

AKADEMIA KULTURY FIZYCZNEJ

im. Bronisława Czecha w Krakowie



mgr Olga Kłoczek

**Efekty kształtowania mocy mięśniowej kończyn dolnych
u młodych siatkarzy i siatkarek w toku eksperymentalnego treningu
skoczności o charakterze plyometrycznym**

Rozprawa doktorska

Promotor:

dr hab. Michał Spieszny, prof. AKF

Kraków 2026

Spis treści

WSTĘP	3
1. PRZEGLĄD LITERATURY PRZEDMIOTU ORAZ UZASADNIENIE WYBORU PROBLEMATYKI BADAWCZEJ	4
1.1. Specyfika wysiłku fizycznego i wymagania motoryczne w piłce siatkowej	4
1.2. Trening plyometryczny	5
1.3. Kształtowanie sprawności motorycznej w szkoleniu sportowym dzieci i młodzieży	10
1.4. Uwarunkowania mocy mięśniowej	14
2. CEL PRACY ORAZ PYTANIA BADAWCZE	17
3. MATERIAŁ I METODY BADAŃ	18
3.1. Charakterystyka badanej grupy	18
3.2. Metodyka treningu eksperymentalnego	19
3.3. Postępowanie badawcze	20
3.4. Metody opracowania wyników	23
4. WYNIKI	24
4.1. Ocena dokładności i rzetelności pomiarów	24
4.1.1. Błędy narzędzi pomiarowych	24
4.1.2. Rzetelność wyników w testach mocy nóg	27
4.2. Ocena postępów treningowych	32
4.2.1. Różnice w proporcjach licznosci – porównanie jakościowe	32
4.2.2. Analiza różnic MANOVA – porównanie ilościowe	36
4.2.3. Różnice unormowane – porównania relatywne	51
4.2.4. Wyniki na tle norm populacyjnych i sportowych	58
4.2.5. Wyskok do ataku – efektywność fazy rozbiegu	61
5. DYSKUSJA	64
6. WNIOSKI	78
Wniosek aplikacyjny	79
PIŚMIENNICTWO	80
ANEKS	92
Tabele wyników	92
Procedury pomiarowe testów sprawnościowych	123
Formuły obliczeniowe	127
WYKAZY	132
Spis rycin	132
Spis tabel	133
Spis formuł	135
STRESZCZENIE	136
SUMMARY	139

WSTĘP

Dążenie do podnoszenia poziomu sportowego zwiększającego szansę na sukces w rywalizacji, wymaga ciągłego doskonalenia wszystkich systemów warunkujących osiągnięcie mistrzostwa. Konieczne są więc, nieustanne, empiryczne poszukiwania skuteczniejszych metod szkoleniowych i ich merytoryczna analiza, bazująca na wiedzy z zakresu nauk o sporcie. W przypadku siatkówki, wynik rywalizacji uwarunkowany jest wieloma czynnikami przenikającymi się wzajemnie, według Naglaka (1994) najważniejsze z nich to: przygotowanie techniczne, przygotowanie taktyczne, przygotowanie psychiczne, przygotowanie motoryczne, przygotowanie do pracy w zespole oraz odpowiednie parametry długościowe ciała. Zbalansowanie tak złożonego kompleksu czynników, determinujących sukces sportowy, wymaga wieloletniego szkolenia – uczestnictwa w treningu sportowym. Skuteczne i wszechstronne kształtowanie predyspozycji osobniczych sportowca w kolejnych etapach szkolenia to kluczowe zagadnienie teorii i praktyki treningu (Naglak 2001).

W sportowym szkoleniu dzieci i młodzieży olbrzymie znaczenie przypisuje się metodyce nauczania umiejętności specjalistycznych oraz ukierunkowanemu kształtowaniu sprawności motorycznej (Raczek 1991), a w grach zespołowych, jako kluczowy element sprawności wskazuje się wysoki poziom zdolności szybkościowych, którego predyspozycją jest moc mięśniowa (Van Heest 2003, Bompa 2010).

1. PRZEGLĄD LITERATURY PRZEDMIOTU ORAZ UZASADNIENIE WYBORU PROBLEMATYKI BADAWCZEJ

1.1. Specyfika wysiłku fizycznego i wymagania motoryczne w piłce siatkowej

Piłka Siatkowa należy do gier zespołowych, w której nie występuje bezpośredni kontakt z przeciwnikiem. Walka na boisku ma więc charakter pośredni, gdzie skuteczność wykonania technicznych elementów gry (zagrywka, przyjęcie zagrywki, wystawianie, atakowanie, blokowanie i obrona) znacząco uwarunkowane jest poziomem zdolności motorycznych (szybkościowych, koordynacyjnych, siłowych, a także wytrzymałościowych). Siatkarze, rywalizujący na poziomie mistrzowskim, posiadają wybitny poziom sprawności motorycznej, co umożliwia im wykonywanie czynności technicznych wielokrotnie podczas jednej akcji z niemal niezawodną dokładnością.

Czas trwania meczu w piłkę siatkową uzależniony jest od wyniku spotkania. Jeśli pojedynek zostaje rozstrzygnięty w trzech setach, jego czas zazwyczaj nie przekracza 60 minut, jeśli w czterech setach – 90 min, a w pięciu – 140 min. Podczas meczu, od zawodnika nie jest wymagana ciągła aktywność fizyczna, gra w siatkówkę ma bowiem charakter przerywany. Specyficzne dla niej są krótkie, wysiłki o wysokiej intensywności, przeplatane okresami odpoczynku (Polglaze i Dawson 1992, Lidor i Ziv 2010, Grządziel 2012, Ramirez-Campillo i wsp. 2020, Maughan i Shirreffs 2017). Ze względu na specyfikę wysiłku fizycznego, piłka siatkowa zaliczana jest do grupy sportów siłowo-szybkościowych o interwałowym charakterze aktywności, taki charakter posiada aż 70% ruchów, które siatkarze wykonują na boisku. Wielu autorów publikacji naukowych dowodzi, iż skuteczność działań boiskowych w piłce siatkowej warunkuje kompleks zdolności motorycznych, do których należy zaliczyć: odpowiedni poziom siły mięśniowej, wybitny poziom skoczności i szybkości, koordynacji ruchowej oraz wytrzymałości beztlenowej (Grządziel i Ljach 2000, Kłoczek i Żak 2001, Grządziel 2012, Kłoczek i wsp. 2023).

Wyniki badań wykazują, że podczas rywalizacji kluczową rolę odgrywa uzyskiwanie maksymalnych wartości mocy mięśniowej, która jest fundamentem efektywności wielu elementów technicznych gry. Do takich czynności należy zaliczyć: wyskoki jednonóż i obunóż wykonywane w akcjach ataku oraz bloku, uderzenie w piłkę oraz gwałtowne zmiany kierunku w czasie przemieszczania się po boisku (Bompa i Carrera 2003, Mroczek i wsp. 2017). W całkowitej liczbie działań specjalistycznych wykonywanych podczas gry, skoki stanowią 50-60% czynności, szybkie ruchy i zmiany kierunku w przestrzeni – około 30%, a upadki – około

15% (Ercolessi 1999). Ze względu na taktyczny charakter czynności związanych ze skokami i częstość, z jaką występują w grze, skoczność uważana jest za kluczowy wskaźnik sprawnościowy dla efektywnej gry w piłce siatkowej (Grządziel i Ljach 2000). Podczas meczu siatkówki zawodnik wykonuje ponad 100 skoków, a ich liczba różni się w zależności od specjalizacji taktycznej zawodnika (Lobletti i wsp. 2010, Lima i wsp. 2019). Sattler i wsp. (2015) wykazali, iż maksymalny zasięg uniesionych nad siatkę ramion podczas wyskoku do bloku zmniejsza skuteczność działań ofensywnych przeciwnika. Z kolei wyższy pułap uderzenia w piłkę podczas ataku lub zagrywki wpływa na osiągnięcie korzystniejszych trajektorii lotu piłki, co zwiększa skuteczność tych elementów gry. Wyskok jest w piłce siatkowej specyficzną, bardzo często wykonywaną czynnością ruchową zarówno podczas gry, jak i w treningu specjalistycznym, ponadto stanowi niezbędny element wielu kluczowych działań techniczno-taktycznych, takich jak blok, atak, serwis oraz wystawianie piłki (Marques i wsp. 2009, Ikeda i wsp. 2018).

1.2. Trening plyometryczny

Szczegółowa analiza specyficznych czynności ruchowych wykonywanych przez siatkarza podczas gry, takich jak: wyskok, gwałtowny start oraz zmiana kierunku biegu, czy też kilkukrokowy sprint, wskazuje, że podczas tych czynności mięśnie angażowane są w nagłym, trwającym ułamki sekundy cyklu rozciągnięcie-skurcz, nazywanym też cyklem plyometrycznym. W cyklu tym występują dwie fazy pracy mięśni: ekscentryczna (wydłużanie), po której natychmiast następuje faza koncentryczna (skręcanie). Mięśnie w pierwszej fazie ulegają biernemu, dynamicznemu rozciągnięciu, a w fazie drugiej mobilizowane są do gwałtownego, maksymalnego skurczu. Taka koordynacja obu faz powoduje rozciągnięcie wrzeciona mięśniowego, co intensywnie pobudza nerwy eferentne. Intensywność przekazu sygnału – pobudzenia nerwowego – zależy od szybkości rozciągania mięśnia w pierwszej fazie, im szybsze, tym silniejszy sygnał nerwowy wysyłany z wrzeciona mięśniowego, co skutkuje silniejszym skurczem mięśnia i skróceniem całego cyklu ruchowego. Gwałtowne rozciąganie struktury powięziowo-mięśniowo-ścięgnistej wywołuje reakcję "usztyniającą", co pozwala tej strukturze magazynować energię sprężystą. Energia ta jest szybko uwalniana i jeśli koncentryczne działanie mięśni występuje bezpośrednio po rozciąganiu, część tej energii przyczynia się do zwiększenia mocy generowanej przez mięśnie podczas fazy koncentrycznej. Natomiast wydłużenie czasu pomiędzy rozciągnięciem mięśnia a jego skurczem powoduje zmniejszenie możliwości wykorzystania zmagazynowanej energii sprężystej (Asmussen

i Bonde-Petersen 1974, Wilson i wsp. 1991, Markovic i Mikulic 2010, Perez-Gomez i Calbet 2013, Davies i wsp. 2015, Galay i wsp. 2021).

Inspiracją do badań nad gromadzeniem i uwalnianiem energii sprężystości były obserwacje fizjologii mięśni kangurów, zdolnych do wykonywania bardzo długich skoków, sięgających nawet 13 metrów. Początkowo sądzono, że zwierzęta te posiadają nietypowe mięśniowe włókna szybko kurczliwe zdolne do generowania dużych wartości siły eksplozywnej. Wnikliwe badania nad biomechanicznymi właściwościami długich ścięgien kangurów pozwoliły na niezwykle odkrycie, które nazwano "efektem katapulty". To ścięgna kangurów zdolne są do gromadzenia i uwalniania energii sprężystości z dużą efektywnością, która skutkuje zdolnością do wykonywania wyjątkowo długich skoków (Kram i Dawson 1998).

Podobną zdolność ścięgien i powięzi do magazynowania i uwalniania energii sprężystości odkryto u człowieka. Zdolność ta, wykorzystywana jest zarówno podczas biegu i skoku, ale również podczas chodu, w którym znaczna część siły napędowej pochodzi z uwalnianej energii przez struktury łącznotkankowe – ścięgna i powięzie (Sawicki i wsp. 2009).

