MRI	- rezonans magnetyczny
N	- ilość zawodników w danej grupie

Nr	- numer
OE	- (<i>łac. Musculus Obliquus Externus Abdominis</i>) mięsień skośny zewnętrzny brzucha
OI	- (<i>łac. Musculus Obliquus Internus Abdominis</i>) mięsień skośny wewnętrzny brzucha
p	- istotność statystyczna
PC	- (<i>ang. Personal Computer</i>) komputer osobisty
P-P	- cel prawy przód
P-T	- cel prawy tył
PU	- przedział ufności
RUSI	- (<i>ang. Rehabilitative Ultrasound Imaging</i>) fizjoterapeutyczne obrazowanie ultrasonograficzne
s	- sekundy
SEBT	- (<i>ang. Star Excursion Balance Test</i>) test równowagi gwiazdy
T	- tesle
TrA	- (<i>łac. Musculus Transversus Abdominis</i>) mięsień poprzeczny brzucha
USG	- ultrasonografia
Y-BT	- (<i>ang. Y Balance test</i>) test równowagi Y
*	- istotność statystyczna $p < 0,05$
**	- istotność statystyczna $p < 0,01$
***	- istotność statystyczna $p < 0,001$

1. WPROWADZENIE

Piłka nożna od wielu lat jest najbardziej popularną dyscypliną sportową, trenowaną przez dzieci i młodzież na całym świecie [Peterson i wsp. 2000, Soligard i wsp. 2008]. Niewątpliwie kolebką piłki nożnej, jaką oglądamy obecnie, jest Anglia. To właśnie tam powstały pierwsze kluby piłkarskie, które utworzyły własną ligę i wprowadziły zawodowstwo, podnosząc tym samym popularność piłki nożnej w innych krajach [Orejan 2011]. Wraz ze wzrostem jej popularności rosną ciągle wymagania stawiane przed młodymi zawodnikami, co wiąże się z poszukiwaniem nowoczesnych form treningu, ukierunkowanych na poprawę jakości szkolenia dzieci i młodzieży [Hammami i wsp. 2016]. Dzięki wprowadzaniu innowacyjnych metod treningu, powstawaniu nowych akademii piłkarskich, organizowaniu turniejów międzynarodowych, liczba dzieci i nastolatków trenujących piłkę nożną stale rośnie, co wiąże się również z wysokim czynnikiem ryzyka wystąpienia urazu w grupach młodzieżowych [Leininger i wsp. 2007] i na różnym poziomie (amatorski, zawodowy etc.) uprawiana tej dyscypliny [Ekstrand i wsp. 2011, Hootman i wsp. 2007, Söderman i wsp. 2000].

Niepokojące dane dotyczące urazowości w gronie młodych polskich zawodników zaprezentował Żołnowski i wsp. [2013]. Wynika z nich jasno, że ponad 21% osób trenujących piłkę nożną z powodu urazu zostało wykluczonych z treningu piłkarskiego na minimum jeden miesiąc. Podobne wnioski zaprezentował Leininger i wsp. [2007], przedstawiając wyniki zebrane wśród młodych amerykańskich piłkarzy, u których prawie połowę wszystkich urazów stanowiły urazy w obrębie kończyn dolnych. Stubbe i wsp. [2015] w swoich badaniach ankietowych, zrealizowanych w zawodowych klubach piłkarskich na terenie Holandii, doszli do wniosku, że najwięcej urazów wywoływanych jest bezpośrednio przez innego gracza, czyli są to urazy kontaktowe. Między sportowcami panuje przekonanie, że wystąpienie urazu wpływa niekorzystnie na wyniki całej drużyny, dzięki czemu ponad 98% zawodników uważa za zasadne wdrażanie popartych naukowymi dowodami, potencjalnie zapobiegających urazom, dodatkowych programów ćwiczeń, które powinny być wprowadzone do ich regularnego treningu [O'Brien, Finch 2017].

Zwiększająca się liczba urazów w piłce nożnej [Leininger i wsp. 2007, Żołnowski i wsp. 2013], a także chęć poprawy wyniku sportowego [Cressey i wsp. 2007, Lephart i wsp. 2007] sprawiły, że badacze coraz większą uwagę przywiązują do dodatkowych

programów ćwiczeń, które by tę liczbę zmniejszyły [Caldemeyer i wsp. 2020, Eils i wsp. 2010, Owen i wsp. 2013] oraz poprawiły wynik sportowy [Bruhn i wsp. 2004, Cressey i wsp. 2007, Kean i wsp. 2006]. Niewątpliwie jednymi z najczęściej wprowadzanych programów ćwiczeń są takie, które bazują na poprawie równowagi ciała [Eils i wsp. 2010, Heleno i wsp. 2016, Malliou i wsp. 2004]. Niski poziom równowagi ciała wiąże się ze zwiększeniem ryzyka wystąpienia urazu [Eils i wsp. 2010, McGuine i wsp. 2000], zasadne wydaje się więc wdrożenie jako elementu treningu dodatkowych ćwiczeń (kształtujących równowagę ciała), których głównym celem będzie prewencja urazu [Caldemeyer i wsp. 2020, Eils i wsp. 2010, Owen i wsp. 2013]. Podobnie należy rozpatrywać wprowadzanie dodatkowych ćwiczeń kształtujących równowagę ciała względem poprawy wyniku sportowego. Z dostępnych danych wiemy, że ćwiczenia te przyczyniły się między innymi do poprawy wysokości skoku [Kean i wsp. 2006, Šimiek Šalaj i wsp. 2007], a także zwinności [Šimiek Šalaj i wsp. 2007]. Jednakże związek między równowagą ciała a wynikami sportowymi nie jest jeszcze w pełni zrozumiały [Adlerton i wsp. 2003, Hrysomallis 2011]. Hrysomallis [2011] podkreśla, że dodatkowe ćwiczenia kształtujące równowagę ciała będą wartościowym dodatkiem do treningu sportowego i przyczynić się mogą do poprawy wyniku sportowego.

Równowaga ciała ma ogromne znaczenie dla prawidłowego codziennego funkcjonowania człowieka [Juras 2003]. Pomimo iż na co dzień nie zwracamy na nią większej uwagi, to niewątpliwie jest jedną z ważniejszych zdolności motorycznych człowieka. Błaszczyk [1993] określa ją jako "pewien określony stan układu posturalnego", cechujący się pionową postawą ciała, utrzymywaną dzięki zrównoważeniu sił działających na ciało oraz ich momentów [Błaszczyk 1993, Kuczyński i wsp. 2012]. Równowaga opisywana jest również w literaturze jako jedna ze zdolności motorycznych, która umożliwia utrzymanie pozycji ciała w równowadze (równowaga statyczna) oraz zachowanie tego stanu w trakcie danego zadania ruchowego, jak również pozwala na odzyskanie stabilnej pozycji ciała po wykonaniu danego zadania ruchowego (równowaga dynamiczna) [Błaszczyk 1993, Kuczyński i wsp. 2012]. Wraz z definicją równowagi pojawia się (często zamiennie) pojęcie stabilności, które jednak jest pojęciem nieco szerszym i oznacza odporność ciała (czynną lub bierną) na zakłócenia równowagi [Kotiukow i wsp. 2009, Kuczyński i wsp. 2012, Rogers i wsp. 2001]. Zarówno równowaga, jak i stabilność nie są cechami stałymi i ulegają licznym zmianom w ciągu życia, oprócz dojrzewania układu sensorycznego zmienia się napięcie mięśniowe, a także pewne wzorce ruchowe [Błaszczyk i Czerwos 2005, Mraz i wsp.

2014]. Zatem prawidłowe i sprawne działanie układu równowagi jest możliwe dzięki prawidłowej współpracy kilku narządów (błędnik, narząd wzroku, czucie głębokie), a nieodzownym elementem jest sprawnie działający układ nerwowy, który ma za zadanie odbiór i przetwarzanie bodźców wpływających ze wszystkich narządów [Błaszczuk 1993, Nashner i wsp. 1989]. Jedną z głównych ról w utrzymaniu postawy stojącej badacze przypisują informacji somatosensorycznej, która umożliwia ponadto wykrywanie zmian położenia ciała względem powierzchni podparcia [Błaszczuk 1993]. Wydaje się zatem, że prawidłowe stymulowanie układu somatosensorycznego wpłynie na poprawę zdolności motorycznej określanej jako równowaga.

Janda [1987], czeski fizjolog i neurolog, zauważył, że nie jest możliwe oddzielenie układu sensorycznego i układu motorycznego podczas kontroli ruchu ciała człowieka, co umożliwiło wprowadzenie terminu „układu sensomotorycznego”. Podkreślił on również, że najważniejszym elementem skoordynowanego ruchu człowieka jest „propriocepcja”. Określenie „propriocepcja” zostało wprowadzone na początku XX wieku przez Charlesa Sherringtona [1906] i odnosi się do ruchu pochodzącego z mięśni, ścięgien i stawów, uwzględniając występowanie wyspecjalizowanych zakończeń nerwowych, które dostarczają informację o napięciu mięśni (wrzeciona mięśniowe i ciała Pucciniego). Janda [1987] wprowadził również zestaw ćwiczeń, które nazwał „ćwiczeniami sensomotorycznymi”, a ich założenia oparły się na przywróceniu funkcji układu nerwowego poprzez likwidację dysproporcji w napięciu mięśniowym. Ćwiczenia te znalazły również zastosowanie w leczeniu dolegliwości bólowych kręgosłupa [Janda i VaVrova 1996], a także zostały wykorzystane do zmniejszenia ryzyka wystąpienia urazu. Przykładowo Waldzińska i wsp. [2015] twierdzą, że „trening sensomotoryczny może być jednym z elementów profilaktyki urazów sportowych”, a ćwiczenia sensomotoryczne zostały również opisane jako całościowe podejście do treningu równowagi [Page 2006]. Zgodnie z doniesieniami badaczy można stwierdzić, że ćwiczenia sensomotoryczne dzięki zjawisku propriocepcji będą wpływały na poprawę równowagi ciała [Heleno i wsp. 2016, Page 2006].

Wyniki badań w zakresie wdrażania różnego rodzaju ćwiczeń (w tym ćwiczeń sensomotorycznych) u sportowców nie dają jednoznacznych dowodów potwierdzających ich potencjalny korzystny wpływ na jakość wyników sportowych [Bruhn i wsp. 2004, Malliou i wsp. 2004, Yaggie i Cambell 2006]. Warto w tym miejscu podkreślić, że w literaturze sformułowanie „ćwiczenie” oraz „trening” są często używane zamiennie [Malliou i wsp. 2004, Sharma i wsp. 2012]. Wydaje się jednak, że używanie w polskiej

literaturze wyrazu „ćwiczenie” jest bardziej poprawne, gdyż ta dodatkowa interwencja wprowadzana jest często jako element jednostki treningowej [Lust i wsp. 2009]. Ponadto nazewnictwo ćwiczeń mających wpływać na poprawę równowagi ciała (w tym ćwiczenia sensomotoryczne) jest nieco modyfikowane przez język codzienny, co doprowadziło do wprowadzenia zarówno w polskim, jak i zagranicznym piśmiennictwie wielu nazw, których dość często używa się zamiennie. Trzeba pamiętać, że ćwiczenia te są nastawione na poprawę propriocepcji, a co jest z tym bezpośrednio związane ulepszenie równowagi ciała. Dowolność użycia różnych określeń doprowadziła do tego, że niektórzy badacze nazywali swoje dodatkowe ćwiczenia ćwiczeniami propriocepcji [Mandelbaum i wsp. 2005, Stryła i Pogorzała 2014], ćwiczeniami sensomotorycznymi [Helena i wsp. 2016], ćwiczeniami nerwowo – mięśniowymi [Zech i wsp. 2014, Barber – Westin 2010], ćwiczeniami równoważnymi [Kang i wsp. 2013, Verhagen i wsp. 2005] lub ćwiczeniami stabilizacyjnymi [Kachanatu i wsp. 2014]. Brachman i wsp. [2017] oraz Kümmel i wsp. [2016] w swoich przeglądach systematycznych podkreślają, że najczęściej używanym terminem w anglojęzycznej literaturze jest termin „trening równowagi”.

Na potrzeby niniejszej dysertacji postanowiono trzymać się jednak formuły zaproponowanej przez Jandę [1987], czyli określenia „ćwiczenia sensomotoryczne”, gdyż jest to pojęcie nieco szersze, które zgodnie z założeniami ma wpływać na funkcję proprioceptorów. Ćwiczenia sensomotoryczne według hipotezy powinny zawierać trzy etapy: statyczny, dynamiczny i funkcjonalny, wykorzystując na poszczególnych etapach niestabilne podłoże [Janda 1987, Page 2006]. Zatem ćwiczenia zaprezentowane w części badawczej niniejszej dysertacji zawierają w sobie elementy wszystkich etapów ćwiczeń sensomotorycznych, opisanych przez Jandę [1987], stąd też przyjęły nazwę „ćwiczeń sensomotorycznych”. Oczywiście zostały one odpowiednio zmodyfikowane i ukierunkowane pod kątem dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną.

Według niektórych badaczy ćwiczenia stosowane w fizjoterapii (w tym ćwiczenia sensomotoryczne) powinny wpływać na grubość mięśnia poprzecznego brzucha [Anoop i wsp. 2010]. Z kolei inne badania pokazują istotną rolę tego mięśnia w stabilizacji odcinka lędźwiowego kręgosłupa i miednicy [Richardson i wsp. 2002]. Przez badaczy miednica (dzięki niezwykle precyzyjnej funkcji przenoszenia i tłumienia różnorodnych sił) często uważana jest za kluczowy element utrzymania prawidłowej postawy ciała [Savory i Kaute 1999, Walker i wsp. 1987]. Zatem ustawienie miednicy (jako elementu prawidłowej postawy ciała) będzie miało znaczący wpływ na zdolność zachowania równowagi [Walker i wsp. 1987]. W swoich badaniach Reeve i Dileey [2009] udowodnili

wpływ postawy ciała na zmianę grubości mięśnia poprzecznego brzucha. Teoretycznie można zatem przyjąć, że potencjalnym efektem wprowadzenia ćwiczeń sensomotorycznych (poza samą poprawą parametrów równoważnych) będzie oddziaływanie na mięsień poprzeczny brzucha, co przełoży się na zmianę jego grubości. Należy jednak zauważyć, że rola mięśnia poprzecznego brzucha w zachowaniu zdolności równoważnych nie została dotychczas poparta badaniami na żadnej populacji. Payne i Isaacs [2012] podkreślają, że równowaga u dzieci nie jest w pełni rozwinięta i wprowadzone programy dodatkowych ćwiczeń kształtujących równowagę ciała mogłyby wpłynąć na jej poprawę. Również Schedler i wsp. [2020] sugerują, że dzieci mają dużą zdolność do kształtowania równowagi (statycznej i dynamicznej). W okresie dojrzewania występuje również okres tzw. latencji, w którym pojawia się większa labilność postawy [Weineck 2001]. Ricotti [2012] stwierdził, że równowaga ma zasadnicze znaczenie w wykonywaniu skomplikowanych ruchów technicznych przez piłkarzy nożnych i kształtowanie jej jest istotne dla osiągnięcia przez sportowca wysokiego poziomu sportowego. Tym samym można postawić hipotezę, że wprowadzanie dodatkowych ćwiczeń w grupie dzieci i nastolatków trenujących piłkę nożną, które oprócz zapobiegania urazom [Hammami i wsp. 2016, McGuine i wsp. 2006 O'Brien i Finch 2017, Soligard i wsp. 2008] będą poprawiały jedną ze zdolności motorycznych, jaką jest równowaga, i być może dodatkowo wpłyną na grubość mięśnia poprzecznego brzucha.

Asumptem do przygotowania niniejszej pracy było więc zasadnicze pytanie: czy ćwiczenia sensomotoryczne wpłyną na poprawę równowagi ciała oraz grubość mięśnia poprzecznego brzucha u dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną? W rozdziale drugim przedstawiono dotychczasowy stan literatury naukowej, określający wpływ ćwiczeń na poprawę równowagi ciała. Kolejny rozdział pozwolił zdefiniować funkcję i metody oceny mięśnia poprzecznego brzucha. Część empiryczna niniejszej pracy rozpoczyna się od rozdziału czwartego, gdzie przedstawiono szczegółowy cel i pytania badawcze. Kolejne dwa rozdziały prezentują charakterystykę grupy badawczej, metodykę badań oraz opracowanie statystyczne pozyskanych wyników. Uwieńczeniem niniejszej pracy są wyniki badań, ich interpretacja i wnioski.

2. ĆWICZENIA A RÓWNOWAGA CIAŁA W ŚWIETLE LITERATURY

Początków wdrażania ćwiczeń, a w zasadzie elementów wychowania fizycznego, na terenie Europy trzeba się doszukiwać w starożytnej Grecji, skąd pochodzą także pierwsze zapisy (w postaci rysunków), dotyczące gier z piłkami [Ordyłowski 1997, Wroczyński 2009]. To głównie Ateny wdrażały system edukacyjno-wychowawczy dzieci i młodzieży, który zapewniał państwu obywateli sprawnych i przygotowywał ich do służby wojskowej, a także do pełnienia różnych funkcji publicznych [Urniał i Urgielewicz-Urniał 2015]. Nie dziwi więc fakt, że u Arystotelesa istotną rolę w prawidłowym procesie kształtowania dzieci i młodzieży odgrywała równowaga pomiędzy rozwojem umysłowym a fizycznym [Urniał i Urgielewicz-Urniał 2015, Wroczyński 2009]. Wraz z rozwojem wychowania fizycznego i przejściem wielu dyscyplin sportowych na poziom w pełni zawodowy badacze także skoncentrowali swoją większą uwagę na wprowadzeniu dodatkowych ćwiczeń desygnowanych do zapobiegania urazowości i poprawy zdolności motorycznych (w tym również równowagi) [Hrysomallis 2011, Owen i wsp. 2013, Soligard i wsp. 2008]. W ostatnim dwudziestolecu zaobserwowano znaczny wzrost prac, które wdrażały różnego rodzaju ćwiczenia ukierunkowane na: a) poprawę równowagi ciała; b) prewencję urazową w grupie dorosłych osób uprawiających różne dyscypliny sportowe [Benis i wsp. 2016, Oshima o wsp. 2020], młodzieży [Bouteraa i wsp. 2018, Słomka i wsp. 2018,] oraz dzieci [Dobrijević i wsp. 2016, Yildiz i wsp. 2019].

Spoglądając na dostępną literaturę, można łatwo zauważyć dużą rozbieżność odnoszącą się do czasu trwania dodatkowych programów ćwiczeń mających na celu poprawę równowagi ciała u osób dorosłych uprawiających różne dyscypliny sportowe, co wskazuje na pewną dowolność metodologiczną podczas weryfikowania tych ćwiczeń w badaniach naukowych [Benis i wsp. 2016, Iacono i wsp. 2014, Oshima i wsp. 2020]. Najdłuższy czas wprowadzonej dodatkowej interwencji mającej na celu poprawę równowagi statycznej i dynamicznej obserwowano w badaniach Oshimy i wsp. [2020], którzy zdecydowali się zastosować sześciomiesięczny program ćwiczeń oparty na programie FIFA 11 (Fédération Internationale de Football Association). Program FIFA 11 podzielony jest na trzy główne części, które zawierają między innymi ćwiczenia: biegowe, siłowe, plajometryczne, równoważne. Po okresie sześciu miesięcy badacze odnotowali poprawę równowagi dynamicznej. Odmienne wnioski dotyczące programu FIFA 11 można znaleźć w doniesieniach Lopesa i wsp. [2019], którzy u halowych

piłkarzy nożnych nie uzyskali poprawy równowagi statycznej i dynamicznej. Warto jednak podkreślić, że badacze w tym przypadku zdecydowali się na skrócenie czasu trwania programu do dziesięciu tygodni, co mogło niekorzystnie wpłynąć na efektywność tych ćwiczeń. Pozytywny efekt ćwiczeń proprioceptywnych po dziesięcioletnim czasie trwania zaobserwowano w badaniach Hoffmana i Paynea [1995], którzy ocenili efektywność zastosowanego programu wśród osób niebędących sportowcami przy pomocy przemieszczania środka nacisku stóp COP (Center Of Pressure). W innych badaniach zdecydowano się na zredukowanie do ośmiu tygodni czasu trwania dodatkowych ćwiczeń i oparto swoje programy na ćwiczeniach: nerwowo-mięśniowych oraz stabilizacyjnych, co przełożyło się na poprawę parametrów równowagi dynamicznej w teście „Y” (Y Balance Test- Y-BT) [Bagheriana i wsp. 2019, Benis i wsp. 2016]. Danehjo i wsp. [2012] porównali wpływ dwóch programów rozgrzewkowych u piłkarzy nożnych (FIFA 11 i HarmoKnee), ćwiczenia zostały wdrożone trzy razy w tygodniu przez okres ośmiu tygodni i pozwoliły odnotować w obu grupach poprawę wyników w teście SEBT (Star Excursion Balance Test).

Przeglądając literaturę dotyczącą zastosowania różnego rodzaju ćwiczeń mających na celu poprawę równowagi ciała u osób uprawiających różne dyscypliny sportowe, można odnieść wrażenie, że największą popularnością wśród dorosłych zawodników cieszą się programy o czasie trwania sześciu tygodni [Asadi i wsp. 2015, Lust i wsp. 2009, Manolopoulos i wsp. 2016, Pfile i wsp. 2016]. Wprowadzone programy ćwiczeń wśród męskich i żeńskich drużyn koszykówki przez okres sześciu tygodni, gdzie dodatkowe programy ćwiczeń zostały kolejno oparte na ćwiczeniach plajometrycznych i nerwowo-mięśniowych, przyczyniły się do poprawy wyników w teście SEBT [Asadi i wsp. 2015, Pfile i wsp. 2016]. Wśród sześciotygodniowych programów dodatkowych ćwiczeń można również dostrzec u badaczy próbę znalezienia najbardziej optymalnej formy dodatkowych programów poprzez ocenę ich wpływu na poprawę równowagi ciała. Niewątpliwie umożliwiłyby to w przyszłości poza poprawą równowagi i wyników sportowych [Lust i wsp. 2009] także odpowiednie zarządzanie czasem podczas treningów sportowych [Manolopoulos i wsp. 2016]. Na porównanie ćwiczeń stabilizacyjnych i równoważnych wśród niesłyszących zawodników karate zdecydowali się Akinoğlu i Kocahan [2019], uzyskując po wprowadzonych ćwiczeniach większą poprawę równowagi w grupie objętej ćwiczeniami równoważnymi. Yoo S. i wsp. [2018] porównali wpływ treningu proprioceptywnego i treningu siły mięśniowej na zdolności równoważne u zawodników Taekwondo w czasie sześciotygodniowego programu

dotychczasowych ćwiczeń, uzyskując poprawę wyników zarówno w grupie objętej treningiem propriocepcji, jak i w grupie objętej treningiem siły mięśniowej. W tym miejscu warto zaznaczyć, że nie wszystkie programy ćwiczeń wprowadzane przez okres sześciu tygodni okazały się skuteczne i wpłynęły na poprawę równowagi ciała u dorosłych sportowców. Odmienne wyniki sześciotygodniowego programu ćwiczeń otrzymali Sato i Mokha [2009], którzy nie uzyskali istotnej poprawy wyników w teście SEBT po programie dodatkowych ćwiczeń stabilizacyjnych. Zniwelowanie czasu dodatkowych ćwiczeń równoważnych w grupie dorosłych sportowców do pięciu i pół tygodnia przez Verhagen i wsp. [2005] nie pozwoliło na uzyskanie znaczących zmian w przemieszczaniu COP. Także Eisen i wsp. [2010], jak również Maliou i wsp. [2004], redukując czas swojego programu ćwiczeń na niestabilnym podłożu do czterech tygodni, nie uzyskali poprawy równowagi w grupie osób poddanej dodatkowym ćwiczeniom. Zgola odmienne wyniki co do zastosowania czterotygodniowych programów dodatkowych ćwiczeń można znaleźć w badaniach Iacono i wsp. [2014] oraz Kachanathu i wsp. [2014], którzy wprowadzając ćwiczenia stabilizacyjne, uzyskali poprawę równowagi dynamicznej u sportowców.

Dywagacje dotyczące czasu trwania dodatkowych programów mających na celu poprawę równowagi ciała obserwuje się również w literaturze odnoszącej się do grupy dzieci i nastolatków uprawiających różne dyscypliny sportowe [Dobrijević i wsp. 2016, Marin i wsp. 2014, Padua i wsp. 2019,]. Dwunastotygodniowe programy dodatkowych ćwiczeń oparte na ćwiczeniach stabilizacyjnych [Imai i wsp. 2014], proprioceptywnych [Dobrijević i wsp. 2016] oraz równoważnych [Cè E. i wsp. 2018, Gioftsidou i wsp. 2006] okazały się skuteczne i poprawiały równowagę ciała wśród nastoletnich zawodników uprawiających piłkę nożną [Cè E. i wsp. 2018, Gioftsidou i wsp. 2006, Imai i wsp. 2014] oraz gimnastykę [Dobrijević i wsp. 2016]. Ponadto Cè E. i wsp. [2018] wykazali, że dodatkowe ćwiczenia równowagi poprawiły niektóre umiejętności techniczne i powinny być wykorzystywane jako element treningu piłkarskiego dzieci i nastolatków trenujących piłkę nożną. Warto jednak podkreślić, że wykazano jedynie umiarkowany związek pomiędzy równowagą a umiejętnościami technicznymi (korelacja od 0.30 do 0.48). Podobne wnioski dotyczące poprawy równowagi ciała w grupie eksperymentalnej można wyciągnąć, analizując literaturę, w której badający zdecydowali się na zredukowanie czasu dodatkowych ćwiczeń do dziesięciu tygodni i wdrożyli dwa razy w tygodniu dodatkowe ćwiczenia plajometryczne [Karadenizli 2016] oraz nerwowo-mięśniowe [Zech i wsp. 2014]. Inni badacze postanowili wprowadzić swoje dziesięcioletnie

programy dodatkowych ćwiczeń jako elementy rozgrzewki [Padua i wsp. 2019], uzyskując poprawę równowagi ciała w grupach poddanych eksperymentowi. Spoglądając na literaturę dotyczącą sportu dzieci i młodzieży, nie można pominąć ćwiczeń opartych na programie FIFA 11 [Parados – Mainer i wsp. 2019, Trajković i wsp. 2020]. Cieszą się one coraz większą popularnością w tej grupie wiekowej, jednak zauważyć można pewne rozbieżności co do czasu wdrażania tych ćwiczeń w grupach dzieci i młodzieży. Przykładowo Parados – Mainer i wsp. [2019] oprócz poprawy równowagi ciała uzyskali także zmniejszenie asymetrii między kończynami dolnymi po dziesięcioletnim czasie trwania ćwiczeń opartych na programie FIFA 11. Z kolei Pomares – Noguer i wsp. [2018] sugerują, że w grupie nastoletnich piłkarzy wystarczy wprowadzić czterotygodniowy trening oparty na programie FIFA 11 w celu poprawy sprawności fizycznej. Doniesienia te wydają się potwierdzać badania Zein i wsp. [2020], którzy również po okresie czterech tygodni uznali, że zmodyfikowany program ćwiczeń oparty na programie FIFA 11 może znaleźć zastosowanie jako jeden z elementów podnoszących sprawność fizyczną i intensywność treningu wśród młodych piłkarzy nożnych.

Dodatkowe programy ćwiczeń w grupach dzieci i młodzieży oparte na ośmiotygodniowym czasie trwania stanowią niewątpliwie duże zainteresowanie badaczy [Cankaya i wsp. 2015, Kang i wsp. 2013, Słomka i wsp. 2018]. Programy te uwzględniają ćwiczenia: a) nerwowo-mięśniowe [Benis i wsp. 2016] i b) równoważne [Cankaya i wsp. 2015, Kang i wsp. 2013, Trecroci i wsp. 2015]. Okazały się one skuteczne i wpłynęły na poprawę równowagi ciała u nastoletnich sportowców. Na porównanie treningu plajometrycznego i treningu zwinności z treningiem równowagi i plajometrycznym zdecydowali się Maklouf i wsp. [2018], wprowadzając wśród nastoletnich piłkarzy nożnych ośmiotygodniowe programy. Wykazując skuteczność ich zastosowania, badacze uzyskali poprawę wyników w obydwóch grupach i zalecają włączenie ćwiczeń równoważnych do treningu piłkarskiego. Inni badacze, trzymając się dalej ośmiotygodniowego czasu trwania dodatkowych ćwiczeń, zdecydowali się na wdrożenie swoich programów w oparciu o połączenie kilku rodzajów ćwiczeń. Słomka i wsp. [2018] postanowili połączyć ćwiczenia równoważne, plajometryczne i stabilizacyjne u nastoletnich narciarzy, co pozwoliło uzyskać zmniejszenie asymetrii pomiędzy kończynami dolnymi oraz poprawę wysokości skoku. Połączenie różnych rodzajów ćwiczeń wydaje się zasadne w grupie dzieci i młodzieży, co potwierdzają

wyniki przedstawione przez Bouteraa i wsp. [2018], którzy zastosowali połączenie ćwiczeń plajometrycznych z równoważnymi i uzyskali poprawę równowagi ciała.

Wraz ze zmniejszeniem czasu trwania dodatkowych ćwiczeń wpływających na poprawę równowagi ciała wśród dzieci i młodzieży pojawiają się w literaturze wątpliwości, co do zasadności ich stosowania [Saunders i wsp. 2013]. Mahieu i wsp. [2006] oraz Saunders i wsp. [2013] po zastosowaniu dodatkowych ćwiczeń równoważnych nie zaobserwowali żadnych różnic w kontroli postawy ciała u swoich zawodników. Zgoła odmienne wyniki po zastosowaniu ćwiczeń nerwowo mięśniowych przedstawili McLeod i wsp. [2009] oraz Martin i wsp. [2014], wdrażając odpowiednio swoje ćwiczenia przez sześć i cztery tygodnie, uzyskując poprawę równowagi w grupie zawodników zakwalifikowanych do eksperymentu. Pięć tygodni dodatkowych ćwiczeń sensomotorycznych wystarczyło Heleno i wsp. [2016] do uzyskania poprawy wyników u nastoletnich piłkarzy w teście SEBT oraz zmniejszenia wartości COP w grupie eksperymentalnej.

Analizując dostępną literaturę, warto również zwrócić uwagę na wdrażane przez badaczy różnego rodzaju programy (opierające się na poprawie równowagi ciała), mające za zadanie zmniejszyć ilość urazów wśród sportowców [Caldemeyer i wsp. 2020, Eils i wsp. 2010, Owen i wsp. 2013]. W programach mających na celu zapobieganie urazom wśród zawodników można zauważyć spore rozbieżności co do czasu trwania dodatkowych ćwiczeń. Kraemer i Knobloch [2009] zainicjowali dodatkowe ćwiczenia przez okres trzech lat, prowadząc jednocześnie okres obserwacji i dokumentację urazów kontaktowych oraz bezkontaktowych. Wyniki pokazały zmniejszenie ilości urazów bezkontaktowych o 42%. Inni badacze zredukowali swoje programy dodatkowych ćwiczeń do jednego roku, poddając jednak obserwacji badaną grupę przez kolejny sezon, co pozwoliło Owenowi i wsp. [2013] wyciągnąć wnioski, że w trakcie wprowadzonej interwencji uzyskano zmniejszenie urazów mięśniowych w stosunku do czasu obserwacji. Badacze uzyskiwali także satysfakcjonujące efekty po wdrożeniu dodatkowych programów opartych na ćwiczeniach równoważnych, plajometrycznych oraz nerwowo–mięśniowych, ukierunkowanych na zredukowanie liczby skręceń stawów skokowych [Eils i wsp. 2010, Caldemeyer i wsp. 2020 Verhagen i wsp. 2004]. Doniesienia te wydają się potwierdzać również systematyczne przeglądy zaprezentowane przez Bellows i Wong [2018] oraz Rivera i wsp. [2017], którzy podkreślają rolę treningu równowagi w zapobieganiu skręceń stawu skokowego. Ponadto Caldemeyer i wsp. [2020] w swoim systematycznym przeglądzie, poza docenieniem roli ćwiczeń nerwowo–

mięśniowych w prewencji zwichnięć stawu skokowego u kobiet trenujących różne dyscypliny sportowe, podkreślili konieczność dalszych badań nad kompleksowym wykorzystaniem różnego rodzaju ćwiczeń w zapobieganiu występowania urazów. Emery i Meuwisse [2010] zdecydowali się na skrócenie swojego programu dodatkowych ćwiczeń opartych na ćwiczeniach równoważnych i ćwiczeniach zwinności do dwudziestu tygodni, co pozwoliło zmniejszyć liczbę obrażeń o 38%. Sprzeczne informacje co do zasadności wdrażania programów mających na celu zmniejszanie urazowości dostarczył Söderman i wsp. [2000], którzy pomimo wprowadzenia dodatkowych ćwiczeń równoważnych nie uzyskali różnic pomiędzy grupą kontrolną a eksperymentalną w częstości występowania urazów. Warto jednak podkreślić, że ich program dodatkowych ćwiczeń równoważnych trwał dwanaście tygodni.

2.1 Rekomendacje i ograniczenia badań

W badaniach naukowych niezbędną jest obiektywizacja wyników, która umożliwia wykorzystanie sprawdzonych i wiarygodnych metod [Mikołajewska 2011]. Wydaje się więc zasadne oparcie dodatkowych ćwiczeń mających na celu kształtowanie równowagi ciała o model EBM (Evidence Based Medicine), co umożliwiłoby korzystanie z wiarygodnych i aktualnych dowodów dotyczących sensowności wdrażania dodatkowych ćwiczeń, stanowiąc także najlepsze połączenie pomiędzy badaniami naukowymi a praktyką [Fijałkowska 2012].