Rewizja poprzedniego modelu pracy mięśni – przed odkryciem "efektu katapulty" – w ramach którego koncentryczna czynność generująca siłę transmitowaną przez ścięgna na dźwignie kostne skutkuje zmianami kątowymi w stawie, doprowadziła do zdefiniowania nowego mechanizmu odpowiedzialnego za ruch poszczególnych segmentów ciała człowieka. Dotychczasowy model transferu siły ze skracającego się mięśnia przy niewielkim rozciągnięciu ścięgien, prawdziwy dla ruchów wolnych oraz szybkich wykonywanych ze stałą prędkością (np. pedałowanie na rowerze) został wzbogacony o nowo odkryty mechanizm odpowiedzialny za wyzwalamie mocy podczas sprintu, wyskoku, czy nawet ćwiczeń lekkoatletycznych typu skip. Podczas takich czynności włókna mięśniowe nie wykazują zmian swojej długości, pracując niemal izometrycznie, natomiast ich ścięgna i struktury powięziowe reagują wydłużeniem, podobnym do "rezonującej, stalowej sprężyny". Właśnie to rozciągnięcie a następnie skrócenie ścięgien i powięzi powoduje powstanie w biernych elementach układu ruchu energii sprężystości. W fazie ekscentrycznej kierunek sił generowanych przez mięśnie jest przeciwny do kierunku ruchu – przeciwdziałanie sile bezwładności. W momencie przejścia – między fazą ekscentryczną a koncentryczną, ścięgna i powięzie skracają się uwalniając dodatkową energię, co zwiększa prędkość ruchu w zgodną z kierunkiem kurczącego się mięśnia. Prędkość skracania włókien kolagenowych, budujących łącznotkankowe elementy układu ruchu (ścięgna i powięzie), może być nawet większa od prędkości skracania włókien mięśniowych (Kawakami i wsp. 2002).

Wykorzystanie technologii ultradźwiękowej o dużej rozdzielczości pozwoliło francuskim naukowcom (Foure i wsp. 2010) na określenie relatywnych proporcji wyżej wymienionych czynników w procesie kształtowania skoczności – trening plyometryczny – u aktywnych fizycznie 19-letnich mężczyzn. Trening ten obejmował 34 sesje w czasie 14 tygodni, badacze zaobserwowali większe wykorzystanie właściwości tkanek łącznych w obszarze zdolności do gromadzenia energii sprężystości z jednoczesnym, relatywnie mniejszym zaangażowaniem komponenty mięśniowej. Stwierdzono znaczne zwiększenie sztywności ścięgna Achillesa oraz efektywniejsze magazynowanie i oddawanie energii sprężystej. Podobne badania przeprowadzone przez Kubo i wsp. (2007) wykazały, że 12-tygodniowy trening plyometryczny, wykonywany 4-krotnie w tygodniu, w grupie 22-letnich mężczyzn, zwiększył sztywność ścięgna Achillesa i mięśni łydki, co wpłynęło na zwiększenie wysokości wyskoku pionowego oraz skrócenie czas kontaktu z podłożem.

Sztywność mięśni i ścięgien jest rozumiana jako zdolność do przeciwdziałania odkształceniom wywołanym obciążeniem. Większa sztywność ścięgien wpływa na szybsze przekazywanie siły z mięśni do układu kostnego (Bohm i wsp. 2014, Mersmann i wsp. 2016), im większa sztywność, tym szybciej struktury magazynują i oddają energię sprężystą w czasie dynamicznych ruchów. Innymi słowy, wysoka sztywność pozwala na wykonanie bardziej efektywnej, krótkiej i sprężystej fazy odbicia (m.in. podczas sprintu i wyskoku). Z kolei zbyt mała sztywność przekłada się na "miękką", ekscentryczną fazę lądowania, wolniejszy ruch i większe straty energii.

Trening plyometryczny może również stymulować hipertrofię mięśni, zwłaszcza włókien typu II – tzw. szybkokurczliwych. Ponadprzeciętny udział tych włókien w mięśniach prostowników nóg uważa się za niezbędną predyspozycję dla siatkarzy (Sleivert i wsp. 1995). Potteiger i wsp. (1999) zauważyli znaczący wzrost objętości włókien typu I i II (wolnokurczliwych i szybkokurczliwych) po 8 tygodniach treningu plyometrycznego u aktywnych rekreacyjnie młodych mężczyzn, co – zdaniem autorów – dodatkowo wpłynęło efekt końcowy eksperymentu: większy przyrost wysokości wyskoku pionowego, a tym samym, przyrost mocy mięśniowej.

Kolejnym ważnym zjawiskiem leżącym u podstaw ćwiczeń plyometrycznych jest odruch, czyli szybka, mimowolna reakcja mięśnia na rozciąganie. Za odruchową aktywację mięśnia odpowiadają wrzeciona mięśniowe, które wykrywają zmianę długości i prędkość rozciągania mięśnia. Dzięki ćwiczeniom plyometrycznym wzrasta wrażliwość tych receptorów, co powoduje, że mięśnie reagują w fazie rozciągania szybciej i z większą mocą. W rezultacie tej

intensywniejszej reakcji skurcz koncentryczny staje się silniejszy, a to z kolei zwiększa moc maksymalną (Bosco i wsp. 1981, Komi i Gollhofer 1997).

Skuteczność ukierunkowanego treningu akcentującego umiejętność aktywacji grup mięśniowych w eksplozywnym cyklu rozciągnięcie-skurcz udokumentowano w licznych opracowaniach naukowych. Początkowo badania dotyczyły głównie dojrzałych sportowców różnych dyscyplin sportowych, w tym piłki siatkowej. W eksperymentach tych badano przede wszystkim wpływ plyometrycznej metody treningowej na aktywność związaną z mocą kończyn dolnych. Wykazano, że tego rodzaju trening sportowy, oparty na skokach i podskokach plyometrycznych wpływał głównie na zwiększenie wysokości pionowego (Martínez-Rodríguez i wsp. 2017, Ramirez-Campillo i wsp. 2018, Silva i wsp. 2019, Stojanović i wsp. 2017) oraz poprawę wyników w testach sprinterskich (Sáez-Sáez de Villarreal i wsp. 2010, Slimani i wsp. 2016). Ponadto wiele doniesień naukowych wskazuje, że trening plyometryczny przynosi szereg innych korzyści, obejmujących m.in. poprawę koordynacji ruchowej (Howard-Shaughnessy i wsp. 2013, Hammami i wsp. 2016) oraz zwinności (Meylan i Malatesta 2009, Stojanović i wsp. 2017). Istnieją również badania, które wykazują, że sprzyja wzmocnieniu struktur stawowo-więzadłowych, poprawie propriocepcji (Hewett i wsp. 2006) oraz korzystnie wpływa na właściwości mechaniczne i gęstość kości długich (Greene 2006, Jazi i Shoukahi 2024). W konsekwencji, trening plyometryczny może przyczyniać się do zmniejszenia ryzyka urazów narządu ruchu u sportowców (Norcross i wsp. 2013, Pereira 2015, Weltin i wsp. 2017.).

Początkowo uważano, że trening plyometryczny nie powinien być stosowany w szkoleniu dzieci młodzieży, ponieważ zwiększa ryzyko uszkodzeń układu ruchu oraz hamuje proces wzrastania (Lloyd i wsp. 2011, 2014). Trzaskoma i Trzaskoma (2001) oraz Zatsiorsky i Kraemer (2005) stwierdzili, że zbyt intensywne, niedostosowane do poziomu wytrenowania, ćwiczenia o charakterze plyometrycznym niosą za sobą nadmierne ryzyko przeciążeń oraz uszkodzeń układu ruchu – negatywne efekty zaobserwowano w obrębie kręgosłupa, stawów biodrowych, kolanowych oraz skokowych. Podczas ćwiczeń plyometrycznych, w krótkiej fazie ekscentrycznej, mięśnie przeciwdziałają często bezwładności masy całego ciała, a opór jaki muszą wtedy pokonać, często wielokrotnie przekracza ciężar ciała (Nosiadek 2009). Pedley i wsp. (2022) wykazali, że siły oddziałujące na stawy dzieci podczas wyskoku (DJ), poprzedzonego zeskokiem z wysokości 30 cm, stanowią 4-krotność masy ich ciała. Z kolei badania m.in. Pain i Challis (2006) oraz Nosiadka (2009) dowodzą, że podczas lądowania z wysokości od 0,5 m do 1 m, wartości siły reakcji podłoża, działającej na stopy, jest nawet 14-krotnością ciężaru ciała. W wartościach bezwzględnych siła ta wynosi ponad 10 000 N, co

w przeliczeniu na kG daje ciężar jednej tony, a nawet większy – w przypadku osób o masie ciała zbliżonej do 100 kg.

Aktualne badania wskazują jednak, że jeżeli dobór ćwiczeń plyometrycznych oraz obciążeń jest dostosowany do wieku badanych, ćwiczenia takie mogą mieć korzystny wpływ na sprawność fizyczną dzieci i młodzieży, bez szkody dla ich zdrowia (Lloyd i wsp. 2011). Eksperymentalny trening, zawierający skoki i podskoki plyometryczne, intensywnie poprawia u młodych sportowców takie wskaźniki sprawnościowe jak wyskok pionowy (Kotzamanidis 2006, Vassil i Bazanovk 2012), szybkość biegu (Kotzamanidis 2006, Bouguezzi i wsp. 2020, Sammoud i wsp. 2022), zwinność (Michailidis i wsp. 2013, Ramirez-Campillo i wsp. 2019) oraz koordynację (Hammami i wsp. 2016, Bouteraa i wsp. 2020), a przy tym nie powoduje przeciążeń i uszkodzeń układu ruchowego.

Ponadto, badania Jazi i Shoukahi (2024) wykazały, że 12-tygodniowy program plyometryczny zastosowany w grupie dorastających chłopców przyniósł korzystny wzrost gęstości szyjki kości udowej oraz poziomu steroidowych hormonów anabolicznych, takich jak GH i IGF-1, a także poziomu 25-hydroksywitaminy D w surowicy krwi. Z kolei Kryeziu i wsp. (2023) na podstawie eksperymentu z udziałem niemal dwustu 15-letnich chłopców twierdzą, że ćwiczenia o charakterze plyometrycznym, stosowane systematycznie, są szczególnie skuteczne w okresie naturalnego wzrastania i znacząco podnoszą wskaźniki sprawności motorycznej – ponad poziom postępów u chłopców nietrenujących.

Powszechnie stosowane odmiany ćwiczeń plyometrycznych obejmują ruchy o różnej intensywności: niskiej, średniej i wysokiej (Firmansyah i wsp. 2024). Trening plyometryczny ukierunkowany na zwiększenie mocy mięśni kończyn dolnych u sportowców zwykle obejmuje różne rodzaje skoków wielokrotnych jednonóż, obunóż pionowych lub w dal oraz zeskoków w głąb (zeskok z podwyższenia), po których natychmiast wykonywany jest wyskok pionowy lub skok poziomy (m.in. Radcliffe i Farentinos 1999, Jastrzębski i wsp. 2014, Vadivelan i Sudhakar 2015, Moran i wsp. 2021). Pozytywne efekty występują, jeśli sesje treningowe ćwiczeń plyometrycznych wykonywane są w cyklach co najmniej 6-tygodniowych z częstością 2-3 razy w tygodniu oraz z co najmniej 48-godzinną przerwą pomiędzy nimi (m.in. Chu 1998, Slimani i wsp. 2016). Podstawą tych zaleceń są dane eksperymentalne wskazujące, że po zakończeniu wysiłku fizycznego występuje nasilona synteza kolagenu, ale jednocześnie zwiększa się tempo jego rozpadu, które przez nawet kilkanaście godzin po treningu przewyższa tempo syntezy (przegląd: Magnusson i wsp. 2008). Zaleca się również, aby czas jednostki treningowej – sesji ćwiczeń plyometrycznych – mieścił się w przedziale 30-40 minut, a optymalny czas odpoczynku pomiędzy seriami powtórzeń wynosił 1-2 minut. Liczba

powtórzeń i serii powinna być dostosowana do intensywności ćwiczenia. Z reguły ćwiczenia o niskiej intensywności wymagają większej liczby powtórzeń, natomiast w ćwiczeniach o wyższym stopniu trudności i intensywności należy wykonywać mniej powtórzeń. Przykładowo, zaleca się, aby intensywne ćwiczenia polegające na zeskokach w głąb nie przekraczały objętości: u zaawansowanych sportowców – 4 serie po 10 powtórzeń powtarzane 2 lub 3 razy w tygodniu, natomiast u sportowców niższej klasy – 3 serie po 5-8 powtórzeń z częstotliwością 1 lub 2 razy w tygodniu. Z kolei podczas treningu plyometrycznego o niskiej intensywności (opartego na ćwiczeniach typu: podskoki jednonóż, skipingi, podskoki obunóż itp.) liczba powtórzeń powinna wynosić 80-100 dla początkujących, 100-120 dla średnio zaawansowanych oraz 120-140 dla sportowców zaawansowanych (Bompa 1993, Bompa i Carrera 2003, Baechle i Earle 2008, Chu i Myer 2013, Bompa i Buzzichelli 2015).

Efekty treningowe stosowania metod plyometrycznych mogą być porównywalne, a nawet lepsze niż po tradycyjnym treningu oporowym, skutkując równą lub nawet większą poprawą skoczności i szybkości biegu sprinterskiego (Ramirez-Campillo i wsp. 2018, 2020, 2021). W przeciwieństwie do tradycyjnego treningu oporowego, tzw. balistyczny schemat czynności wykonywanych podczas ćwiczeń plyometrycznych, pozwala uniknąć niekorzystnych zaburzeń w strukturze ruchu. W typowych ćwiczeniach oporowych często występuje spowolnienie tempa w końcowej fazie ruchu – np. spowolnienia wyprost biodra i kolana (Cormie i wsp. 2011, Suchomel i wsp. 2018). Zachowanie bardziej naturalnego wzorca ruchowego podczas ćwiczeń plyometrycznych, dodatkowo wzmacnia efekt korzystnych zmian potreningowych – koordynacyjnie mocniej powiązanych z eksplozywnym wykonaniem czynności sportowych (Loturco i wsp. 2014, 2015, Ramirez-Campillo i wsp. 2018). Walorem treningu plyometrycznego, szczególnie w grupach młodzieżowych, jest jego dostępność, ponieważ można wykonywać go w niemal każdych warunkach – hala sportowa, bieżnia, boisko, a podczas ćwiczeń najczęściej pokonuje się opór masy własnego ciała (Chu 1998, Chu i Myer 2013).

1.3. Kształtowanie sprawności motorycznej w szkoleniu sportowym dzieci i młodzieży

Trening sportowy powinien być wieloletnim, szczegółowo zaplanowanym procesem, dzięki któremu możliwy będzie progres poziomu sportowego zawodnika. Dużą uwagę w szkoleniu sportowym dzieci i młodzieży przypisuje się podejściu, które uwzględnia zarówno założenia organizacyjno-szkoleniowe, jak również potrzeby kulturowe, wychowawcze i biologiczne młodych sportowców. Na każdym etapie szkolenia sportowego kluczową rolę odgrywa przygotowanie sprawnościowe, którego celem jest osiągnięcie przez zawodnika optymalnego

– zbliżonego do modelowego, poziomu zdolności motorycznych. Zdolności te w znacznym stopniu podatne są na ukierunkowaną stymulację, szczególnie jeśli odpowiedni trening rozpocznie się już w pierwszych etapach szkolenia. Zaleca się zatem planowe i systematyczne kształtowanie zdolności motorycznych nawet u najmłodszych adeptów sportu, co w przyszłości pozwoli im na uzyskanie maksymalnego poziomu sprawności (Raczek 1991, Sozański 1999a).

Jednocześnie szkoleniowy proces podnoszenia poziomu zdolności motorycznych należy dostosować do biologicznych praw rozwoju tak, aby w sposób racjonalny wykorzystać okresy, które szczególnie sprzyjają kształtowaniu właściwości funkcjonalnych organizmu młodego sportowca. Opisywane w piśmiennictwie okresy sensoryczne oraz krytyczne wyznaczają etapy rozwoju, podczas których zdolności motoryczne są najbardziej podatne na wytrenowanie, a tempo ich naturalnego rozwoju jest szczególnie nasilone (Raczek 1991, Szopa i wsp. 1996, Raczek i wsp. 2003).

Szkoleniowcy powinni pamiętać, że młodzi sportowcy nie są miniatuarkami dorosłych, a ich trening nie powinien być pomniejszonym odwzorowaniem schematów, według których pracuje się z dojrzałymi osobami. Zaleca się, aby na początkowym etapie treningu sportowego postępy sprawnościowe były głównie konsekwencją naturalnego rozwoju młodego organizmu oraz efektem wszechstronnego przygotowania ruchowego. Potencjał ruchowy należy kształtować drogą wszechstronnych obciążeń – środkami niespecyficznymi, bądź jedynie ukierunkowanymi na umiejętności specjalistyczne. Przesadnie duża objętość ćwiczeń specjalistycznych może, bowiem doprowadzić do zbyt szybkiej stabilizacji nawyku ruchowego, co uniemożliwi lub bardzo utrudni podnoszenie poziomu sprawności specjalnej w kolejnych latach treningu, a przez to zamknie drogę do mistrzostwa sportowego.

Szkolenie dzieci i młodzieży nie może więc być procesem, który zakłada doraźne efekty i wczesną specjalizację. Takie działanie przynosi wprawdzie szybkie efekty, jednak ogranicza maksymalny pułap rozwoju motorycznego. Proces treningowy powinien zakładać osiągnięcie celów perspektywicznych – uzyskanie najwyższych osiągnięć w okresie pełnej dojrzałości biologicznej, a także zachowanie możliwie najdłuższego okresu mistrzostwa sportowego. Trening młodocianych powinien mieć charakter rozwojowy i być traktowany jako baza do uzyskiwania maksymalnych osiągnięć w latach następnych, a wielkość obciążeń specjalistycznych powinna stopniowo wzrastać w kolejnych etapach szkolenia (Raczek 1991, Sozański 1999b, Kłoczek i Spieszny 2024).

Planując długoletni proces szkolenia, należy uwzględnić jego fazowość wynikającą z przesłanek biologicznych i metodycznych. Proces ten powinien być dostosowany do dynamiki zmian rozwojowych w ontogenezie, poziomu wytrenowania i umiejętności

zawodnika, a także do czasu pozostałego do osiągnięcia wyznaczonego celu treningowego. Wyodrębnione, wieloletnie fazy nazywa się etapami szkolenia. Podział wieloletniego procesu szkolenia na owe etapy wskazuje konieczność osiągnięcia podczas każdego z nich specyficznych celów. Ich realizacja powinna być dostosowana do danej fazy rozwoju zawodnika oraz podporządkowana celom strategicznym. Wyróżnia się trzy etapy szkolenia: wszechstronny, ukierunkowany oraz specjalistyczny. W etapie ostatnim występują następujące podetapy: wstępnej specjalizacji, właściwej specjalizacji oraz mistrzowski (Sozański 1999a).

Prawidłowo zaplanowany wieloletni model osiągania mistrzostwa sportowego wymaga, aby uwzględnić podstawowe parametry – czynniki, które charakteryzują czołowych zawodników w konkretnej dyscyplinie lub konkurencji sportowej, są to tzw. swoiste wyznaczniki "modelu mistrza". Dzięki temu możliwe jest określenie docelowego kierunku szkolenia sportowego i postępowania selekcyjnego. Kluczowe wskaźniki są następujące: wiek uzyskiwania najlepszych wyników, czas potrzebny na osiągnięcie mistrzostwa techniczno-taktycznego, analiza struktury poziomu cech somatycznych i zdolności ruchowych determinujących sukcesy w wybranej dyscyplinie sportu. Wskaźniki te, zestawione z prawidłowościami rozwoju biologicznego dzieci i młodzieży, stanowią podstawę do określenia wieku rozpoczęcia treningu, a także wyznaczenia optymalnych granic wiekowych dla poszczególnych etapów szkolenia (Ważny 1981, Naglak 2001).

Przedstawione poniżej informacje dotyczą wyczynowego szkolenia w piłce siatkowej regulowanego przez Polski Związek Piłki Siatkowej w ramach ogólnopolskiego systemu Szkolnych Ośrodków Siatkarskich (za: Świderek i wsp. 2012).

Pierwszy etap – przygotowania wszechstronnego, powinien trwać od 9-10 do 12-13 roku życia. Zakres oddziaływania powinien być wszechstronny i wynikać z ogólnych prawidłowości rozwojowych. Podczas tego etapu należy zadbać przede wszystkim o ukształtowanie szerokiego i stabilnego fundamentu sprawnościowego oraz wspieranie naturalnego rozwoju młodych sportowców. Stosowane środki treningowe powinny charakteryzować się dużą różnorodnością i wszechstronnością oddziaływania. Należy również wykorzystać okres szczególnie sprzyjający kształtowaniu zdolności koordynacyjnych, szybkości oraz wytrzymałości tlenowej. Zdolności te powinny być wyraźnie zaakcentowane w procesie treningu.

Kolejny etap – ukierunkowany, zaczyna się około 13-14 a kończy w 17 roku życia. Powinien być kontynuacją kształtowania wszechstronnego rozwoju, jednak już z wyraźnym ukierunkowaniem. Podczas tego etapu należy akcentować rozwój zdolności motorycznych i umiejętności dominujących w przyszłej specjalizacji. Jest to okres szczególnie sprzyjający

kształtowaniu zdolności szybkościowo-siłowych, specyficznych aspektów koordynacji ruchowej, a także wytrzymałości w strefie tlenowej oraz mieszanej. Zaleca się, aby preferować środki ruchowe oraz formy oddziaływania, które są zgodne z przybliżonymi wymogami zamierzonej specjalizacji, jednocześnie nie zaniedbując kontynuacji przygotowania wszechstronnego. Na tym etapie należy różnicować treści, formy oraz obciążenia treningowe w zależności od płci. Szybsze tempo wzrastania i dojrzewania biologicznego dziewcząt w porównaniu z chłopcami umożliwia wcześniejsze stosowanie bardziej specyficznych środków treningowych oraz stopniowe zwiększanie obciążeń treningowych, adekwatnie do poziomu ich rozwoju biologicznego.

Ostatni etap – specjalny, od 17 roku życia do zakończenia kariery sportowej. Najważniejszym celem tego etapu jest kształtowanie specyficznych zdolności i umiejętności, właściwych dla ścisłej specjalizacji taktycznej.

Powyżej opisane zadania i cele w kolejnych etapach szkolenia przyszłych sportowców wyczynowych zgodne są z założeniami publikowanymi w opracowaniach z dziedziny teorii sportu. Raczek (1991) podkreśla, iż szczególnie na etapie wstępnym, struktura treningu musi być dostosowana do wieku jego uczestników, jednostki treningowe dla dzieci powinny mieć charakter wszechstronny i organizacyjnie przypominać zajęcia wychowania fizycznego. Niecelowe jest stosowanie periodyzacji typowej dla procesu treningowego sportowców zaawansowanych – dojrzałych. W okresie całorocznym można okresowo silniej akcentować kształtowanie poszczególnych elementów przygotowania motorycznego, natomiast nauczanie elementów technicznych powinno być rozłożone równomiernie. Unikanie jednostronnego obciążania organizmu, na rzecz stosowania wszechstronnych oraz zróżnicowanych środków i form treningowych, przeciwdziała nie tylko przeciążeniom, ale pozwala także uniknąć monotonii, która prowadzi do zniechęcenia i psychicznego "wypalenia", nawet u młodych sportowców (Siekańska 2013).

W kolejnym etapie – ukierunkowanym – szczególne znaczenie przypisać należy okresowi pokwitania. Procesy rozwojowe w tym okresie są szczególnie trudne dla młodych sportowców. Dochodzi wówczas do znacznych zmian somatycznych. Gwałtownie zmieniają się proporcje długościowe ciała, ponieważ wzrost kości długich (biernego aparatu ruchu) przebiega szybciej niż rozwój ścięgien i mięśni (aparatu czynnego). Powoduje to przejściowe pogorszenie predyspozycji biomechanicznych układu ruchu oraz zaburzenie harmonii i płynności ruchów. W efekcie podczas wykonywania ćwiczeń o większej złożoności koordynacyjnej obserwuje się większą niezborność ruchową i pogorszenie precyzji ruchów (Szopa i wsp. 1996, Kielak 1999, Osiński 2000, Wolański i Kaczmarek 2008). Fakty te potwierdzają zasadność założeń teorii

sportu, zgodnie z którymi trening dzieci i młodzieży powinien mieć charakter rozwojowy, oparty na stopniowym zwiększaniu obciążeń oraz rozważnym wprowadzaniu specjalizacji sportowej. Tak prowadzony proces szkolenia zapewnia bezpieczne przygotowanie młodych sportowców do obciążeń maksymalnych stosowanych w późniejszych etapach treningu.