W oparciu o przeprowadzony powyżej przegląd prac wywnioskować można, że wprowadzenie dodatkowych ćwiczeń opartych na zjawisku propriocepcji będzie wpływało na zmniejszenie liczby urazów [Caldemeyer i wsp. 2020, Kraemer i Knobloch 2009, Owen i wsp. 2013, Rivera i wsp. 2017], co niewątpliwie pozwoli zawodnikom zredukować ilość absencji w jednostkach treningowych [Bellows i Wong 2018, Rivera i wsp. 2017, Verhagen i wsp. 2004]. To nie wyczerpuje jednak całości zagadnienia, gdyż dotychczasowa metodologia badań koncentrowała się głównie na dodatkowych ćwiczeniach, które mają zapobiegać określonym urazom takim jak skręcenie stawów skokowych [Caldemeyer i wsp. 2020, Eils i wsp. 2010, Verhagen i wsp. 2004]. Warto również podkreślić, że w niektórych badaniach brakowało grupy kontrolnej [Kraemer i Knobloch 2009], a metodologia nie zawsze uwzględniała jasne kryteria kwalifikacji do eksperymentu [Kraemer i Knobloch 2009, Owen i wsp. 2013, Verhagen i wsp. 2004], co

bez wątplenia powoduje pewne spekulacje dotyczące efektywności w zapobieganiu urazom wprowadzonych ćwiczeń.

Po szczegółowej analizie metodologii prac największe wątpliwości budzi czas prowadzonych dodatkowych programów ćwiczeń celem weryfikacji ich potencjalnej przeciwurazowej roli [Benis i wsp. 2016, Kraemer i Knobloch 2009, Owen i wsp. 2013]. Zmniejszenie liczby urazów obserwujemy zarówno podczas wdrożenia dodatkowych ćwiczeń przez okres trzech lat i prowadzonej przez ten czas obserwacji [Kraemer i Knobloch 2009], jak i w trakcie wprowadzenia dodatkowych ćwiczeń przez okres dwudziestu tygodni [Emery i Meeuwisse 2010]. Badacze zwracają uwagę, że zwiększona urazowość jest skorelowana z równowagą ciała, która w przypadku zaburzeń może być przyczyną powstawania urazu [Eils i wsp. 2010, McGuine i wsp. 2006]. Jednakże czas, w jakim zostały wprowadzone ćwiczenia, które mają kształtować równowagę ciała, wzbudza także pewne obiekcje. Poprawę równowagi ciała uzyskano w grupie osób dorosłych po wprowadzeniu przez okres zarówno sześciu miesięcy dodatkowych ćwiczeń [Oshima i wsp. 2020], jak i czterech tygodni [Kachanathu i wsp. 2014]. Jednakże wraz ze zmniejszeniem czasu trwania dodatkowych programów ćwiczeń ukierunkowanych na poprawę równowagi ciała pojawiają się coraz większe wątpliwości co do ich skuteczności i zastosowania [Eisen i wsp. 2010, Maliou i wsp. 2004, Sato i Mokha 2009].

Dywagacje co do czasu trwania dodatkowych programów ćwiczeń kształtujących równowagę ciała dotyczą również grupy dzieci i nastolatków uprawiających różne dyscypliny sportowe. W grupie tej możemy odnotować poprawę równowagi ciała zarówno po okresie dwunastu tygodni [Imai i wsp. 2014], jak i czterech tygodni [Matin i wsp. 2014]. Pewien sceptycyzm dotyczący dodatkowych ćwiczeń kształtujących równowagę ciała w grupie dzieci i młodzieży pojawia się wraz ze zmniejszeniem czasu, w jakim te ćwiczenia zostały wprowadzone [Saunders i wsp. 2013]. Zasadne będzie jednak wprowadzenie dodatkowych ćwiczeń wpływających na poprawę równowagi ciała w grupie dzieci i młodzieży o czasie trwania nie krótszym niż osiem tygodni, co byłoby zgodne z rekomendacjami zawartymi w przeglądzie systematycznym literatury [Brachman i wsp. 2017]. Kolejna trudność z właściwą interpretacją wprowadzonych dodatkowych ćwiczeń kształtujących równowagę ciała związana jest z czasem pojedynczej jednostki ćwiczeniowej. Część badaczy zdecydowała się wprowadzić do rozgrzewki dodatkowe elementy kształtujące równowagę ciała, sugerując, że 8 minut wystarczy do osiągnięcia poprawy w równowadze ciała [Padua i wsp. 2019]. Danehsjoo i wsp. [2013], wykorzystując program rozgrzewki FIFA 11, zdecydowali się na

wydłużenie pojedynczej jednostki ćwiczeniowej do 20 minut. Kolejni badacze podają, że czas trwania pojedynczej jednostki powinien wynosić 30 – 45 minut [Lust i wsp. 2009, Asadi i wsp. 2015, Pau i wsp. 2012]. Inni zdecydowali się na wydłużenie tego czasu do ponad 60 minut [Dobrijević i wsp. 2016, Matin i wsp. 2014], a część badaczy nie uwzględniła czasu trwania pojedynczej jednostki ćwiczeń [Eisen i wsp. 2010, Karadenizli i wsp. 2016, Verhagen i wsp. 2004]. Być może ujednoczenie czasu trwania pojedynczej jednostki ćwiczeniowej i oparcie jej na liczbie serii oraz powtórzeń danego ćwiczenia byłoby bardziej zasadne, gdyż mogłoby to ułatwić kontrolę nad poprawnością wykonywanych ćwiczeń (szczególnie w grupach dzieci i młodzieży), a także precyzyjnie określić wszystkie warunki eksperymentu.

Kolejnym ważnym elementem uzasadniającym dalsze badania powinien być odpowiedni dobór ćwiczeń, które już w swoich założeniach będą kładły nacisk na kontrolę postawy i stawiały wyzwania dla układu sensorycznego [Page 2006]. Wydaje się, że ćwiczenia opracowane wg założeń Jandy [1996], oparte na zjawisku propriocepcji, wykorzystujące stabilne oraz niestabilne podłoże, czyli ćwiczenia „sensomotoryczne”, będą ściśle desygnowane do poprawy równowagi ciała. Jednakże wyniki badań w tym aspekcie nie dają jednoznacznych dowodów potwierdzających ich korzystny wpływ, ponieważ często ćwiczenia oparte na zjawisku propriocepcji (sensomotoryczne, równoważne) łączone są z innymi ćwiczeniami (np. plajometrycznymi) [Bouteraa i wsp. 2018, Hammami R. i wsp. 2016, Słomka K. i wsp. 2018]. Nie jest więc jasne, czy za pozytywny efekt odpowiada pojedyncza grupa ćwiczeń, czy złożona, zawierająca elementy różnych (połączonych) ćwiczeń. Tym samym potencjalna efektywność ćwiczeń sensomotorycznych pozostaje nadal niezbyt jasna, a obecna dyskusja na temat ich skuteczności jest bardziej spekulatywna niż oparta na dowodach naukowych [Brachman i wsp. 2017].

Inicjując dodatkowe programy ćwiczeń w grupach dzieci i młodzieży, warto również zwrócić uwagę na wiek dojrzewania. Schedler i wsp. [2020] sugerują, że dzieci w porównaniu do nastolatków mają większe rezerwy adaptacyjne i możliwość przyswajania zdolności równowagi. Ricotti [2011] podkreśla, że istotne w ukształtowaniu „dorosłego sportowca” jest zwrócenie uwagi na wszystkie elementy niezbędne w procesie kształtowania zdolności motorycznych (w tym kształtowania równowagi). Kształtowanie równowagi zatem powinno odbywać się na różnych etapach rozwoju, uwzględniając okres tzw. „latencji” zdolności równoważnych [Weineck 2001]. Istotne będzie więc sprawdzenie, jak ćwiczenia sensomotoryczne wpłyną na poprawę

równowagi ciała u dzieci i nastolatków trenujących różne dyscypliny sportowe w odpowiednich przedziałach wiekowych.

Przy stosowaniu ćwiczeń, które mają w swoich założeniach poprawić równowagę ciała czy też zmniejszyć ilość urazów, próżno szukać w literaturze tzw. „złotego standardu” i trudne, a wręcz niemożliwe będzie ustalenie jednego rodzaju ćwiczeń dla każdej dyscypliny sportowej. Jednakże zasadne będzie opracowywanie kolejnych badań w oparciu o podstawowe zasady metodologiczne uwzględniające między innymi: jasne kryteria kwalifikacyjne, randomizację, podwójne zaślepienie badań (osoby wykonujące badanie początkowe i końcowe nie posiadają wiedzy na temat przynależności do grupy badanej przez nią osoby). Dobór odpowiedniej liczebności grupy oraz optymalnego czasu (przeznaczonego dla grupy dzieci i młodzieży) trwania dodatkowych ćwiczeń pozwoli uzyskać większą wartość poznawczą wyników. Ważnym aspektem warunkującym dalsze badania jest niewątpliwie dobór odpowiednich narzędzi uwzględniających dokładny pomiar równowagi statycznej i dynamicznej, co wydaje się zgodne z wnioskami zaprezentowanymi przez Brachman i wsp. [2017]. W części empirycznej pracy starano się uwzględnić powyższe zasady metodologiczne.

3. MIĘSIEŃ POPRZECZNY BRZUCHA

3.1 Funkcja mięśnia poprzecznego brzucha

Mięsień poprzeczny brzucha (TrA – Transversus Abdominis Muscle) jest zaliczany do grupy przednio-bocznej mięśni brzucha i stanowi ich najgłębszą warstwę. Z racji swojego położenia anatomicznego jest nieodzownie związany z funkcją miednicy i kręgosłupem lędźwiowym [Bochenek 2016]. Uwzględniając szczegółową budowę anatomiczną mięśnia poprzecznego brzucha, należy zwrócić uwagę, że górne włókna mogą stabilizować klatkę piersiową, środkowe mają kontrolować kręgosłup lędźwiowy, a dolne podtrzymują narządy wewnętrzne i zwiększają zwartość stawów krzyżowo-biodrowych, co niewątpliwie będzie wpływało na ustawienie miednicy [Bogduk 1984, Buyruk i wsp. 1999, Snijders i wsp. 1995]. Połączenie miednicy z odcinkiem lędźwiowym kręgosłupa, a także ze stawami biodrowymi tworzy tzw. kompleks lędźwiowo–miedniczo–biodrowy, którego zadaniem jest zapewnienie odpowiedniej stabilności (przenoszenie obciążeń), jak również zagwarantowanie dużej mobilności (funkcja lokomocyjna) [Panjabi 2003, Smith i wsp. 2008, Willson i wsp. 2005]. Ponadto badacze podkreślają, że na całej długości szwu bocznego mięsień ten przyczepia się do powięzi piersiowo-lędźwiowej, przez co może zwiększać jej napięcie w centralnej i dolnej części [Bogduk 1984]. Powięź piersiowo-lędźwiowa uważana jest za jeden z czynników wpływających na stabilność kręgosłupa [Gracovetsky i wsp. 1976], a także dzięki warstwie środkowej kontroluje ruchy kręgosłupa w płaszczyźnie czołowej [Tesh i wsp 1987]. W opinii Cresswell i wsp. [1994] podwyższone ciśnienie w jamie brzusznej oraz aktywność mięśnia poprzecznego brzucha będą zwiększać sztywność kręgosłupa, co niewątpliwie pozytywnie wpływa na poprawę stabilności tej okolicy. Doniesienia te potwierdzają również Hodges i wsp [2003] w swoich badaniach *in vivo* przeprowadzonych na świniami. Skomplikowana budowa anatomiczna, a także biomechaniczna kompleksu lędźwiowo–miedniczo–biodrowego wzbudziła duże zainteresowanie wśród badaczy, co bezpośrednio wpłynęło na znaczną liczbę doniesień naukowych, związanych z tą okolicą [Hodges 1999, Hoffman i Gabela 2013, Panjabi 1992 a i b]. Prawidłowe działanie mięśni brzucha, a szczególnie mięśnia poprzecznego będzie wpływało na prawidłową postawę ciała [Reeve i Dileey 2009]. Związek między ułożeniem miednicy i odcinka lędźwiowego kręgosłupa jest istotny dla korekcji postawy i utrzymania równowagi ciała [Gnat i wsp. 2006a]. Ponadto można stwierdzić, że

miednica jest jednym z kluczowych elementów prawidłowej postawy ciała, jakość prawidłowej postawy ciała będzie silnie związana z prawidłową pracą miednicy zarówno w warunkach statycznych, jak i dynamicznych [Kapandji 1992, Saulicz 2003].

Badacze powiązali mięśnie bocznej ściany brzucha z rolą powięzi piersiowo–łędźwiowej i aktywacją mięśni dna miednicy, złożony mechanizm wymaga jednak ścisłej współpracy mięśni bocznej ściany brzucha, mięśni dna miednicy, jak również przepony w stabilizacji kompleksu łędźwiowo–miedniczo–biodrowego [Tesh i wsp. 1987, Hodges i Richardson 1997b]. Prawdopodobnie analizowanie współpracy mięśni dna miednicy, mięśni bocznej ściany brzucha i przepony przyczyniło się pośrednio do powstania koncepcji i stworzenia australijskiego modelu stabilizacji obszaru łędźwiowo–miednicznego [Hodges i wsp. 2002, Hodges i Richardson 1997a, b, c, Nowotny i wsp. 2005].

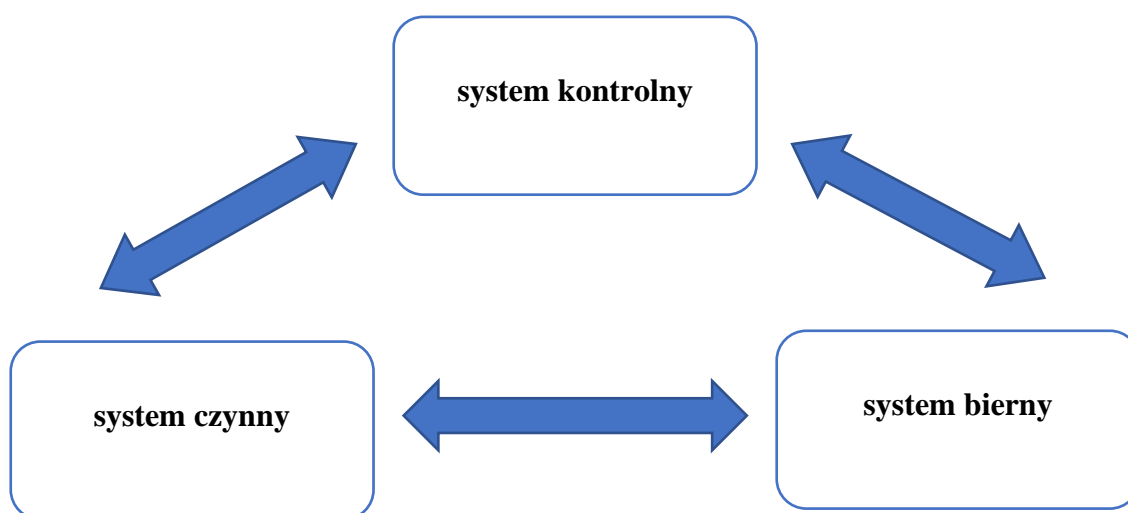
Model ten wyróżnia trzy podstawowe poziomy kontroli:

- poziom pierwszy – odnosi się do najgłębiej położonych struktur, które są odpowiedzialne za kontrolę ruchu pomiędzy poszczególnymi kręgami odcinka łędźwiowego kręgosłupa, jak również stawów krzyżowo–biodrowych;
- poziom drugi – kontroluje ruch całego obszaru łędźwiowo–miednicznego i optymalizuje funkcjonowanie tego obszaru;
- poziom trzeci – odnosi się do zdolności utrzymania równowagi (równoważenia sił działających na ciało).

W praktyce największą uwagę przywiązuje się do pierwszego poziomu i pracy mięśnia wielodzielnego, a także mięśnia poprzecznego brzucha. Ferreira i wsp. [2004] wykazali zmiany w aktywności mięśnia poprzecznego brzucha u osób z bólami dolnego odcinka kręgosłupa, co niewątpliwie wpłynęło na zaburzenie modelu stabilizacji obszaru łędźwiowo–miednicznego [Ferreira i wsp. 2004, Kiesel i wsp. 2007].

Zadania, jakie badacze przypisują kompleksowi łędźwiowo–miedniczo–biodrowemu, wymagają skomplikowanej i skoordynowanej współpracy systemów: biernego (kostno–stawowo–więzadłowy), czynnego (mięśniowo–powięziowy) i systemu kontrolnego (układ nerwowy) (rycina 1.). Tak więc prawidłowa współpraca tych trzech systemów warunkuje prawidłowe działanie systemu stabilizującego [Panjabi 1992a]. Model stabilizacji, jaki został zaproponowany przez Panjabiego [1992a], oprócz sprawnego działania wyżej wymienionych systemów zakłada, że każdy system ma wpływ na dwa pozostałe i odwrotnie. Nieprawidłowe działanie jednego elementu odzwierciedla się w działaniu całego mechanizmu i prowadzi do występujących

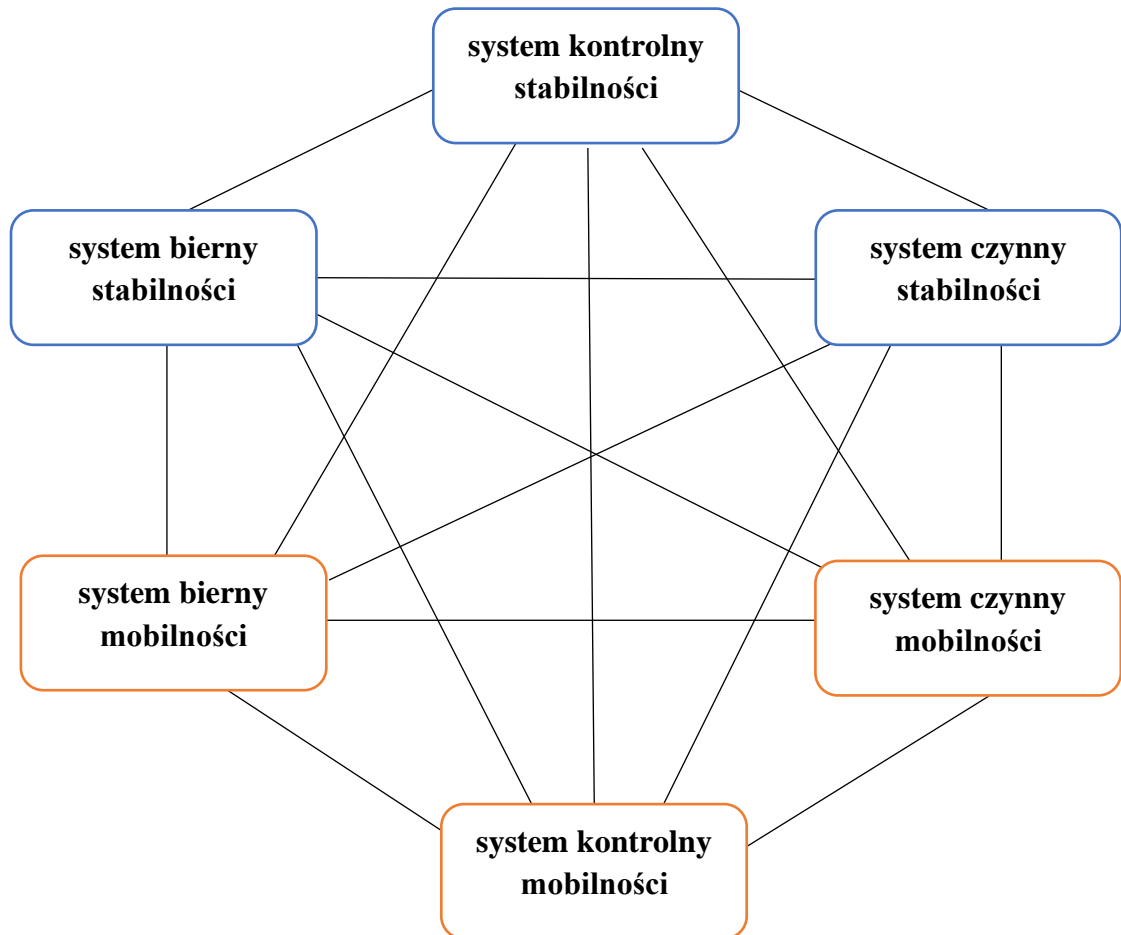
kompensacji w pozostałych dwóch systemach, co otwiera drogę do powstawania dysfunkcji [Gnat i wsp. 2006b, Panjabi 1992a]. Kolejnym ważnym elementem warunkującym proces stabilizacji i pozostającym w bezpośrednim związku z powyższym modelem jest zdefiniowanie przez Panjabiego [1992b] tzw. „strefy neutralnej”. Definicja „strefy neutralnej” wyjaśnia, że jest to niewielki zakres ruchu w pozycji zerowej stawu, gdzie opór kostno-więzadłowy jest minimalny. Zwiększenie oraz zmniejszenie tzw. „strefy neutralnej” jest zjawiskiem niepożądanym i może doprowadzić do wystąpienia urazu [Panjabi 1992b, Panjabi 2003]. Model stabilizacji przedstawiony przez Panjabiego można zinterpretować jako zjawisko dynamiczne, na które mają wpływ zarówno czynniki zewnętrzne (siła ciężkości działająca na organizm), jak i wewnętrzne (spójność działania systemów: biernego, czynnego, systemu kontroli) [Panjabi 2003].



Rycina 1. Model stabilności według Panjabiego – materiał własny, opracowany na podstawie publikacji Panjabi 1992a.

Bardziej rozbudowany holistyczny system warunkujący prawidłową jakość ruchu zaprezentowali Hoffman i Gabel [2013]. Autorzy w swoich założeniach obok istniejącego modelu stabilności dopasowali równoległy model mobilności (rycina 2.), zakładając, że tylko harmonijne działanie tych dwóch systemów pozwoli na osiągnięcie prawidłowej jakości ruchu. Według Hoffmana i Gabela [2013] użycie sześciostopniowego modelu warunkującego prawidłową jakość ruchu może stać się uniwersalnym narzędziem stosowanym w procesie fizjoterapii, na podstawie którego wdrażane i opracowywane będą programy terapeutyczne. Autorzy podkreślają jednak, że

nie w każdym programie fizjoterapeutycznym będzie możliwość wykorzystania wszystkich sześciu podsystemów, jak również zaburzenie jednego z sześciu podsystemów prawidłowej jakości ruchu będzie miało wpływ na prawidłowe działanie pozostałych podsystemów.



Rycina 2. Sześciostopniowy model warunkujący prawidłową jakość ruchu według Hoffmana i Gabela – materiał własny, opracowany na podstawie publikacji Hoffmana i Gabela [2013].

Założenia autorów wydają się potwierdzać Comerford i Mottram [2001], którzy podzielili mięśnie kompleksu lędźwiowo–miedniczo–biodrowego na lokalne i globalne mięśnie stabilizujące, podkreślając, że lokalne mięśnie stabilizujące (mięsień poprzeczny brzucha, mięsień wielodzielny) są aktywowane jako pierwsze przed wykonaniem ruchu, chroniąc w ten sposób kompleks lędźwiowo–miedniczo–biodrowy przed przeciążeniem. Zatem kontrola motoryczna całego kompleksu

łędźwiowo–miedniczno–biodrowego będzie oparta o dwa podstawowe mechanizmy. Pierwszy z nich działa na zasadzie sprzężenia wyprzedzającego, co w praktyce oznacza, że ośrodkowy układ nerwowy „pobudza” mięśnie lokalne przed zadaniem aktem ruchowym [Hodges i Richardson 1997 a ,b]. Doniesienia te potwierdzają Cresswell i wsp. [1994], którzy w swoich badaniach ustalili, że mięsień poprzeczny brzucha aktywuje się średnio 24 ms szybciej niż pozostałe mięśnie bocznej ściany brzucha. Podobne wnioski przedstawili Hodges i Richardson [1997a], opisując aktywację mięśnia poprzecznego brzucha jako pierwszego mięśnia aktywowanego przy ruchu kończyn dolnych. Dalsze badania australijskich naukowców wykazały niezależność w aktywacji mięśnia poprzecznego brzucha (jako jedyne mięśnia z bocznej ściany brzucha) z intensywnością i zmienną częstotliwością ruchu kończynami górnymi. Drugi mechanizm kontroli motorycznej kompleksu łędźwiowo–miedniczno-biodrowego określany jest jako mechanizm sprzężenia zwrotnego, który przybiera formę odruchu. Reakcja taka występuje w mięśniach przykręgosłupowych [Moseley i wsp. 2003], a także w mięśniach brzucha [Myriknas i wsp. 2000]. Moseley i wsp. [2003] w swoich badaniach opisujących mechanizm sprzężenia zwrotnego na przykładzie mięśni przykręgosłupowych wykazali brak zależności pomiędzy mięśniami lokalnymi i globalnymi, co potwierdza, że mechanizm ten oparty jest na masowym odruchu wszystkich mięśni. Dzięki mechanizmowi wyprzedzającemu mięsień poprzeczny brzucha może odgrywać zatem kluczową rolę w stabilizacji na poziomie segmentarnym całego kompleksu łędźwiowo–miedniczno–biodrowego [Hodges 1999].

Biorąc pod uwagę doniesienia badaczy, można stwierdzić, że na prawidłowe działanie kompleksu łędźwiowo–miedniczno–biodrowego istotny wpływ będzie mieć interakcja pomiędzy mięśniem poprzecznym brzucha, powięzią piersiowo–łędźwiową, ciśnieniem śródbrzusznym i mięśniami dna miednicy [Hodges i wsp. 2000, Snijders i wsp. 1995, Tesh i wsp. 1987]. Można zatem założyć, że mięsień poprzeczny brzucha jako segmentarny mięsień stabilizujący kompleks łędźwiowo–miedniczno–biodrowy będzie jednym z głównych beneficjentów wdrażanych programów fizjoterapeutycznych (w tym również ćwiczeń kształtujących równowagę ciała).

3.2 Możliwości oceny mięśnia poprzecznego brzucha

Wraz z rozwojem nowoczesnej techniki i zastosowaniem jej również w branży medycznej i sportowej zaczęto wykorzystywać coraz nowsze metody diagnostyczne oraz pomiarowe. Wielu specjalistów medycznych z zakresu radiologii, ortopedii, medycyny sportowej i fizjoterapii nie wyobraża sobie swojej codziennej pracy klinicznej bez zastosowania narzędzi takich jak: elektromiografia (EMG), ultrasonografia (USG) czy rezonans magnetyczny (MRI) [Linek 2017]. Mięśnie bocznej ściany brzucha (skośny zewnętrzny – OE, skośny wewnętrzny – OI, poprzeczny brzucha – TrA) stały się przedmiotem wielu badań i doniesień naukowych z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi diagnostycznych takich jak elektromiografia, rezonans magnetyczny czy ultrasonografia, co nie wątpliwie miało związek z funkcją stabilizacji kompleksu lędźwiowo–miedniczno-biodrowego, jaką przypisuje się tej grupie mięśniowej [Hodges i Richardson 1997b, Panjabi 1992a,b].

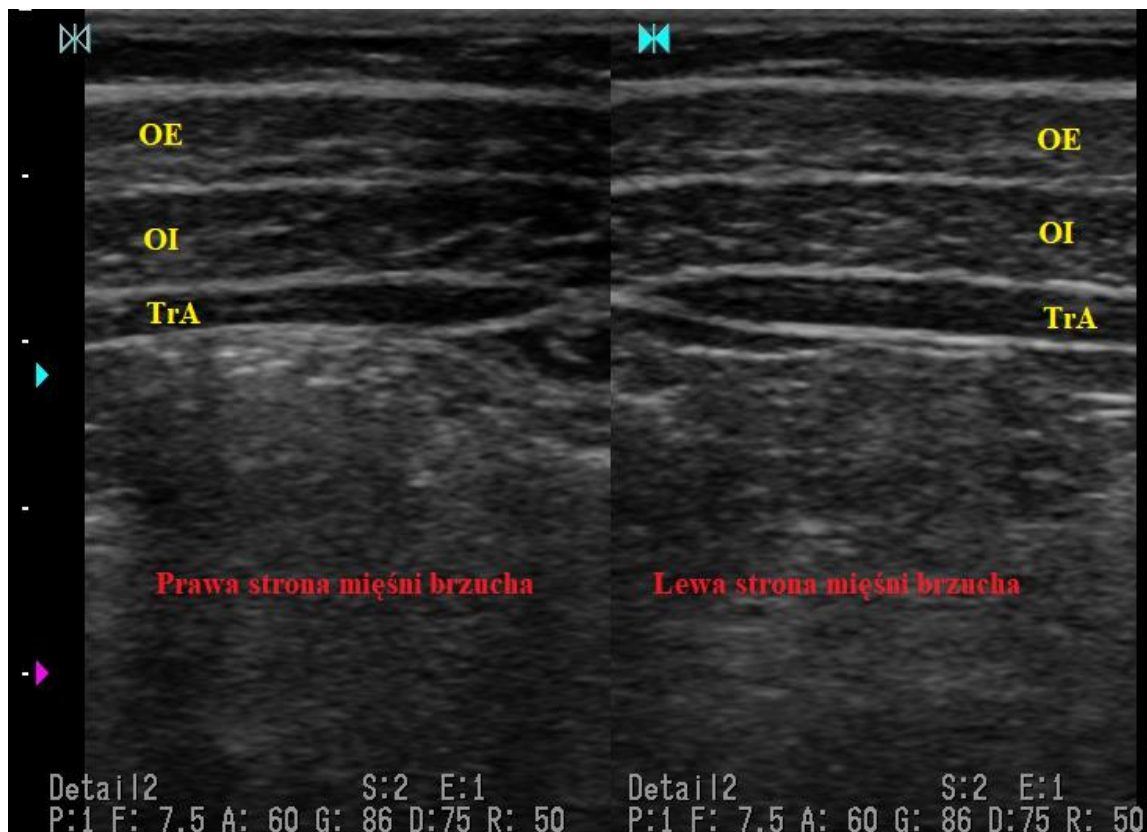
Elektromiografia (EMG) jest jednym z najpopularniejszych narzędzi wykorzystywanym w diagnostyce chorób nerwowo–mięśniowych. Aktywność mięśniowa w elektromiografii wyrażana jest za pomocą elektrycznego potencjału mięśniowego, tak więc dzięki badaniu elektromiograficznemu możemy uzyskać zapis spoczynkowej oraz wysiłkowej aktywności mięśniowej, przy słabym skurczu mięśniowym możemy uzyskać zapis poszczególnych jednostek motorycznych, wyrażony w miliwoltach [Augustyniak 2001, Emeryk–Szajewska 2008]. W badaniu z wykorzystaniem elektromiografu zastosowanie znajdują dwie techniki pomiaru sygnału: pierwsza technika to tzw. metoda inwazyjna znajdująca zastosowanie w badaniach klinicznych, nazywana też często metodą elementarną (eEMG), a do pomiaru sygnału wykorzystywane są elektrody igłowe wprowadzane bezpośrednio do mięśnia. Druga technika, która nazywana jest metodą globalną (gEMG), jednakże w literaturze częściej spotykana jest pod nazwą elektromiografii powierzchniowej (ang. surface EMG), wykorzystuje elektrody powierzchniowe, naklejane na skórę badanej osoby, i jest bezbolesną metodą pomiaru sygnału [Krawiecki i wsp. 2016]. Dwie metody pomiaru sygnału elektrycznego różnią się od siebie wymaganiami technicznymi, jak również powierzchnią, z jakiej odbierany jest sygnał. Metoda powierzchniowa (w przeciwieństwie do metody elementarnej) rejestruje sygnał z dużego obszaru mięśni, mając jednocześnie stosunkowo wąskie pasmo częstotliwości (zakres od 20 do 500 Hz). Jest również podatna na ruchy wykonywane w trakcie przeprowadzania badania

[Błaszczuk 2004, Krawiecki i wsp. 2016, Pullman i wsp. 2000]. Pullman i wsp. [2000] opisali możliwość wykorzystania w EMG elektrod powierzchniowych oraz elektrod igłowych, jasno podkreślając, że elektrody igłowe stanowią bardziej dokładną metodę pomiaru aktywności mięśniowej, szczególnie grup mięśniowych położonych głębiej. Autorzy zaznaczyli jednocześnie, że metoda igłowa jest nie tylko metodą czasochłonną, ale też inwazyjną, bolesną, wymagającą sterylnych warunków do przeprowadzenia badania. Wydaje się więc dość mało prawdopodobne prawidłowe przeprowadzenie EMG za pomocą elektrod igłowych przy dużej grupie badawczej, szczególnie jeżeli grupę badawczą stanowią dzieci i młodzież.

Kolejna metoda badania nazywana rezonansem magnetycznym (MRI) jest stosunkowo nową metodą diagnostyczną, której obrazowanie opiera się na zjawisku magnetycznego rezonansu jądrowego i rejestracji związanych z tym zjawisk energetycznych [Daniel i Pruszyński 2005]. Po umieszczeniu osoby badanej w polu magnetycznym o indukcji 0.2 – 2.0 tesli (T) wykorzystywane jest zjawisko tzw. magnetyzacji podłużnej, które pod wpływem fali radiowej zanika i pojawia się magnetyzacja poprzeczna. Po ustaniu impulsu następuje tzw. okres relaksacji, w którym to układ wraca do równowagi energetycznej. Dzięki zjawiskom fizycznym oraz odpowiednim programom komputerowym, które odzwierciedlają badany obszar ciała, jesteśmy w stanie uzyskać dokładny obraz w dowolnej płaszczyźnie, ocenić stan morfologiczny tkanek i narządów całego organizmu [Greenspan 2011, Pruszyński 2000]. Badanie za pomocą rezonansu magnetycznego daje bardzo dokładne wyniki, jest również badaniem całkowicie bezpiecznym i nieinwazyjnym (wyjątek stanowi wszczepiony rozrusznik serca, który ze względu na silne działanie pola magnetycznego jest przeciwwskazaniem do wykonywania rezonansu magnetycznego, znaczną ostrożność należy też zachować w przypadku występowania elementów metalowych w ciele osoby badanej). Znacznym minusem stosowania rezonansu magnetycznego są niestety wysokie koszty zakupu aparatury, a także eksploatacji tego urządzenia. Dostępność do tego rodzaju badania jest dość mocno ograniczona, a badanie mięśni brzucha za pomocą rezonansu magnetycznego na dużej populacji wydaje się wręcz niemożliwe ze względu na olbrzymie koszty przeprowadzenia badania.