1.4. Uwarunkowania mocy mięśniowej

Moc mięśniowa to zdolność mięśni do generowania maksymalnej siły w jak najkrótszym czasie. Oznacza to, że jest ona związana zarówno z siłą, jak i maksymalną szybkością skracania włókien mięśniowych. Im szybciej mięsień może wygenerować maksymalną siłę, tym większa jest jego moc. Maksymalna szybkość skracania uwarunkowana jest głównie składem włókien mięśniowych. W mięśniach poprzecznie prążkowanych człowieka można wyróżnić trzy główne typy włókien: I, IIA oraz IIX (dawniej nazywane IIB). Włókna typu I, nazywane również wolnokurczliwymi, osiągają szczytowe napięcie wolniej, ale charakteryzują się dużą wytrzymałością na zmęczenie. Angażowane są w długotrwałych wysiłkach o niskiej intensywności (np. biegi długodystansowe), pełnią również funkcję stabilizacji postawy ciała. Włókna typu IIX, których tempo skracania oraz siła maksymalna są największe, jednak są przy tym najbardziej podatne na zmęczenie, dlatego angażowane są podczas krótkich, wysiłków o maksymalnej intensywności. Włókna typu IIA zaliczane są do włókien szybko kurczliwych, natomiast posiadają cechy zarówno włókien I jak i IIX – są średnio wytrzymałe i umiarkowanie szybkie (Żołądź 2001).

Sargeant i Jones (1995) badając cechy włókien typu IIX stwierdzili, że wykazują one około 10-krotnie wyższą szybkość skracania niż włókna typu I. Badania bezpośrednie (biopsja) przeprowadzone przez Costill i wsp. (1976) oraz Simoneau i Bouchard (1995) potwierdzają korelację między proporcją włókien typu I i II w mięśniach czworogłowych a wynikami w sprintach oraz skokach lekkoatletycznych – wysoka zawartość włókien szybko kurczliwych ułatwia osiągnięcie maksymalnych wartości mocy mięśniowej, bez względu na wielkość masy mięśniowej. Z kolei maksymalna wielkość siły mięśniowej zależy głównie od przekroju poprzecznego mięśnia. Liczne badania wykazały, że w maksymalnym skurczu izometrycznym mięśnie szkieletowe człowieka wyzwalają siłę wynoszącą 30-80 N na cm² przekroju poprzecznego mięśnia. Wzrost masy mięśniowej prowadzi zatem do wzrostu siły maksymalnej, a przez to do zwiększenia maksymalnej mocy mięśniowej (Fukunaga i wsp. 1997, Żołądź 2001, Aagaard i wsp. 2002).

Podczas generowania maksymalnych i submaksymalnych wartości mocy mięśniowej ważną rolę odgrywa również poziom koordynacji ruchowej. Badanie Iseul i Hae-Dong (2023)

wykazało, że lepsi skoczkowie charakteryzowali się większą synchronizacją ruchów w stawach skokowym, kolanowym i biodrowym, co umożliwiało efektywniejsze wykorzystanie cyklu rozciągnięcie-skurcz (ang. *stretch-shortening cycle*, SSC) i generowanie większej mocy. 12-tygodniowe badanie Rutherford i Jones (1986) wykazało, że poprawa wyników w specjalistycznych testach motorycznych w znacznej mierze wynika z doskonalenia koordynacji nerwowo-mięśniowej, a nie wyłącznie ze wzrostu siły mięśniowej. Znaczenie mechanizmów nerwowych, zwłaszcza poprawy koordynacji, wzrasta wraz ze stopniem złożoności wykonywanego ruchu. Badania EMG przeprowadzone podczas sprinterskiej jazdy na rowerze wykazały, że osiąganie maksymalnej mocy zależy od skoordynowania pracy grup mięśniowych. Lepsza synchronizacja ich aktywności umożliwiła generowanie większej mocy przy mniejszym napięciu mięśniowym (Wakeling i wsp. 2010, 2011).

Generowanie mocy mięśniowej uwarunkowane jest również efektywnością produkcji energii w komórkach mięśniowych. Do skurczu niezbędna jest energia chemiczna zmagazynowana w adenozynotryfosforanie (ATP). Jego zasoby są jednak ograniczone i wynoszą około 24 mmole/kg w suchej masie mięśniowej. W warunkach bardzo intensywnej pracy, np. podczas maksymalnego wyskoku czy sprintu, mięśnie zużywają ATP w tempie około 14 mmol/kg suchej masy mięśniowej na sekundę.

Gdyby nie zdolność organizmu do resyntezy ATP, w ciągu niespełna 2 sekund doszłoby do wyczerpania jego zapasów. Podczas krótkotrwałych wysiłków maksymalnych, wymagających generowania bardzo dużej mocy mięśniowej, szczególne znaczenie mają beztlenowe mechanizmy resyntezy ATP. Podstawowymi substratami wykorzystywanymi do szybkiego odtwarzania ATP są fosfokreatyna oraz glikogen mięśniowy. System fosfagenowy umożliwia szybką resyntezę ATP bez udziału tlenu. Zasoby fosfokreatyny w mięśniach są jednak niewielkie i podczas wysiłku maksymalnego szybko się zmniejszają (w ciągu kilku–kilkunastu sekund), ograniczając możliwość długotrwałego utrzymywania maksymalnej mocy. System ten odgrywa szczególnie istotną rolę podczas krótkotrwałych wysiłków eksplozywnych, takich jak sprinty, skoki czy rzuty. Wraz z wydłużaniem czasu trwania wysiłku zwiększa się udział glikolizy beztlenowej. System glikolityczny charakteryzuje się mniejszą mocą niż system fosfagenowy, ale większą pojemnością energetyczną, dzięki czemu umożliwia dłuższe podtrzymywanie wysiłku o wysokiej intensywności. Towarzyszące intensywnemu wysiłkowi zmiany metaboliczne i zaburzenia homeostazy wewnątrzkomórkowej (m.in. towarzyszące zwiększonej produkcji i akumulacji mleczanu) przyczyniają się do rozwoju zmęczenia, czego konsekwencją jest stopniowe zmniejszanie zdolności mięśni do generowania wysokiej mocy (Żołądź 2001).

Kolejnym czynnikiem wpływającym na zdolność mięśni do generowania mocy maksymalnej jest temperatura wewnątrzmięśniowa. Jej wzrost zwiększa maksymalną prędkość skracania włókien mięśniowych, w tym włókien wolnokurczliwych. Z kolei obniżenie temperatury wewnątrzmięśniowej, podobnie jak zmęczenie mięśni, prowadzi do zmniejszenia prędkości ich skracania. Wyniki badań wskazują, że po przeprowadzeniu odpowiedniej rozgrzewki temperatura mięśnia czworogłowego uda może wzrosnąć o około 3-4 °C, a zdolność odpowiednio rozgrzanych mięśni do generowania mocy maksymalnej – o około 15-20%. Intensywność rozgrzewki należy jednak zaplanować tak, aby nie doprowadzić do nadmiernego zużycia substratów energetycznych (ATP, PCr i glikogenu) oraz nadmiernego nagromadzenia metabolitów. Może to bowiem prowadzić do zmęczenia, które ograniczy korzystny wpływ wzrostu temperatury mięśni na zdolność do generowania mocy (Żołądź 2001).

Ważnym czynnikiem wpływającym na ocenę poziomu mocy mięśniowej jest budowa ciała, w tym jego parametry długościowe oraz skład. Szczególnie w badaniach populacyjnych oceniających sprawność motoryczną dzieci i młodzieży stwierdzano zależność między rozmiarami ciała a wynikami testów służących do oceny mocy mięśniowej. Twórcy baterii testowych i norm wynikowych zalecają, aby w ocenie sprawności uwzględniać nie tylko płeć i wiek kalendarzowy, lecz także poziom rozwoju biologicznego oraz parametry budowy ciała, takie jak wysokość i masa ciała czy beztłuszczowa masa ciała (LBM) (przegląd: Szopa i wsp. 1996, Pilicz 1997, Osiński 2000). Uwzględnianie LBM jest uzasadnione m.in. negatywnym wpływem nadmiernego otluszczenia na sprawność motoryczną, szczególnie w zadaniach wymagających przemieszczania własnego ciała oraz generowania dużej mocy względnej, takich jak skoki czy sprinty (Osiński 1988, Markovic i Jaric 2007, Kasović 2022).

Przedstawione w rozdziałach wstępnych zagadnienia stanowiły podstawę przyjętych założeń metodycznych i badawczych oraz sposobu zaprojektowania eksperymentu opisanego w niniejszej pracy. Wielkość obciążeń, strukturę i treści treningowe dostosowano do wieku uczestników, natomiast dobór testów i wskaźników pomiarowych oparto na aktualnym stanie wiedzy, z uwzględnieniem niezbędnych ograniczeń organizacyjnych.

2. CEL PRACY ORAZ PYTANIA BADAWCZE

Celem pracy była ocena skuteczności autorskiego programu treningu plyometrycznego w kształtowaniu mocy mięśniowej kończyn dolnych u młodych siatkarek i siatkarzy oraz określenie jego wpływu na wybrane parametry wyskoku pionowego. Efekty programu oceniono w porównaniu z efektami treningu standardowego.

Dla realizacji przyjętego celu pracy oraz oceny efektów zastosowanego treningu eksperymentalnego sformułowano następujące pytania badawcze:

1. Czy trening eksperymentalny spowoduje większą poprawę wskaźników mocy mięśniowej kończyn dolnych niż trening standardowy?
2. Czy zmiany wskaźników mocy mięśniowej kończyn dolnych uzyskane w wyniku treningu eksperymentalnego będą większe niż zmiany cech somatycznych oraz wskaźników sprawności motorycznej nieobjętych ukierunkowanym oddziaływaniem treningu plyometrycznego?
3. Czy przyrosty wskaźników skoczności po treningu eksperymentalnym wykracza poza zakres zmian oczekiwanych na podstawie norm populacyjnych i sportowych?
4. Czy zastosowany trening plyometryczny poprawi efektywność fazy rozbiegu, poprzedzającej wyskok do ataku?

3. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

3.1. Charakterystyka badanej grupy

Projekt badawczy uzyskał niezbędne zgody Komisji Bioetycznej Okręgowej Izby Lekarskiej w Krakowie Nr 204 /KBL /OIL /2022 z dnia 16. września 2022 r. Zgodnie z wymogami Deklaracji Helsińskiej uczestnicy zostali poinformowani o celach badań, metodach, potencjalnych skutkach ubocznych oraz możliwości wycofania się z badania w dowolnym momencie bez podania przyczyny. Przed rozpoczęciem badań uzyskano pisemną zgodę rodziców lub opiekunów prawnych wszystkich uczestników na ich udział w badaniu. Dane zanonimizowano i przechowywano w sposób ograniczający dostęp osób nieuprawnionych.

W projekcie uczestniczyły dwie grupy początkujących sportowców: grupa siatkarek oraz grupa siatkarzy o stażu treningowym wynoszącym 2-3 lata. Dziewczęta w wieku 12-13 lat były uczennicami szkoły sportowej objętej systemem szkolenia Siatkarskich Ośrodków Szkolnych. W ramach zajęć szkolnych trzy razy w tygodniu uczestniczyły w specjalistycznym treningu siatkarskim, a dwa razy w tygodniu w ogólnorozwojowych zajęciach wychowania fizycznego. Ponadto raz w tygodniu brały udział w dodatkowej jednostce treningowej organizowanej przez klub sportowy UKS "Sparta" Kraków, podczas której realizowano standardowy program szkolenia siatkarskiego.

Chłopcy w wieku 14-15 lat byli uczniami ogólnodostępnych szkół podstawowych, w których dwa razy w tygodniu uczestniczyli w zajęciach wychowania fizycznego. Trening siatkarski realizowali natomiast w klubie sportowym WKS "Wawel" Kraków, uczestnicząc w trzech jednostkach treningowych tygodniowo.

W obu grupach (dziewczęta i chłopcy) każda jednostka treningowa trwała 90 minut. W okresie objętym badaniami uczestnicy wzięli również udział w sześciodniowym zimowym zgrupowaniu sportowym, zorganizowanym na przełomie stycznia i lutego, w trakcie pierwszego – standardowego – cyklu treningowego. Podczas zgrupowania zrealizowano 10 jednostek treningowych. Ich treść i objętość nie odbiegały od programu realizowanego w standardowym cyklu szkoleniowym. Zajęcia obejmowały przede wszystkim ćwiczenia techniczno-taktyczne, gry siatkarskie oraz gry i zabawy ogólnorozwojowe.

Do projektu przystąpiło 18 dziewcząt oraz 16 chłopców. Nie wszyscy ukończyli jednak pełny cykl badań. Z dalszej analizy wyłączono wyniki sześciu osób – dwóch dziewcząt i czterech chłopców – które z powodu choroby lub innych zdarzeń losowych nie spełniły

kryterium co najmniej 80% frekwencji treningowej albo nie uczestniczyły we wszystkich zaplanowanych pomiarach. Ostatecznie do analizy zakwalifikowano wyniki 28 osób: 16 dziewcząt i 12 chłopców.

Kryteria udziału w badaniu oraz zakwalifikowania wyników do końcowej analizy obejmowały:

- wiek: 12-13 lat w przypadku dziewcząt i 14–15 lat w przypadku chłopców;
- brak nadwagi i otyłości;
- staż treningowy w piłce siatkowej wynoszący 2-3 lata;
- pełną zdolność do uczestnictwa w treningu i brak urazów ograniczających aktywność ruchową w okresie objętym badaniami;
- zgodę rodziców lub opiekunów prawnych na udział dziecka w badaniach;
- co najmniej 80% frekwencji w każdym cyklu treningowym;
- udział we wszystkich zaplanowanych pomiarach i testach w wyznaczonych terminach.

3.2. Metodyka treningu eksperymentalnego

W 8-tygodniowym cyklu eksperymentalnym dziewczęta i chłopcy uczestniczyli w jednostkach treningowych o zmodyfikowanej treści, realizowanych dwa razy w tygodniu. Pomiędzy zmodyfikowanymi jednostkami treningowymi zachowano co najmniej 48-godzinny odstęp.

Modyfikacja treści treningu polegała na zastosowaniu ćwiczeń plyometrycznych o łącznej objętości 140-160 podskoków i wyskoków jednonóż oraz obunóż, wykonywanych w krótkich seriach (od 6 do 16 powtórzeń). Serie ćwiczeń plyometrycznych włączono do typowego toku zajęć – wykonywano je w końcowej części rozgrzewki oraz na początku części głównej, naprzemiennie z zadaniami doskonalącymi umiejętności techniczno-taktyczne. Jednocześnie obniżono intensywność zadań specjalistycznych do poziomu podtrzymującego. W odróżnieniu od standardowych jednostek treningowych ćwiczenia te nie wymagały wyskoków ani biegów sprinterskich, lecz pełniły funkcję aktywnych przerw pomiędzy kolejnymi seriami podskoków i wyskoków plyometrycznych. Treść omawianych zadań specjalistycznych obejmowała wielokrotne powtórzenia następujących elementów: odbicia piłki oburącz, zagrywka tenisowa, wystawienie piłki, dogranie i obrona tzw. piłek łatwych oraz przyjęcie zagrywki. Elementy te łączono z prostymi formami przemieszczania się – marszem lub truchtem. W konsekwencji podczas eksperymentalnych jednostek treningowych objętość typowych, siatkarskich zadań skocznościowych, wynikających ze standardowego toku ćwiczeń specjalistycznych, zmniejszono o około 25%.

W toku każdej eksperymentalnej jednostki treningowej stopniowo zwiększano intensywność i trudność ćwiczeń plyometrycznych. Dłuższe serie ćwiczeń o mniejszej intensywności wykonywano podczas rozgrzewki, natomiast w części głównej, wraz ze wzrostem trudności i intensywności wyskoków, zmniejszano liczbę powtórzeń w serii. Poniżej przedstawiono treść i objętość ćwiczeń plyometrycznych wykonywanych podczas eksperymentalnych jednostek treningowych. W każdej jednostce stosowano cztery spośród wymienionych ćwiczeń – po dwa ćwiczenia każdego typu:

Typ i treść ćwiczeń	Liczba wyskoków
<u>Ćwiczenia angażujące głównie mięśnie prostowniki stawu skokowego</u>	
podskoki pionowe obunóż,	40
lekkoatletyczne skipingi akcentujące fazę lądowanie-podskok	40
pionowe podskoki jednonóż (naprzemienne)	30
podskoki boczne jednonóż (naprzemienne)	30
rytmiczne podwójne podskoki (typu tańca kankan) na jednej nodze (wykonywane naprzemiennie: NL i NP)	40
<u>Ćwiczenia angażujące prostowniki kolana i biodra</u>	
wyskoki pionowe obunóż po zeskoku z niewielkiej wysokości (ławeczka gimnastyczna)	30
wieloskoki boczne obunóż – ponad linią boiska	40
wieloskoki boczne przez niskie (ok. 20 cm) szkolne płotki	40

3.3. Postępowanie badawcze

Cały projekt przeprowadzono w dwóch etapach: dla chłopców – w sezonie 2022/23, dla dziewcząt – w sezonie 2023/24. W obu grupach szkoleniowych schemat postępowania był następujący:

- pierwszą serię badań wykonano w styczniu, w tygodniu poprzedzającym 8-tygodniowy okres szkolenia standardowego (w 1. tygodniu projektu);
- drugą serię badań wykonano w marcu, w tygodniu następnym po cyklu standardowym (10. tydzień projektu); w kolejnym (tydzień 11.), rozpoczęto 8-tygodniowy, eksperymentalny cykl szkolenia.
- trzecią serię badań wykonano w maju, bezpośrednio po zakończeniu eksperymentalnego cyklu szkolenia (w tygodniu 19.).

Zakres badań obejmował następujące pomiary i testy (szczegółowe opisy umieszczono w Aneksie pracy):

1. Pomiar podstawowych parametrów somatycznych: wysokości ciała, długości tułowia i długości nóg, maksymalnego zasięgu wyprostowanego ponad głowę ramienia oraz masy ciała i odsetkowej zawartości tkanki tłuszczowej mierzonej przy zastosowaniu elektronicznej wagi TANITA model BC-601.

2. Populacyjne testy sprawności motorycznej z baterii Eurofit (za: Dobosz 2012):

- częstotliwość ruchów ramienia (tapping ramieniem) – wskaźnik koordynacyjnej zdolności motorycznej sprzężenia ruchów ramienia; przebieg testu rejestrowano kamerą cyfrową z dokładnością do 0,04 s (zapis filmu z częstotliwością 25 klatek na sekundę – FPS = 25); próbę powtarzano dwukrotnie; w analizach obliczeniowych uwzględniono wynik lepszy;
- skok w dal z miejsca – wskaźnik mocy nóg (siły eksplozywnej); odległość skoku mierzono z dokładnością do 1 cm; próbę powtarzano trzykrotnie, w analizach obliczeniowych uwzględniono wynik najlepszy;
- interwałowy bieg sprinterski 10 x 5 m – wskaźnik mocy nóg; próbę wykonywano jednokrotnie; przebieg testu rejestrowano kamerą cyfrową z dokładnością do 0,01 s (zapis filmu z częstotliwością 100 klatek na sekundę – FPS = 100); do obliczeń wykorzystano sumę czasów pokonania poszczególnych odcinków biegowych – usunięto czasy potrzebne na zmianę kierunku (zawracanie), ponieważ uznano, iż duża liczba błędów ruchowych w trakcie zmiany kierunku biegu (poślizgi, potknięcia, utrata równowagi) zmniejszy znacząco trafność i rzetelność pomiaru;
- maksymalna liczba skłonów z siadu w czasie 30 s – wskaźnik mocy mięśni brzucha; próbę wykonywano jednokrotnie.

3. Selekcyjne testy sprawności dla młodych sportowców (Spieszny 2011):

- tapping piłką lekarską o masie 2 kg – wskaźnik mocy ramion; przebieg testu rejestrowano kamerą cyfrową z dokładnością do 0,04 s (zapis filmu z częstotliwością 25 klatek na sekundę – FPS = 25); próbę powtarzano dwukrotnie; w analizach obliczeniowych uwzględniono wynik lepszy;
- rzut z za głowy z pozycji klęku obunóż, piłką lekarską o masie 1 kg – wskaźnik mocy ramion (siła eksplozywna); długość rzutu mierzono z dokładnością do 10 cm; próbę powtarzano trzykrotnie; w analizach obliczeniowych uwzględniono wynik najlepszy.

4. Testy wyskoku pionowego

Kluczowe dla oceny efektów eksperymentu pomiary wykonano stosując zapis filmowy za pomocą kamery o wysokiej rozdzielczości obrazu (HD = 1920x1080 pikseli) i częstotliwości

zapisu klatek filmowych (100 FPS – 100 klatek na sekundę). Taka metoda pomiaru pozwoliła na wykonanie zadań testowych w warunkach najbliższych naturalnym – wykonywanych ze swobodą niemal taką, jak w trakcie zwykłych zadań treningowych lub podczas gry. Zmierzano:

- wyskok pionowy z miejsca, z fazą zamachową ramion (CMJ) – wskaźnik mocy nóg (siła eksplozywna); wysokość wyskoku oceniano dwoma metodami: 1) czasem fazy lotu – pomiar z dokładnością do 0,01 s, 2) pionowym odcinkiem reprezentującym wysokość wyskoku na stopklatce filmowej – pomiar z dokładnością do 1 piksela = 0,26 cm; próbę powtarzano trzykrotnie; w analizach obliczeniowych uwzględniono wynik najlepszy;
- wyskok pionowy po dwukrokovym rozbiegu "do ataku" – wskaźnik mocy nóg (siła eksplozywna); wysokość wyskoku oceniano dwoma metodami: 1) czasem fazy lotu – pomiar z dokładnością do 0,01 s, 2) pionowym odcinkiem reprezentującym wysokość wyskoku na stopklatce filmowej – pomiar z dokładnością do 1 piksela = 0,26 cm; próbę powtarzano trzykrotnie; w analizach obliczeniowych uwzględniono wynik najlepszy;
- w obu testach wyskoku pionowego (CMJ i wyskok "do ataku") zmierzono również odcinki czasowe w aktywnej fazie podporowej: izometryczną fazę kumulacji (plyometryczną) oraz fazę koncentryczną zakończoną oderwaniem stóp od podłoża; do obliczeń wykorzystano czas izometrycznej fazy kumulacji oraz zsumowany czas faz podporowych: izometrycznej i koncentrycznej ("faza odbicia"); odcinki czasowe odczytywano z zapisu video z dokładnością do 0,01 s;
- test serii podskoków (Georgescu 1969, Georgescu i wsp. 1979) – wskaźnik mocy kończyn dolnych; podskoki wykonywano na połączonej z komputerem platformie tensometrycznej FitroJump; parametry czasowe testu rejestrowano za pomocą dedykowanej aplikacji z deklarowaną przez producenta dokładnością do 0,001 s; próbę wykonywano jednokrotnie.

Odczyt i analizę materiał filmowego wykonano, używając następujących programów komputerowych w systemie Microsoft Windows® 10:

- Media Player Classic Home Cinema® ver. 1.7 (URL1.) - odtwarzanie filmu w skali 1:1 i zatrzymywanie obrazu na klatkach kluczowych dla odczytu współrzędnych punktów pomiarowych na ekranie monitora,
- FastStone Capture® ver. 5.3 (FastStone Soft®) (URL2.) - odczyt położenia punktów na stopklatce filmowej (współrzędne piksela na ekranu monitora),
- Avidemux® ver. 2.8 (URL3.) - odczyt czasu zarejestrowania klatek materiału filmowego, kluczowych dla pomiarów odcinków czasowych.

3.4. Metody opracowania wyników

Pomiary cech somatycznych wykorzystano dodatkowo do obliczenia wskaźników wagowo-wzrostowych (BMI i wskaźnika smukłości), natomiast na podstawie wyników testów sprawnościowych wyznaczono wskaźniki pracy i mocy mięśniowej (MPA i MMA), zgodnie z metodyką obliczeń zalecaną przez autorów poszczególnych prób testowych. Obliczono również zmodyfikowany wskaźnik siły reaktywnej (RSI – *Reactive Strength Index*), uwzględniający parametry czasowe poszczególnych faz wyskoku pionowego. Formuły obliczeniowe zastosowanych wskaźników oraz szczegółowe procedury ich wyznaczania przedstawiono w Aneksie.

Do analizy statystycznej wyników zastosowano:

- podstawowe miary opisujące zmienność w zbiorach pomiarów, które posiadają typ ilościowy i normalny rozkład zmienności: średnią arytmetyczną, odchylenie standardowe, 95% przedział ufności średniej arytmetycznej, wyniki najmniejszy (min) i największy (max) oraz współczynnik zmienności;
- współczynnik korelacji liniowej Pearsona do oceny zależności pomiędzy wybranymi zmiennymi;
- nieparametryczne testy - dwumianowy oraz test chi-kwadrat (χ^2) - do oceny różnic częstości występowania danych w poszczególnych kategoriach;
- wieloczynnikową analizę wariancji MANOVA dla badań powtarzanych, weryfikującą istotność różnic średnich arytmetycznych, uzupełnioną o analizę prawdopodobieństwa testami post-hoc;
- unormowane wskaźniki różnic średnich arytmetycznych, odnoszone do 95% przedziału ufności.