Rozwój ultrasonografii układu mięśniowo-szkieletowego w ostatnich latach jest prawdopodobnie mocno związany z coraz większą dostępnością do aparatów ultrasonograficznych. W badaniu ultrasonograficznym wykorzystuje się fale ultradźwiękowe o częstotliwości 2 – 15 megaherców (MHz) [Pruszyński 2000]. Podczas

badania ultrasonograficznego otrzymujemy obraz tkanek w czasie rzeczywistym. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu odpowiedniego przetwornika, jak również dzięki wykorzystaniu właściwości echogenicznej tkanek. Echogeniczność tkanek jest indywidualną zdolnością badanej tkanki do odbijania fali ultradźwiękowej. W trakcie badania struktury mogą być: bezechowe (czarne), hypoechogeniczne (szare), hyperechogeniczne (białe). W trakcie badania często występują postacie mieszane echogeniczności oraz różne odcienie koloru czarnego, szarego i białego [Wolny i Linek 2016]. Dzięki właściwościom echogenicznym tkanek i właściwościom fizycznym fali ultradźwiękowej jesteśmy w stanie podczas badania uzyskać obraz tkanek położonych głębiej (w tym np. mięśnia poprzecznego brzucha) (rycina 3.) bez konieczności wykonywania ingerencyjnego badania.



Rycina 3. Ultrasonografia mięśni brzucha (OE - mięsień skośny zewnętrzny, OI - mięsień skośny wewnętrzny, TrA - mięsień poprzeczny) – materiał własny.

Pierwsze wzmianki na temat zastosowania ultrasonografii w rehabilitacji przypadają na lata 80. XX wieku, kiedy to Young i wsp. [1980] dokonali pomiaru mięśnia czworogłowego za pomocą ultrasonografii i wykazali różnice w wynikach pomiędzy

taśmą centymetrową a obrazem ultrasonograficznym. Kolejnym przełomowym momentem dla zastosowania ultrasonografii w rehabilitacji było niewątpliwie zaproponowanie przez Teyehen [2006] podczas sympozjum dotyczącego ultrasonografii określenia Rehabilitative Ultrasound Imaging (RUSI), oznaczającego obrazowanie ultrasonograficzne w fizjoterapii. Definicja RUSI opierała się głównie na możliwości wykorzystania sprzężenia zwrotnego do uczenia ruchu, co powinno zwiększyć efektywność zastosowanej terapii oraz określić jej efekty. Jednakże Whittaker i wsp. [2007] podkreślili drugą możliwość zastosowania RUSI (oprócz wykorzystania w celu interwencji terapeutycznej, mającej na celu poprawę funkcji nerwowo-mięśniowej). Za pomocą RUSI można również ocenić tzw. „morfologię” mięśni, obejmującą pomiar długości i grubości danego mięśnia. Podobne wnioski dotyczące możliwości wykorzystania RUSI przez fizjoterapeutów i nazewnictwa, jakiego powinni używać fizjoterapeuci wykorzystujący RUSI w celach badawczych, znajdziemy w przeglądzie narracyjnym, opublikowanym przez Linka, [2017], gdzie podkreśla on, że oceniając mięśnie za pomocą ultrasonografii, mamy do czynienia ze zmianą grubości mięśnia wyrażoną w milimetrach (mm). Możliwości wykorzystania ultrasonografii przez fizjoterapeutów, jak również ciągły rozwój różnych dziedzin fizjoterapii sprawiły, że RUSI dość szybko znalazła zastosowanie u pacjentów z dolegliwościami bólowymi kręgosłupa [Hides i wsp. 1994, Teheyen i wsp. 2005], a także u dzieci i młodzieży [Linek i wsp. 2014].

Z możliwości badania mięśnia poprzecznego brzucha, które daje niesubiektywne wyniki, najrozsądniejsze wydaje się zastosowanie ultrasonografii, będącej badaniem nieinwazyjnym, bezbolesnym (w przeciwieństwie do EMG), stosunkowo niedrogim, niewymagającym też sterylnych warunków do przeprowadzenia badania i z powodzeniem mogącym być stosowanym w grupie dzieci i młodzieży. Potwierdzać to wydają się doniesienia Hides i wsp. [2006], wykazujące dużą zależność w badaniu mięśnia poprzecznego brzucha pomiędzy wynikami z rezonansu magnetycznego a badaniem ultrasonograficznym. Autorzy podkreślają jednocześnie, że ultrasonografia wykonywana w czasie rzeczywistym może być z powodzeniem wykorzystywana do obrazowania zmian w mięśniu poprzecznym brzucha.

4. ZAŁOŻENIA I CEL PRACY

Procesy szkolenia dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną przebiegają bardzo dynamicznie, co związane jest z coraz większymi wymaganiami stawianymi młodym adeptom. Jedną ze zdolności motorycznych, na którą zwrócono szczególną uwagę w ostatnich latach, jest równowaga, której kształtowanie ma na celu poprawę wyników sportowych.

Równowaga jako jedna ze zdolności motorycznych stała się jednym z podstawowych elementów programów treningowych oraz fizjoterapeutycznych w sporcie wysokokwalifikowanym. Tym samym wydaje się, że należy szukać najbardziej efektywnych sposobów kształtowania zdolności motorycznych, poprawiających równowagę ciała. Można jedynie przypuszczać, że w kształtowaniu tych zdolności najlepiej sprawdzać się będą ćwiczenia ściśle do tego desygnowane, czyli ćwiczenia sensomotoryczne. W literaturze ich potencjalny wpływ na równowagę ciała rozpatrywany jest jednak w połączeniu z innymi rodzajami ćwiczeń, a czas, w którym zastosowano dodatkowe ćwiczenia kształtujące równowagę ciała, jest bardzo labilny, co uniemożliwia określenie izolowanego wpływu ćwiczeń sensomotorycznych na poprawę równowagi ciała. W podobnym tonie należy odnieść się do roli ćwiczeń sensomotorycznych w poprawie wyników sportowych. Tym samym potencjalna efektywność ćwiczeń sensomotorycznych, opracowanych głównie do kształtowania równowagi ciała oraz do poprawy wyników sportowych w grupach młodzieżowych uprawiających sport, jest nadal bardziej spekulatywna niż poparta mocnymi dowodami naukowymi.

Część badaczy podkreśla potencjalną rolę mięśnia poprzecznego brzucha w stabilizacji ciała oraz w poprawie wyników sportowych. Tym samym można teoretycznie przypuszczać, że ćwiczenia sensomotoryczne będą wywierać efekt na grubość tego mięśnia, który powinien być beneficjentem wprowadzonych ćwiczeń kształtujących równowagę ciała.

Z uwagi na powyższe, celem niniejszej pracy będzie ocena wpływu ćwiczeń sensomotorycznych na równowagę ciała oraz zwinność u dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną. Ponadto, w niniejszych badaniach postanowiono ocenić wpływ ćwiczeń sensomotorycznych na grubość mięśnia poprzecznego brzucha.

W oparciu o postawiony cel pracy postanowiono odpowiedzieć na następujące pytania badawcze:

1. Czy 10-tygodniowy program dodatkowych ćwiczeń sensomotorycznych wpłynie na równowagę ciała u dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną?
2. Czy 10-tygodniowy program dodatkowych ćwiczeń sensomotorycznych wpłynie na zwinność u dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną?
3. Czy 10-tygodniowy program dodatkowych ćwiczeń sensomotorycznych wpłynie na grubość mięśnia poprzecznego brzucha u dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną?

Hipotezy badawcze:

1. Program dodatkowych ćwiczeń sensomotorycznych przeprowadzony w okresie 10 tygodni wpłynie na równowagę u dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną.
2. Program dodatkowych ćwiczeń sensomotorycznych przeprowadzony w okresie 10 tygodni wpłynie na zwinność u dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną.
3. Grupa uczęszczająca na dodatkowe ćwiczenia sensomotoryczne wykaże zmiany w grubości mięśnia poprzecznego brzucha.

5. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

5.1 Rodzaj i miejsce badań

Randomizowane badania z grupą kontrolną zostały przeprowadzone w Centrum Sportu i Rekreacji w Będzinie. Odbłyły się one na hali sportowej o wymiarach 48x28 metrów, a także pomieszczeniach towarzyszących hali (szatnie). Badania zostały zaakceptowane przez uczelnianą lokalną Komisję Bioetyczną (Uchwała nr 3/2015). Wszystkie kwalifikowane osoby zostały poinformowane o przebiegu badań, a ich rodzice lub opiekunowie prawni wyrazili pisemną zgodę na uczestnictwo w badaniach.

Osoby zakwalifikowane do badań zostały podzielone na dwie liczebnie równe grupy: grupa eksperymentalna i kontrolna – grupa ta została wyłoniona w sposób losowy (losowanie za pomocą piłek z inicjałami umieszczonymi w pojemniku).

5.2 Uczestnicy badań

Do badań zakwalifikowana została grupa 110 osób, która następnie podzielona została na dwie liczebnie równe grupy – eksperymentalną i kontrolną. W badaniach uczestniczyły dzieci i nastolatki w wieku 10-17 lat, które od minimum dwóch lat trenowały piłkę nożną, a ich jednostki treningowe odbywały się nie mniej niż dwa razy w tygodniu. Wszystkie osoby zakwalifikowane do badań regularnie występowały (w swoich kategoriach wiekowych od Orlika do Juniora Starszego) w rozgrywkach organizowanych przez Śląski Związek Piłki Nożnej – grupa pierwsza Sosnowiec.

5.3 Narzędzia badawcze

W celu określenia równowagi ciała, zwinności oraz grubości mięśnia poprzecznego brzucha wszystkie badania zostały wykonane dwukrotnie (przed rozpoczęciem dodatkowych ćwiczeń sensomotorycznych oraz po zakończeniu 10-tygodniowego programu ćwiczeń).

5.3.1 Platforma stabilometryczna

Obecnie najbardziej uznanym narzędziem do oceny równowagi ciała są platformy stabilometryczne, których zadaniem jest rejestrowanie przemieszczeń COP (Center OF Pressure) przy pomocy czujników tensometrycznych umieszczonych w konstrukcji

platformy [Zago i wsp. 2020, Kuczyński i wsp. 2012, Ocetkiewicz i wsp. 2006]. Na takiej platformie oprócz powszechnych testów statycznych (określanych jako oscylację COP) można wykonać testy dynamiczne, które rejestrują przemieszczanie COP podczas określonego zadania ruchowego, co pozwala rejestrować czas potrzebny do wykonania zadania, a także długość ścieżki, jaką przebywa COP. Ageberg i wsp. [2003] podjęli się próby oceny rzetelności platformy i ich wyniki współczynnika ICC wynosiły od 0,79 do 0,95.

Badanie zostało przeprowadzone na platformie stabilometrycznej Alfa (Technomex) składającej się z nieruchomego podłoża o wymiarach 55x55 centymetrów. Platforma posiada cztery czujniki tensometryczne i jej częstotliwość próbkowania wynosi 62 Hz (herce). Platforma Alfa jest kompatybilna z komputerem typu PC i posiada oprogramowanie do pozyskiwania oraz przetwarzania danych. Oprogramowanie platformy odbiera surowy sygnał, a następnie przekonwertowuje go na postać cyfrową, która wyświetlana jest na ekranie.

Zostały wykonane następujące próby:

1) Badanie statyczne – czas trwania 30 i 60 sekund – próba z otwartymi i zamkniętymi oczami.

Przebieg badania: Każdy z badanych zawodników rozpoczynał badanie od równoległego ustawienia bosych stóp na platformie z zachowaniem odległości 10 centymetrów, mierzonej od głowy i kości śródstopia do linii środkowej platformy, a kostki boczne znajdowały się na linii prostopadłej, dzielącej platformę na połowy, przebiegającej 15 centymetrów od tylnego brzegu platformy, kończyny górne badanego były opuszczone wzdłuż ciała. Podczas oceny równowagi statycznej badany zawodnik przyjmował wyprostowaną pozycję, wzrok kierował na wprost (punkt zaznaczony na ścianie) i stał nieruchomo. Została wykonana próba z otwartymi oczami, następnie na komendę osoby przeprowadzającej badanie zawodnik zamykał oczy i przeprowadzana była próba z zamkniętymi oczami. Po przeprowadzeniu testu (oczy otwarte i zamknięte) dla czasu trwania 30 sekund badana osoba opuszczała platformę i po 1 minucie wykonywana była próba dla 60 sekund. Oceniana była długość ścieżki, jaką pokonał COP, oraz pole powierzchni, w jakim poruszał się COP [Ocetkiewicz i wsp. 2006].

2) Badanie dynamiczne – czas trwania 30 sekund.

Przebieg badania: Badany zawodnik zajmował pozycję na platformie (jak przy próbie statycznej z otwartymi i zamkniętymi oczami), jednakże teraz jego kończyny górne znajdowały się na talerzach biodrowych. Podczas oceny równowagi w trakcie testu dynamicznego badany zawodnik, stojąc na platformie, przemieszczał środek nacisku stóp (COP) (bez odrywania stóp od platformy), według instrukcji na ekranie (poziom łątawy zgodnie z oprogramowaniem platformy). Pola na ekranie podświetlały się kolejno, a zadaniem zawodnika było wychylenie środka nacisku stóp w stronę podświetlanego obiektu, bez odrywania stóp od podłoża i rąk od talerzy biodrowych. Każdy uczestnik wykonał 3 próbne testy. Trzy kolejne były zapisywane w programie komputerowym. Oceniany był pomiar przemieszczania środka nacisku stóp - długość ścieżki, czyli całkowitą drogę, którą przebył środek nacisku stóp badanego w ciągu 30 sekund, wyrażony w milimetrach (mm), a także czas dotarcia do wyznaczonych celów, wyrażony w sekundach (s). Po przeprowadzeniu testu dla czasu trwania 30 sekund badana osoba opuszczała platformę. Brany pod uwagę był wynik średni z trzech zapisanych prób [Ocetkiewicz i wsp. 2006].

5.3.2 Test równowagi „Y”

Test równowagi „Y” (Y balance test – Y-BT) jest praktycznym narzędziem do oceny równowagi osób dorosłych [Gonell i wsp. 2015, Plisky i wsp. 2009], jak również dzieci i młodzieży [Barati i wsp. 2013, Linek i wsp. 2017]. Protokół przeprowadzenia badania za pomocą Y-BT i rzetelność testu została opracowana dla osób dorosłych [Hertel i wsp. 2000] oraz dla młodzieży w wieku 14-17 lat trenującej piłkę nożną (ICC 0,66-0,82) [Linek i wsp. 2017] oraz dzieci (ICC 0,85-0,89) [Sikora i wsp. 2018]. W badaniach wykorzystany został „Y Balance Test Kit” [Gonell i wsp. 2015, Plisky i wsp. 2009]. Urządzenie to składa się ze stanowiska centralnego, wykonanego z tworzywa sztucznego oraz dołączonych trzech rur umieszczonych w kierunkach: przednim, tylno-bocznym i tylno-przyśrodkowym, na każdej z rur znajduje się ruchomy wskaźnik, który wskazuje dokładność pomiarową do 0.5 centymetra.

Przebieg badania: Procedura przeprowadzenia testu rozpoczynała się od ustawienia badanego na stanowisku centralnym z kończynami górnymi ułożonymi na talerzach kości biodrowej, badany wykonywał test zawsze w tej samej kolejności (kierunku): przednim,

tylno–bocznym, tylno-przyśrodkowym, przesuwanie ruchomych wskaźników zawsze badani rozpoczynali kończyną dolną dominującą.

Badanie przebiegało w następujący sposób:

- a) przeprowadzenie czterech prób szkoleniowych w każdym z trzech kierunków zarówno prawą, jak i lewą kończyną dolną;
- b) wykonanie właściwego testu składającego się z pięciu prób w każdym z trzech kierunków dla prawej i lewej kończyny dolnej, mierzona była najbliższa odległość ruchomego wskaźnika od stanowiska centralnego [Linek i wsp. 2017]. Wyniki nie były zapisywane, jeżeli badany podczas wykonywania próby oderwał stopę od stanowiska centralnego, popychał wskaźnik ruchomy (w celu uzyskania lepszego wyniku), dotknął podłoża podczas powrotu do pozycji wyjściowej, oderwał kończyny górne z talerzy biodrowych, utracił równowagę podczas wykonywania próby. Po badaniu wykonany był pomiar długości względnej kończyny dolnej (kolec biodrowy przedni górny – kostka przyśrodkowa) na stole terapeutycznym za pomocą taśmy centymetrowej w celu obliczenia wartości odległości według wzoru: (odległość uzyskana w próbie/długość względna kończyny dolnej) *100. Brana po uwagę była średnia znormalizowana odległość (uzyskana w pięciu próbach) dla kończyny dolnej prawej i lewej w każdym z trzech kierunków, średni wynik obydwóch kończyn w każdym z trzech kierunków, wynik całkowity testu Y, a także asymetria między prawą a lewą kończyną w każdym z trzech kierunków.

5.3.3 Test równowagi BESS

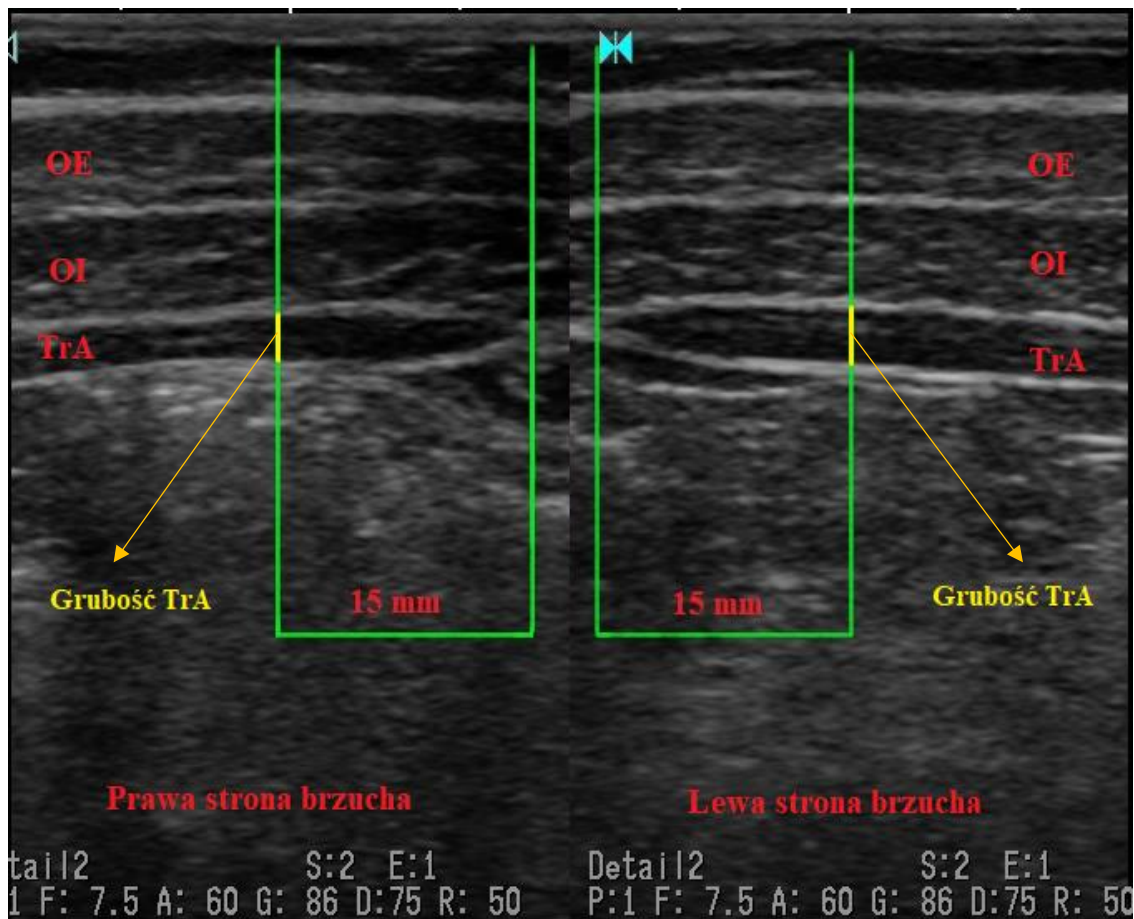
Test równowagi BESS (Balance Error Scoring System) jest jedną z prostszych metod do oceny równowagi, który znalazł zastosowanie w grupie dorosłych sportowców (ICC 0,78-0,96) [Riemann i wsp. 1999], jak również u młodzieży [McLeod i wsp. 2009, Khanna i wsp. 2015] i dzieci [Campolettano i wsp. 2018]. W teście tym wykorzystane zostało twarde i miękkie podłoże do oceny równowagi. Każdy badany wykonuje trzy próby (każda próba trwa 20 sekund) najpierw na twardym podłożu, następnie na miękkim (jako miękkie podłoże wykorzystana była piankowa podkładka o wymiarach 45 cm² i grubości 13 centymetrów). System oceny błędów równowagi (BESS) wykorzystuje kombinację trzech pozycji, każdy badany rozpoczynał test od stania na obydwóch kończynach dolnych, stania na jednej (niedominującej) kończynie dolnej, stania w

pozycji „tandem”, gdzie noga niedominująca była z przodu. Każda osoba miała za zadanie utrzymać pozycję wyjściową z rękami na biodrach i zamkniętymi oczami przez okres 20 sekund. Osoba oceniająca przyznawała punkty karne, gdy badany: otworzył oczy, oderwał ręce z talerzy biodrowych, stracił równowagę. Wyższy wynik odzwierciedla gorsze wykonanie testu przez badanego zawodnika [Docherty i wsp. 2006, Campolettano i wsp. 2018]. Każdy badany wykonywał test dwukrotnie, a pod uwagę brany był średni wynik z obydwu badań uzyskanych na twardym podłożu i miękkim podłożu, a także z wyniku całościowego (twarde i miękkie podłoże) testu BESS.

5.3.4 Fizjoterapeutyczna ultrasonografia obrazowa mięśnia poprzecznego brzucha

Pomiar grubości mięśnia poprzecznego brzucha został przeprowadzony przez fizjoterapeutę posiadającego 8-letnie doświadczenie w wykonywaniu pomiarów mięśni brzucha u dzieci, młodzieży i dorosłych. Pomiar został wykonany na aparacie USG Honda 2100 z głowicą liniową (HLS – 575 M). Głowica umieszczona została na przednio–bocznej ścianie brzucha pomiędzy grzebieniem kości biodrowej a brzegiem dolnego żebra, prostopadle do osi długiej ciała. Podczas pomiaru w tym ustawieniu został uzyskany czysty obraz brzegów powięziowych trzech mięśni: skośnego zewnętrznego brzucha (OE), skośnego wewnętrznego brzucha (OI), a także poprzecznego brzucha (TrA). Główne zainteresowanie badawcze zorientowane było na mięśniu poprzecznym brzucha, który odznacza się najwyższą rzetelnością wśród pozostałych mięśni bocznej ściany brzucha [Linek i wsp. 2014].

Pomiar grubości mięśni został wykonany w leżącej i stojącej pozycji spoczynkowej. Wszystkie uzyskane zdjęcia zostały zapisane na nośniku pamięci zewnętrznej, a następnie przeniesione do komputera, gdzie zostały poddane dalszej obróbce za pomocą programu Photoshop. Każde zdjęcie zostało powiększone 300%, rozjaśnione, wstawiono pionowe i poziome linie w celu zwiększenia dokładności pomiarów (rycina 4.), odmierzona odległość 15 mm od lewego i prawego skrzyżowania mięśniowo–powięziowego TrA (lokalizacja pierwszej linii pionowej), kolejna pionowa linia pozwoliła na dokładny pomiar grubości mięśnia poprzecznego brzucha, zgodnie z wytycznymi zawartymi w publikacjach Linek i wsp. 2014, Linek 2017.



Rycina 4. Metoda stosowana do oceny grubości mięśnia poprzecznego brzucha - materiał własny, opracowany na podstawie publikacji Linek 2017.

5.3.5 Test utrzymania piłki na stopie

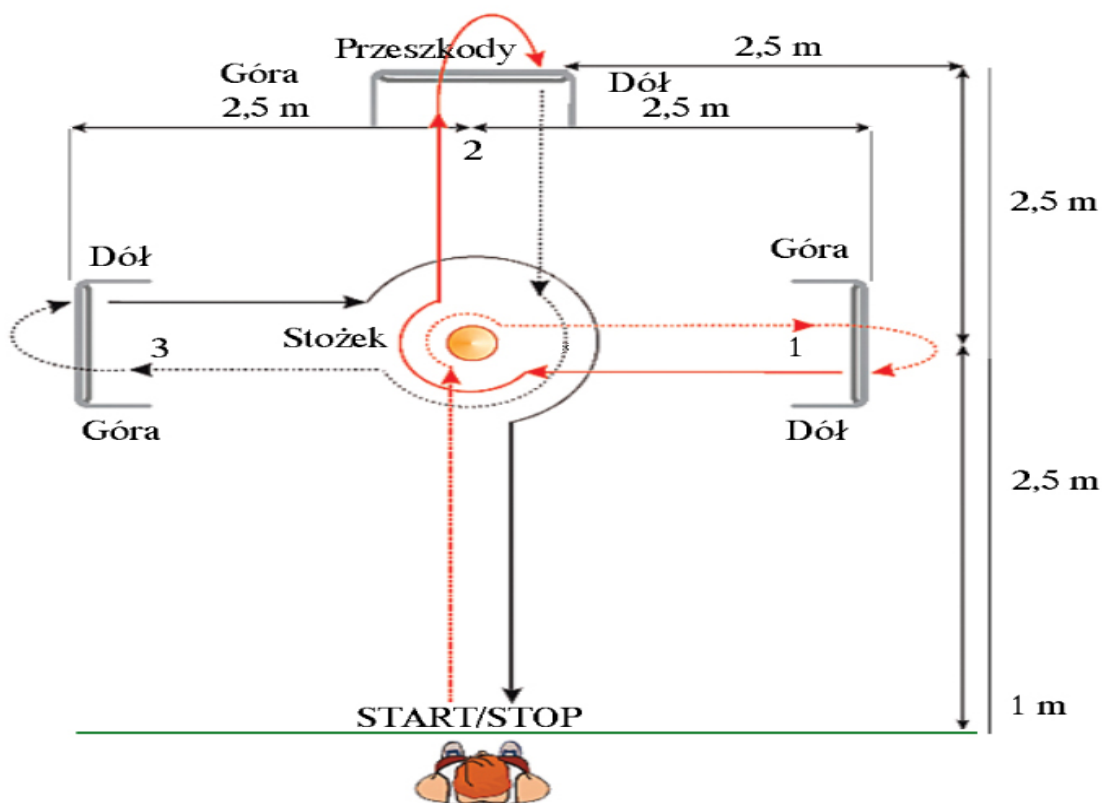
Badany stał na jednej kończynie dolnej z dłońmi umieszczonymi na talerzach biodrowych i kończyną dolną wyciągniętą w przód (rycina 5.). Badany miał za zadanie jak najdłużej utrzymać piłkę na stopie. W momencie oderwania rąk od bioder, kończyny dolnej od podłoża lub utraty kontaktu piłki ze stopą test został zakończony. Każdy badany wykonywał dwie próby dla prawej i lewej kończyny dolnej, pomiar dokonywany z dokładnością do 0,01 sekundy. Brany pod uwagę był średni wynik uzyskany w obydwu próbach.



Rycina 5. Przeprowadzenie testu utrzymania piłki na stopie – materiał własny, opracowany na podstawie publikacji Koźmin 2005.

5.3.6 Test zwinności

Każdy zawodnik pokonywał prawidłowo ustawiony tor przeszkód (rycina 6.), który oceniał jego zwinność. Zadaniem badanego zawodnika było pokonanie toru przeszkód w jak najkrótszym czasie. Czas włączany był w momencie minięcia linii startu i zatrzymywany w momencie przekroczenia linii mety z dokładnością do 0,01 sekundy [Alesi i wsp. 2015]. Każda badana osoba pokonywała tor przeszkód dwa razy, zapisywany był średni wynik z obydwu prób prawidłowo pokonanego toru przeszkód.



Rycina 6. Schemat przeprowadzenia testu zwinności - opracowany w oparciu o pracę Alesi i wsp. [2015].

5.4 Eksperyment naukowy

Osoby będące w grupie eksperymentalnej zobowiązane były do przybycia w ściśle określone dwa dni tygodnia 45 minut przed normalnym treningiem piłkarskim, prowadzonym w klubie sportowym. Przed pierwszymi zajęciami (w danej godzinie lub w danym dniu) uczestnicy zostali podzieleni na podgrupy 5-osobowe. W ramach pojedynczej jednostki ćwiczeniowej każda podgrupa wykonywała 5 ćwiczeń kształtujących równowagę ciała, każde z ćwiczeń było wykonywane w 4 seriach po 8 powtórzeń (przerwa między seriami wynosiła 10 sekund). Ćwiczenia odbywał się w zamkniętym pomieszczeniu - „hala sportowa”. W celu kontroli uczestników podczas zajęć sprawdzany i prowadzony był dzienniczek obecności. Każdego dnia przedstawiciel każdej z grup losował, od jakiego ćwiczenia (od jakiej stacji) będą rozpoczynać ćwiczenia w danym dniu (rycina 12.). Poprawność wykonywanych ćwiczeń kontrolował fizjoterapeuta posiadający 10-letnie doświadczenie w pracy z piłkarzami nożnymi na

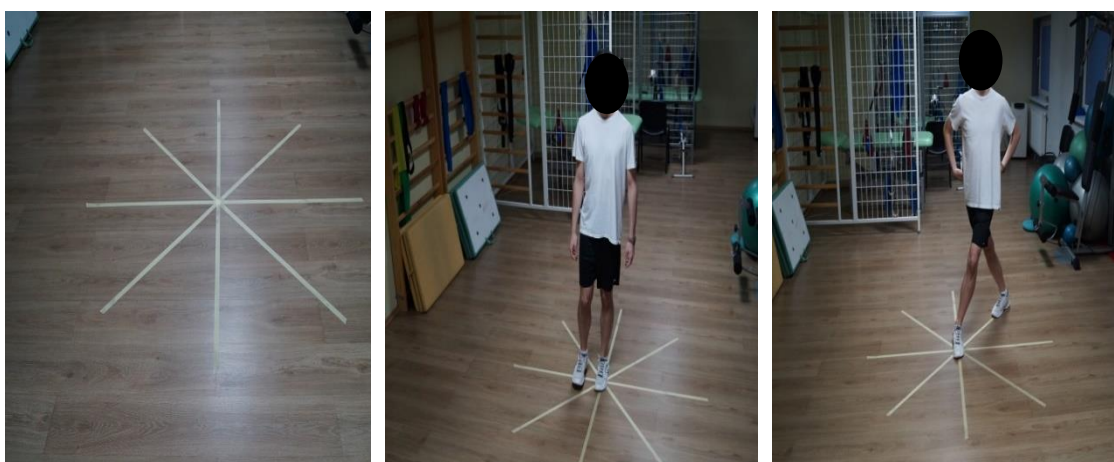
różnym poziomie i w różnych kategoriach wiekowych. Każdorazowo przed rozpoczęciem ćwiczeń równoważnych osoby zakwalifikowane do grupy eksperymentalnej wykonywały 10-minutową rozgrzewkę na rowerach stacjonarnych marki Kettler (S line 7682).

Opis wprowadzonych ćwiczeń równoważnych w grupie eksperymentalnej:

Pierwsze ćwiczenie, tzw. „Gwiazdka” (rycina 7.):

Pozycja wyjściowa: ćwiczący staje najpierw prawą (później lewą) kończyną dolną na środku czterech linii łączących się i wyznaczających „gwiazdkę”, w pozycji wyjściowej kończyny górne są ułożone wzdłuż tułowia.

Wykonanie ćwiczenia: w trakcie wykonania ćwiczenia kończyny górne znajdują się na talerzach biodrowych, ćwiczący wykonuje ruch drugą kończyną dolną na możliwie maksymalną odległość po ośmiu poszczególnych wierzchołkach gwiazdki (w przód – powrót do środka, w przód po skosie – powrót do środka, w bok – powrót do środka, w tył po skosie – powrót do środka, w tył – powrót do środka, w tył po skosie – powrót do środka, w bok za kończyną podporową przez przywiedzenie poza linię środka ciała – powrót do środka, w przód po skosie przed kończyną podporową przez przywiedzenie poza linię środkową ciała – powrót do środka). Ćwiczący podczas wykonywania ćwiczenia nie mógł oderwać kończyny dolnej z wierzchołka gwiazdki ani postawić kończyny dolnej wykonującej ruch na podłożu [Stryła i Pogorzała 2014].



Rycina 7. Ćwiczenie „gwiazdka”. Źródło - materiał własny.

Drugie ćwiczenie – Naprzemienne unoszenie kończyny górnej i dolnej w siadzie na piłce szwedzkiej (rycina 8.):

Pozycja wyjściowa: ćwiczący siedzi na piłce szwedzkiej, utrzymując równowagę, pod stopami ćwiczącego znajdują się poduszki sensoryczne, ramiona są ustawione wzdłuż tułowia, plecy są wyprostowane.

Wykonanie ćwiczenia: ćwiczący unosi w górę prawą kończynę górną i równocześnie odrywa lewą stopę kończyny dolnej od poduszki sensorycznej na wysokość ok 20 - 30 cm. Za każdym razem należy zmienić kończyny wykonujące ruch (ruchy wykonywane naprzemiennie). Ćwiczący nie mógł utracić równowagi ciała podczas wykonywania ćwiczenia, jak również postawić kończyny dolnej na podłożu (obok dysku sensorycznego) [Stryła i Pogorzała 2014].



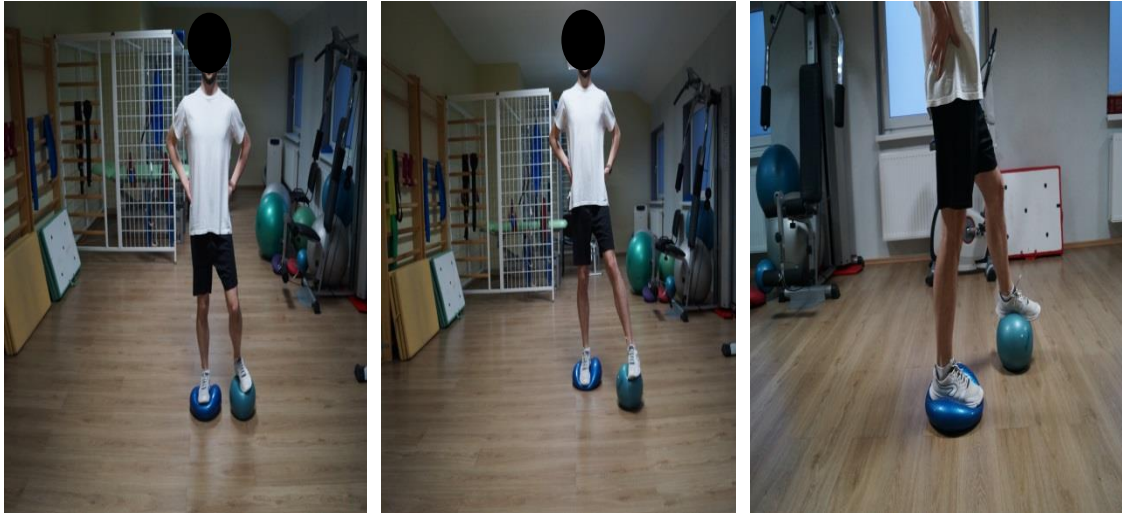
Rycina 8. Ćwiczenie „Naprzemienne unoszenie kończyny górnej i dolnej w siadzie na piłce szwedzkiej”. Źródło - materiał własny.

Trzecie ćwiczenie – Toczenie piłki wokół dysku sensorycznego (rycina 9.):

Pozycja wyjściowa: ćwiczący stoi prawą kończyną dolną (później lewą) na dysku sensorycznym, kończyny górne znajdują się na talerzach biodrowych, kończyna dolna lewa (później prawa) jest ustawiona w odwiedzeniu (20-30 stopni), a pod stopą znajduje się piłka, wzrok jest skierowany do przodu, plecy są wyprostowane.

Wykonanie ćwiczenia: ćwiczący kończyną dolną, pod której stopą znajduje się piłka, wykonuje ruch wolnego toczenia piłki wokół dysku. Zadaniem ćwiczącego było

utrzymanie równowagi ciała podczas ćwiczenia i kontrola nad prowadzeniem piłki wokół dysku sensorycznego [Stryła i Pogorzała 2014].

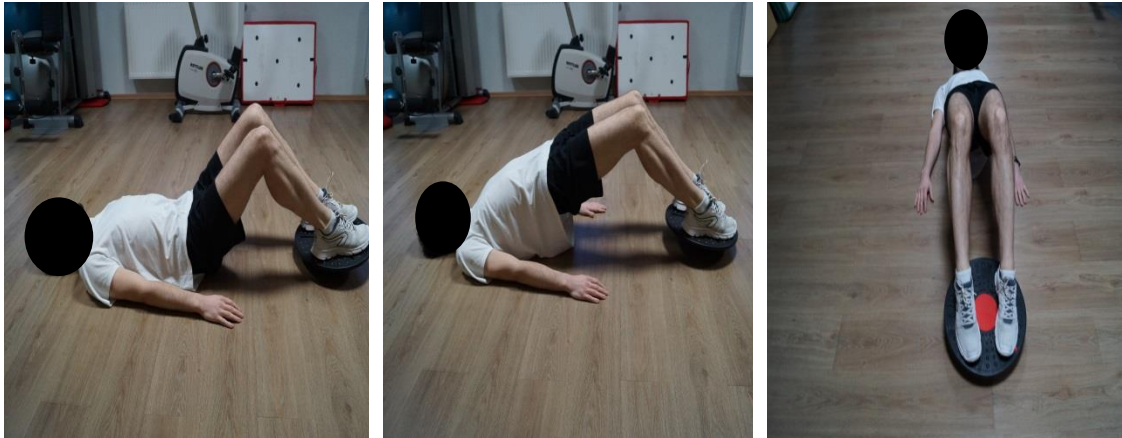


Rycina 9. Ćwiczenie „Toczenie piłki wokół dysku sensorycznego”. Źródło - materiał własny.

Czwarte ćwiczenie – Pochylenie kończynami dolnymi platformy równoważnej „Domyos” (rycina 10.):

Pozycja wyjściowa: ćwiczący znajduje się w leżeniu na plecach, kończyny górne ułożone są wzdłuż tułowia, kolana zgięte do 90 stopni, stopy ułożone na platformie równoważnej „Domyos”, plecy przylegają do podłoża.

Wykonanie ćwiczenia: ćwiczący unosi biodra ku górze i pochyla dysk stopami w przód oraz tył, starając się utrzymać w każdej pozycji 3 sekundy, później to samo wykonuje na boki – prawa – lewa strona i utrzymuje 3 sekundy. Ćwiczący podczas wykonywania ćwiczenia musiał utrzymać równowagę ciała oraz nie mógł oderwać stóp od platformy równoważnej [Stryła i Pogorzała 2014].

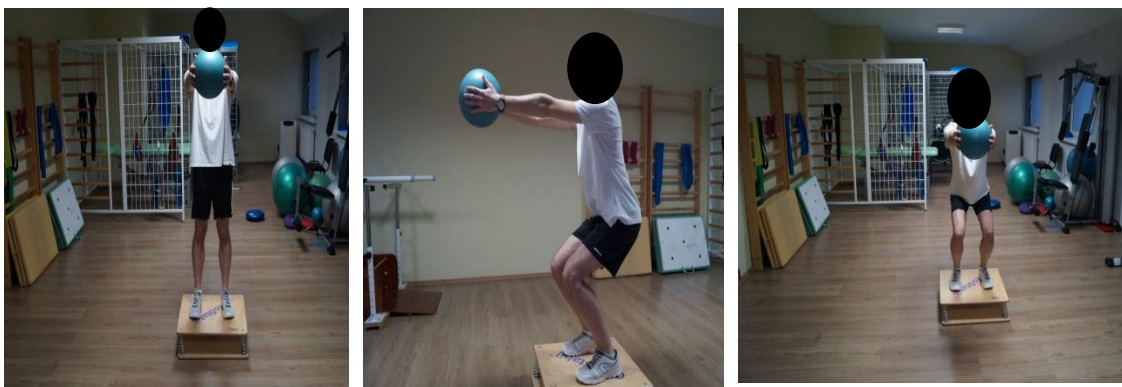


Rycina 10. Ćwiczenie „Pochylanie kończynami dolnymi platformy równoważnej – Domyos”. Źródło - materiał własny.

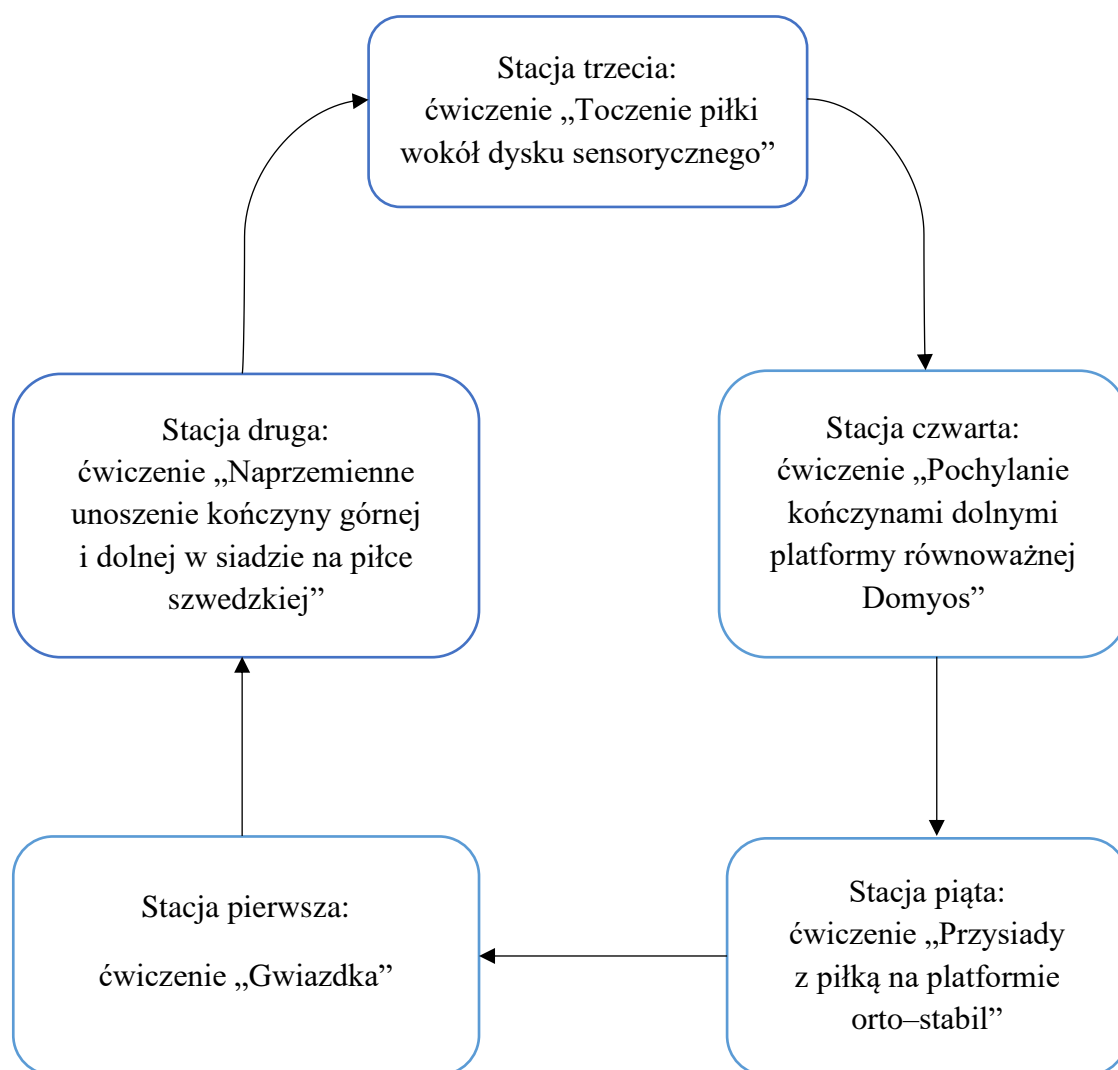
Piąte ćwiczenie – platforma orto–stabil - przysiady z piłką na platformie (rycina 11.):

Pozycja wyjściowa: ćwiczący staje na platformie orto–stabil w lekkim rozkroku, w dłoniach trzyma piłkę. Kończyny górne zgięte w stawach ramiennych do kąta 90 stopni, stawy łokciowe są wyprostowane.

Wykonanie ćwiczenia: ćwiczący wykonuje serię „przysiadów” z utrzymaniem równowagi własnego ciała, zachowując kąt 90 stopni w stawach ramiennych i wyprostowane stawy łokciowe. Ćwiczący podczas wykonywania ćwiczenia nie mógł opuścić platformy, jak również wypuścić piłki z dłoni [Stryła i Pogorzała 2014].



Rycina 11. Ćwiczenie „Przysiady z piłką na platformie orto–stabil”. Źródło - materiał własny.



Rycina 12. Schemat przedstawiający rozmieszczenie stacji i kierunek przemieszczania się ćwiczących osób.

Z kolei osoby w grupie kontrolnej przychodziły o ustalonych z trenerem godzinach i uczestniczyły wraz z grupą eksperymentalną w normalnym treningu piłkarskim prowadzonym w klubie sportowym. Zawodnicy z grupy kontrolnej i eksperymentalnej poproszeni zostali o niepodejmowanie żadnych dodatkowych aktywności ruchowych, sportowych i treningowych, których nie wykonywali zwyczajowo w okresie do rozpoczęcia eksperymentu (czyli przeprowadzenia pierwszego badania).

5.5 Zaślepienie badań

W eksperymencie udział brało 7 osób, których zadaniem było przeprowadzenie kompletu badań przed okresem 10-tygodniowego eksperymentu i po nim.. W celu zachowania najwyższej rzetelności w trakcie wykonywania badań osoba, która przeprowadzała badanie podczas pierwszej próby (przed wprowadzeniem dodatkowych ćwiczeń sensomotorycznych), wykonywała również to samo badanie po okresie 10 tygodni, czyli po wykonaniu eksperymentu. Podczas badania końcowego (po eksperymencie) badani byli wszyscy uczestnicy z zachowaniem tej samej kolejności, której podlegali podczas badania pierwszego. Zważywszy na fakt, że część badań wykonywanych była w tym samym dniu, to w badaniu końcowych zachowana została także kolejność badań, jaka miała miejsce podczas badania początkowego. Dodatkowo osoby wykonujące badanie początkowe i końcowe nie posiadały wiedzy na temat przynależności do grupy badanej przez nią osoby, a także nie posiadały wiedzy o szczegółowym celu prowadzonych badań.

5.6 Analiza statystyczna

Obliczenia zostały wykonane za pomocą programu Statistica wersja 13.3 oraz programu Ms Excel z pakietu Microsoft Office 2016. W statystyce opisowej dla każdej zmiennej ilościowej obliczona została średnia i odchylenie standardowe, dodatkowo w porównaniu międzygrupowym dla danych antropometrycznych obliczona została wartość minimum (min.) i maksimum (max.).

Zgodność parametrów z rozkładem normalnym została sprawdzona za pomocą testu Shapiro-Wilka. Przy spełnieniu założeń normalności rozkładu został wykonany test Levene'a dla sprawdzenia jednorodności wariancji. W przypadku spełnienia obydwu założeń (normalności rozkładu i jednorodności wariancji), to do oceny istotności statystycznej dla efektów głównych i interakcji pomiędzy grupami zastosowana została analiza wariancji (ANOVA) dla powtarzanych pomiarów. W przypadku istotnych efektów głównych lub interakcji wykonano test post-hoc Bonferroniego. Do oceny istotności różnic podstawowych danych antropometrycznych pomiędzy grupą eksperymentalną i kontrolną został wykorzystany parametryczny test T-Studenta dla prób niezależnych. Jeżeli założenia normalności rozkładu nie zostały spełnione każdorazowo dokonana została normalizacja zmiennych za pomocą logarytmowania, pierwiastkowania

lub przekształceń danych Boxa-Coxa w celu spełnienia założeń dla testów parametrycznych. W przypadku, kiedy transformacja zmiennych dawała wpływ na końcowe wnioskowanie (jest efekt/brak efektu), to informacje dotyczące wpływu transformacji zostały zawarte w danej tabeli.

W wypadku braku możliwości przeprowadzenia normalizacji zmiennych lub braku uzyskania normalności rozkładu zmiennych po transformacji danych zastosowane do obliczeń zostały testy nieparametryczne. Do oceny różnic między grupami wykorzystano test nieparametryczny U Manna-Whitney'a dla prób niezależnych. Efektywność wprowadzonych ćwiczeń w przypadku braku normalności rozkładu została obliczona za pomocą porównania dwóch prób zależnych testem kolejności par Wilcoxon. Dodatkowo w przypadku zastosowania testów nieparametrycznych w statystyce opisowej dla każdej zmiennej ilościowej obliczona została wartość mediany (Me). Istotność statystyczna każdorazowo przyjęta została na poziomie $p < 0,05$.

6. WYNIKI

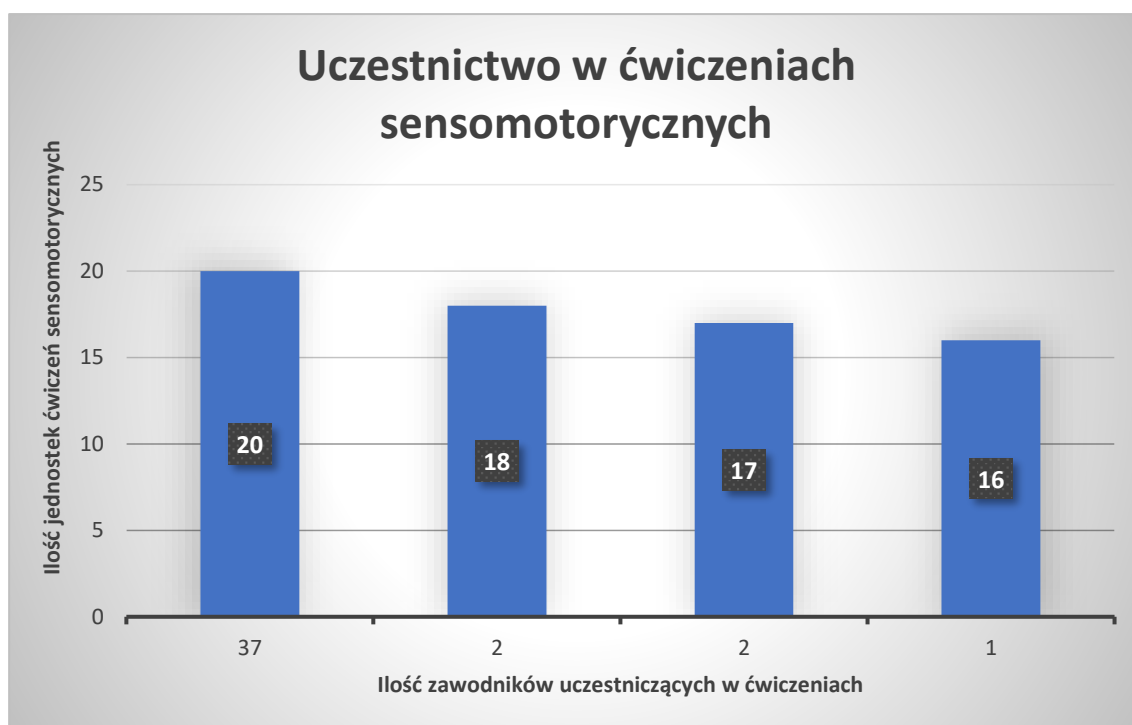
6.1 Uczestnicy badań

Wyjściowo grupę eksperymentalną i kontrolną stanowiła jednakowa ilość uczestników (N=55), ponadto grupy nie wykazały żadnej istotności statystycznej w podstawowych danych antropometrycznych. Szczegółowe dane antropometryczne tych grup zostały zamieszczone w tabeli 1. Ilość odbytych dodatkowych jednostek ćwiczeń sensomotorycznych przez uczestników zakwalifikowanych do grupy eksperymentalnej zawiera rycina 13. Przepływ badanych w eksperymencie, a także ostateczną ilość uczestników poddanych dalszej analizie przedstawiono na rycinie 14. Grupa eksperymentalna (N=43) i kontrolna (N=47) poddana dalszej analizie nie wykazała żadnej istotności statystycznej w podstawowych danych antropometrycznych [tabela 2].

Tabela 1. Porównanie międzygrupowe zawodników, statystyki podstawowe.

	Zawodnicy						Wartość - p
	Grupa eksperymentalna (N=55)	Min.	Max.	Grupa kontrolna (N=55)	Min.	Max.	
Wiek [lata]	12,8±2,3	10,0	17,0	12,8±2,3	10,0	17,0	1,0
Masa [kg]	46,4±11,7	27,3	81,7	46,0±13,4	26,3	78,3	0,9
Wysokość [cm]	157,7±12,7	135,0	189,0	158,0±14,8	125,0	185,0	0,9
BMI [kg/m²]	18,4±2,5	14,7	24,4	18,0±2,7	13,6	25,2	0,4
Ilość lat treningu [lata]	5,2±2,4	2,0	10,0	5,4±2,3	2,0	10,0	0,8
Ilość dni treningu w tygodniu [dni]	2,6±0,5	2,0	4,0	2,6±0,5	2,0	4,0	1,0

Legenda: N – ilość zawodników w danej grupie, min – minimum, max – maksimum, BMI – (ang. body mass index) – wskaźnik masy ciała, p – istotność statystyczna $p < 0,05$.

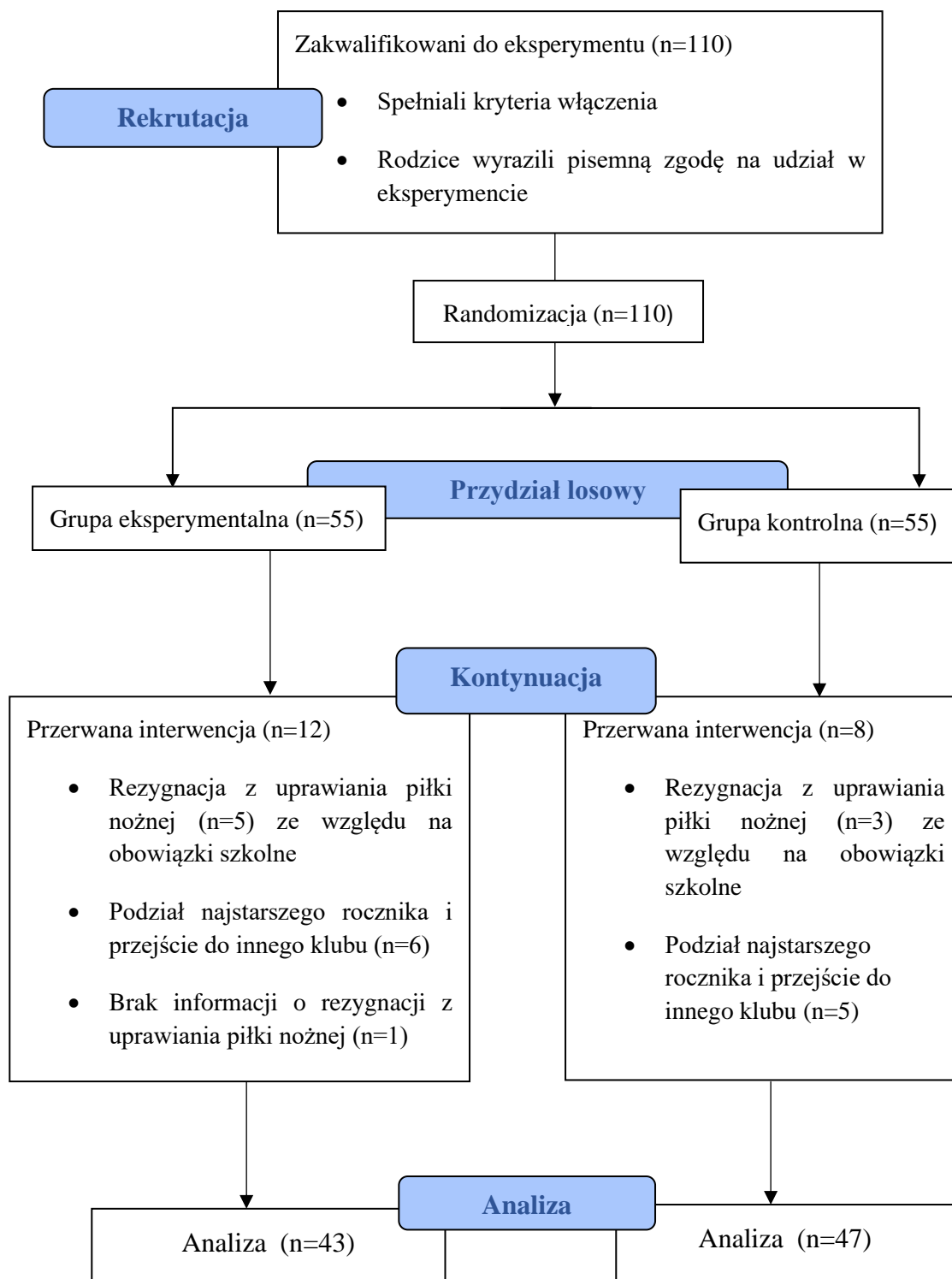


Rycina 13. Uczestnictwo zawodników z grupy eksperymentalnej w ćwiczeniach sensomotorycznych – materiał własny.

Tabela 2. Porównanie międzygrupowe zawodników w badaniu końcowym, statystyki podstawowe.

	Grupa eksperymentalna (N=43)	Min.	Max.	Grupa kontrolna (N=47)	Min.	Max.	Wartość - p
Wiek [lata]	12,5±2,2	10,0	17,0	12,4±2,1	10,0	17,0	0,8
Masa [kg]	44,4±9,5	27,3	61,9	43,8±12,4	26,3	78,1	0,8
Wysokość [cm]	155,3±11,5	135,0	176,0	155,8±14,2	125,0	185,0	0,9
BMI [kg/m²]	18,2±2,3	14,7	24,4	17,6±2,5	13,6	24,9	0,3
Ilość lat treningu [lata]	4,9±2,2	2,0	10,0	4,9±1,9	2,0	9,0	0,9
Ilość dni treningu w tygodniu [dni]	2,5±0,5	2,0	3,0	2,5±0,5	2,0	3,0	1,0

Legenda: N – ilość zawodników w danej grupie, min – minimum, max – maksimum, BMI – (ang. body mass index) – wskaźnik masy ciała, p – istotność statystyczna $p < 0,05$.



Rycina 14. Przeływ badanych w eksperymencie.

6.2 Wpływ 10-tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na równowagę ciała dzieci i młodzieży uprawiających piłkę nożną.

6.2.1 Test równowagi „Y”

Przed przystąpieniem do właściwej analizy postanowiono sprawdzić założenie rozkładu normalności zmiennych. W teście Shapiro-Wilka brak rozkładu normalnego zaobserwowano dla następujących zmiennych: KDP– ruch w tył po skosie; Y – asymetria kierunku przedni; Y – asymetria kierunku tylny po skosie; Y – asymetria kierunku za plecy. Stąd zdecydowano się na przeprowadzenie transformacji tych zmiennych celem uzyskania rozkładu normalnego.

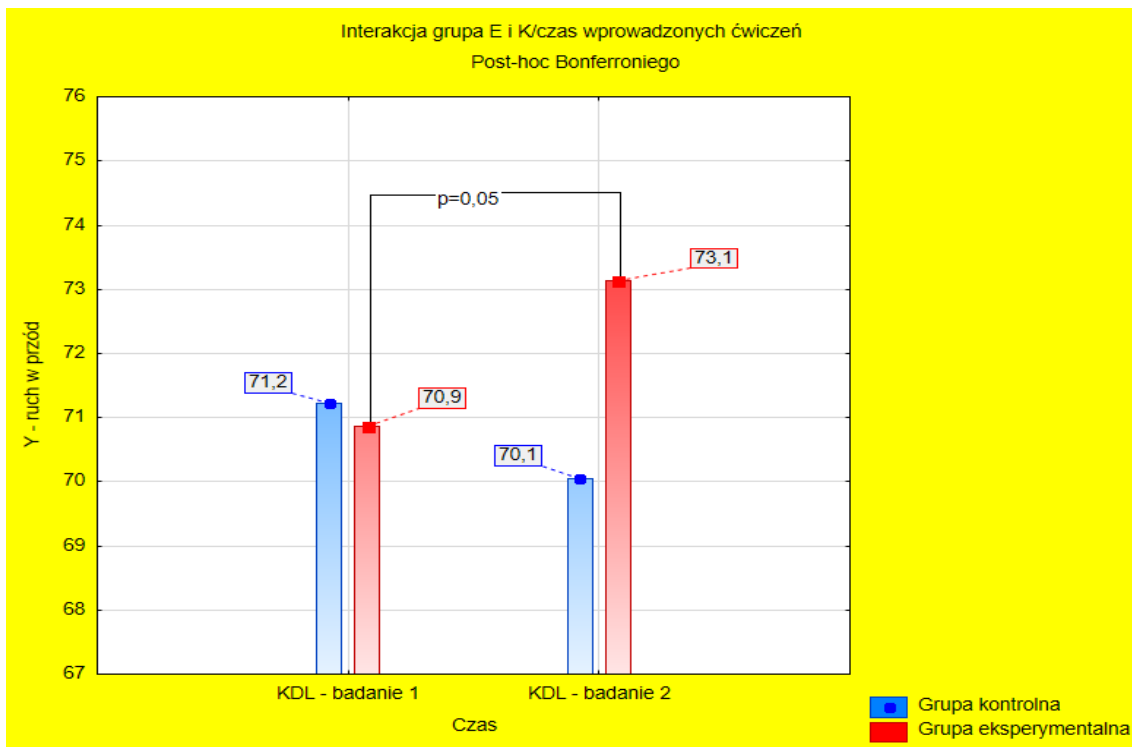
Dalsza analiza wykazała istotny efekt interakcji w kierunku przednim testu Y dla kończyny dolnej lewej (tabela 3.), a szczegółowa analiza post-hoc (rycina 15.) pokazała, że po wprowadzonych ćwiczeniach wynik w grupie eksperymentalnej w kierunku przednim testu Y dla kończyny dolnej lewej uległ zwiększeniu o 2,2 centymetra (cm) (95% PU 0,02-4,5). W grupie kontrolnej żadnych zmian nie zaobserwowano. Dodatkowo z danych zawartych w tabeli 3. można zauważyć istotny efekt interakcji dla kierunku: a) za plecy kończyna dolna lewa i prawa; b) za plecy (wynik średni dla obydwu kończyn); c) wynik całkowity testu Y. Szczegółowa analiza post-hoc pokazała, że po eksperymencie grupa uczęszczająca na ćwiczenia uzyskała wynik lepszy w kierunku za plecy o 7,0 cm (95% PU 3,6-10,4) dla kończyny dolnej lewej (rycina 16.) i o 5,7 cm (95% PU 2,3-9,1) dla kończyny dolnej prawej (rycina 17.) w porównaniu do wyników wyjściowych. Ponadto analiza post-hoc pokazała poprawę wyniku w grupie wykonującej dodatkowe ćwiczenia o 6,4 cm (95% PU 3,4-9,4) w kierunku za plecy (wynik średni dla obydwu kończyn) (rycina 18.) i o 3,7 cm (95% PU 1,4-5,9) dla wyniku całkowitego testu Y (rycina 19.) w odniesieniu do wyników początkowych.

W wynikach zamieszczonych w tabeli 3. można również zauważyć istotny efekt „czasu”. Analiza wartości średnich i post-hoc pokazuje, że w badaniu końcowym obie grupy uzyskały wynik lepszy w kierunku za plecy o 1,8 cm (95% PU 1,4-5,0) i 2,0 cm (95% PU 1,3-5,3) odpowiednio dla kończyny dolnej lewej i prawej. Co więcej, analiza post-hoc wykazała także, że obie grupy uzyskały wynik lepszy o 1,8 (95% PU 1,0-4,8) w kierunku za plecy (wynik średni dla obydwu kończyn) i o 0,6 cm (95 % PU 1,6-2,7) wyniku całkowitego testu Y.

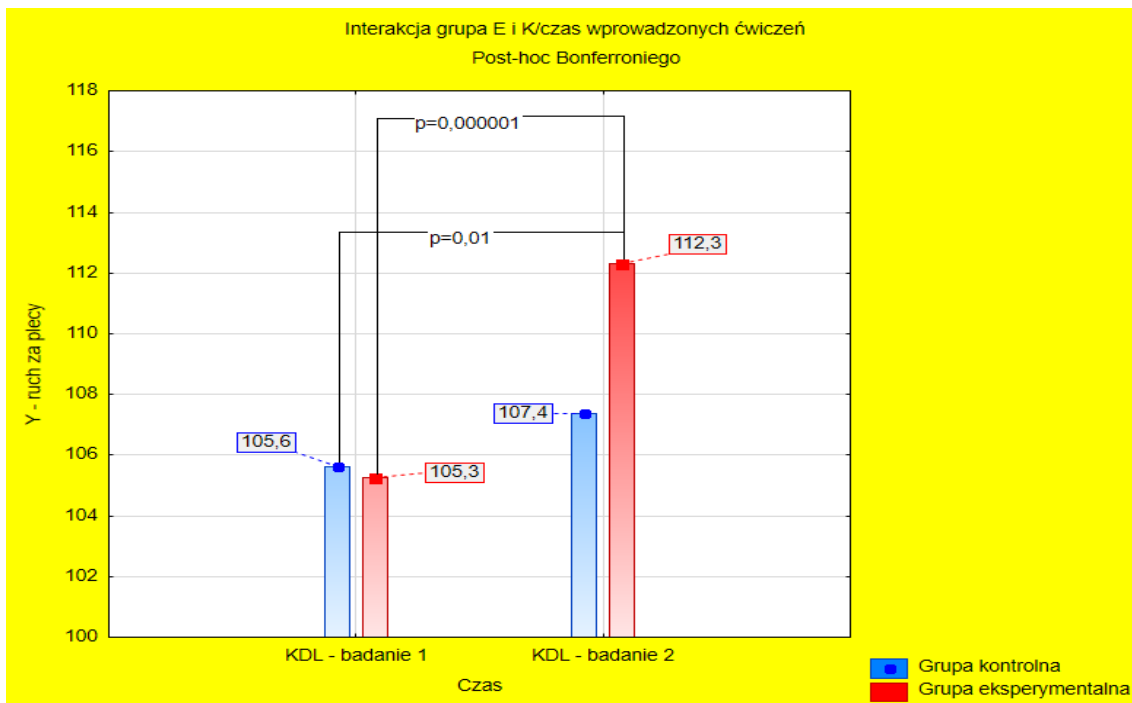
Tabela 3. Wpływ 10 tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na wyniki testu Y.