Szczegółowe informacje dotyczące sposobu wykorzystania poszczególnych metod statystycznych przedstawiono w odpowiednich częściach rozdziału Wyniki.

Analizy statystyczne oraz graficzne opracowanie wyników wykonano z wykorzystaniem aplikacji komputerowych Statistica (StatSoft®) oraz Microsoft® Excel i Word.

4. WYNIKI

4.1. Ocena dokładności i rzetelności pomiarów

Testowanie postępów sprawności motorycznej w stosunkowo niewielkich odstępach czasu może być obciążone błędami wynikającymi z dokładności zastosowanych narzędzi pomiarowych. Jeśli wielkość różnicy – postęp lub regres – w kolejnych badaniach zawiera się w zakresie błędu pomiaru, to analiza danych i wnioskowanie są mniej prawdopodobne. Niebezpieczeństwo takie zachodzi szczególnie wtedy, gdy liczebność obserwacji jest stosunkowo niewielka i tzw. błąd losowy (przypadkowy) pojedynczych pomiarów może mieć nadmierną "wagę" – wpływa znacząco na podstawowe miary statystyki opisowej całego zbioru danych. W przypadku obliczeń na dużej liczbie przypadków natomiast zakłada się, że efekt niedokładności narzędzia jest mniejszy – losowe błędy redukują się i ich wpływ na wskaźniki statystyczne jest znikomy.

Ponieważ w opisywanym eksperymencie grupy nie były zbyt liczne (13 chłopców i 16 dziewcząt), konieczne jest oszacowanie dokładności zastosowanych pomiarów.

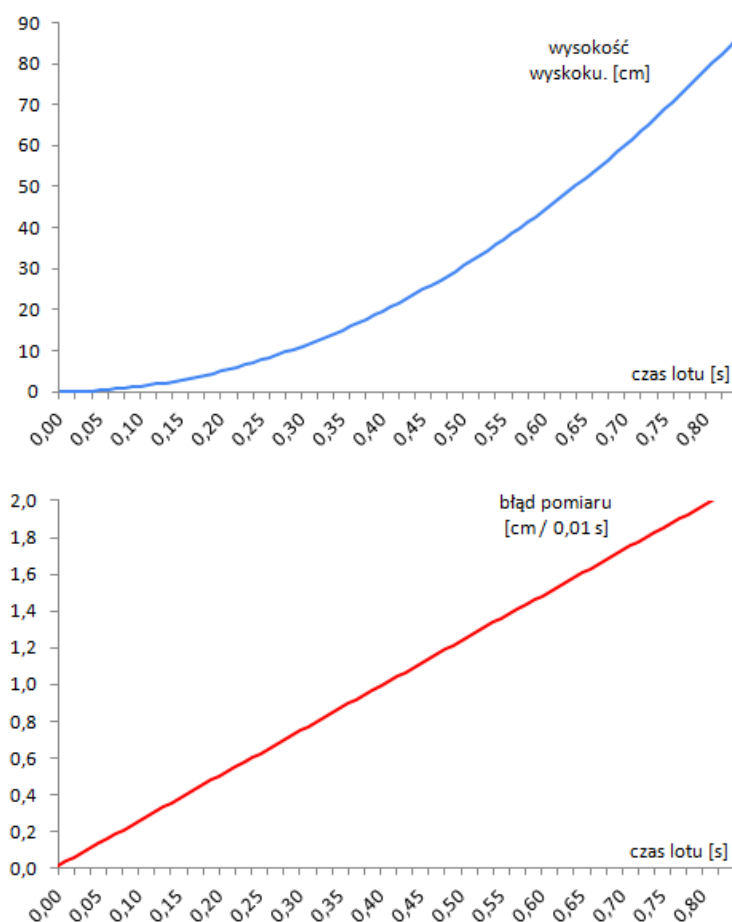
4.1.1. Błędy narzędzi pomiarowych

Somatyczne – długościowe parametry ciała zamierzono za pomocą antropomierza skalibrowanego z dokładnością do 1 mm. W tym przypadku jednak, tak duża dokładność narzędzia wydaje się nadmiarowa w stosunku do natury i właściwości mierzonych cech, gdyż wahania dobowe np. wysokości ciała osiągają zakres nawet 1 cm. Pomiary masy ciała i zawartości tkanki tłuszczowej wykonano na wadze elektronicznej, skalibrowanej do rzędu dziesiątych części jednostki (masa w kg lub zawartość tkanki tłuszczowej w%). Także w tym przypadku, dokładność wydaje się nadmiarowa w stosunku do zakresu dobowej zmienności mierzonych cech. Za błąd pomiaru przyjęto więc: dla cech długościowych wielkość rzędu 0,5 cm, dla masy ciała 0,5 kg oraz dla zawartości tkanki tłuszczowej 0,5%.

Błąd pomiarowy podczas testów wyskoków pionowych, ocenianych czasem lotu – pomiary oznaczono w pracy: CMJ (czas) oraz atak (czas) – może wynikać zarówno ze sposobu wykonania fazy lądowania, jak również niedokładności narzędzia pomiarowego. W fazie lądowania opóźniony moment kontaktu z podłożem występuje, gdy tuż przed lądowaniem nastąpi nadmierne ugięcie kolan lub stóp. Jeśli taki sposób lądowania jest naturalny dla badanej osoby, wtedy przyjmuje się, iż jest to błąd systematyczny – będzie występować podczas każdej

próby – w każdym terminie badań – i nie wpłynie na rzetelność oceny postępów. Z kolei błąd narzędzia – pomiar czasu fazy lotu – wyznaczony jest przez częstotliwość rejestrowania klatek filmowych, FPS = 100 (*Frames Per Second*).

Poniżej (ryc. 1. oraz formuły obliczeniowe), przedstawiono zależność między wysokością wyskoku a czasem lotu oraz wielkość błędu pomiarowego w zależności od wysokości wyskoku. Ponieważ wysokość wyskoku jest funkcją kwadratową czasu lotu, więc odcinek fazy lotu pokonywany w czasie 0,01 s będzie inny dla różnych wysokości wyskoku. Dla wartości wyskoku zanotowanych metodą pomiaru czasu lotu, błąd narzędzia pomiarowego należy oszacować następująco: u dziewcząt na poziomie maksymalnym ± 1 cm (dla najwyższego zanotowanego wyskoku do ataku – 42 cm, mierzonego czasem fazy lotu), natomiast u chłopców błąd maksymalny wynosi niemal $\pm 1,6$ cm (dla wyskoku 66 cm). W obu przypadkach wielkość błędu nie przekracza 2,5% pomiaru testowego.



Ryc. 1. Funkcje: wysokość wyskoku oraz wielkość błędu pomiaru w jednostce czasu w zależności od czasu lotu

Paraboliczna funkcja: wysokość wyskoku a czasu lotu:

$$h [cm] = g [m/s^2] * (t [s] / 2)^2 / 2 * 100$$

gdzie: $h [cm]$ – wysokość wyskoku,
 $g [m/s^2]$ – przyspieszenie ziemskie,
 $t [s]$ – czas lotu,
100 – mnożnik przeliczenia [m] na [cm].

Liniowa funkcja: błąd pomiaru w jednostce czasu a czas lotu (różniczka "po czasie" funkcji wysokość wyskoku a czas lotu):

$$d [m/s] = g [m/s^2] * t [s] / 4$$

gdzie: $d [m/s] = d [cm/s * 10^{-2}]$ – błąd pomiaru w jednostce czasu,
 $g [m/s^2]$ – przyspieszenie ziemskie,
 $t [s]$ - czas lotu.

Błąd pomiaru wysokości wyskoku, wyznaczanej na podstawie długości odcinka na stopklatce filmu, zależy od liczby pikseli tworzących ten odcinek. Pomiary wykonane tą metodą oznaczono w pracy jako CMJ (pix) oraz atak (pix).

W zakresie mierzonych wysokości wyniesienia środka ciężkości podczas wyskoku (0,5-1,5 m) – w zapisie o jakości full HD (1920x1080 pix) – każdy kolejny piksel oznaczał zmianę wysokości o 0,258 cm. Wartość tę należy uznać za wysoce, a nawet nadmiarowo precyzyjną. Jednak podczas wykonywania testu wyskoku do ataku nie zawsze punkt lądowania następował w punkcie wyskoku. W takiej sytuacji, przesunięcie równoległe do obiektywu (nawet kilkunastocentymetrowy wyskok do przodu) nie zmieniało dokładności pomiaru, natomiast w przypadku lądowania bliżej lub dalej – przesunięcie prostopadłe do obiektywu – wpływało na dokładność oszacowania wysokości wyskoku. Przyjęto, iż lądowanie w odległości do 20 cm od osi skalowania obrazu (bliżej lub dalej od obiektywu) nie jest błędem wykonania próby testowej, jednak niedokładność taka wymaga oszacowania błędu pomiarowego.

W skrajnym przypadku – przesunięcie punktu lądowania o 20 cm oznacza, że w najwyższym punkcie wyskoku odległość od wyskalowanej osi pomiarowej wynosi 10 cm, co wynika z symetrycznej paraboli fazy lotu. Ponieważ odległość obiektywu kamery od punktu skalowania ustawiono na 350 cm, więc proporcjonalne przesunięcie o 10 cm zmienia pomiar – powoduje błąd odczytu – co najwyżej o wynik proporcji $10 \text{ cm} / 350 \text{ cm} = 2,86\%$. Dla najwyższych wartości wyskoku do ataku (pix), u dziewcząt błąd maksymalny mieści się w zakresie $\pm 1,5 \text{ cm}$ (najwyższy zanotowany wyskok = 52 cm), natomiast u chłopców błąd maksymalny wynosi $\pm 2,2 \text{ cm}$ (wyskok najwyższy = 77 cm).

Podczas testu wyskoku pionowego bez rozbiegu – CMJ (pix) – błąd przemieszczenia w praktyce nie wystąpił, gdyż zadanie testowe jest znacznie mniej złożone koordynacyjnie, niż wyskok po rozbiegu do ataku.

Czas poszczególnych faz podporowych (izometryczna faza kumulacji i koncentryczna faza odbicia) podczas wyskoku CMJ i wyskoku do ataku rejestrowano kamerą cyfrową z dokładnością FPS = 100, stąd błąd pomiaru wynosi 0,01 s.

Populacyjne testy mocy nóg i ramion oraz wytrzymałości mięśni brzucha mierzono i zapisywano z dokładnością jak w oryginalnej instrukcji testowej: dla skoku w dal z miejsca – do 1 cm, dla rzutu 1 kg piłką lekarską – do 10 cm, dla wytrzymałości mięśni brzucha – do jednego powtórzenia. Próby testowe tappingu ramieniem oraz tappingu 2 kg piłką lekarską rejestrowano kamerą cyfrową z częstotliwością FPS = 25, stąd błąd pomiaru czasu wykonania tych testów wynosi 0,04 s. Podczas testu biegowego (sprint 10 x 5 m) każdy interwał rejestrowany był kamerą cyfrową z dokładnością FPS = 100, a więc skumulowany maksymalny błąd pomiaru czasu wykonania całego testu mógł wynieść $10 \times 0,01 \text{ s} = 0,1 \text{ s}$.

Kryteria oceny wykonania testu (ocena odległości lub ocena momentu rozpoczęcia i zakończenia zadania testowego) były identyczne w każdym terminie badań. Z tego powodu, podane powyżej, maksymalne wartości błędów pomiarowych należy traktować jako przypadkowe – o stosunkowo nieznacznym wpływie na interpretację analizy liczbowej o ile różnice, zarówno indywidualne jak i grupowe, będą większe od wielkości tychże błędów. Inaczej – w sytuacji, gdy przykładowo: miary statystyczne pozwalają uznać statystyczną istotność różnic, natomiast analiza ich nominalnych wielkości wskazuje, że cały postęp zawiera się w wielkości błędu pomiarowego, to interpretacja praktyczna powinna być bardzo ostrożna, a nawet przeniesiona do strefy ograniczeń badawczych.

4.1.2. Rzetelność wyników w testach mocy nóg

W kluczowych testach oceniających efekty eksperymentu: wyskoku pionowego z miejsca (CMJ) i wyskoku do ataku po rozbiegu (atak), przeprowadzono dodatkową korektę wielkości tzw. przypadkowych (losowych) błędów pomiarowych. Postępowanie korygujące opiera się na założeniu, że pomiar tego samego wyskoku dwoma metodami (czasem lotu oraz długością odcinka na stopklatce) można uśrednić, co zmniejszy błąd wspólny. Pomiar wysokości tego samego wyskoku zanotowane za pomocą obu metod (czas oraz pix) różnią się znacząco – nawet o ponad 10 cm, co jest spodziewaną konsekwencją systematycznego błędu narzędzi pomiarowych (Attia i wsp. 2017, Lake i wsp. 2018). Konieczne więc było zastosowanie procedury uśrednienia na wielkościach standaryzowanych.

Korektę pomiarów oraz weryfikację ich rzetelności, wykonano osobno dla grupy dziewcząt i grupy chłopców w następujący sposób:

- każdy indywidualny pomiar testowy "CMJ pix", "CMJ czas" oraz "atak pix" i "atak czas" znormalizowano (na średnią i odchylenie standardowe wyników poszczególnych badań) – pomiary uzyskane w pierwszym badaniu normalizowano na średnią i SD wyników w tym badaniu, tę samą procedurę zastosowano do pomiarów w drugim i trzecim badaniu;
- tak przeliczone wyniki połączono w uszeregowane ciągi liczbowe, zawierające wszystkie pomiary z trzech kolejnych badań – osobno dla każdego rodzaju testu (CMJ oraz atak) oraz każdej metody pomiarowej (pix oraz czas); uzyskano w ten sposób po dwa ciągi danych dla każdej grupy o następujących liczebnościach: u chłopców N=39 (3 terminy badań dla 13 osób), u dziewcząt N=48 (3 terminy badań dla 16 osób);
- korektę "przypadkowych" (losowych) błędów każdego pomiaru wykonano poprzez uśrednienie wielkości znormalizowanych, uzyskanych metodami "pix" oraz "czas" – osobno dla obu rodzajów testu (CMJ oraz atak); uzyskano w ten sposób dodatkowe ciągi danych: "CMJ skor." oraz "atak skor.";
- tak otrzymane szeregi danych skorelowano między sobą – osobno dla obu grup, aby zweryfikować rzetelność zastosowanych przeliczeń.

Tab. 1. Weryfikacja rzetelności pomiarów wysoku pionowego; współczynniki korelacji pomiędzy wynikami standaryzowanymi przed i po korekcie

	chłopcy [N=39]					dziewczeta [N=48]				
	CMJ pix	CMJ czas	CMJ skor.	atak pix	atak czas	CMJ pix	CMJ czas	CMJ skor.	atak pix	atak czas
CMJ czas	0,84					0,90				
CMJ skor.	0,96	0,96				0,97	0,97			
atak pix	0,91					0,86				
atak czas		0,78		0,83			0,83		0,81	
atak skor.			0,86	0,96	0,96			0,86	0,95	0,95

Wielkość i siła obliczonych współczynników korelacji (tab. 1) wskazuje, że:

- wszystkie korelacje, szacujące zbieżność wyników przy zastosowaniu obu metod pomiarowych (pix i czas) są wysokie ($r > 0,80$), związki te są istotne statystycznie;
- korelacje międzytestowe (CMJ i atak) także osiągają wysokie wartości ($r > 0,75$) - znaczące statystycznie;
- najwyższe współczynnik korelacji występują pomiędzy pomiarami "przed korektą" a wartościami skorygowanymi ($r > 0,95$), przy czym jednakowa siła korelacji między wynikiem "po korekcie" a wynikami uzyskanymi obiema metodami (pix i czas) jest

oczywista ze względów matematycznych, gdyż po uśrednieniu wielkości standaryzowanych, każdy wynik "po korekcie" jest "odchylony" o taką samą wartość od obu wyników "przed korektą";

- wielkość współczynnika korelacji pomiarów "przed" i "po korekcie" $r > 0,95$ pozwala oszacować błąd wspólny wyniku uśrednionego ("po korekcie") – skumulowany dla obu metod pomiarowych – na poziomie mniejszym niż 5%, a więc na nieco niższym poziomie niż ten, który wyliczono wcześniej dla błędu narzędzi pomiarowych stosowanych w obu metodach pomiarowych (czas lotu i odcinek w pikselach) – suma błędów pomiarów nieuśrednionych wyniosła odpowiednio: 2,5% oraz 2,9%, (w sumie 5,4%).

Wysokie współczynniki korelacji w obrębie tego samego testu (np. "CMJ pix" i "CMJ czas" oraz "atak pix" i "atak czas") świadczą o niewielkim wpływie błędów pomiarowych na wynik testowy. Z kolei korelacje zbieżne międzytestowo (np. "CMJ pix" i "atak pix" oraz "CMJ czas" i "atak czas") świadczą o trafności testów szacujących poziom skoczności. Wreszcie, niemal doskonałe – na poziomie $r \geq 0,95$ – korelacje między wynikami pomiaru "przed korektą" a wartościami skorygowanymi pozwalają sądzić, że dane "po korekcie" są reprezentatywne dla obu metod oceny wyskoku (pix i czas), a zastosowana korekta poprawiła rzetelność pomiarową. Statystyczne oszacowanie błędu pomiarowego w testach wyskoku pionowego za pomocą analizy związków korelacyjnych (maksymalnie: 5% rozbieżność międzypomiarowa) jest mniejsza niż poziom wyliczonych sumarycznych błędów narzędzi pomiarowych (suma maksymalnego błędu pomiaru czasu lotu oraz błędu w odczycie pikseli na obrazie zapisu filmowego).

Na podstawie powyższej analizy zdecydowano, aby w zestawieniach tabelarycznych umieścić wielkości skorygowane, a także uwzględnić je w dalszych analizach liczbowych. Uśrednione wartości standaryzowane przeliczono następnie na odpowiadające im wartości nominalne, odrębnie dla każdego testu i metody pomiaru: CMJ (czas), CMJ (pix), atak (czas) oraz atak (pix), w kolejnych terminach badań.

Współmienność wyników w testach oceniających maksymalną moc anaerobową mięśni nóg oszacowano za pomocą współczynnika korelacji liniowej Persony. Obliczenia wykonano po znormalizowaniu danych (analogicznie jak dla wyskoków pionowych) według następującej procedury (osobno dla grupy dziewcząt i grupy chłopców):

- każdy indywidualny pomiar testowy: "skok w dal", "bieg 10x5 m", "CMJ skorygowany", "atak skorygowany" znormalizowano na średnią i odchylenie standardowe wyników poszczególnych badań – pomiary uzyskane w pierwszym badaniu normalizowano na średnią

i SD wyników w tym badaniu, tę samą procedurę zastosowano do pomiarów w drugim i trzecim badaniu;

- znormalizowane wyniki połączono w uszeregowane ciągi liczbowe, zawierające wszystkie pomiary z trzech kolejnych badań – osobno dla każdego testu; uzyskano w ten sposób ciągi danych o następującej liczebności: u chłopców $N=39$ (3 terminy badań dla 13 osób), u dziewcząt $N=48$ (3 terminy badań dla 16 osób);
- tak przygotowane dane skorelowano między sobą zarówno dla liczebności "razem", jak i dla danych z poszczególnych badań – o liczebności $N=13$ u chłopców oraz $N=16$ u dziewcząt.

Tab. 2. Testy mocy NN: współczynniki między-cechowej korelacji wyników znormalizowanych - w kolejnych badaniach oraz w połączonych zbiorach danych ("razem")

chłopcy				dziewczeta			
	bieg 10x5m	CMJ skor.	Atak skor.		bieg 10x5m	CMJ skor.	Atak skor.
skok w dal				skok w dal			
razem [N=39]	0,14	0,60	0,60	razem [N=48]	0,64	0,80	0,78
bad.1. [N=13]	0,05	0,64	0,61	bad.1. [N=16]	0,56	0,84	0,85
bad.2.	0,16	0,64	0,57	bad.2.	0,73	0,77	0,72
bad.3.	0,21	0,53	0,62	bad.3.	0,65	0,78	0,77
bieg 10x5m				bieg 10x5m			
razem		-0,14	0,20	razem		0,51	0,46
bad.1.		-0,11	0,19	bad.1.		0,44	0,56
bad.2.		-0,15	0,25	bad.2.		0,58	0,42
bad.3.		-0,15	0,15	bad.3.		0,52	0,40

kolorem **czzerwonym** oznaczono współczynniki korelacji, które przekroczyły kryterium istotności statystycznej na poziomie 95%:

u chłopców dla $df=37$ ($39-2$) - $r \geq 0,325$ oraz $df=11$ ($13-2$) $r \geq 0,553$

u dziewcząt dla $df=46$ ($48-2$) - $r \geq 0,288$ oraz $df=14$ ($16-2$) $r \geq 0,497$

współczynniki korelacji z wynikami testu "bieg 10x5m" odwrócono, ponieważ w teście tym rezultaty liczbowo mniejsze (czas biegu) oznaczają wyższy poziom sprawności

Siła współczynników korelacji pomiędzy wynikami testów szacującymi moc nóg (tab. 2.) świadczy, iż:

- korelacje pomiędzy wynikami skoku w dal a wynikami w testach wysoku pionowego uzyskują: w grupie chłopców wartości klasyfikowane jako umiarkowane lub silne (0,53 do 0,64), natomiast w grupie dziewcząt – wyłącznie silne (do 0,72 do 0,84); obliczone wielkości współczynników świadczą o nieprzypadkowej zbieżności wyników – prawie wszystkie osiągają kryterium statystycznej istotności;
- słabsze korelacje występują pomiędzy wynikami testu "bieg 10x5 m" a wynikami testów skocznościowych; w grupie chłopców stwierdzono brak związków (od -0,15 do 0,25),

natomiast w grupie dziewcząt odnotowano związki o sile umiarkowanej (0,40 do 0,71); u dziewcząt, w wielu przypadkach zbieżność ta jest nieprzypadkowa – istotna statystycznie.

W obu badanych grupach, korelacje pomiędzy wynikami testów, szacujących poziom zdolności motorycznych o podobnych predyspozycjach biologicznych, są umiarkowane lub silne. Zależności takie świadczą z jednej strony o wpływie wspólnych predyspozycji na poziom wskaźników testowych (zbieżność wyników), a z drugiej strony o złożoności koordynacyjnej zadania testowego (mniejszy związek lub jego brak z predyspozycjami).

W badaniach populacyjnych, obejmujących osoby nieuprawiające sportu, większą wartość diagnostyczną mogą mieć testy o stosunkowo prostej strukturze ruchu. W przypadku sportowców wynik testu może natomiast zależeć od stopnia podobieństwa wykonywanego zadania do czynności ruchowych charakterystycznych dla uprawianej dyscypliny i doskonalonych w procesie treningowym. W takiej sytuacji pomiary oceniające tę samą zdolność motoryczną będą obciążone znacznym błędem systematycznym. Przykładowo, kolarze uzyskują lepsze wyniki niż siatkarze w teście mocy wykonywanym na cykloergometrze, podczas gdy siatkarze osiągać będą wyższe wskaźniki mocy podczas testu wyskoku pionowego.

Czas fazy izometrycznej (plyometrycznej kumulacji) w testach wyskoku pionowego szacowano z dokładnością do 0,01 s. Ze względu na relatywnie niewielki zakres (rozstęp) wyników oceniających czas trwania tej fazy (od 0,06 do 0,13 [s]) błąd oceny - w skrajnym przypadku - może osiągać niemal 17% wielkości zanotowanego pomiaru. Tak znacząca proporcja wymaga zweryfikowania rzetelności danych. Weryfikację przeprowadzono obliczając współczynniki korelacji liniowej pomiędzy czasami fazy izometrycznej podczas wyskoków CMJ oraz wyskoków "do ataku". Dodatkowo, analogiczne korelacje przeprowadzono dla pełnej fazy odbicia (zawierającej w sobie również czas fazy izometrycznej – plyometrycznej kumulacji). Założono, że korelowane parametry posiadają te same predyspozycje biologiczne, a rozbieżności mogą wynikać zarówno z wielkości błędu pomiarowego, jak również z wielkości czynnika skoordynowania ruchu podczas trudniejszego testu wyskoku "do ataku". W takim przypadku korelacja powinna osiągać siłę, co najmniej umiarkowaną – podobnie, jak we wcześniejszej analizie związków pomiędzy wynikami testów skoku w dal i wyskoków pionowych. Wyniki do obliczeń znormalizowano i połączono w ciągi danych stosując procedurę jak we wcześniejszych analizach (normalizacja pomiaru na średnią i odchylenie standardowe odpowiadającego mu badania).