		Zawodnicy				
		Grupa eksperymentalna (N=43)	Grupa kontrolna (N=47)	Grupa E i K wartość- p	Czas wartość - p	Interakcja E i K/ wartość - p
KDP – ruch w przód [cm]	B₁	72,1±7,1	71,6±5,5	0,5	1,0	0,7
	B₂	72,4±6,1	71,3±6,4			
KDL – ruch w przód [cm]	B₁	70,9±6,4	71,2±5,1	0,3	0,3	**
	B₂	73,1±7,4	70,1±6,3			
KDP – ruch w tył po skosie [cm]	B₁	108,7±11,6	108,2±11,4	0,8	**	0,8
	B₂	112,3±9,5	108,9±9,7			
KDL – ruch w tył po skosie [cm]	B₁	107,9±13,2	107,9±9,9	0,5	0,1	0,2
	B₂	111,4±9,4	108,4±11,4			
KDP – ruch za plecy [cm]	B₁	106,0±12,7	105,1±10,1	0,2	***	**
	B₂	111,7±10,0	107,1±11,0			
KDL – ruch za plecy [cm]	B₁	105,3±10,6	105,6±10,2	0,2	***	**
	B₂	112,3±3	107,4±10,7			
Y – ruch w przód KDP i KDL [cm]	B₁	71,5±6,2	71,4±5,0	0,4	0,8	0,1
	B₂	72,5±6,0	70,7±6,1			
Y – ruch w tył po skosie KDP i KDL [cm]	B₁	108,3±11,5	108,1±10,0	0,4	*	0,1
	B₂	111,8±9,1	108,6±10,1			
Y – ruch za plecy KDP i KDL [cm]	B₁	105,6±11,2	105,4±9,6	0,2	***	**
	B₂	112,0±9,2	107,2±10,5			
Y – wynik całkowity [cm]	B₁	95,1±8,3	94,9±6,9	0,2	***	**
	B₂	98,8±6,9	95,5±8,1			

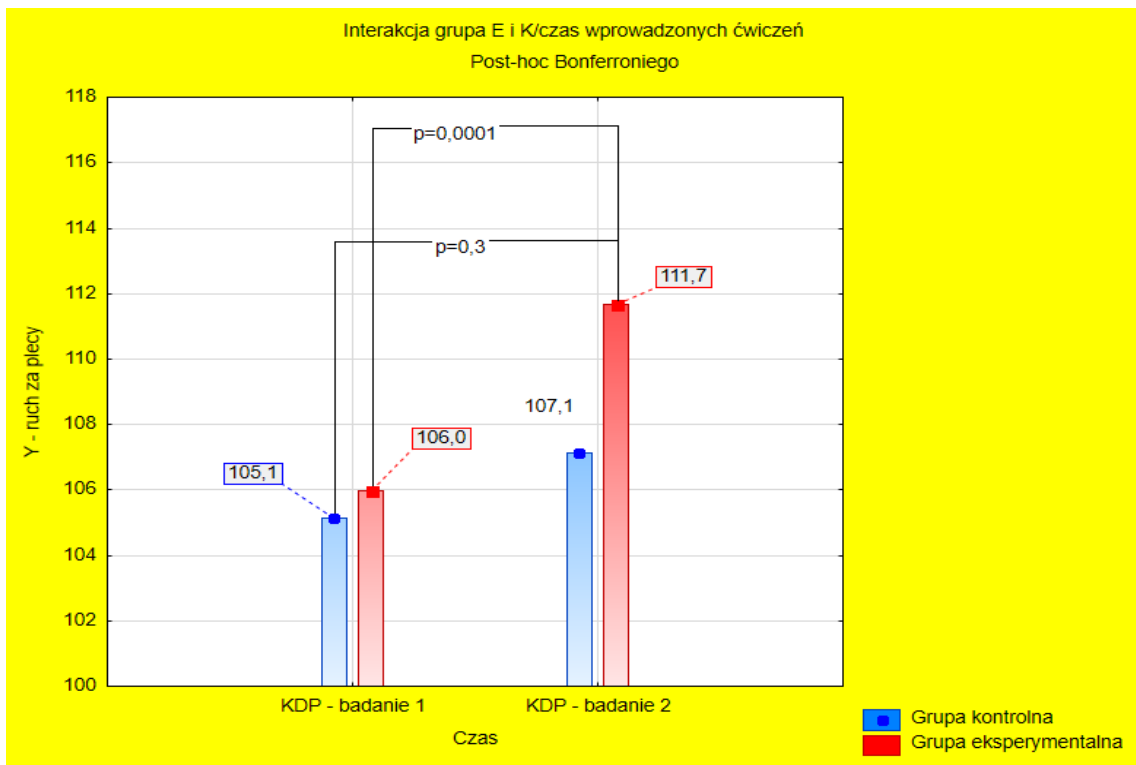
Legenda: N – ilość zawodników w danej grupie, B₁ - badanie pierwsze, B₂ – badanie drugie, p – istotność statystyczna, Grupa E – grupa eksperymentalna, Grupa K – kontrolna, * - istotność statystyczna p<0,05, ** - istotność statystyczna p<0,01, *** - istotność statystyczna p<0,001, KDP – kończyzna dolna prawa, KDL – kończyzna dolna lewa.



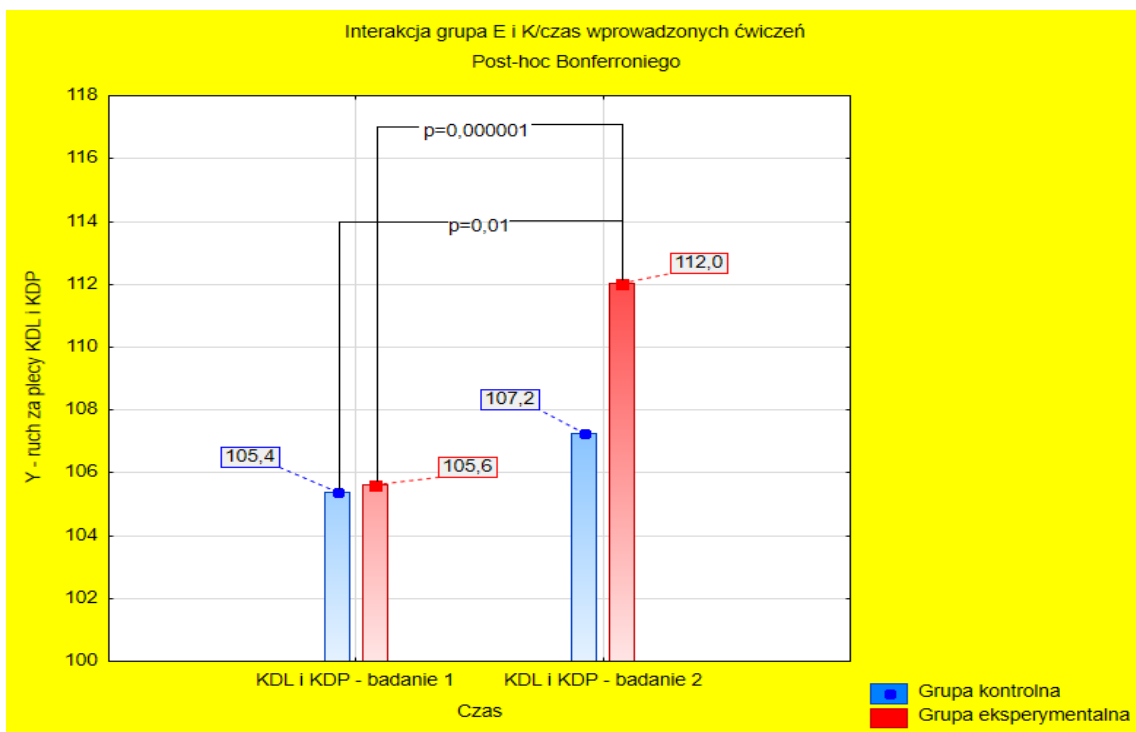
Rycina 15. Test Y efekt wprowadzonych ćwiczeń kończyna dolna lewa ruch w przód, KDL – kończyna dolna lewa, E – grupa eksperymentalna, K – grupa kontrolna, p – istotność statystyczna $p < 0,05$.



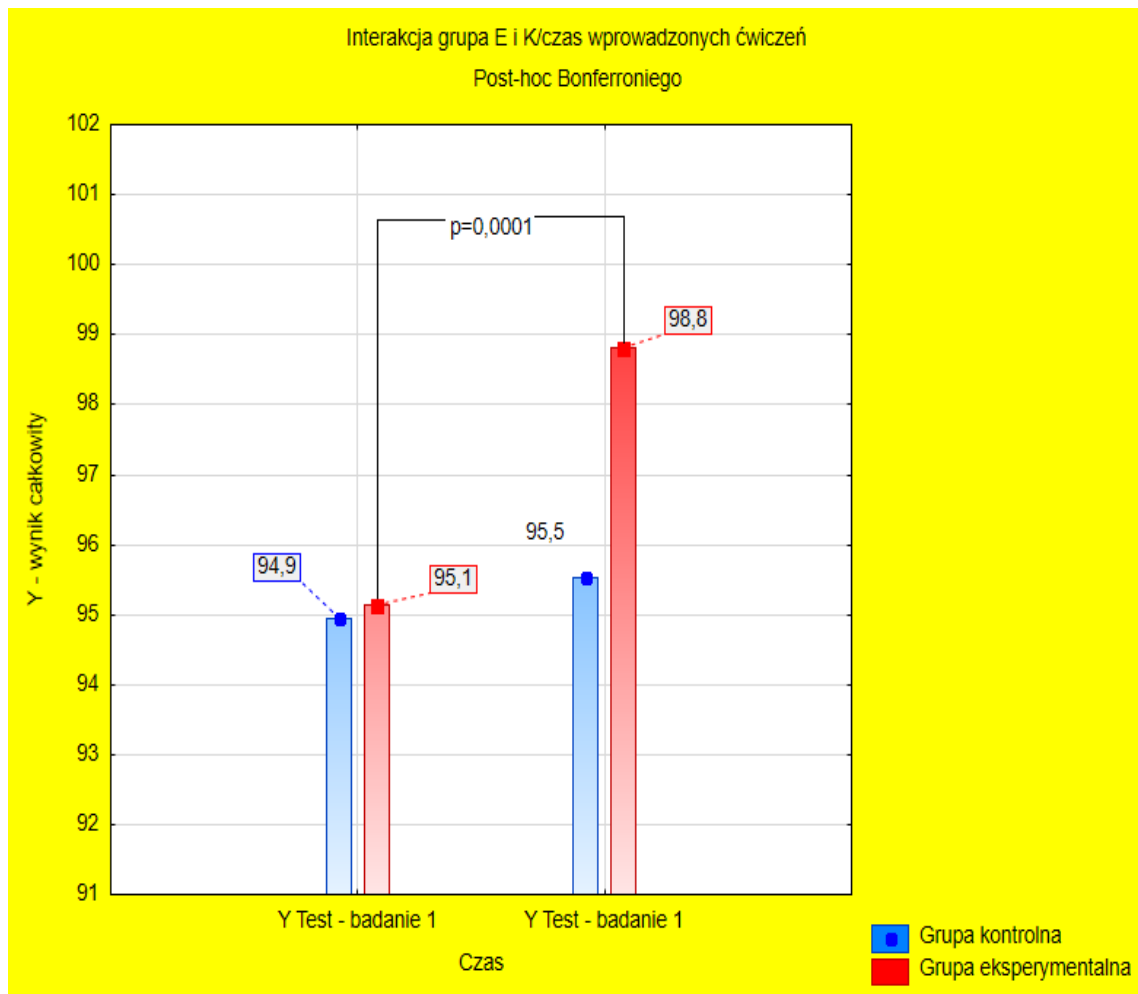
Rycina 16. Test Y efekt wprowadzonych ćwiczeń kończyna dolna lewa ruch za plecy, KDL – kończyna dolna lewa, E – grupa eksperymentalna, K – grupa kontrolna, p – istotność statystyczna $p < 0,05$.



Rycina 17. Test Y efekt wprowadzonych ćwiczeń kończyna dolna prawa ruch za plecy, KDP – kończyna dolna prawa, E – grupa eksperymentalna, K – grupa kontrolna, p – istotność statystyczna $p < 0,05$.



Rycina 18. Test Y efekt wprowadzonych ćwiczeń kończyna dolna lewa i prawa ruch za plecy, KDL – kończyna dolna lewa, KDP – kończyna dolna prawa, E – grupa eksperymentalna, K – grupa kontrolna, p – istotność statystyczna $p < 0,05$.



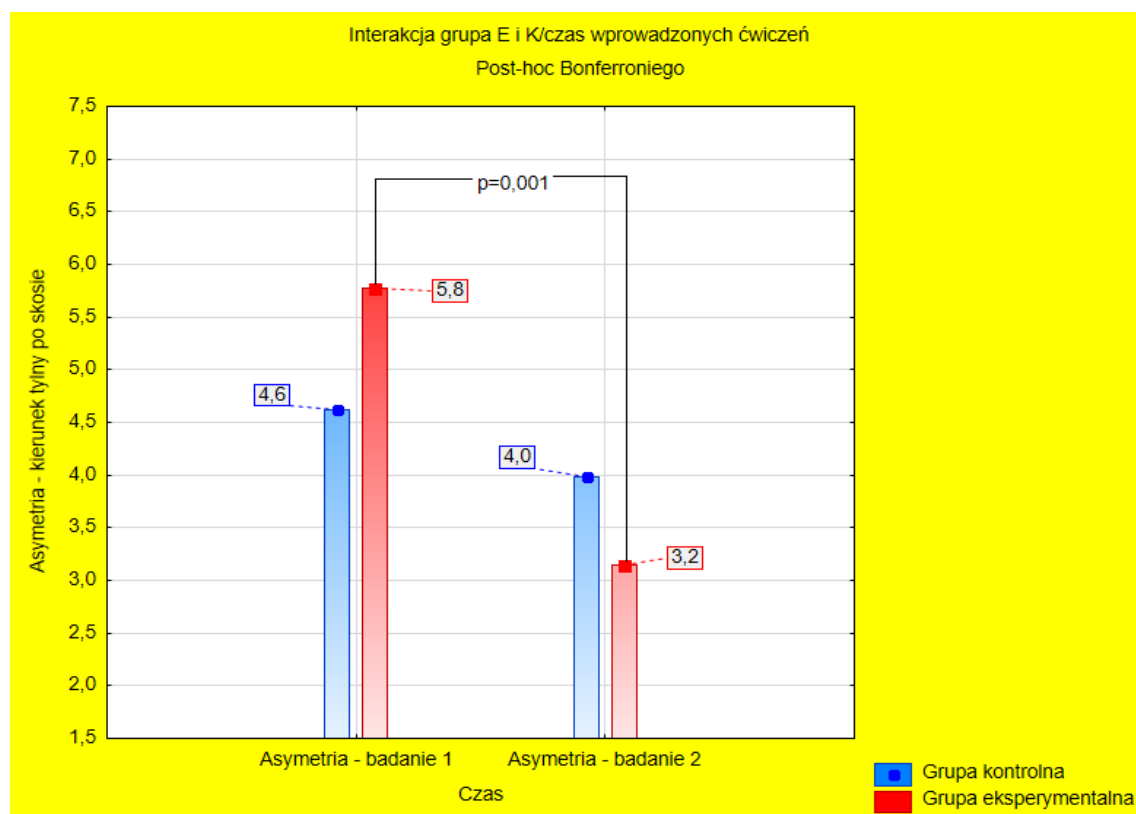
Rycina 19. Test Y efekt wprowadzonych ćwiczeń wynik całkowity, E – grupa eksperymentalna, K – grupa kontrolna, p – istotność statystyczna $p < 0,05$.

Z danych zawartych w tabeli 4. widać, że istotny efekt interakcji wystąpił w asymetrii pomiędzy kończynami dla kierunku tylnego po skosie. Szczegółowa analiza post-hoc (rycina 20.) tej zmiennej wykazała, że grupa uczęszczająca na ćwiczenia zmniejszyła asymetrię o 2,6 cm (95% PU 0,8-4,5) w badaniu końcowym w porównaniu do badania wyjściowego. Na podstawie istotnego efektu głównego „czasu” dla kierunku tylnego po skosie można stwierdzić, że asymetria w badaniu drugim zmniejszyła się w obydwu grupach o 0,6 cm (95% PU 1,5-2,4).

Tabela 4. Wpływ 10 tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na asymetrię w teście Y.

		Zawodnicy				
		Grupa eksperymentalna (N=43)	Grupa kontrolna (N=47)	Grupa E i K wartość- p	Czas wartość - p	Interakcja E i K/ czas wartość - p
Y – asymetria kierunek przedni [cm]	B ₁	3,3±3,0	2,6±1,9	0,1	0,3	0,8
	B ₂	2,9±2,5	2,4±2,5			
Y – asymetria kierunek tylny po skosie [cm]	B ₁	5,8±4,5	4,6±3,4	0,9	***	*
	B ₂	3,2±2,6	4,0±3,3			
Y – asymetria kierunek za plecy	B ₁	4,4±3,3	4,1±3,3	0,6	**	0,1
	B ₂	2,5±2,2	3,4±2,8			

Legenda: N – ilość zawodników w danej grupie, B₁ - badanie pierwsze, B₂ – badanie drugie, p – istotność statystyczna, Grupa E – grupa eksperymentalna, Grupa K – kontrolna, *- istotność statystyczna p<0,05, **- istotność statystyczna p<0,01, ***- istotność statystyczna p<0,001.



Rycina 20. Test Y efekt wprowadzonych ćwiczeń - asymetria – kierunek tylny po skosie, E – grupa eksperymentalna, K – grupa kontrolna, p – istotność statystyczna p<0,05.

6.2.2 Test równowagi BESS

Brak spełnienia założeń normalności rozkładu w teście Shapiro-Wilka, a także brak możliwości przeprowadzenia transformacji zmiennych ze względu na wartości osiągnięte w teście BESS (wartość 0) spowodował wykorzystanie testów nieparametrycznych do analizy wyników osiągniętych w teście BESS.

Tabela 5. Wpływ 10 tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na wyniki w teście BESS.

		Grupa E (N=43)	Me	Grupa K (N=47)	Me	Grupa E ₁ i E ₂ wartość - p	Grupa K ₁ i K ₂ wartość - p	Grupa E ₁ i K ₁ wartość - p	Grupa E ₂ i K ₂ wartość - p
Twarde podłoże [punkty]	B₁	3,2±2,4	3,0	3,3±2,3	3,0	***	***	0,8	0,3
	B₂	1,7±1,7	1,0	2,1±1,9	1,5				
Miękkie podłoże [punkty]	B₁	9,4±3,9	8,5	9,1±3,3	9,0	***	***	0,9	0,5
	B₂	6,1±3,1	5,5	6,5±2,9	6,0				
Wynik całkowity [punkty]	B₁	12,6±5,8	12,0	12,4±5,2	12,0	***	***	0,9	0,3
	B₂	7,8±4,4	7,0	8,6±4,3	7,5				

Legenda: N – ilość zawodników w danej grupie, Grupa E-grupa eksperymentalna, Grupa K-grupa kontrolna, Me - mediana, B₁ - badanie pierwsze, B₂ – badanie drugie, p – poziom istotności, Grupa E – grupa eksperymentalna, Grupa K - kontrolna *- istotność statystyczna p<0.05, E₁ – grupa eksperymentalna badanie pierwsze, E₂ – grupa eksperymentalna badanie drugie, K₁ – grupa kontrolna badanie pierwsze, K₂ – grupa kontrolna badanie drugie, *- istotność statystyczna p<0.05, **- istotność statystyczna p<0,01, ***- istotność statystyczna p<0,001.

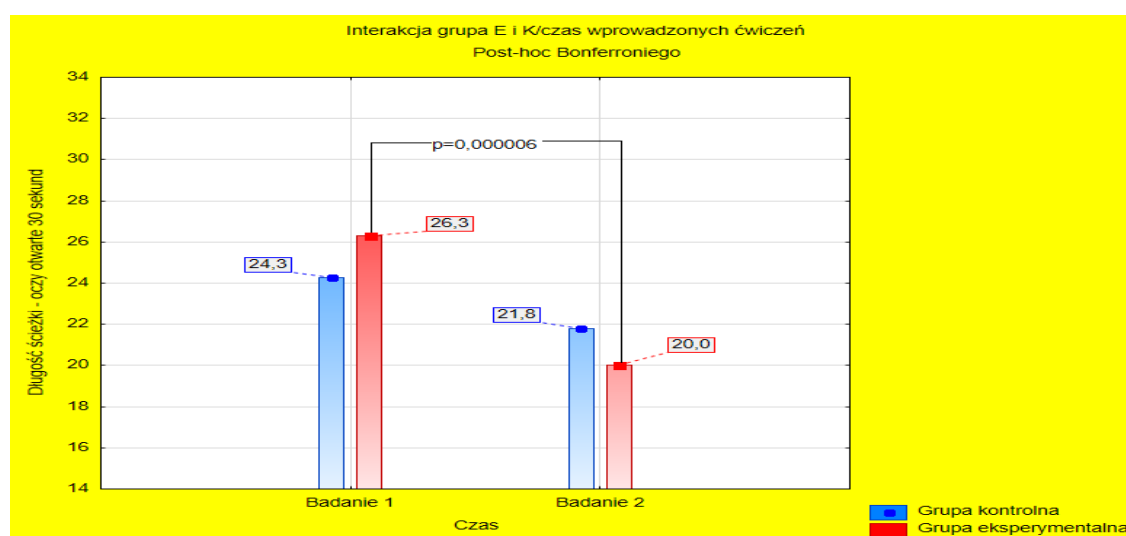
Analiza danych zawartych w tabeli 5. nie wykazała istotności statystycznej w badaniu końcowym pomiędzy grupą wykonującą dodatkowe ćwiczenia sensomotoryczne a grupą kontrolną dla wszystkich zmiennych. Z danych zawartych w tabeli 5. widać istotność statystyczną dla wszystkich zmiennych pomiędzy pierwszym i drugim badaniem zarówno w grupie uczestniczącej w ćwiczeniach, jak i w grupie kontrolnej. Obie grupy wykazały poprawę wyników w badaniu końcowym o 3,0 punkty na miękkim podłożu. Ponadto grupa wykonująca dodatkowe ćwiczenia i kontrolna

w badaniu drugim wykazały kolejno poprawę wyników na twardym podłożu o 2,0 punkty i o 1,5 punktu. Wynik całkowity w badaniu końcowym uległ poprawie w grupie uczestniczącej w dodatkowych ćwiczeniach o 5,0 punktów, a w grupie kontrolnej o 4,5 punktu.

6.2.3 Platforma stabilometryczna

Przed rozpoczęciem analizy zmiennych dokonano sprawdzenia założenia normalności rozkładu testem Shapiro-Wilka. Brak normalności rozkładu zaobserwowano dla wszystkich zmiennych. Stąd zdecydowano się na przeprowadzenie transformacji zmiennych celem uzyskania rozkładu normalnego.

Dalsza analiza (na wartościach znormalizowanych) wyników zamieszczonych w tabeli 6 wykazała istotny efekt interakcji dla zmiennych: a) długości ścieżki – oczy otwarte 30 sekund; b) długość ścieżki – oczy zamknięte 30 sekund; c) pole powierzchni – oczy otwarte 30 sekund. Szczegółowa analiza post-hoc pokazała, że po eksperymencie grupa uczęszczająca na ćwiczenia poprawiła swój wynik długości ścieżki wynoszącej 30 sekund o 6,3 milimetra (mm) (95% PU 3,1-9,5) dla oczu otwartych (rycina 21.) i o 10,4 mm (95% PU 5,4-15,5) dla oczu zamkniętych (rycina 22.). Ponadto analiza post-hoc pokazała poprawę wyniku pola powierzchni – 30 sekund w grupie uczęszczającej na ćwiczenia o 1,4 mm (95% PU 0,3-2,5) dla oczu otwartych (rycina 23.).



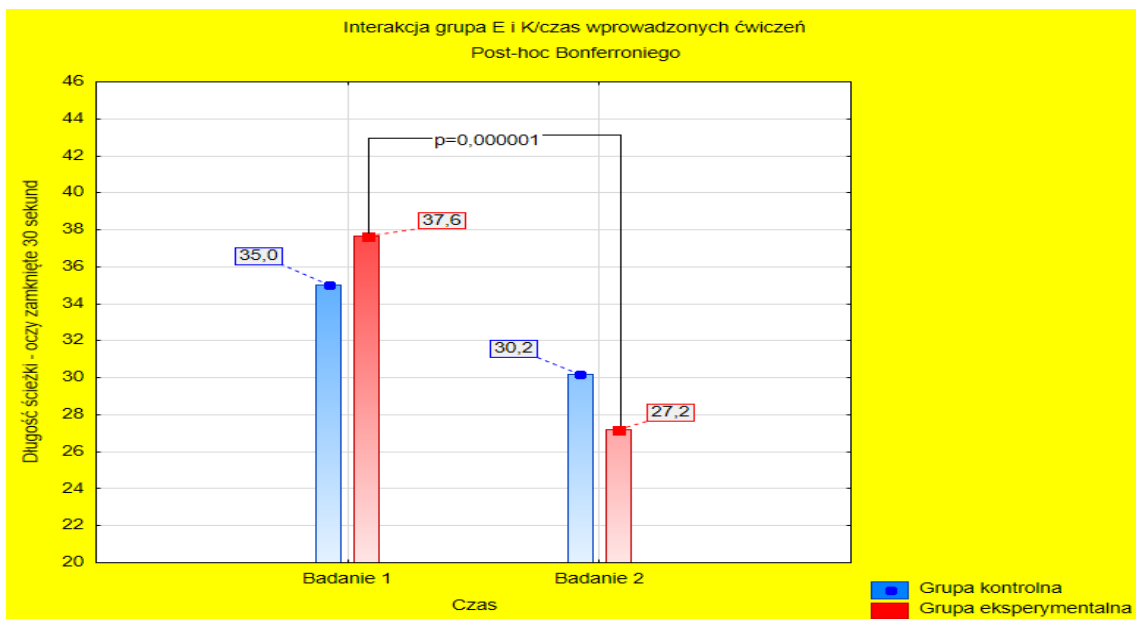
Rycina 21. Platforma stabilometryczna efekt wprowadzonych ćwiczeń – długość ścieżki oczu otwarte 30 sekund, E – grupa eksperymentalna, K – grupa kontrolna, p – istotność statystyczna $p < 0,05$.

Tabela 6. Wpływ 10 tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na wyniki badania statycznego, platforma stabilometryczna.

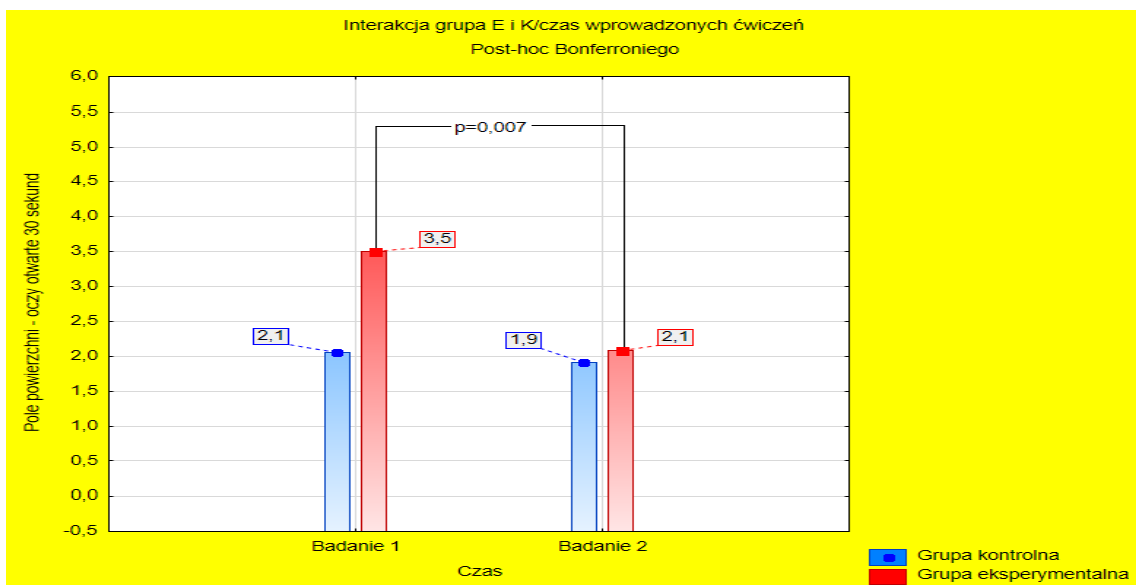
		Zawodnicy				
		Grupa eksperymentalna (N=43)	Grupa kontrolna (N=47)	Grupa E i K wartość- p	Czas wartość - p	Interakcja E i K/ czas wartość - p
Długość ścieżki [mm] – oczy otwarte 30 [s]	B₁	26,3±18,2	24,3±9,9	0,9	***	*
	B₂	20,0±15,2	21,8±7,2			
Pole powierzchni [mm] – oczy otwarte 30 [s]	B₁	3,5±7,7	2,1±2,0	0,4	**	*
	B₂	2,1±4,6	1,9±1,3			
Długość ścieżki [mm] – oczy zamknięte 30 [s]	B₁	37,6±21,5	35,0±16,1	0,9	***	*
	B₂	27,2±13,8	30,2±10,9			
Pole powierzchni [mm] – oczy zamknięte 30 [s]	B₁	3,1±3,3	2,8±1,9	1,0	***	0,2
	B₂	2,2±2,0	2,5±1,5			
Długość ścieżki [mm] – oczy otwarte 60 [s]	B₁	54,8±35,1	54,0±22,7	1,0	***	0,6
	B₂	44,5±29,0	45,8±15,3			
Pole powierzchni [mm] – oczy otwarte 60 [s]	B₁	5,1±8,6	3,8±3,1	0,5	*	0,2
	B₂	3,9±6,7	3,4±2,4			
Długość ścieżki [mm] – oczy zamknięte 60 [s]	B₁	68,8±37,3	74,5±32,4	0,7	**	0,2
	B₂	64,4±35,3	63,2±25,3			
Pole powierzchni [mm] – oczy zamknięte 60 [s]	B₁	6,1±7,5	5,7±5,3	0,7	0,3	0,9
	B₂	5,6±6,3	5,2±4,1			

Legenda: N – ilość zawodników w danej grupie, B₁ - badanie pierwsze, B₂ – badanie drugie, s-sekundy, p – poziom istotności, Grupa E – grupa eksperymentalna, Grupa K - kontrolna *- istotność statystyczna p<0.05, * - istotność statystyczna p<0.05, ** - istotność statystyczna p<0,01, *** - istotność statystyczna p<0,001.

W wynikach zawartych w tabeli 6. można ponadto dostrzec istotny efekt „czasu”. Analiza wartości średnich i post-hoc pokazuje, że w badaniu końcowym obydwie grupy poprawiły swój wynik długości ścieżki – 30 sekund o 2,5 mm (95% PU 0,6-5,6) dla oczu otwartych i o 4,8 mm (95% PU 0,05-9,7) dla oczu zamkniętych. Analiza post-hoc wykazała także, że obydwie grupy poprawiły swój wynik pola powierzchni – 30 sekund o 0,2 mm (95% PU 1,0-1,2) dla oczu otwartych.



Rycina 22. Platforma stabilometryczna efekt wprowadzonych ćwiczeń – długość ścieżki oczu zamknięte 30 sekund, E – grupa eksperymentalna, K – grupa kontrolna, p – istotność statystyczna $p < 0,05$.



Rycina 23. Platforma stabilometryczna efekt wprowadzonych ćwiczeń – pole powierzchni oczu otwarte 30 sekund, E – grupa eksperymentalna, K – grupa kontrolna, p – istotność statystyczna $p < 0,05$.

Z danych zawartych w tabeli 7. widać brak istotności statystycznej interakcji dla wszystkich zmiennych, które dotyczyły badania dynamicznego przeprowadzonego na platformie stabilometrycznej. Na podstawie efektu głównego „czasu” można stwierdzić, że obydwie grupy poprawiły swój wynik długości pokonanej ścieżki o 34,7 mm [95% PU 6,5-62,9]. Analiza post-hoc pokazała także, że obydwie grupy poprawiły czas dotarcia do celu o 0,2 sekundy [s] [95% PU 0,1-0,6]; 0,1 s [95% PU 0,1-0,6]; 0,2 s [95% PU 0,1-0,4] kolejno dla celu prawy przód (P-P); lewy tył (L-T); prawy tył (P-T).

Tabela 7. Wpływ 10 tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na wyniki badania dynamicznego, platforma stabilometryczna.

		Zawodnicy				
		Grupa eksperymentalna (N=43)	Grupa kontrolna (N=47)	Grupa E i K wartość- p	Czas wartość - p	Interakcja E i K/ czas wartość - p
Badanie dynamiczne – długość pokonanej ścieżki [mm]						
	B₁	192,1±44,2	195,1±41,0	0,7	***	0,3
	B₂	157,4±67,3	146,5±63,0			
Badanie dynamiczne – czas dotarcia do celu P-P [s]						
	B₁	1,8±0,5	1,8±0,5	0,9	**	0,9
	B₂	1,6±0,6	1,6±0,7			
Badanie dynamiczne – czas dotarcia do celu L-P [s]						
	B₁	1,8±0,5	1,8±0,6	0,7	0,3	0,5
	B₂	1,8±0,7	1,7±0,7			
Badanie dynamiczne – czas dotarcia do celu L-T [s]						
	B₁	1,5±0,4	1,6±0,3	0,9	**	0,6
	B₂	1,4±0,5	1,3±0,6			
Badanie dynamiczne – czas dotarcia do celu P-T [s]						
	B₁	1,4±0,3	1,4±0,4	0,9	**	0,7
	B₂	1,2±0,6	1,2±0,6			

Legenda: N – ilość zawodników w danej grupie, B₁ - badanie pierwsze, B₂ – badanie drugie, p – poziom istotności, mm – milimetr, s – sekundy, Grupa E – grupa eksperymentalna, Grupa K - kontrolna *- istotność statystyczna p<0.05, P-P – prawy przód, L-P – lewy przód, L-T – lewy tył, P-T – prawy tył, *- istotność statystyczna p<0.05, *- istotność statystyczna p<0.05, **- istotność statystyczna p<0,01, ***- istotność statystyczna p<0,001.

6.2.4 Test utrzymania piłki na stopie

Transformacja zmiennych zawartych w tabeli 8. nie doprowadziła do uzyskania założenia o normalności rozkładu, z tego względu do analizy zostały wykorzystane testy nieparametryczne. Dalsza analiza nie wykazała żadnej istotności statystycznej dla wszystkich zmiennych po eksperymencie pomiędzy grupą uczestniczącą w ćwiczeniach sensomotorycznych a grupą kontrolną. Z danych zawartych w tabeli 8. można wywnioskować jednak, że w badaniu końcowym obie grupy poprawiły swój wynik średnio o 6,5 sekundy [s] dla kończyny dolnej prawej i o 3,1 s dla kończyny dolnej lewej w porównaniu do badania wyjściowego.

Tabela 8. Wpływ 10 tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na wyniki testu utrzymania piłki na stopie.

		Grupa E (N=43)		Grupa K (N=47)		Grupa E ₁ i E ₂ wartość - p	Grupa K ₁ i K ₂ wartość - p	Grupa E ₁ i K ₁ wartość - p	Grupa E ₂ i K ₂ wartość - p
Utrzymanie									
piłki na stopie – KDP	B₁	19,9±46,4	4,3	24,1±34,8	11,4	***	*	0,2	0,9
	B₂	34,1±61,3	15,9	32,5±39,5	17,9				
[sekundy]									
Utrzymanie									
piłki na stopie – KDL	B₁	6,8±15,9	1,3	5,2±9,3	1,5	***	***	0,9	1,0
	B₂	13,8±25,3	4,5	12,2±20,3	4,6				
[sekundy]									

Legenda: N – ilość zawodników w danej grupie, Me – mediana, B₁ - badanie pierwsze, B₂ – badanie drugie, Grupa E – grupa eksperymentalna, Grupa K - kontrolna *- istotność statystyczna p<0.05, E₁ – grupa eksperymentalna badanie pierwsze, E₂ – grupa eksperymentalna badanie drugie, K₁ – grupa kontrolna badanie pierwsze, K₂ – grupa kontrolna badanie drugie, KDP – kończyna dolna prawa, KDL – kończyna dolna lewa, *- istotność statystyczna p<0.05, *- istotność statystyczna p<0.05, **- istotność statystyczna p<0,01, ***- istotność statystyczna p<0,001.

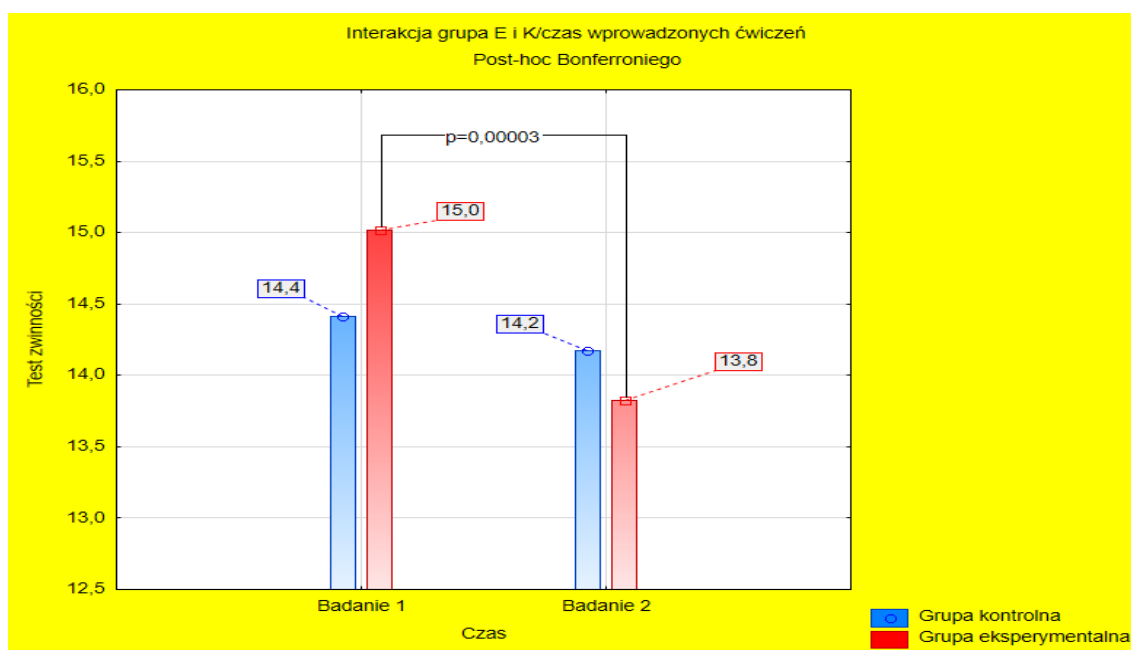
6.3 Wpływ 10 tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na zwinność dzieci i młodzieży uprawiających piłkę nożną.

Przed wykonaniem właściwej analizy dokonano sprawdzenia założeń normalności rozkładu. Test Shapiro-Wilka nie wykazał normalności rozkładu dla zmiennej. W celu uzyskania założeń normalności rozkładu zdecydowano się na przeprowadzenie transformacji zmiennych.

Tabela 9. Wpływ 10 tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na wyniki testu zwinności.

		Zawodnicy				
		Grupa Eksperymentalna (N=43)	Grupa Kontrolna (N=47)	Grupa E i K wartość- p	Czas wartość - p	Interakcja E i K/ czas wartość - p
Test zwinności [sekundy]	B ₁	15,0±2,6	14,4±1,6	0,9	***	**
	B ₂	13,8±2,3	14,2±2,0			

Legenda: N – ilość zawodników w danej grupie, B₁ - badanie pierwsze, B₂ – badanie drugie, p – poziom istotności, Grupa E – grupa eksperymentalna, Grupa K – kontrolna, *- istotność statystyczna p<0.05, *- istotność statystyczna p<0.05, **- istotność statystyczna p<0,01, ***- istotność statystyczna p<0,001.



Rycina 24. Test zwinności efekt wprowadzonych ćwiczeń, E – grupa eksperymentalna, K – grupa kontrolna, p – istotność statystyczna p<0,05.

Analiza danych zawartych w tabeli 9 wykazała istotny efekt interakcji testu zwinności, a szczegółowa analiza post-hoc (rycina 24) wykazała, że grupa uczęszczająca na ćwiczenia sensomotoryczne poprawiła swój wynik o 1,2 sekundy [s] [95% PU 0,5-1,8]. Warto zauważyć, że wobec istotnego efektu głównego „czasu” obydwie grupy poprawiły swój wynik o 0,2 s [95% PU 0,4-0,9].

6.4 Wpływ 10-tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na grubość mięśnia poprzecznego brzucha dzieci i młodzieży uprawiających piłkę nożną.

Sprawdzanie założeń normalności rozkładu zmiennych wykazało brak normalności rozkładu w teście Shapiro-Wilka dla wszystkich zmiennych. Stąd zdecydowano się na transformację zmiennych w celu uzyskania założeń normalności rozkładu.

Tabela 10. Wpływ 10 tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na grubość mięśnia poprzecznego brzucha.

		Zawodnicy				
		Grupa Eksperymentalna (N=43)	Grupa Kontrolna (N=47)	Grupa E i K wartość- p	Czas wartość - p	Interakcja E i K/ czas wartość - p
TrA – pozycja leżąca strona prawa [mm]	B ₁	2,5±0,6	2,4±0,7	0,5	**	0,6
	B ₂	2,6±0,7	2,5±0,8			
TrA – pozycja leżąca strona lewa [mm]	B ₁	2,7±0,6	2,6±0,7	0,7	***	0,7
	B ₂	2,8±0,7	2,8±0,8			
TrA – pozycja stojąca strona prawa [mm]	B ₁	2,8±0,9	2,8±1,0	0,9	**	0,6
	B ₂	3,0±1,1	3,1±1,4			
TrA – pozycja stojąca strona lewa [mm]	B ₁	3,1±1,1	3,0±1,0	0,8	***	0,5
	B ₂	3,3±1,2	3,3±1,3			

Legenda: N – ilość zawodników w danej grupie, B₁ - badanie pierwsze, B₂ – badanie drugie, p – poziom istotności, Grupa E – grupa eksperymentalna, Grupa K - kontrolna
*- istotność statystyczna p<0.05, TrA – (Transversus Abdominis Muslce) – mięsień poprzeczny brzucha, *- istotność statystyczna p<0.05, **- istotność statystyczna p<0,01, ***- istotność statystyczna p<0,001.

Dalsza analiza wykazała brak istotności statystycznej interakcji dla wszystkich zmiennych [tabela 10.]. Na podstawie efektu głównego „czasu” można stwierdzić jednak, że w obydwu grupach grubość mięśnia poprzecznego brzucha [TrA] zwiększyła się w pozycji leżącej o 0,1 mm [95% 0,03-0,3] i 0,1 mm [95% PU 0,04-0,3] kolejno dla strony prawej i lewej. Ponadto w obydwu grupach grubość mięśnia poprzecznego zwiększyła się w pozycji stojącej o 0,2 mm [95% PU 0,05-0,7] dla strony prawej i 0,2 mm [95% PU 0,02-0,5] dla trony lewej.

7. DYSKUSJA

Wdrażanie nowoczesnych form treningu, ukierunkowanych na poprawę wyniku sportowego, związane jest z coraz większymi wymaganiami, jakie dana dyscyplina sportowa stawia przed sportowcami [Bruhn i wsp. 2004, Cressey i wsp. 2007, Kean i wsp. 2006]. Wprowadzane programy dodatkowych ćwiczeń mają na celu dość często kształtowanie jednej ze zdolności motorycznych, jaką jest równowaga [Eils i wsp. 2010, Heleno i wsp. 2016, Malliou i wsp. 2004]. Ćwiczenia zorientowane na poprawę równowagi ciała znalazły zastosowanie w zmniejszeniu ilości urazów w sporcie [Eils i wsp. 2010, Owen i wsp. 2013, Caldemeyer i wsp. 2020], a także przyczyniły się do podniesienia wyniku sportowego [Kean i wsp. 2006, Šimek Šalaj i wsp. 2007]. Jednakże ich potencjalna rola w jego podwyższeniu pozostaje bardziej spekulatywna niż poparta twardymi dowodami naukowymi. Jednym z beneficjentów ćwiczeń ukierunkowanych na usprawnienie równowagi ciała może być także mięsień poprzeczny brzucha, który według badaczy odgrywa kluczową rolę w stabilizacji odcinka lędźwiowego i miednicy [Richardson i wsp. 2002], a przez to może oddziaływać na równowagę ciała. Tym samym celem niniejszych badań była odpowiedź na następujące pytania: a) czy ćwiczenia sensomotoryczne prowadzone przez okres dziesięciu tygodni wpłyną na poprawę równowagi ciała wśród dzieci i nastolatków trenujących piłkę nożną, b) czy te ćwiczenia wpłyną na poprawę zwinności u dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną, a także c) czy ćwiczenia sensomotoryczne prowadzone przez okres dziesięciu tygodni zwiększą grubość mięśnia poprzecznego brzucha w badanej populacji? W literaturze brakuje jednoznacznych opinii na temat skuteczności zastosowania tego typu ćwiczeń w grupie dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną. Są prace, które pokazują, że dzieci mają większe zdolności adaptacyjne i lepiej przyswajają ćwiczenia kształtujące równowagę ciała niż nastolatki [Schedler i wsp. 2020]. To jednak nie wyczerpuje całości zagadnienia, gdyż czas, a także forma wprowadzanych dodatkowych programów mających kształtować równowagę ciała wśród dzieci i nastolatków uprawiających różne dyscypliny sportowe nadal jest dość dyskusyjna [McLeod i wsp. 2009, Imai i wsp. 2014]. Ponadto Brachman i wsp. [2017] w swoim przeglądzie systematycznym sugerują, że aby w pełni ocenić skuteczność wprowadzonego programu ćwiczeń usprawniających równowagę ciała, należy przeprowadzić ocenę równowagi statycznej, a także dynamicznej, gdyż wdrażane programy mogą nie oddziaływać na udoskonalenie wszystkich parametrów związanych z równowagą ciała.

Z przeprowadzonych badań jasno wynika, że dziesięcioletniowy program ćwiczeń sensomotorycznych poprawił równowagę dynamiczną w teście Y (Y-BT). Zawodnicy uczestniczący w ćwiczeniach sensomotorycznych podwyższyli swój wynik w kierunku przednim dla kończyny dolnej lewej. Ponadto obydwie grupy w badaniu końcowym uzyskały lepszy rezultat w kierunku za plecy dla kończyny dolnej lewej i prawej, wynik średni dla obu kończyn w kierunku za plecy, a także wynik złożony Y-BT. Analizując uzyskane wyniki w teście Y-BT, widać jednak, że grupa uczestnicząca w ćwiczeniach uzyskała istotną statystycznie poprawę wyników w powyższych kierunkach pomiędzy pierwszym a końcowym badaniem, co wskazuje na wpływ dodatkowych ćwiczeń sensomotorycznych na wyniki testu Y-BT. Rössler i wsp. [2016] po wdrożeniu dziesięcioletniego programu ćwiczeń FIFA 11 wśród dzieci uprawiających piłkę nożną zanotowali, że grupa uczęszczająca na ćwiczenia w badaniu końcowym uzyskała wyższe wyniki w stosunku do badania początkowego w teście Y-BT, jednakże poprawa ta nie wykazała istotności statystycznej zarówno dla prawej, jak i lewej kończyny dolnej. Interpretację poprawy wyników w jednym z trzech kierunków utrudnia fakt, że autorzy zdecydowali się na przedstawienie wyników całościowych dla prawej i lewej kończyny dolnej. Także Lopes i wsp. [2019] po dziesięcioletnim programie dodatkowych ćwiczeń FIFA 11 nie uzyskał poprawy wyników w teście Y-BT wśród dorosłych amatorskich zawodników halowej piłki nożnej. Zarówno Rössler i wsp. [2016], jak i Lopes i wsp. [2019] zdecydowali się na podobną intensywność dodatkowych ćwiczeń (dwa razy w tygodniu), co może sugerować, że na różnicę w osiągniętych wynikach pomiędzy niniejszym eksperymentem a wspomnianymi badaniami mógł mieć wiek zakwalifikowanych do eksperymentu uczestników. W badaniach Rösslera i wsp. [2016] grupa zakwalifikowanych uczestników do badania (grupa eksperymentalna $10,0 \pm 1,8$ lat i kontrolna $10,1 \pm 1,6$ lat) znajdowała się prawdopodobnie przed okresem dojrzewania, co niewątpliwie mogło przyczynić się do większych deficytów równowagi dynamicznej i wyników osiągniętych w teście Y-BT. Lopes i wsp. [2019] wdrożyli swoje ćwiczenia w grupie dorosłych zawodników (grupa zakwalifikowana do ćwiczeń FIFA 11 $27,3 \pm 4,3$, grupa kontrolna $25,6 \pm 4,7$). Oprócz wieku warto zwrócić także uwagę na różnice między ćwiczeniami, jakie zostały wykorzystane do poprawy równowagi dynamicznej w teście Y-BT. W niniejszym eksperymencie wykorzystano ćwiczenia sensomotoryczne, które były ukierunkowane na poprawę równowagi ciała. Lopes i wsp. [2019], a także Rössler i wsp. [2016] wdrożyli program FIFA 11, który zawiera elementy ćwiczeń kształtujących

równowagę, ćwiczeń plajometrycznych, co nie wątpliwie mogło mieć wpływ na wyniki końcowe osiągnięte po dziesięcioletnich programach ćwiczeń.

Zredukowanie czasu ćwiczeń do ośmiu tygodni przez Benisa i wsp. [2016] pozwoliło uzyskać wśród zawodowych koszykarek istotną statystycznie poprawę wyników w teście Y-BT po zastosowanych ćwiczeniach nerwowo-mięśniowych w kierunku za plecy, kierunku tylnobocznym dla kończyny dolnej prawej i lewej, a także w wyniku złożonym testu Y-BT. Wyniki te są podobne do rezultatów uzyskanych przez piłkarzy nożnych, uczestniczących w dziesięcioletnich ćwiczeniach sensomotorycznych w niniejszym eksperymencie. Dodatkowe ćwiczenia nerwowo-mięśniowe wprowadzone przez Benisa i wsp. [2016] opierały się na ćwiczeniach stabilizacyjnych i plajometrycznych, ponadto brały one pod uwagę trzy stopnie trudności, a także nie uwzględniały ćwiczeń, które symulowałyby wykonanie testu Y-BT. Jedynych podobieństw pomiędzy zastosowanymi ćwiczeniami sensomotorycznymi w niniejszym eksperymencie a ćwiczeniami nerwowo-mięśniowymi, zaproponowanymi przez Benisa i wsp. [2016], należy doszukiwać się w tym, że obydwa programy wykorzystywały niestabilne pozycje w staniu na jednej kończynie dolnej. Pomimo różnicy dyscyplin sportowych, rodzaju wprowadzonych ćwiczeń, a także płci uczestników można zauważyć pomiędzy badaniami pewne podobieństwa, które mogły wpłynąć na poprawę wyników równowagi dynamicznej w teście Y-BT. Benis i wsp. [2016] zdecydowali się wprowadzić dodatkowe ćwiczenia dwa razy w tygodniu przed właściwym treningiem koszykówki i ćwiczenia wykonywane były w formie stacyjnej, ponadto zastosowanie ćwiczeń w staniu na jednej kończynie dolnej przyczyniło się prawdopodobnie do uzyskania zbliżonych rezultatów testu Y-BT w obydwóch eksperymentach. Alyson i wsp. [2010] przedstawili podobne wnioski dotyczące zastosowania ćwiczeń nerwowo-mięśniowych o czasie trwania ośmiu tygodni w nastoletniej żeńskiej drużynie piłki nożnej, uzyskując istotną statystycznie poprawę wyników w teście gwiazdy (SEBT). Zawodniczki uczestniczące w ćwiczeniach uzyskały istotną statystycznie poprawę wyników w kierunku tylnobocznym dla prawej i lewej kończyny dolnej, kierunku za plecy dla lewej kończyny dolnej, a także w wyniku całościowym testu Y-BT. Wyniki te potwierdzają, że dodatkowe ćwiczenia nerwowo-mięśniowe, wykorzystujące niestabilne pozycje w staniu na jednej kończynie dolnej, przyczyniają się do poprawy równowagi dynamicznej.

Badania niektórych autorów pokazują, że skrócenie czasu dodatkowych ćwiczeń stabilizacyjnych do sześciu tygodni wśród dorosłych biegaczy nie daje istotnej

statystycznie poprawy wyników w teście gwiazdy, jednakże grupa uczestnicząca w dodatkowych ćwiczeniach wykazała w badaniu końcowym większą poprawę wyniku w stosunku do badania wyjściowego (grupa eksperymentalna +21,92 cm, grupa kontrolna +10,25 cm) [Sato i Mokha 2009]. Pomares-Noguera i wsp. [2018] uzyskali w badaniu końcowym po czterotygodniowym czasie trwania programu i dodatkowych ćwiczeniach FIFA 11, stosowanych dwa razy w tygodniu wśród dzieci trenujących piłkę nożną, poprawę wyniku średniego we wszystkich kierunkach testu Y-BT w grupie uczęszczającej na ćwiczenia o (1,4 cm w kierunku przednim, 3,4 cm w kierunku tylnoprzódowym, 3,1 w kierunku tylnobocznym, 2,6 cm wyniku złożonym). Wyniki te nie wykazały jednak istotności statystycznej. Tym samym można przypuszczać, że zmniejszenie czasu wprowadzania dodatkowych ćwiczeń kształtujących równowagę ciała poniżej ośmiu tygodni wydaje się zbyt krótkim okresem do wywołania istotnych zmian w równowadze dynamicznej. Takie spostrzeżenie jest zgodne z sugestiami przedstawionymi przez Brachman i wsp. [2017].

Biorąc pod uwagę powyższe ustalenia, warto podkreślić, że dodatkowe programy ćwiczeń rzadko przyczyniają się do istotnej statystycznie poprawy wyników testu Y-BT w kierunku przednim (w niniejszym eksperymencie udało się uzyskać poprawę w kierunku przednim dla lewej kończyny dolnej), a do poprawy wyniku całkowitego testu Y-BT przyczyniają się kierunki tylnoboczny oraz za plecy [Alyson i wsp. 2010]. Jednak odmienne wnioski zaprezentował Jlid i wsp. [2019], wprowadzając wśród młodych piłkarzy dodatkowe ćwiczenia plajometryczne przez okres ośmiu tygodni, uzyskując istotną poprawę wyników w teście SEBT w każdym kierunku zarówno dla prawej, jak i dla lewej kończyny dolnej. Dyskusyjną kwestią, którą warto poruszyć w tym miejscu, jest sposób, w jaki badacze przedstawiają wyniki osiągnięte w Y-BT teście. W niniejszej pracy zdecydowano się przedstawić rezultaty dla każdej kończyny dolnej w każdym z trzech kierunków, wynik średni obydwóch kończyn w każdym z trzech kierunków, a także wynik całościowy testu Y-BT. Inni badacze postanowili przedstawić wyniki testu Y-BT obydwóch kończyn dolnych w każdym z trzech kierunków [Pomares-Noguera i wsp. 2018], kolejni zaprezentowali tylko wynik całościowy dla prawej i lewej kończyny dolnej [Sato i Mokha 2009]. Dywagacje na temat przedstawiania wyników testu Y-BT z pewnością pozostaną otwarte, jednak bardziej szczegółowe zaprezentowanie wyników pozwala dokładniej zinterpretować efekty wprowadzonych dodatkowych ćwiczeń, a także pokazuje, jakie deficyty występują w równowadze dynamicznej. Wykazane istotne różnice w danych kierunkach testu Y-BT po wprowadzonych dodatkowych programach

ćwiczeń niewątpliwie będą miały związek z zastosowanymi ćwiczeniami. Powstaje jednak pytanie, dlaczego ćwiczenia sensomotoryczne, zastosowane w niniejszym eksperymencie przyczyniły się do istotnej poprawy równowagi dynamicznej w kierunku przednim dla lewej kończyny dolnej oraz w kierunku tylnym za plecy dla kończyny dolnej prawej i lewej. Wydaje się, że związku tego należy doszukiwać się w kinematyce kończyny dolnej podczas wykonywania testu Y-BT lub starszej wersji testu SEBT, a szczególnie w zakresie ruchomości poszczególnych stawów. Hoch i wsp. [2012] wykazali umiarkowaną korelację pomiędzy zakresem ruchu zgięcia grzbietowego stawu skokowego, a kierunkiem przednim testu SEBT. Ponadto deficyt znormalizowanego zasięgu przedniego został stwierdzony u osób z przewlekłą niestabilnością stawu skokowego [Terada i wsp. 2014, Hoch i wsp. 2012]. Kang i wsp. [2015] sugerują, że większy zakres zgięcia stawu biodrowego przyczynia się do osiągania lepszych wyników w kierunku tylnobocznym oraz kierunku za plecy w teście Y-BT. Pomimo iż w niniejszym eksperymencie zakresu ruchomości poszczególnych stawów kończyny dolnej nie był przedmiotem badań, to doniesienia przedstawione przez badaczy mogą sugerować, dlaczego poprawa wyników w teście Y-BT nie zawsze występuje we wszystkich kierunkach.

Wyniki uzyskane w teście Y-BT pokazały ponadto, że wprowadzenie dodatkowych ćwiczeń sensomotorycznych przyczyniło się do zmniejszenia asymetrii w wynikach uzyskiwanych w teście Y-BT pomiędzy kończynami dolnymi. Istotną statystycznie poprawę uzyskano w grupie uczęszczającej na ćwiczenia w kierunku tylnym po skosie. Podobne wnioski dotyczące wpływu dodatkowych ćwiczeń kształtujących równowagę ciała na zmniejszenie asymetrii pomiędzy kończynami dolnymi w teście Y-BT przedstawili Parados-Mainer i wsp. [2019], którzy wprowadzili dodatkowe ćwiczenia oparte na programie rozgrzewki FIFA 11 wśród nastoletnich piłkarzy nożnych i uzyskali zmniejszenie asymetrii pomiędzy kończynami w kierunku tylnobocznym oraz w kierunku za plecy. Zmniejszenie asymetrii w wynikach testu Y-BT pomiędzy kończynami dolnymi może przyczynić się do zmniejszenia ilości urazów bezkontaktowych [Plisky i wsp. 2006]. Jednak przez badaczy tylko asymetria w kierunku przednim powyżej 4 cm uznawana jest za przyczynę zwiększonego ryzyka odniesienia urazu bezkontaktowego przez sportowców [Plisky i wsp. 2006]. Ponadto Read i wsp. [2018] sugerują, że poszczególne etapy dojrzwania młodych piłkarzy nie wpływają na różnicę w asymetrii testu Y-BT (kierunek przedni), zatem wiek badanych uczestników nie powinien wpływać na asymetrię w teście Y-BT. Biorąc pod uwagę powyższe

ustalenia, należy stwierdzić, że obydwa programy dodatkowych ćwiczeń nie wpłynęły na zmniejszenie asymetrii w kierunku przednim Y-BT, jednak uzyskane wyniki wskazują, że Parados-Mainer i wsp. [2019] osiągnęli dodatkowo zmniejszenie asymetrii w kierunku za plecy. Można jedynie założyć, że jej ograniczenie w każdym z trzech kierunków testu Y-BT byłoby możliwe, gdyby wprowadzone ćwiczenia sensomotoryczne miały charakter bardziej asymetryczny i ukierunkowane były na zmniejszenie asymetrii pomiędzy kończynami dolnymi. Zastosowane ćwiczenia sensomotoryczne w niniejszym eksperymencie miały na celu poprawę równowagi ciała wśród dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną oraz nie brały pod uwagę występujących asymetrii, co mogło wpłynąć na brak istotnego efektu w pozostałych kierunkach testu Y-BT. Uwzględnienie asymetrii i wprowadzenie ćwiczeń bardziej asymetrycznych w grupie dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną mogłoby przyczynić się także do zmniejszenia asymetrii w kierunku przednim i jednocześnie zmniejszyć ryzyko wystąpienia urazu bezkontaktowego [Plisky i wsp. 2006].

W niniejszych badaniach zarówno ćwiczenia sensomotoryczne, jak i program ćwiczeń FIFA 11 zaproponowany przez Parados-Mainer i wsp. [2019] zostały wdrożone przez okres dziesięciu tygodni, więc czas wprowadzonych dodatkowych ćwiczeń nie wpłynął na uzyskanie istotnego zmniejszenia asymetrii w kierunku za plecy przez Parados-Mainer i wsp. [2019]. Bardziej zasadne wydaje się rozpatrzenie różnicy pomiędzy wdrożonymi programami ćwiczeń, co mogło przyczynić się do uzyskania zmniejszenia asymetrii w dodatkowym kierunku. Występująca różnica pomiędzy ćwiczeniami sensomotorycznymi, zastosowanymi w niniejszym eksperymencie, a programem FIFA 11, zawierającym w sobie różne rodzaje ćwiczeń (równoważne, plajometryczne), mogła przyczynić się do uzyskania zmniejszenia asymetrii w kierunku za plecy.

Z założenia ćwiczenia sensomotoryczne mają kształtować równowagę ciała, wprowadzenie dziesięcioletniego programu ćwiczeń w grupie dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną nie wykazało istotności statystycznej w teście BESS (twarde podłoże, miękkie podłoże, wynik całkowity) pomiędzy badaniem pierwszym a końcowym w grupie objętej dodatkowymi ćwiczeniami sensomotorycznymi. Z uzyskanych w niniejszym eksperymencie wyników można wywnioskować, że obydwie grupy poprawiły swoje wyniki w badaniu końcowym i ćwiczenia sensomotoryczne nie przyczyniły się do poprawy wyników w teście BESS. Odmienne wyniki zostały zaprezentowane przez Zech i wsp. [2014], którzy wprowadzili swoje

ćwiczenia nerwowo-mięśniowe w grupie nastoletnich hokeistów przez okres dziesięciu tygodni, wdrażając dodatkowe ćwiczenia w grupie eksperymentalnej dwa razy w tygodniu, co pozwoliło uzyskać poprawę rezultatów w badaniu końcowym testu BESS. Zmniejszenie przez McLeod i wsp. [2009] czasu dodatkowych ćwiczeń nerwowo-mięśniowych w drużynie nastoletnich koszykarek wystarczyło do uzyskania poprawy wyników w teście BESS. Osoby wykonujące dodatkowe ćwiczenia poprawiły swój wynik na twardym podłożu, miękkim podłożu, a także w wyniku całkowitym testu BESS, który w grupie zakwalifikowanej do ćwiczeń poprawił się średnio o trzy punkty. Hale i wsp. [2014] zastosowali asymetryczne ćwiczenia równoważne wśród dorosłych osób z niestabilnością stawu skokowego. Ćwiczeniom poddana została kończyna dolna, w której nie stwierdzono niestabilności stawu skokowego, grupa zakwalifikowana do ćwiczeń wykonywała ćwiczenia równoważne dwa razy w tygodniu przez okres czterech tygodni, nie uzyskując w teście BESS żadnej poprawy wyników. Ponadto Notarnicola i wsp. [2016] zdecydowali podjąć się oceny wpływu treningu koszykówki na wyniki osiągnięte w teście BESS wśród nastoletnich zawodników. Zaprezentowane rezultaty pokazały, że dwunastotygodniowy trening koszykówki (zawierający elementy ćwiczeń równoważnych) przyczynił się do poprawy wyników w teście BESS. Uzyskane w niniejszej pracy efekty są zbieżne z uprzednio przywołanymi pracami. Można tutaj postawić hipotezę, że zawodnicy w niniejszym eksperymencie przyzwyczaili się do wykonywania tego testu (wystąpił tzw. efekt uczenia) i stąd nastąpiła znaczna poprawa wyników w obydwu grupach podczas badania końcowego. Ponadto w niniejszym doświadczeniu wprowadzone ćwiczenia sensomotoryczne nie uwzględniały ćwiczeń na kończynie dolnej niedominującej.

Ciekawych informacji dostarczyły w tym eksperymencie wyniki badań przeprowadzonych na platformie stabilometrycznej. Zawodnicy zostali poddani wielu próbom, które obejmowały testy w warunkach statycznych (próba z zamkniętymi i otwartymi oczami o czasie trwania trzydziestu sekund, próba z zamkniętymi i otwartymi oczami o czasie trwania sześćdziesięciu sekund), a także zadanie dynamiczne, polegające na wychyleniu środka nacisku stóp w kierunku podświetlonego obiektu. Uzyskane dane pochodzące z platformy stabilometrycznej wskazują, że po dziesięcioletnim programie dodatkowych ćwiczeń sensomotorycznych grupa uczęszczająca na dodatkowe ćwiczenia uzyskała istotną statystycznie poprawę wyników dla: długości ścieżki przy oczach otwartych o czasie trwania trzydziestu sekund, pola powierzchni przy oczach otwartych o czasie trwania trzydziestu sekund, a także długości ścieżki przy oczach

zamkniętych o czasie trwania trzydziestu sekund. Odmiennych informacji dostarczyło w niniejszym eksperymencie badanie dynamiczne przeprowadzone na platformie stabilometrycznej, z którego jasno wynika, że zarówno grupa uczestnicząca w dodatkowych ćwiczeniach przez okres sześciu tygodni oraz grupa kontrolna poprawiły swoje wyniki w następujących próbach: długość pokonanej ścieżki, czas dotarcia do celu prawy przód, czas dotarcia do celu lewy tył, czas dotarcia do celu prawy tył. Można więc stwierdzić, że ćwiczenia sensomotoryczne nie przyczyniły się do poprawy wyników w teście dynamicznym na platformie stabilometrycznej. Badanie statyczne o czasie trwania sześćdziesięciu sekund z otwartymi oczami (długość ścieżki i pole powierzchni) nie wykazało istotności statystycznej pomiędzy badaniem początkowym a końcowym w grupie uczęszczającej na ćwiczenia sensomotoryczne, także przy oczach zamkniętych w badaniu o czasie trwania sześćdziesięciu sekund (długość ścieżki i pole powierzchni) wyniki nie wskazują poprawy w badaniu końcowym. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że rejestrowane w niniejszym eksperymencie zmiany na platformie, takie jak przemieszczanie środka nacisku stóp (COP), odbywały się w pozycji stojącej na obydwóch kończynach dolnych zarówno podczas badania statycznego, jak i w trakcie przeprowadzania badania dynamicznego. Część badaczy wykonywała badanie oceny równowagi ciała w pozycji stojącej na obydwóch kończynach dolnych, jednak wykorzystywała do tego ruchomą powierzchnię platformy [Holm i wsp. 2004]. Inni badacze zdecydowali się na rejestrację przemieszczeń COP w staniu na jednej nodze [Verhagen i wsp. 2005, Paterno i wsp. 2004].

W ocenie stabilności kontroli równowagi ciała w oparciu o analizę stabilograficzną przyjmuje się, że mniejsze wartości COP świadczą o większej stabilności i sprawniejszej kontroli pozycji stojącej [Dmitruk i wsp. 2004, Błaszczyk 2004]. Wprowadzone w niniejszym eksperymencie ćwiczenia sensomotoryczne wpłynęły na poprawę wartości COP w badaniu o czasie trwania trzydziestu sekund z oczami otwartymi, co jest zgodne z wynikami zaprezentowanymi przez innych badaczy. Imai i wsp. [2014] realizowali dwunastotygodniowy program ćwiczeń stabilizacyjnych w grupie nastoletnich piłkarzy. Zawodnicy wykonywali dodatkowe ćwiczenia trzy razy w tygodniu, uzyskując poprawę wartości COP podczas badania statycznego w staniu na jednej nodze (kończynie dolnej dominującej) o czasie trwania dwudziestu sekund. Inni badacze stwierdzili dodatkowo, że ćwiczenia kształtujące równowagę ciała u osób trenujących piłkę nożną, wdrażane przez dwanaście tygodni powinny odbywać się przed właściwą jednostką treningową, gdyż powoduje to większą poprawę wartości COP niż

zastosowanie tych ćwiczeń po właściwej jednostce treningowej [Gioftsidou i wsp. 2006]. Także inni badacze, którzy zdecydowali się na wprowadzenie dodatkowych ćwiczeń o czasie trwania dziesięciu tygodni, osiągnęli podobne rezultaty do niniejszego eksperymentu i uzyskali poprawę przemieszczania COP w badaniu statycznym [Padua i wsp. 2019, Hoffman i Payne 1995].

W niniejszym badaniu oceniano zmiany w przemieszczaniu COP przed dziesięcioletnim programem dodatkowych ćwiczeń sensomotorycznych i po nim, co nie pozwala stwierdzić, czy ćwiczenia te wpłynęły na poprawę równowagi ciała w dłuższym okresie po zakończeniu eksperymentu. Holm i wsp [2004] skrócili czas trwania dodatkowych ćwiczeń kształtujących równowagę ciała wśród piłkarzy ręcznych do siedmiu tygodni i ocenili ich wpływ na przemieszczanie COP po ośmiu tygodniach, a także po dwunastu miesiącach od zakończenia dodatkowego programu ćwiczeń równoważnych. Badacze ustalili, że dodatkowe ćwiczenia znacznie poprawiły równowagę ciała, co więcej, poprawa ta utrzymywała się na poziomie 21% po roku od zakończenia ćwiczeń. Sugeruje to, że wprowadzenie dodatkowych ćwiczeń przyczynia się do poprawy równowagi ciała nie tylko po ich zakończeniu, ale także rok po ustaniu eksperymentu. Można założyć, że do poprawy równowagi w badaniu statycznym na platformach mierzących przemieszczanie COP wśród sportowców wystarczają programy dodatkowych ćwiczeń o czasie trwania krótszym niż zaprezentowane w niniejszym eksperymencie. Potwierdzają to doniesienia zaprezentowane przez Yoo i wsp. [2018], badacze zdecydowali się na porównanie sześciotygodniowego programu ćwiczeń proprioceptywnych oraz siłowych w grupie zawodników taekwondo. Zarówno grupa objęta ćwiczeniami propriocepcji jak i dodatkowymi ćwiczeniami siłowymi poprawiła istotnie wyniki COP. Jednak warto w tym miejscu zwrócić uwagę na specyfikę dyscyplin sportowych, jakimi są sporty walki, oraz jakie wyniki osiągają sportowcy w tych dyscyplinach na platformach stabilometrycznych. Specjalistyczny trening zawodników judo przyczynił się do większych przemieszczeń krzywej stabilogramu niż u osób o mniejszej sprawności fizycznej [Golema 1987]. Zatem nie można stwierdzić, że młodzi i sprawni zawodnicy charakteryzują się gorszą stabilnością kontroli równowagi ciała. Jednak wyższe wartości parametrów stabilogramu będą związane z efektem specjalistycznego (ukierunkowanego) treningu sportowego. Odmienne wnioski zaprezentowane przez Verhagena i wsp. [2005], dotyczące wpływu dodatkowych ćwiczeń wprowadzonych przez okres pięciu i pół tygodnia na przemieszczanie COP w staniu na jednej nodze w grupie zdrowych i aktywnych

studentów, którzy nie byli sportowcami, mówią, że dodatkowe ćwiczenia nie przyczyniły się do poprawy wartości COP. Doniesienia te przeczą, jakoby wprowadzone przez krótszy czas programy dodatkowych ćwiczeń poprawiały wyniki COP. Ponadto badacze sugerują, że brak efektu wprowadzonych ćwiczeń może być spowodowany wysokimi wynikami wyjściowymi, gdyż osoby uczestniczyły w sporcie uniwersyteckim. Sugestie te są jednak sprzeczne z zaprezentowanymi w niniejszym eksperymencie, gdzie grupa dzieci i młodzieży uprawiała piłkę nożną od minimum dwóch lat, a także odbywała co najmniej dwie jednostki treningowe w tygodniu, można więc założyć, że grupa ta reprezentowała wysokie wartości w badaniu początkowym. Wydaje się, że większy wpływ na brak istotnego efektu w przemieszczaniu COP mógł mieć stosunkowo krótki czas wprowadzonych ćwiczeń, na który zdecydowali się badacze, lub wybrane ćwiczenia nie były ukierunkowane na poprawę równowagi ciała.

Na podstawie dostępnych wyników badań można stwierdzić, że wprowadzanie dodatkowych ćwiczeń wpływa na poprawę wartości przemieszczania COP podczas badania statycznego, jednakże poprawa ta jest bardziej wyraźna przy dłuższym czasie wprowadzonej interwencji. Można założyć, że w niniejszych badaniach oprócz dziesięcioletniego czasu trwania ćwiczeń sensomotorycznych, ukierunkowanych na poprawę równowagi ciała, do poprawy wyników COP w badaniu statycznym przyczynił się także wiek badanej grupy. Zgodnie z doniesieniami Schedler i wsp. [2020] dzieci wykazują większe rezerwy adaptacyjne w stosunku do grupy nastolatków i po pięcioletnich ćwiczeniach równoważnych zarówno grupa dzieci, jak i młodzieży poprawiła przemieszczanie COP. Wyniki te potwierdzają, że dodatkowe ćwiczenia wprowadzane w grupie dzieci i młodzieży wpływają na poprawę równowagi statycznej.

W niniejszym eksperymencie wprowadzone ćwiczenia sensomotoryczne nie uwzględniały ćwiczeń z zamkniętymi oczami. Udało się jednak uzyskać istotną statystycznie poprawę wyniku długości ścieżki przy czasie trwania trzydziestu sekund z zamkniętymi oczami w grupie uczęszczającej na ćwiczenia. Do funkcjonowania regulacji postawy niezbędne jest prawidłowe przetwarzanie informacji z czterech wejść sensorycznych. Sygnały dostarczane są z błędniaka, narządu wzroku, proprioceptorów i receptorów dotykowych. Wyłączenie kontroli wzrokowej jako jednego z głównych zmysłów przyczynia się do pogorszenia precyzji funkcjonowania centralnego układu nerwowego, co przekłada się na niższy poziom równowagi statycznej [Starosta i Rynkiewicz 2008]. Wprowadzone ćwiczenia sensomotoryczne miały w swoich

założeniach poprawiać propriocepcję. Można zatem stwierdzić, że ćwiczenia sensomotoryczne, wdrożone przez okres dziesięciu tygodni w grupie dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną, przyczyniają się do poprawy funkcjonowania centralnego układu nerwowego przez poprawę propriocepcji.

Zastosowana metodologia badań w niniejszej pracy uwzględniała także badanie na platformie stabilometrycznej o czasie trwania sześćdziesięciu sekund. Otrzymane wyniki mogą sugerować, że wprowadzone ćwiczenia nie przyczyniły się do poprawy równowagi statycznej przy dłuższym czasie trwania badania na platformie stabilometrycznej. Wykazane różnice w badaniu o czasie trwania trzydziestu sekund i sześćdziesięciu sekund na platformie stabilometrycznej skłaniają do poszukiwania bardziej biomechanicznych wyjaśnień zaobserwowanych różnic. Nashner [1983] zaprezentował strategie odzyskiwania równowagi postawy, których zadaniem jest odpowiedź na zakłócenia stabilności. Podczas przeprowadzania badania na platformie stabilometrycznej pojawia się charakterystyczna aktywność mięśni stawu skokowego, która umożliwia kontrolę środka ciężkości nazywana przez badaczy „strategią stawu skokowego” [Błaszczyk 1993], a także „strategia stawu biodrowego”, charakteryzująca się aktywnością mięśni obręczy biodrowej. Ponadto badacze podkreślają, że strategia stawu skokowego jest skuteczna w kompensacji niewielkich zmian równowagi, które występują także w trakcie przeprowadzenia badania na platformie stabilometrycznej. Można więc założyć, że badanie o czasie trwania sześćdziesięciu sekund w grupie dzieci i młodzieży wymagało od zawodników większej aktywności mięśni stawu skokowego lub dłuższy czas badania przyczynił się do aktywności dodatkowych grup mięśniowych, co sugeruje, że wprowadzone dodatkowe ćwiczenia sensomotoryczne przez okres dziesięciu tygodni w grupie dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną mogły mieć zbyt krótki czas trwania, żeby wywołać większe zmiany w poprawie funkcjonowania układu nerwowego i wpłynąć na istotną poprawę wyników w badaniu statycznym o czasie trwania sześćdziesięciu sekund.

Pewnych sugestii dostarczają również wyniki badania dynamicznego, przeprowadzonego na platformie stabilometrycznej. Otrzymane wyniki w badaniu końcowym sugerują, że obydwie grupy poprawiły znacznie swoje rezultaty w badaniu końcowym (wystąpił tzw. efekt uczenia), a wprowadzone ćwiczenia sensomotoryczne nie wpłynęły na poprawę wyników w badaniu dynamicznym. Zastosowany program podczas przeprowadzania testu dynamicznego zgodnie z oprogramowaniem platformy był na poziomie łatwym, co mogło ułatwić szczególnie starszym zawodnikom uczenie się

wykonywania tego testu i osiągnięcie lepszych wyników w badaniu końcowym. Podobne rezultaty uzyskał Karadenizli i wsp. [2016], który objął dodatkowymi ćwiczeniami plajometrycznymi młode piłkarki ręczne. Wprowadzone ćwiczenia przez okres dziesięciu tygodni nie poprawiły wartości COP w dotarciu do celu podczas badania dynamicznego wykonywanego na obydwóch kończynach dolnych.

Naturalnym uzupełnieniem badań, które oceniały równowagę przed dziesięcioletnim programie ćwiczeń sensomotorycznych w grupie dzieci i młodzieży trenujących piłkę nożną i po nim, było przeprowadzenie testu funkcjonalnego, oceniającego równowagę ciała i jednocześnie jak najbardziej zbliżonego do charakterystyki dyscypliny sportowej, jaką jest piłka nożna. Po przeprowadzeniu i przeanalizowaniu prostego testu utrzymania piłki na stopie można stwierdzić, że w badaniu końcowym grupa uczestnicząca w dziesięcioletnim programie ćwiczeń sensomotorycznych, a także grupa kontrolna znacznie poprawiły czas utrzymania piłki na stopie zarówno na prawej, jak i lewej kończynie dolnej. Można jedynie domniemywać, że stosunkowo niskie wyniki uzyskiwane podczas badania początkowego spowodowały wprowadzenie do treningu piłkarskiego elementów ćwiczeń z utrzymaniem piłki na stopie i zawodnicy przyzwyczaili się do przeprowadzonego testu (wystąpił efekt tzw. „uczenia się”), co spowodowało, że zawodnicy osiągnęli lepszy wynik w badaniu końcowym. Podobnej oceny równowagi statycznej podjęli się Daneshjoo i wsp. [2012], oceniając dwa programy rozgrzewki wdrożone wśród piłkarzy nożnych i ich wpływ na poprawę równowagi ciała w teście stania na jednej nodze z zamkniętymi i otwartymi oczami. Wyniki okazały się odmienne od uzyskanych rezultatów w niniejszym eksperymencie, gdyż zawodnicy po okresie ośmiu tygodni i wdrożonych programach rozgrzewkowych poprawili swoje wyniki w teście stania na jednej nodze.

Zwinność nie występuje jako odrębna zdolność motoryczna, jednak ze względu na specyfikę piłki nożnej odgrywa w niej kluczową rolę i powinna być uwzględniona w szkoleniu piłkarskim już od najmłodszych lat uprawiania piłki nożnej [Makhlouf i wsp. 2018]. Alesi i wsp. [2015] podjęli się oceny wpływu sześciomiesięcznego treningu piłkarskiego na zwinność wśród dzieci i z ich badań jasno wynika, że dzieci regularnie trenujące piłkę nożną wykazują się większą zwinnością niż ich rówieśnicy, którzy nie trenują piłki nożnej. Powstaje więc pytanie, czy dodatkowe ćwiczenia sensomotoryczne, wprowadzone przez okres dziesięciu tygodni wśród dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną, przyczynią się do poprawy zwinności. W niniejszym eksperymencie

wykorzystany został test zwinności, opracowany na podstawie pracy Alesi i wsp. [2015] i oceniany był w nim czas pokonanego toru w badaniu pierwszym i końcowym. Zawodnicy uczęszczający na dziesięcioletnie ćwiczenia sensomotoryczne wykazali się znaczną poprawą czasu pokonanego toru, co sugeruje, że dziesięcioletnie ćwiczenia sensomotoryczne poprawiły zwinność wśród dzieci i nastolatków trenujących piłkę nożną. Badacze jako element treningu piłkarskiego zalecają wprowadzanie ćwiczeń kształtujących równowagę ciała, które powinny być wykonywane przed bardziej złożonymi zadaniami ruchowymi, co może przełożyć się również na poprawę zwinności w tej grupie wiekowej [Makhlouf i wsp. 2018]. Ponadto Makhlouf i wsp. [2018] podjęli się porównania dodatkowych ćwiczeń wprowadzonych w grupie młodych piłkarzy nożnych. Połączone ćwiczenia plajometryczne i równoważne, a także plajometryczne i zwinności w ciągu ośmiu tygodni z dwoma jednostkami ćwiczeniowymi w ciągu tygodnia przyczyniły się do poprawy zwinności w obu grupach. Inni badacze zastępowali rutynowy program rozgrzewki wśród nastoletnich piłkarzy nożnych ćwiczeniami opartymi na programie FIFA 11 [Rössler i wsp. 2016], ćwiczeniami nerwowo-mięśniowymi [Zouhal i wsp. 2019]. Programy te różniły się od siebie długością trwania oraz zastosowanymi ćwiczeniami, jednakże wszystkie przyczyniły się do poprawy zwinności w grupie nastoletnich piłkarzy nożnych. Doniesienia te są zgodne z wynikami otrzymanymi w niniejszym eksperymencie, jednakże warto podkreślić, że wdrożone w tym eksperymencie ćwiczenia trwały dziesięć tygodni i były prowadzone przed treningiem piłkarskim, co nie ingerowało w klasyczny protokół rozgrzewki, zaproponowany przez trenera danej grupy wiekowej. Można wyciągnąć wnioski, że wprowadzenie dodatkowych ćwiczeń, które zawierają elementy ćwiczeń równoważnych w grupie sportowców, przyczynia się do poprawy zwinności i nie jest to uzależnione ani od czasu trwania dodatkowych programów ćwiczeń, ani od wieku uczestników, a także od tego, czy dodatkowe ćwiczenia są wprowadzone jako dodatkowe programy ćwiczeń, czy zastępują dotychczasową rozgrzewkę.

Analizując wyniki niniejszego eksperymentu, dotyczące ultrasonografii mięśnia poprzecznego brzucha, można stwierdzić, że ćwiczenia sensomotoryczne wprowadzone przez okres dziesięciu tygodni w grupie dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną nie przyczyniły się do zmiany grubości mięśnia poprzecznego brzucha zarówno w pozycji leżącej, jak i stojącej. Ponadto z uzyskanych danych widać, że grubość mięśnia poprzecznego zwiększyła się zarówno w grupie uczestniczącej w ćwiczeniach sensomotorycznych, jak i w grupie kontrolnej pomiędzy pierwszym a końcowym

badaniem. Wszyscy zawodnicy zakwalifikowani do eksperymentu w badaniu końcowym uzyskali większą grubość mięśnia w pozycji leżącej (prawa i lewa strona) oraz w pozycji stojącej (prawa i lewa strona). Przedstawione wyniki grubości mięśnia poprzecznego brzucha w niniejszej pracy dotyczyły wykonanych pomiarów w czasie rzeczywistym i nie uwzględniały skalowania allometrycznego [Linek 2017b]. Przyczyn wzrostu grubości mięśnia poprzecznego brzucha w badaniu końcowym w obydwu grupach należy doszukiwać się zatem w zmianach, które nastąpiły w masie ciała pomiędzy badaniem początkowym a końcowym. Istotny wydaje się także występujący w badanej grupie okres dojrzewania i związany z nim tzw. skok pokwitaniowy, który uważany jest za krytyczny okres w kształtowaniu postawy ciała [Nowotny i wsp. 2008]. Zmiany w postawie ciała, a także w masie badanych uczestników mogły przyczynić się do zwiększenia grubości mięśnia poprzecznego brzucha w obydwóch grupach. Warto podkreślić, że postawa ciała i jej ewentualne zmiany w badaniu końcowym nie były przedmiotem badań w niniejszym eksperymencie. Odmiennie wnioski dotyczące zmian w grubości mięśnia poprzecznego brzucha przedstawił Zheng i wsp. [2019]. Badacze w swoich eksperymentach zastosowali ośmiotygodniowy program ćwiczeń stabilizacyjnych u osób dorosłych, uzyskując w badaniu końcowym zwiększenie grubości mięśnia poprzecznego brzucha zarówno z prawej, jak i lewej strony. Przyczyn różnic pomiędzy wynikami osiągniętymi w niniejszym eksperymencie a doniesieniami Zheng i wsp. [2019] należy doszukiwać się w wieku badanej grupy, która została zakwalifikowana do eksperymentu (była to grupa dzieci i młodzieży). Jednak istotny wpływ na zmianę grubości mięśnia poprzecznego brzucha mogła mieć także metodyka zastosowanych ćwiczeń. Badacze zdecydowali się wprowadzić dodatkowe ćwiczenia przez okres ośmiu tygodni z intensywnością trzech jednostek ćwiczeniowych w każdym tygodniu, ponadto każda jednostka ćwiczeniowa trwała 45 minut. Można więc zauważyć, że zastosowane przez badaczy ćwiczenia charakteryzowały się większą intensywnością niż wdrożone w niniejszym eksperymencie ćwiczenia sensomotoryczne. Podobne wnioski w grupie dorosłych osób zaprezentował także Cho [2013], który zdecydował się na porównanie wpływu ćwiczeń zmodyfikowanego przysiadu i ćwiczeń stabilizacyjnych na grubość mięśnia poprzecznego brzucha. Wdrożone ćwiczenia wykonywane były przez okres sześciu tygodni z intensywnością trzech jednostek ćwiczeniowych w każdym tygodniu, ponadto każda jednostka ćwiczeniowa trwała 30 minut. Wyniki przedstawione przez innych badaczy różnią się od otrzymanych w niniejszym eksperymencie. Niewątpliwie ma to związek z wiekiem badanej grupy, ale także może wiązać się ze

specyfiką i intensywnością wprowadzonych ćwiczeń. W niniejszym doświadczeniu zostały wprowadzone ćwiczenia sensomotoryczne, których głównym założeniem jest kształtowanie równowagi ciała. Powstaje więc dodatkowe pytanie, czy podczas wykonywania ćwiczeń, które w swoich założeniach mają kształtować równowagę ciała, dochodzi do zmian w grubości mięśnia poprzecznego brzucha. Pomimo iż nie było to przedmiotem badań w niniejszym eksperymencie, to warto w tym miejscu wspomnieć, jak zmienia się grubość mięśnia poprzecznego brzucha w obrazie ultrasonograficznym podczas ćwiczeń kształtujących równowagę ciała. Wnioski zaprezentowane przez Yong-Chan Do i Won-Gyu-Yoo [2015] mówią, że podczas wykonywania ćwiczeń na niestabilnym podłożu dochodzi do zmian w grubości mięśnia poprzecznego brzucha. Można więc założyć, że wykonywanie ćwiczeń sensomotorycznych w okresie dłuższym niż dziesięć tygodni lub z większą intensywnością mogłoby wpłynąć na zmiany grubości mięśnia poprzecznego wśród dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną.

W tym miejscu warto wspomnieć o ograniczeniach, które wystąpiły podczas przeprowadzania niniejszego eksperymentu. Do badań została zakwalifikowana grupa dzieci i młodzieży, uprawiająca piłkę nożną, w wieku 10-17 lat. Wyniki dziesięcioletnich ćwiczeń sensomotorycznych nie powinny być zatem swobodnie przenoszone na inne dyscypliny sportowe oraz na dzieci i nastolatków nieuprawiających żadnego sportu. W eksperymencie brały udział osoby, które od minimum dwóch lat trenowały piłkę nożną. Ponadto były rekrutowane do eksperymentu z jednej akademii piłkarskiej i pomimo zapewnień nie było kontroli nad ich uczestnictwem w innych formach aktywności (poza ćwiczeniami sensomotorycznymi i treningiem piłkarskim). Nie został uwzględniony wśród badanych wiek biologiczny, więc nie było możliwości oceny stopnia fizycznej, psychicznej, poznawczej i emocjonalnej dojrzałości organizmu badanych uczestników. Przydział do danej grupy oraz do danego trenera odbywał się w akademii na zasadach ustalonych przez Śląski Związek Piłki Nożnej, czyli na podstawie roku urodzenia. Nie został zastosowany w badaniach podział na grupę młodszą i starszą, czyli nie ma możliwości porównania, czy osoby młodsze lub starsze (które były już prawdopodobnie po etapie dojrzewania) wykazują większe/mniejsze możliwości adaptacyjne po ćwiczeniach sensomotorycznych oraz lepszą/gorszą poprawę równowagi ciała. Wyjściowo grupę eksperymentalną i kontrolną stanowiła równa liczba 55 osób. Do badania końcowego z grupy eksperymentalnej przystąpiły 43 osoby, a z grupy kontrolnej 47. Zmniejszenie ilości osób w obu grupach było niewątpliwie związane z rozwiązaniem najstarszego rocznika w trakcie trwania eksperymentu z powodu przejścia na poziom

seniorski, co wiązało się ze zmianą klubu. Tego aspektu również nie wzięto pod uwagę podczas projektowania niniejszych badań. Wprowadzone dodatkowe ćwiczenia sensomotoryczne (ze względu na specyfikę sportu i ilość uczestników) przeprowadzane były w formie stacyjnej i ilość powtórzeń była jednakowa dla każdego rocznika (ćwiczenia nie uwzględniały podziału na młodszych i starszych), a także nie zawierały one przejścia od łatwiejszych do trudniejszych ćwiczeń, co mogłoby przyczynić się do większej poprawy równowagi ciała. Zastosowane w eksperymencie narzędzia badawcze do badania równowagi ciała oceniały równowagę w warunkach statycznych, jak również dynamicznych, nie został przeprowadzony pomiar przemieszczania COP w staniu na jednej nodze. Nie zastosowano także testu funkcjonalnego, który pomógłby sprawdzić, czy dziesięciodniowy program ćwiczeń sensomotorycznych przyczynia się do poprawy celności podania lub strzału, a są to istotne elementy podczas uprawiania piłki nożnej. Badanie mięśnia poprzecznego brzucha odbyło się za pomocą ultrasonografii, co umożliwiło tylko pomiar jego grubości. Warto wprowadzić inne metody badania obrazowego, które będą także zaakceptowane przez rodziców/opiekunów prawnych. Ponadto wszystkie pomiary ultrasonografii zostały przeprowadzone w statycznej pozycji leżącej i stojącej. Aktywność mięśnia poprzecznego brzucha podczas różnych specyficznych ruchów, charakterystycznych dla piłki nożnej, mogłaby powodować zmianę jego grubości w pozycjach bardziej funkcjonalnych.

Oprócz ograniczeń, które wystąpiły podczas niniejszego eksperymentu, warto byłoby w przyszłości sprawdzić, czy dane ćwiczenia sensomotoryczne wprowadzone przez okres dziesięciu tygodni poprawią równowagę ciała oraz zwinność wśród dzieci i nastolatków uprawiających inne dyscypliny sportowe, co mogłoby pozwolić na szersze zastosowanie danych ćwiczeń. Wprowadzając ćwiczenia sensomotoryczne w grupie dzieci i młodzieży, istotne wydaje się ustalenie wieku biologicznego uczestników, co pozwoliłoby określić, na jakim etapie dojrzewania znajdują się uczestnicy. Warto w przyszłych badaniach wykorzystywać narzędzia pozwalające ocenić równowagę ciała w pozycjach statycznych oraz dynamicznych (przemieszczanie COP w staniu na jednej nodze). Zastosowane testy funkcjonalne i zwinności powinny być w swoich założeniach jak najbardziej zbliżone do charakterystyki danej dyscypliny sportowej. Ponadto pomimo iż nie było to przedmiotem tego badania, warto ocenić, czy ćwiczenia sensomotoryczne wprowadzone przez okres dziesięciu tygodni zmniejszą ilość urazów w danej dyscyplinie sportowej.

8. WNIOSKI

1. Dziesięciodniowy program dodatkowych ćwiczeń sensomotorycznych poprawił wybrane parametry określające równowagę u dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną.
2. Zastosowany program ćwiczeń poprawił zwinność w grupie dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną.
3. Grubość mięśnia poprzecznego brzucha nie uległa zmianie po przeprowadzonym programie ćwiczeń sensomotorycznych w badanej grupie piłkarzy.
4. Niniejszy eksperyment badawczy potwierdził potencjał ćwiczeń sensomotorycznych do poprawy wybranych parametrów równowagi i zwinności w grupie dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną, co wskazuje na konieczność uwzględniania ich w programach treningowych.

9. BIBLIOGRAFIA

1. Adlerton AK., Moritz U., Moe-Nilssen R.: Forceplate and accelerometer measures for evaluating the effect of muscle fatigue on postural control during one-legged stance. *Physiother. Res. Int.* 2003;8(4):187-199.
2. Ageberg E., Roberts D., Holmström E. i wsp.: Balance in single-limb stance in healthy subjects-reliability of testing procedure and the effect of short-duration sub-maximal cycling. *BMC Musculoskel. Dis.* 2003;4:14:10.1186/1471-2474-4-14.
3. Akınoğlu B., Kocahan T.: Stabilization training versus equilibrium training in karate athletes with deafness. *J. Exerc. Rehabil.* 2019;15(4):576-583.
4. Alesi M., Bianco A., Padulo J. i wsp.: Motor and cognitive growth following a football training program. *Front. Psychol.* 2015;6:1627:10.3389.
5. Alyson F., Byrnes R., Paterno MV. i wsp.: Neuromuscular training improves performance on the star excursion balance test in young female athletes. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 2010;40(9):551-558.
6. Anoop A., Kalpana Z., Jamia H. i wsp. Comparing stabilization training with balance training in recreationally active individuals. *IJTR.* 2010;17:244-253.
7. Asadi A., Saez de Villarreal E., Arazi H.: The effects of plyometric type neuromuscular training on postural control performance of male team basketball players. *J. Strength Cond. Res.* 2015;29(7):1870–1875.
8. Augustyniak P.: Przetwarzanie sygnałów elektrodagnostycznych. Wydawnictwo AGH. Kraków 2001.
9. Bagherian S., Ghasempoor K., Rahnama N. i wsp.: The effect of core stability training on functional movement patterns in college athletes. 2019;28(5):444-449.
10. Barati AH., Bagheri A., Azimi R. i wsp.: Comparison balance and footprint parameters in normal and overweight children. *Int. J. Prev. Med.* 2013;4:92-97.

11. Barber-Westin SD., Hermeto AA., Noyes FR.: A six-week neuromuscular training program for competitive junior tennis players. *J. Strength Cond. Res.* 2010;24(9):2372-2382.
12. Bellows R., Wong CK.: The effect of bracing and balance training on ankle sprain incidence among athletes: A systematic review with meta-analysis. *Int. J. Sports Phys. Ther.* 2018;13(3):379-388.
13. Benis R., Bonato M., Torre A.: Elite female basketball players body-weight neuromuscular training and performance on the y-balance test. *J. Athl. Train.* 2016;51(9):688–695.
14. Błaszczyk J.: Kontrola stabilności postawy ciała. *Kosmos.* 1993;42(2):473-486.
15. Błaszczyk J.: Biomechanika kliniczna. Podręcznik dla studentów medycyny i fizjoterapii. PZWL Wydawnictwo Lekarskie. Warszawa 2004.
16. Błaszczyk J., Czerwosz L.: Stabilność posturalna w procesie starzenia. *Gerontol. Pol.* 2005;13(1):25-36.
17. Bochenek A. Anatomia człowieka. Tom 1.: PZWL Wydawnictwo Lekarskie 2016.
18. Bogduk N., Macintosh JE.: The applied anatomy of the thoracolumbar fascia. *Spine.* 1984;9:164-170.
19. Bouteraa I., Negra Y., Shephard Roy J. i wsp.: Effects of combined balance and plyometric training on athletic performance in female basketball players. *J. Strength Cond. Res.* 2018;0000000000002546.
20. Brachman A., Kamieniarz A., Michalska J. i wsp.: Balance training programs in athletes - a systematic review. *J. Hum. Kinet.* 2017;58:45–64.
21. Bruhn S., Kullmann N., Gollhofer A.: The effects of a sensorimotor training and a strength training on postural stabilisation, maximum isometric contraction and jump performance. *Int. J. Sports Med.* 2004;25(1):56-60.

22. Buyruk H., Stam H., Snijders C.: Measurement of sacroiliac joint stiffness in peripartum pelvic pain patients with Doppler imaging of vibrations. *Eur. J. Obstet. Gynecol. Reprod. Biol.* 1999;83:159-163.
23. Caldemeyer LE., Brown SM., Mulcahey MK.: Neuromuscular training for the prevention of ankle sprains in female athletes: A systematic review. *Phys. Sportsmed.* 2020;28:1-7.
24. Cankaya S., Gokmen B., Tasmektepligil MY. i wsp.: Special balance developer training applications on young males - static and dynamic balance performance. *Anthropologist.* 2015;19(1):31–39.
25. Campolettano ET., Brolinson G., Rowson S.: Postural control and head impact exposure in youth football players: comparison of the balance error scoring system and a force plate protocol. *J. Appl. Biomech.* 2018;34(2):127-133.
26. Cè E., Longo S., Paleari E. i wsp.: Evidence of balance training-induced improvement in soccer-specific skills in U11 soccer players. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2018;28(11):2443-2456.
27. Cho M.: The effects of modified wall squat exercises on average adults' deep abdominal muscle thickness and lumbar stability. *J. Phys. Ther. Sci.* 2013;25(6):689-692.
28. Comerford M., Mottram S.: Functional stability re-training: principles and strategies for managing mechanical dysfunction. *Man. Ther.* 2001;6(1):3–14.
29. Cressey EM., West CA., Tiberio DP. i wsp.: The effects of ten weeks of lower-body unstable surface training on markers of athletic performance. *J. Strength Cond. Res.* 2007;21(2):561-567.
30. Cresswell AG., Oddsson L., Thorstensson A.: The influence of sudden perturbations on trunk muscle activity and intra-abdominal pressure while standing. *Exp. Brain Res.* 1994;98:336-341.
31. Daneshjoo A., Mokhtar AH., Rahnama N. i wsp.: The effects of comprehensive warm-up programs on proprioception, static and dynamic balance on male soccer players. *PLoS One.* 2012;7(12):1–10.

32. Daniel B., Pruszyński B.: Anatomia radiologiczna. Wydawnictwo PZWL. Warszawa 2005.
33. Dimitruk K., Klawe J., Tafil-Klawe M. i wsp.: Wielkość parametrów posturograficznych w procesie utrzymania równowagi u tancerza. *Fizjoter. Pol.* 2004;4(1):47-51.
34. Dobrijević S., Moskovljević L., Dabović M.: The influence of proprioceptive training on young rhythmic gymnasts balance. *Facta Univ*, 2016;14(2):247–255.
35. Docherty CL., McLeod TCV., Shultz SJ.: Postural control deficits in participants with functional ankle instability as measured by the balance error scoring system. *Clin. J. Sport Med.* 2006;16(3):203-208.
36. Eils E., Schröter R., Schröder M., i wsp.: Multistation proprioceptive exercise program prevents ankle injuries in basketball. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2010;42(11):2098-2105.
37. Eisen T., Danoff J., Leone J. i wsp.: The effects of multiaxial and uniaxial unstable surface balance training in college athletes. *J. Strength Cond. Res.* 2010;24(7):1740–1745.
38. Ekstrand J., Hägglund M., Waldén M.: Injury incidence and injury patterns in professional football - the UEFA injury study. *Br. J. Sports. Med.* 2011;45(7):533–538.
39. Emery CA., Meeuwisse WH.: The effectiveness of a neuromuscular prevention strategy to reduce injuries in youth soccer: a cluster-randomised controlled trial. *Br. J. Sports Med.* 2010; 44(8):555-562.
40. Emeryk-Szajewska B.: Elektrofizjologiczna diagnostyka obwodowego układu nerwowego w zespołach paranowotworowych. *Polski Przegląd Neurologiczny.* 2008;4(4):190-198.
41. Ferreira PH., Ferreira ML., Hodges PW.: Changes in recruitment of the abdominal muscles in people with low back pain: ultrasound measurement of muscle activity. *Spine.* 2004;29(22):2560-2566.

42. Fijałkowska B.: Etyka i EBM w fizjoterapii oraz terapii zajęciowej. *Postępy Rehabilitacji*. 2012;(4):47-53.
43. Gioftsidou A., Malliou P., Pafis G. i wsp.: The effects of soccer training and timing of balance training on balance ability. *Eur. J. Appl. Physiol*. 2006;96(6):659–664.
44. Gnat R., Saulicz E., Kuszewski M.: Zaburzenia funkcjonowania systemów stabilizacyjnych kompleksu biodrowo – miedniczo – lędźwiowego. *Fizjoterapia*. 2006;14(3):83-93 a.
45. Gnat R., Saulicz E., Kuszewski M.: Współczesne poglądy na temat systemów stabilizacyjnych kompleksu biodrowo – miedniczo – lędźwiowego. *Fizjoterapia*. 2006;14(3): 64-67 b.
46. Golema M.: *Stabilność pozycji stojącej*. Studia i Monografie. AWF Wrocław 1987.
47. Gonell AC., Romero JAP., Soler LM.: Relationship between the y balance test scores and soft tissue injury incidence in a soccer team. *Int. J. Sports Phys. Ther.* 2015;10(7):955-966.
48. Gracovetsky S., Farfan H., Helleur C.: The abdominal mechanism. *Spine*. 1985;10:317-324.
49. Greenspan A.: *Diagnostyka obrazowa w ortopedii*. Wydawnictwo Medipage. Warszawa 2011.
50. Hale SA., Fergus A., Axmacher R. i wsp.: Bilateral improvements in lower extremity function after unilateral balance training in individuals with chronic ankle instability. *J Athl. Train*. 2014;49(2):181-191.
51. Hammami R., Granacher U., Makhoulouf I. i wsp.: Sequencing effects of balance and plyometric training on physical performance in youth soccer athletes. *J. Strength Cond. Res*. 2016;12:3278-3289.
52. Heleno LR., Da Silva RA., Shigaki L. i wsp.: 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*. 2016;22:74-80.

53. Hertel J., Miller SJ., Denegar CR., Intratester and intertester reliability during the star excursion balance tests. *J. Sport Rehabil.* 2000;9(2):104 -116.
54. Hides JA., Stokes MJ., Saide M. i wsp.: Evidence of lumbar multifidus muscle wasting ipsilateral to symptoms in patients with acute/subacute low back pain. *Spine.* 1994;19:165-172.
55. Hides JA., Wilson S., Stanton W. i wsp.: An MRI investigation into the function of the transversus abdominis muscle during “drawing-in” of the abdominal wall. *Spine.* 2006;31:175-178.
56. Hoch MC., Staton GS., McKeon JMM. i wsp.: Dorsiflexion and dynamic postural control deficits are present in those with chronic ankle instability. *J. Sci. Med Sport* 2012;15(6):574-579.
57. Hodges PW.: Is there a role of transversus abdominis in lumbo-pelvic stability? *Manual Ther.* 1999;4:74-86.
58. Hodges PW., Gurfinkel VS., Brumagne S. i wsp.: Coexistence of stability and mobility in postural control: evidence from postural compensation for respiration. *Exp. Brain Res.* 2002;144(3):293–302.
59. Hodges PW., Kaigle Holm A., Holm S. i wsp.: Intervertebral stiffness of the spine is increased by evoked contraction of transversus abdominis and the diaphragm: in vivo porcine studies. *Spine.* 2003;28(23):2594-2601.
60. Hodges PW., Richardson CA.: Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. *Phys Ther* 1997;77:132-144 a.
61. Hodges PW., Richardson CA.: Feed forward contraction of transversus abdominis is not influenced by the direction of arm movement. *Exp Brain Res* 1997;114:362-370 b.
62. Hodges PW., Richardson CA.: Relationship between limb movement speed and associated contraction of the trunk muscles. *Ergonomics* 1997;40:1220-1230 c.
63. Hoffman J., Gabel P.: Expanding Panjabi's stability model to express movement: A theoretical model. *Medical Hypotheses* 2013; 80:692–697.

64. Hoffman M., Payne VG.: The effect of proprioceptive ankle disk training on healthy subjects. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 1995;21:90-93.
65. Holm I., Fosdahl MA., Friis A i wsp.: Effect of neuromuscular training on proprioception, balance, muscle strength, and lower limb function in female team handball players. *Clin. J. Sport. Med.* 2004;14(2):88–94.
66. Hootman JM., Dick R., Agel J.: Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: Summary and recommendations for injury prevention initiatives. *J. Athl. Train.* 2007;42(2):311-319.
67. Hrysomallis C.: Balance ability and athletic performance. *Sport. Med.* 2011;41(3):221-232.
68. Iacono Dello A., Martone D., Alfieri A. i wsp.: Core stability training program effects on static and dynamic balance abilities. *Gazz. Med. Ital.* 2014;173(4):197-206.
69. Imai A., Kaneoka K., Okubo Y. i wsp.: Effects of two types of trunk exercises on balance and athletic performance in youth soccer players. *Int. J. Sports Phys. Ther.* 2014;9(1):47–57.
70. Janda V.: Muscles and motor control in low back pain:assessment and management. In: Twomey, L.T. (Ed.), *PhysicalTherapy of the Low Back*. Churchill Livingstone, New York. 1987;253–278.
71. Janda V., VaVrova M.: Sensory motor stimulation. In:Liebenson, C. (Ed.), *Rehabilitation of the Spine*. Williams &Wilkins, Baltimore. 1996;319–328.
72. Jlid MC., Racil G., Coquart J. i wsp.: Multidirectional plyometric training: Very efficient way to improve vertical jump performance, change of direction performance and dynamic postural control in young soccer players. *Front Physiol.* 2019;9(10):1462.
73. Juras G.: *Koordynacyjne uwarunkowania procesu uczenia się utrzymywania równowagi ciała*. AWF Katowice 2003.
74. Kachanathu S., Tyagi P., Anand P. i wsp.: Effect of core stabilization training on dynamic balance in professional soccer players. *Phys. Medizin. Rehabil. Kurortmedizin.* 2014;24(6):299–304.

75. Kang MH., Kim GM., Kwon OY. i wsp.: Relationship between the kinematics of the trunk and lower extremity and performance on the Y-balance test. *J. Pmrj.* 2015;7(11):1152-1158.
76. Kang SH., Kim CW., Kim Y IL. i wsp.: Alterations of muscular strength and left and right limb balance in weightlifters after an 8-week balance training program. *J. Phys. Ther. Sci.* 2013;25(7):895–900.
77. Kapandji IA.: *Funktionelle Anatomie der Gelenke, Band 3: Rumpf und Wirbelsäule*, Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart 1992.
78. Karadenizli ZI.: The effects of plyometric education trainings on balance and some psychomotor characteristics of school handball team. *Univers J. Educ. Res.* 2016;4(10):2286–2293.
79. Kean CO., Behm DG., Young WB.: Fixed foot balance training increases rectus femoris activation during landing and jump height in recreationally active women. *J. Sports Sci. Med.* 2006;5(1):138-148.
80. Khanna NK., Baumgartner K., LaBella CR.: Balance error scoring system performance in children and adolescents with no history of concussion. *Sports Health.* 2015;7(4):341-345.
81. Kiesel KB., Underwood FB., Matacolla C., i wsp.: A comparison of select trunk muscle thickness change between subjects with low back pain classified in the treatment-based classification system and asymptomatic controls. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 2007;37:596-607.
82. Kostiukow A., Rostkowska E., Samborski W.: Badanie zdolności zachowania równowagi ciała. *Ann. Acad. Med. Stetin.* 2009;55:102–109.
83. Koźmin A.: Ćwiczenia kompleksowe w nauczaniu i doskonaleniu techniki piłki nożnej: (w świetle struktury motoryczności). *Acta Sci. Acad. Ostroviensis.* 2005;19:45-49.

84. Kraemer R., Knobloch K.: A soccer-specific balance training program for hamstring muscle and patellar and achilles tendon injuries: An intervention study in premier league female soccer. *Am. J. Sports Med.* 2009;37(7):1384-1393.
85. Krawiecki Z., Hulewicz A., Cichocki-Kaiser M.: Przetwarzanie i analiza sygnału elektrycznego z mięśni przy użyciu komputerowego stanowiska pomiarowego. *Pozn. Univ. Technol. Acad. J. Electr. Eng.* 2016;88:35-45.
86. Kuczyński M., Podbielska M., Bieć D. i wsp.: Podstawy oceny równowagi ciała: czyli co, w jaki sposób i dlaczego powinniśmy mierzyć. *Acta Biooptica Inf. Med.* 2012;4(18):243-249.
87. Kümmel J., Kramer A., Giboin LS. i wsp.: Specificity of balance training in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis. *Sport Med*, 2016;46(9):1261–1271.
88. Leininger RE., Knox CL., Comstock RD.: Epidemiology of 1.6 million pediatric soccer-related injuries presenting to US emergency departments from 1990 to 2003. *Am. J. Sports Med.* 2007;35(2):288-293.
89. Lephart SM., Smoliga JM., Myers JB., i wsp.: An eight-week golf-specific exercise program improves physical characteristics, swing mechanics, and golf performance in recreational golfers. *J. Strength Cond. Res.* 2007;21(3):860-869.
90. Linek P.: Could changes in the ultrasound image of the muscles of the lateral abdominal wall be seen as a sign of muscle activity? A narrative review. *Eur. J. Clin. Exp. Med.* 2017;15(1):59–65 a.
91. Linek P.: The importance of body mass normalisation for ultrasound measurement of the transversus abdominis muscle: The effect of age, gender and sport practice. *Musculoskelet Sci. Pract.* 2017;(28):65-70 b.
92. Linek P., Saulicz E., Wolny T. i wsp.: Intra-rater reliability of B-mode ultrasound imaging of the abdominal muscles in healthy adolescents during the active straight leg raise test. *PMR.* 2014;7:53–59.
93. Linek P., Sikora D., Wolny T. i wsp.: Reliability and number of trials of Y Balance Test in adolescent athletes. *Musculoskelet. Sci. Pract.* 2017;31:72-75.

94. Lopes M., Lopes S., Patinha T. i wsp.: Balance and proprioception responses to FIFA 11+ in amateur futsal players: Short and long-term effects. *J. Sports Sci.* 2019;37(20):2300-2308.
95. Lust KR., Sandrey MA., Bulger SM. i wsp.: The effects of 6-week training programs on throwing accuracy, proprioception, and core endurance in baseball. *J. Sport Rehabil.* 2009;18(3):407–426.
96. Mahieu NN., Witvrouw E., Van De Voorde D. i wsp.: Improving strength and postural control in young skiers: Whole-body vibration versus equivalent resistance training. *J. Athl. Train.* 2006;41(3):286–293.
97. Makhlouf I., Chaouachi A., Chaouachi M. i wsp.: Combination of agility and plyometric training provides similar training benefits as combined balance and plyometric training in young soccer players. *Front Physiol.* 2018;9:01611.
98. Malliou P., Amoutzas K., Theodosiou A. i wsp.: Proprioceptive training for learning downhill skiing. *Percept. Mot. Skills.* 2004;99(1):149-154.
99. Mandelbaum BR., Silvers HJ., Watanabe DS. i wsp.: Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing the incidence of anterior cruciate ligament injuries in female athletes : 2-year follow up. *Am. J. Sports Med.* 2005;33(7):1003–1010.
100. Manolopoulos K., Gissis I., Galazoulas C. i wsp.: Effect of combined sensorimotor-resistance training on strength, balance and jumping performance of soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 2016;30(1):53–59.
101. Matin KB., Yalfani A., Farzaneh G. i wsp.: Neuromuscular training as the basis for developing the level of the static and dynamic balance in selected students of physical. *Int. J. Sport Sci. Fit.* 2014;4(1):20-38.
102. McGuine TA., Greene JJ., Best T. i wsp.: Balance as a predictor of ankle injuries in high school basketball players. *Clin. J. Sport Med.* 2000;10(4):239-244.
103. McGuine TA., Keene JS.: The effect of a balance training program on the risk of ankle sprains in high school athletes. *Am. J. Sports Med.* 2006;34(7):1103-1111.

104. Mcleod TCV., Armstrong T., Miller M. i wsp.: Balance improvements in female high school basketball players after a 6-week neuromuscular-training program. *J. Sport Rehabil.* 2009;18:465-481.
105. Mikołajewska E.: Metody obiektywizacji wyników fizjoterapii. *Rocznik Naukowy. AWFiS Gdańsk.* 2011:101-107.
106. Moseley GL., Hodges PW., Gandevia SC.: External perturbation of the trunk in standing humans differentially activates components of the medial back muscles. *J. Physiol.* 2003;547:581-587.
107. Mraz M., Ostrowska B., Mraz M.: Stabilność posturalna od dzieciństwa do starości. *Gerontol. Współczesna.* 2014;2(2):83-86.
108. Myriknas SE., Beith ID., Harrison PJ.: Stretch reflexes in the rectus abdominis muscle in man. *Exp. Physiol.* 2000;85:445-450.
109. Nashner LM.: Strategies for organization of human posture. [W:] Igarashi M., Black FO., (red.), Vestibular and visual control on posture and locomotor equilibrium. 7th Int. Symp. Int. Soc. Posturography. Houston Tex (Karger Basel 1985). 1983:1-8.
110. Nashner LM., Shupert C., Horak F. i wsp.: Organization of posture controls: An analysis of sensory and mechanical constraints. *Prog. Brain Res.* 1989;80:411-418.
111. Notarnicola A., Maccagnano G., Tafuri S. i wsp.: Effects of training on postural stability in young basketball players. *J. Muscles Ligaments Tendons.* 2016;5(4):310-315.
112. Nowotny J., Czupryna K., Rudzińska A. i wsp.: Zmiana postawy ciała w pierwszych sześciu latach nauki szkolnej. *Fizjoter. Pol.* 2008;4(4):378-383.
113. Nowotny J., Saulicz E., Czupryna K. i wsp.: Podstawy fizjoterapii. Tom 3. Wydawnictwo KASPER. Kraków 2005.
114. O'Brien J., Finch CF.: Injury prevention exercise programs for professional soccer: understanding the perceptions of the end-users. *Clin. J. Sport Med.* 2017;27(1):1-9.
115. Ocetkiewicz T., Skalska A., Grodzicki T. Badanie równowagi przy użyciu platformy balansowej- ocena powtarzalności metody. *Gerontol. Pol.* 2006;14(3):144-148.

116. Ordyłowski M.: Historia kultury fizycznej. Starożytność – Oświecenie. Wrocław 1997.
117. Orejan J.: Football/Soccer: History and Tactics. McFarland 2011.
118. Oshima T., Nakase J., Inaki A. i wsp.: Comparison of muscle activity, strength, and balance, before and after a 6-month training using the FIFA11+ program (part 2). *J. Orthop Surg. (Hong Kong)*. 2020;28(1):2309499019891541.
119. Owen AL., Wong del P., Dellal A. i wsp.: Effect of an injury prevention program on muscle injuries in elite professional soccer. *J. Strength Cond. Res.* 2013;27(12):3275-3285.
120. Padua E., D'Amico AG., Alashram A. i wsp.: Effectiveness of warm-up routine on the ankle injuries prevention in young female basketball players: A randomized controlled trial. *Medicina (Kaunas)*. 2019;55(10):55100690.
121. Page P.: Sensorimotor training: A „global” approach for balance training. *J. Bodywork Move Therap.* 2006;10(1):77–84.
122. Panjabi MM.: The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. *J. Spinal. Disord.* 1992;5(4):383–392 a.
123. Panjabi MM.: The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis. *J. Spinal. Disord.* 1992;5(4):390–396 b.
124. Panjaby MM.: Clinical spinal instability and low back pain. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 2003;13:371–379.
125. Pardos-Mainer E., Casajús JA., Gonzalo-Skok O.: Adolescent female soccer players' soccer-specific warm-up effects on performance and inter-limb asymmetries. *Biol. Sport.* 2019;36(3):199-207.
126. Paterno MV., Myer GD., Ford KR. i wsp. Neuromuscular training improves single-limb stability in young female athletes. *J. Orthop Sports Phys. Ther.* 2004;34(6):305-316.
127. Pau M., Loi A., Pezzotta MC.: Does sensorimotor training improve the static balance of young volleyball players? *Sport Biomech.* 2011;11(1):97-107.

128. Payne G., Isaacs L.: Human motor development: A lifespan approach. McGraw-Hill. New York 2012.
129. Peterson L., Junge A., Chomiak J. i wsp.: Incidence of football injuries and complains in different age groups and skill-level groups. *Am. J. Sports Med.* 2000;28(5):51-57.
130. Pfile KR., Gribble PA., Buskirk GE. wsp.: Sustained improvements in dynamic balance and landing mechanics after a 6-week neuromuscular training program in college women's basketball players. *J. Sport Rehabil.* 2016;25(3):233–240.
131. Plisky PJ., Gorman PP., Butler RJ. i wsp.: The reliability of an instrumented device for measuring components of the star excursion balance test. *N. Am. J. Sports Phys. Ther.* 2009;4(2):92-99.
132. Plisky PJ., Rauh MJ., Kaminski TW. i wsp.: Star excursion balance test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. *J. Orthop Sports Phys. Ther.* 2006;36(12):911-919.
133. Pomares-Noguera C., Ayala F., Robles-Palazón FJ. i wsp.: Training effects of the FIFA 11+ kids on physical performance in youth football players: A randomized control trial. *Front Pediatr.* 2018;40:00040.
134. Pruszyński B.: Diagnostyka obrazowa. Podstawy teoretyczne i metodyka badań. Wydawnictwo PZWL. Warszawa 2000.
135. Pullman SL., Goodin DS., Marquinez AI. i wsp.: Clinical utility of surface EMG: Report of the therapeutics and technology assessment subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology.* 2000;55(2):171-177.
136. Read PJ., Oliver JL., Myer GD. i wsp.: The effects of maturation on measures of asymmetry during neuromuscular control tests in elite male youth soccer players. *Pediatr. Exerc. Sci.* 2018;30(1):168-175.
137. Reeve A., Dilley A.: Effects of posture on the thickness of transversus abdominis in pain-free subjects *Manual Ther.* 2009;10:679-684.

138. Richardson CA., Snijders CJ., Hides JA. i wsp.: The relation between the transversus abdominus muscles, sacroiliac joint mechanics, and low back pain. *Spine*. 2002;27:399-405.
139. Ricotti L.: Static and dynamic balance in young athletes. *J. Hum. Sport Exerc.* 2012;6:616-628.
140. Ricotti L., Ravaschio A.: Break dance significantly increases static balance in 9 years-old soccer players. *Gait Posture*. 2011;33:462-465.
141. Riemann BL., Guskiewicz KM., Shields EW.: Relationship between clinical and forceplate measures of postural stability. *J. Sport Rehabil.* 1999;8(2):71-82.
142. Rivera MJ., Winkelmann ZK., Powden CJ. i wsp.: Proprioceptive training for the prevention of ankle sprains: An evidence-based review. *J. Athl. Train.* 2017;52(11):1065-1067.
143. Rogers M., Wardman D., Lord S. i wsp.: Passive tactile sensory input improves stability during standing. *Exp. Brain Res.* 2001;136:514–522.
144. Rössler R., Donath L., Bizzini M. i wsp.: A new injury prevention programme for children's football FIFA 11+ kids can improve motor performance: A cluster-randomised controlled trial. *J. Sports Sci.* 2016;34(6):549-56.
145. Sato K., Mokha M.: Does core strength training influence running kinetics, lower-extremity stability and 5000-m performance in runners? *J. Strength Cond. Res.* 2009;23(1):133–140.
146. Saulicz E.: Zaburzenia przestrzennego ustawienia miednicy w niskostopniowych skoliozach oraz możliwości ich korekcji. AWF Katowice 2003.
147. Saunders NW., Hanson NJ., Koutakis P. i wsp.: Figure skater level moderates balance training. *Int. J. Sports Med.* 2013;34(4):345–349.
148. Savory BS., Kaute BB.: Beckenschiefstand oder Kurzbeinsyndrom als vermeidbare ursache von Rückenbeschwerden. *Manuelle Medizin* 1999;37:304-308.

149. Schedler S., Brock K., Fleischhauer F. i wsp.: Effects of balance training on balance performance in youth: Are there age differences? *Res. Q. Exerc. Sport.* 2020;6:1-10.
150. Sharma A., Geovinson SG., Singh Sandhu J.: Effects of a nine-week core strengthening exercise program on vertical jump performances and static balance in volleyball players with trunk instability. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 2012;52(6):606-615.
151. Sherrington, C.: *The integrative action of the nervous system.* Yale University Press, New Haven, CT. 1906.
152. Sikora D., Linek P., Saulicz E. i wsp.: Rzetelność i liczba powtórzeń testu Y u dzieci trenujących piłkę nożną. *Polish. J. Sport. Med.* 2018;3(4):175-181.
153. Słomka KJ., Pawłowski M., Michalska J. i wsp.: Effects of 8-week complex balance training in young alpine skiers: A pilot study. *Biomed Res. Int.* 2018;6804534.
154. Smith CE., Nyland J., Caudill P. i wsp.: Dynamic trunk stabilization: A conceptual back injury prevention program for volleyball athletes. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 2008;38(11):703-720.
155. Snijders CJ., Vleeming A., Stoockart R. i wsp.: Biomechanical modeling of sacroiliac joint stability in different postures. *Spine.* 1995;9:419-432.
156. Söderman K., Werner S., Pietilä T. i wsp.: Balance board training: prevention of traumatic injuries of the lower extremities in female soccer players? A prospective randomized intervention study. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2000;8:356-363.
157. Soligard T., Myklebust G., Steffen K. i wsp.: Comprehensive warm-up programme to prevent injuries in young female footballers: Cluster randomised controlled trial. *BMJ.* 2008;337(2):2469–2469.
158. Starosta W., Rynkiewicz T.: Stronne zróżnicowanie poziomu zdolności zachowania równowagi statycznej w zależności od rozmaitej informacji wzrokowej u osób w wieku 16-19 lat. *Antropomotoryka.* 2008;41:43-48.
159. Stryła W., Pogorzała A.: *Ćwiczenia propriocepcji w rehabilitacji.* Wydawnictwo Lekarskie PZWL. Warszawa 2014.

160. Stubbe JH., Van Beijsterveldt AM., Van der Knaap S. i wsp.: Injuries in professional male soccer players in the Netherlands: A prospective cohort study. *J. Athl. Train.* 2015;50(2):211-216.
161. Šimiek Šalaj S., Milanović D., Jukić I.: The effects of proprioceptive training on jumping and agility performance. *Kinesiology* 2007;39(2):131-141.
162. Terada M., Harkey MS., Wells AM. i wsp.: The influence of ankle dorsiflexion and self-reported patient outcomes on dynamic postural control in participants with chronic ankle instability. *Gait Posture*. 2014;40(1):193-197.
163. Tesh KM., Shaw Dunn J., Evans JH.: The abdominal muscles and vertebral stability. *Spine* 1987;12:501-508.
164. Teyhen D.: Rehabilitative Ultrasound Imaging Symposium. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 2006;36(8):1-3.
165. Trajković N., Gušić M., Molnar S.: Short-term FIFA 11+ improves agility and jump performance in young soccer players. *Int. J. Environ Res. Public Health*. 2020;17(6):17062017.
166. Trecroci A., Cavaggioni L., Caccia R. i wsp.: Jump rope training: Balance and motor coordination in preadolescent soccer players. *J. Sport Sci. Med.* 2015;14(4):792–798.
167. Urniaż J., Jurgielewicz-Urniaż M.: Ćwiczenia fizyczne jako wzór kulturowy w Polsce na przestrzeni wieków. *Rozprawy Naukowe. AWF Wrocław* 2015;49:19-27.
168. Verhagen E., Bobbert M., Inklaar M. i wsp.: The effect of a balance training programme on centre of pressure excursion in one-leg stance. *Clin Biomech*, 2005;20(10):1094-1100.
169. Verhagen, E., Van Der Beek, A., Twisk J. i wsp.: The effect of a proprioceptive balance board training program for the prevention of ankle sprains: A prospective controlled trial. *Am. J. Sports Med.* 2004;32:1385-1393.
170. Waldzińska E., Waldziński T., Kochanowicz B. i wsp.: Trening sensomotoryczny w procesie szkolenia sportowego tenisistów. *Journal of Education, Health and Sport*. 2015;5(8):417-433.

171. Walker ML., Rothstein JM., Finucane SD. i wsp.: Relationships between lumbar lordosis, pelvic tilts and abdominal muscle performance. *Phys. Ther.* 1987;67(4):512-516.
172. Weineck J.: *Optimales training*. Verlag: GmbH; 2001.
173. Whittaker JL., Teyhen D., Elliott JM., i wsp.: Rehabilitative ultrasound imaging: understanding the technology and its application. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 2007;37:434-449.
174. Willson JD., Dougherty CP., Ireland ML. i wsp.: Core stability and its relationship to lower extremity function and injury. *J. Am. Acad. Orthop. Surg.* 2005;13(5):316-325.
175. Wolny T, Linek P.: Wprowadzenie do diagnostyki obrazowej narządu ruchu dla fizjoterapeutów. *Rehabilitacja w praktyce*. 2016;1:22-28.
176. Wroczyński R.: *Powszechne dzieje wychowania fizycznego i sportu*. Wydawnictwo BK Sport. Warszawa 2009.
177. Yaggie JA., Campbell BM.: Effects of balance training on selected skills. *J. Strength Cond. Res.* 2006;20(2):422-428.
178. Yildiz S., Pinar S., Gelen E.: Effects of 8-week functional vs. traditional training on athletic performance and functional movement on prepubertal tennis players. *J. Strength Cond. Res.* 2019;33(3):651-661.
179. Yong-Chan Do., Won-Gyu-Yoo.: Comparison of the thicknesses of the transversus abdominis and internal abdominal obliques during plank exercises on different support surfaces. *J. Phys. Ther. Sci.* 2015;27(1):169-70.
180. Yoo S., Park SK., Yoon S. i wsp.: Comparison of proprioceptive training and muscular strength training to improve balance ability of taekwondo poomsae athletes: A randomized controlled trials. *J. Sports Sci. Med.* 2018;17(3):445-454.
181. Young A., Hughes I., Russell P. i wsp.: Measurement of quadriceps muscle wasting by ultrasonography. *Rheumatol Rehabil.* 1980;19:141-148.

182. Zago M., Moorhead AP., Bertozzi F. i wsp.: Maturity offset affects standing postural control in youth male soccer players. *J. Biomech.* 2020;23(99):109523.
183. Zech A., Klahn P., Hoeft J. i wsp.: Time course and dimensions of postural control changes following neuromuscular training in youth field hockey athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2014;114(2):395-403.
184. Zein MI., Saryono S., Laily I. i wsp.: The effect of short period high-intensity circuit training-modified FIFA 11+ program on physical fitness among young football players. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 2020;60(1):11-16.
185. Zheng Y., Ke S., Lin C. i wsp.: Effect of core stability training monitored by rehabilitative ultrasound image and surface electromyogram in local core muscles of healthy people. *Pain Res. Manag.* 2019;23:9130959.
186. Zouhal H., Abderrahman AB., Dupont G. i wsp.: Effects of neuromuscular training on agility performance in elite soccer players. *Front Physiol.* 2019;10:947.
187. Żołnowski B., Wrona-Żołnowska L., Gębska M. i wsp.: Urazowość młodzieży uprawiającej piłkę nożną w wieku 15-19 lat. *Ann. Acad. Med. Stetin.* 2013;59(1):120-122.

10. STRESZCZENIE

Wstęp: Podwyższenie wymagań stawianych przed młodymi adeptami piłki nożnej sprawiło, że wprowadza się coraz więcej dodatkowych programów ćwiczeń, które oprócz poprawy równowagi ciała przyczynią się do podniesienia wyniku sportowego. Ponadto wdrażane przez okres dziesięciu tygodni ćwiczenia mogą przyczynić się do zwiększenia grubości mięśnia poprzecznego brzucha.

Cel pracy: Celem niniejszej pracy była ocena wpływu ćwiczeń sensomotorycznych na równowagę ciała oraz zwinność u dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną. W niniejszych badaniach postanowiono ocenić także wpływ ćwiczeń sensomotorycznych na grubość mięśnia poprzecznego brzucha.

Material i metody: Randomizowane badania z grupą kontrolną obejmowały grupę 110 osób w wieku 10-17 lat. Zakwalifikowane osoby zostały podzielone na dwie liczebnie równe grupy: eksperymentalną i kontrolną. W badaniach brały udział dzieci i nastolatków, które od minimum dwóch lat trenują piłkę nożną, a jednostki treningowe nie odbywają się rzadziej niż dwa razy w tygodniu. W celu określenia równowagi ciała, zwinności oraz grubości mięśnia poprzecznego brzucha wszystkie badania zostały wykonane dwukrotnie (przed rozpoczęciem dodatkowych ćwiczeń sensomotorycznych, jak również po zakończeniu 10-tygodniowego programu ćwiczeń). Zawodnicy byli poddani ocenie równowagi ciała za pomocą platformy stabilometrycznej, ponadto wykonano kilka testów funkcjonalnych: Y-BT, BESS, test utrzymania piłki na stopie, test zwinności, a także przeprowadzono ultrasonografię mięśnia poprzecznego brzucha. Osoby będące w grupie eksperymentalnej wykonywały dwa razy w tygodniu przez okres dziesięciu tygodni dodatkowe ćwiczenia sensomotoryczne, które odbywały się przed właściwym treningiem piłkarskim.

Wyniki: Otrzymane wyniki mówią, że u dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną po dziesięcioletnim programie dodatkowych ćwiczeń sensomotorycznych nastąpiła poprawa równowagi dynamicznej w teście Y (KDL ruch w przód $p=0,05$, KDL ruch za plecy $p=0,000001$, KDP ruch za plecy $p=0,0001$, KDL i KDP ruch za plecy wynik średni $p=0,000001$, wynik całkowity $p=0,0001$, zmniejszenie asymetrii w kierunku tylnym po skosie $p=0,001$). Ponadto zawodnicy uczęszczający na ćwiczenia sensomotoryczne uzyskali poprawę równowagi statycznej ocenianej na platformie stabilometrycznej (długość ścieżki oczy otwarte 30 sekund $p=0,000006$, pole powierzchni oczy otwarte 30 sekund $p=0,000001$, długość ścieżki oczy zamknięte

$p=0,007$). Dziesięcioletniowy program dodatkowych ćwiczeń sensomotorycznych przyczynił się także do poprawy zwinności u dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną ($p=0,00003$).

Wnioski: Dziesięcioletniowy program dodatkowych ćwiczeń sensomotorycznych, wprowadzony w grupie dzieci i nastolatków uprawiających piłkę nożną, przyczynił się do poprawy wybranych parametrów równowagi w grupie uczęszczającej na ćwiczenia. Ponadto wprowadzone ćwiczenia przez okres dziesięciu tygodni przyczyniły się do poprawy zwinności w badanej grupie. Grubość mięśnia poprzecznego brzucha nie uległa zmianie w badanej grupie piłkarzy.

11. SUMMARY

Introduction: The growing demands placed on young footballers have meant that more and more additional exercise programs are being introduced, which, in addition to improving body balance, will help to increase the sport score. Besides, the introduced exercises for a period of ten weeks can contribute to an increase in the thickness of the transverse abdominal muscle.

Aims: The aim of this study was to assess the impact of sensorimotor exercises on body balance and agility in children and adolescents practicing football. In this study, it was also decided to assess the impact of sensorimotor exercises on the thickness of the transverse abdominal muscle.

Material and methods: Randomized controlled trials included a group of 110 people aged 10-17. The qualified people were divided into two equal experimental and control groups. The study involved children and adolescents who have been training football for at least two years and their training units do not take place at least twice a week. In order to determine the body balance, agility and thickness of the transverse abdominal muscle, all tests were performed twice (before starting additional sensory exercises, as well as after completing the 10-week exercise program). The competitors were assessed for body balance using a stabilometric platform, and several functional tests were performed: Y-BT, BESS, foot retention test, agility test, and abdominal transverse muscle ultrasonography. People in the experimental group performed additional sensory-motor exercises twice a week for ten weeks, which took place before the actual football training.

Results: The obtained results confirm that in children and adolescents practicing football after a ten-week program of additional sensory-motor exercises, the dynamic balance improved in the Y test (KDL forward movement $p = 0.05$, KDL back movement $p = 0.000001$, KDP movement behind the back $p = 0.0001$, KDL and KDP backward movement average score $p = 0.000001$, total score $p = 0.0001$, reduction of back asymmetry at a slant ($p = 0.001$). Additionally, participants attending sensorimotor exercises obtained an improvement in static balance assessed on the stabilometric platform (path length eyes open 30 seconds $p = 0.000006$, surface area eyes open 30 seconds $p = 0.000001$, path length eyes closed $p = 0.007$). The ten-week program of additional sensorimotor exercises also contributed to the improvement of agility in children and adolescents playing football ($p = 0.00003$).

Conclusions: The ten-week program of additional sensorimotor exercises introduced in the group of children and adolescents practicing football contributed to the improvement of selected balance parameters in the group attending the exercises. In addition, the introduced exercises for a ten weeks period have contributed to the improvement of agility in the group of children and adolescents practicing football. Additional sensory-motor exercises introduced for a ten weeks period did not increase the thickness of the transverse abdominal muscle.

12. SPIS TABEL

Tabela 1.	Porównanie międzygrupowe zawodników, statystyki podstawowe ...	47
Tabela 2.	Porównanie międzygrupowe zawodników w badaniu końcowym, statystyki podstawowe.....	48
Tabela 3.	Wpływ 10 tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na wyniki testu Y.....	51
Tabela 4.	Wpływ 10 tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na asymetrię w teście Y.....	55
Tabela 5.	Wpływ 10 tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na wyniki w teście BESS	56
Tabela 6.	Wpływ 10 tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na wyniki badania statycznego, platforma stabilometryczna.....	58
Tabela 7.	Wpływ 10 tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na wyniki badania dynamicznego, platforma stabilometryczna	60
Tabela 8.	Wpływ 10 tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na wyniki testu utrzymania piłki na stopie.....	61
Tabela 9.	Wpływ 10 tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na wyniki testu zwinności	62
Tabela 10.	Wpływ 10 tygodniowego programu ćwiczeń sensomotorycznych na grubość mięśnia poprzecznego brzucha	63

13. SPIS RYCIN

Rycina 1.	Model stabilności według Panjabiego – materiał własny, opracowany na podstawie publikacji Panjabi 1992a	23
Rycina 2.	Sześcioramienny model warunkujący prawidłową jakość ruchu według Hoffmana i Gabela – materiał własny, opracowany na podstawie publikacji Hoffmana i Gabela 2013	24
Rycina 3.	Ultrasonografia mięśni brzucha (OE - mięsień skośny zewnętrzny, OI - mięsień skośny wewnętrzny, TrA - mięsień poprzeczny) – materiał własny.....	28
Rycina 4.	Metoda stosowana do oceny grubości mięśnia poprzecznego brzucha - materiał własny, opracowany na podstawie publikacji Linek 2017	37
Rycina 5.	Przeprowadzenie testu utrzymania piłki na stopie – materiał własny, opracowany na podstawie publikacji Koźmin [2005]	38
Rycina 6.	Schemat przeprowadzenia testu zwinności - opracowany w oparciu o pracę Alesi i wsp. [2015]	39
Rycina 7.	Ćwiczenie „gwiazdka”. Źródło - materiał własny.....	40
Rycina 8.	Ćwiczenie „Naprzemienne unoszenie kończyny górnej i dolnej w siadzie na piłce szwedzkiej”. Źródło - materiał własny	41
Rycina 9.	Ćwiczenie „Toczenie piłki wokół dysku sensorycznego”. Źródło - materiał własny.....	42
Rycina 10.	Ćwiczenie „Pochylanie kończynami dolnymi platformy równoważnej – Domyos”. Źródło - materiał własny	43
Rycina 11.	Ćwiczenie „przysiady z piłką na platformie orto – stabil”. Źródło - materiał własny.....	43
Rycina 12.	Schemat przedstawiający rozmieszczenie stacji i kierunek przemieszczania się ćwiczących osób	44

Rycina 13.	Uczestnictwo zawodników z grupy eksperymentalnej w ćwiczeniach sensomotorycznych – materiał własny	48
Rycina 14.	Przepływ badanych w eksperymencie	49
Rycina 15.	Test Y efekt wprowadzonych ćwiczeń kończyna dolna lewa ruch w przód, KDL – kończyna dolna lewa, E – grupa eksperymentalna, K – grupa kontrolna, p – istotność statystyczna $p < 0,05$	52
Rycina 16.	Test Y efekt wprowadzonych ćwiczeń kończyna dolna lewa ruch za plecy, KDL – kończyna dolna lewa, E – grupa eksperymentalna, K – grupa kontrolna, p – istotność statystyczna $p < 0,05$	52
Rycina 17.	Test Y efekt wprowadzonych ćwiczeń kończyna dolna prawa ruch za plecy, KDP – kończyna dolna prawa, E – grupa eksperymentalna, K – grupa kontrolna, p – istotność statystyczna $p < 0,05$	53
Rycina 18.	Test Y efekt wprowadzonych ćwiczeń kończyna dolna lewa i prawa ruch za plecy, KDL – kończyna dolna lewa, KDP – kończyna dolna prawa, E – grupa eksperymentalna, K – grupa kontrolna, p – istotność statystyczna $p < 0,05$	53
Rycina 19.	Test Y efekt wprowadzonych ćwiczeń wynik całkowity, E – grupa eksperymentalna, K – grupa kontrolna, p – istotność statystyczna $p < 0,05$	54
Rycina 20.	Test Y efekt wprowadzonych ćwiczeń - asymetria – kierunek tylny po skosie, E – grupa eksperymentalna, K – grupa kontrolna, p – istotność statystyczna $p < 0,05$	55
Rycina 21.	Platforma stabilometryczna efekt wprowadzonych ćwiczeń – długość ścieżki oczu otwarte 30 sekund, E – grupa eksperymentalna, K – grupa kontrolna, p – istotność statystyczna $p < 0,05$	57

- Rycina 22. Platforma stabilometryczna efekt wprowadzonych ćwiczeń – długość ścieżki oczu zamknięte 30 sekund, E – grupa eksperymentalna, K – grupa kontrolna, p – istotność statystyczna $p < 0,05$ 59
- Rycina 23. Platforma stabilometryczna efekt wprowadzonych ćwiczeń – pole powierzchni oczu otwarte 30 sekund, E – grupa eksperymentalna, K – grupa kontrolna, p – istotność statystyczna $p < 0,05$ 59
- Rycina 24. Test zwinnosci efekt wprowadzonych ćwiczeń, E – grupa eksperymentalna, K – grupa kontrolna, p – istotność statystyczna $p < 0,05$ 62