Tab. 3. Fazy w testach wyskoku pionowego; współczynniki między-cechowej korelacji wyników znormalizowanych - w kolejnych badaniach oraz w połączonych zbiorach danych ("razem")

chłopcy		dziewczęta			
	CMJ faza izometr.	CMJ faza odbicia		CMJ faza izometr.	CMJ faza odbicia
atak faza izometr.			atak faza izometr.		
razem [N=39]	0,54		razem [N=48]	0,73	
bad.1. [N=13]	0,65		bad.1. [N=16]	0,69	
bad.2.	0,50		bad.2.	0,68	
bad.3.	0,48		bad.3.	0,81	
atak faza odbicia			atak faza odbicia		
razem		0,53	razem		0,52
bad.1.		0,63	bad.1.		0,39
bad.2.		0,40	bad.2.		0,73
bad.3.		0,57	bad.3.		0,46

kolorem **czarnym** oznaczono współczynniki korelacji, które przekroczyły kryterium istotności statystycznej na poziomie 95%:

u chłopców dla $df=37$ ($39-2$) - $r \geq 0,325$ oraz $df=11$ ($13-2$) $r \geq 0,553$

u dziewcząt dla $df=46$ ($48-2$) - $r \geq 0,288$ oraz $df=14$ ($16-2$) $r \geq 0,497$

Wielkość współczynników korelacji zestawiona w tab. 3. świadczy o umiarkowanej współzmienności między oszacowaniem czasu fazy izometrycznej w testach wyskoku CMJ i "do ataku" (0,48 do 0,65 u chłopców oraz 0,68 do 0,81 u dziewcząt). Z podobną - umiarkowaną - siłą korelują pomiary czasu w fazie odbicia (0,40 do 0,63 u chłopców oraz 0,39 do 0,73 u dziewcząt). W każdym zbiorze wyników połączonych ("razem") zbieżność osiągnęła kryterium istotności statystycznej.

Weryfikacja wpływu błędu oszacowania czasu poszczególnych faz ruchu w obu testach wyskoków pionowych pozwala z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, iż zanotowane dane pomiarowe cechuje niezbędna rzetelność. Tak więc, analizy liczbowe przeprowadzone na ich podstawie nie będą obciążone znaczącym błędem przypadkowości.

4.2. Ocena postępów treningowych

4.2.1. Różnice w proporcjach licznosci – porównanie jakościowe

Do porównań jakościowych wybrano podstawowe wyniki testów porównawczych oraz testów mocy nóg, które nie zawierają mnożnika masy całego ciała. Wyjątek stanowią: wskaźnik mocy średniej podczas testu tapping 2 kg piłką lekarską oraz wskaźnik mocy względnej w serii podskoków na macie tensometrycznej (test Georgescu). Wskaźniki te zakwalifikowano ze względu na stwierdzoną, przez autorów oryginalnej procedury testowej, dodatkową wartość diagnostyczną, niezależną od pomiarów bezpośrednich (m.in. czasu wykonania). Dodatkowo,

spośród pomiarów wysokości pionowego do obliczeń włączono jedynie te szacowane czasem, tak aby sztucznie nie zwiększać sumarycznej liczebności sprzyjającej oczekiwanym efektom treningu – w testach tych dysproporcje liczby postępów i ich braku były nieco mniejsze między porównywanymi cyklami treningowymi, niż w testach szacowanych pikselami.

Zbiory zawierające liczebność obserwacji wyników indywidualnych – osobno dla chłopców i osobno dla dziewcząt – zgrupowano według następujących kryteriów:

- jeśli wynik testu po cyklu treningowym świadczył o poprawie sprawności (był lepszy niż pomiar na początku cyklu) zaliczano go do zbioru "postęp",
- jeśli wynik po cyklu był taki sam lub gorszy, niż w badaniu na początku tego cyklu – zaliczano go do zbioru "brak" postępu.

Zestawienia liczbowe umieszczono w tabelach 4-6 oraz rycinie 2.

Tab. 4. Liczebności wyników indywidualnych grupowanych ze względu na postępy lub ich brak w testach porównawczych oraz poziom prawdopodobieństwa występowania postępów

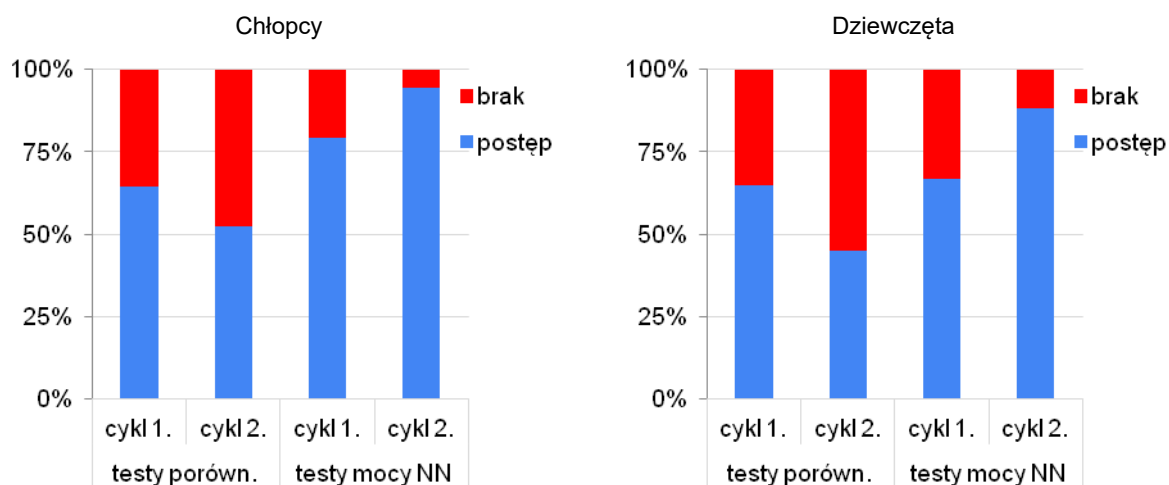
		chłopcy		dziewczeta		p dla rozkładu dwu-mianow.	
		postęp	brak	postęp	brak	chłopcy	dziewczeta
rzut piłką lekarską 1kg	bad. 2-1	10	3	8	8	0,99	0,60
	bad. 3-2	6	7	7	9	0,50	0,40
test mm brzucha	bad. 2-1	5	8	10	6	0,29	0,89
	bad. 3-2	3	10	2	14	0,05	0,00
tapping piłką 2kg	bad. 2-1	11	2	12	4	1,00	0,99
	bad. 3-2	9	4	8	8	0,95	0,60
tapping ramieniem	bad. 2-1	8	5	13	3	0,87	1,00
	bad. 3-2	9	4	13	3	0,95	1,00
tapp 2kg moc wzgl.	bad. 2-1	8	5	9	7	0,87	0,77
	bad. 3-2	7	6	6	10	0,71	0,23
Razem	bad. 2-1	42	23	52	28	0,99	1,00
	bad. 3-2	34	31	36	44	0,69	0,22

kolorem **czerwonym** oznaczono istotne prawdopodobieństwo (na poziomie >95%) występowania postępów w rozkładzie dwumianowym

Tab. 5. Liczebności wyników indywidualnych grupowanych ze względu na postępy lub ich brak w testach mocy nóg oraz poziom prawdopodobieństwa występowania postępów

		chłopcy		dziewczęta		p dla rozkładu dwu-mianow.	
		postęp	brak	postęp	brak	chłopcy	dziewczęta
skok w dal	bad. 2-1	10	3	10	6	0,99	0,89
	bad. 3-2	13	0	15	1	1,00	1,00
bieg 10x5m	bad. 2-1	10	3	14	2	0,99	1,00
	bad. 3-2	13	0	16	0	1,00	1,00
test G. moc wzgl.	bad. 2-1	10	3	6	10	0,99	0,23
	bad. 3-2	12	1	15	1	1,00	1,00
CMJ (czas)	bad. 2-1	12	1	10	6	1,00	0,89
	bad. 3-2	13	0	14	2	1,00	1,00
atak (czas)	bad. 2-1	13	0	14	2	1,00	1,00
	bad. 3-2	13	0	12	4	1,00	0,99
RSI CMJ (czas)	bad. 2-1	9	4	11	5	0,95	0,96
	bad. 3-2	12	1	13	3	1,00	1,00
RSI atak (czas)	bad. 2-1	8	5	10	6	0,87	0,89
	bad. 3-2	10	3	14	2	0,99	1,00
Razem							
	bad. 2-1	72	19	75	37	1,00	1,00
	bad. 3-2	86	5	99	13	1,00	1,00

kolorem **czerwonym** oznaczono istotne prawdopodobieństwo (na poziomie >95%) występowania postępów w rozkładzie dwumianowym



Ryc. 2. Procentowe proporcje liczby efektów pozytywnych (postęp) i braku efektów lub regresu (brak) w wynikach indywidualnych w kolejnych okresach treningowych (cykl 1. - trening standardowy; cykl 2. - trening eksperymentalny)

Tab. 6. Weryfikacja statystycznej istotności różnic liczebności wyników indywidualnych między badaniami; grupowanie ze względu na postępy lub ich brak - test chi-kwadrat (χ^2),

chłopcy	testy porównawcze				dziewczęta	testy porównawcze			
		postęp	brak	%_postęp			postęp	brak	%_postęp
	bad.2-1	42	23	65		bad.2-1	52	28	65
	bad.3-2	34	31	52		bad.3-2	36	44	45
	liczebności oczekiwane	38	27	p= 0,15 Chi2= 2,03		liczebności oczekiwane	44	36	p= 0,01 Chi2= 6,46
	testy mocy NN					testy mocy NN			
		postęp	brak	%_postęp			postęp	brak	%_postęp
	bad.2-1	72	19	79		bad.2-1	75	37	67
	bad.3-2	86	5	95		bad.3-2	99	13	88
	liczebności oczekiwane	79	12	p= 0,00 Chi2= 9,41		liczebności oczekiwane	87	25	p= 0,00 Chi2= 14,83
chłopcy	bad. 2-1				dziewczęta	bad. 2-1			
		postęp	brak	%_postęp			postęp	brak	%_postęp
	testy porów.	42	23	65		testy porów.	52	28	65
	moc NN	72	19	79		moc NN	75	37	67
	liczebności oczekiwane	48	18	p= 0,04 Chi2= 4,05		liczebności oczekiwane	53	27	p= 0,78 Chi2= 0,08
	bad.3-2					bad.3-2			
		postęp	brak	%_postęp			postęp	brak	%_postęp
	testy porów.	34	31	52		testy porów.	36	44	45
	moc NN	86	5	95		moc NN	99	13	88
	liczebności oczekiwane	50	15	p= 0,00 Chi2= max		liczebności oczekiwane	56	24	p= 0,00 Chi2= max

kolorem czerwonym oznaczono istotne różnice w proporcjach liczebności

Porównanie liczebności w zbiorach "postęp" oraz "brak" postępów w testach mocy nóg i testach porównawczych wskazuje, iż:

- w testach porównawczych, zarówno u chłopców, jak i u dziewcząt, liczba wyników wskazujących na postęp nie zwiększyła się w okresie treningu eksperymentalnego (bad. 3-2); w grupie dziewcząt zaobserwowano nawet odwrócenie proporcji – liczba wyników wskazujących na postęp była znacząco mniejsza niż w okresie treningu standardowego (bad. 2-1), a także mniejsza niż liczba wyników wskazujących na brak postępu lub regres;
- w testach porównawczych sumaryczna liczba wyników wskazujących na postęp oraz prawdopodobieństwo ich wystąpienia były większe w okresie treningu standardowego (bad. 2-1); po treningu eksperymentalnym (bad. 3-2) nie stwierdzono natomiast znaczącej różnicy między liczbą wyników wskazujących na postęp a liczbą wyników wskazujących na brak postępu lub regres;

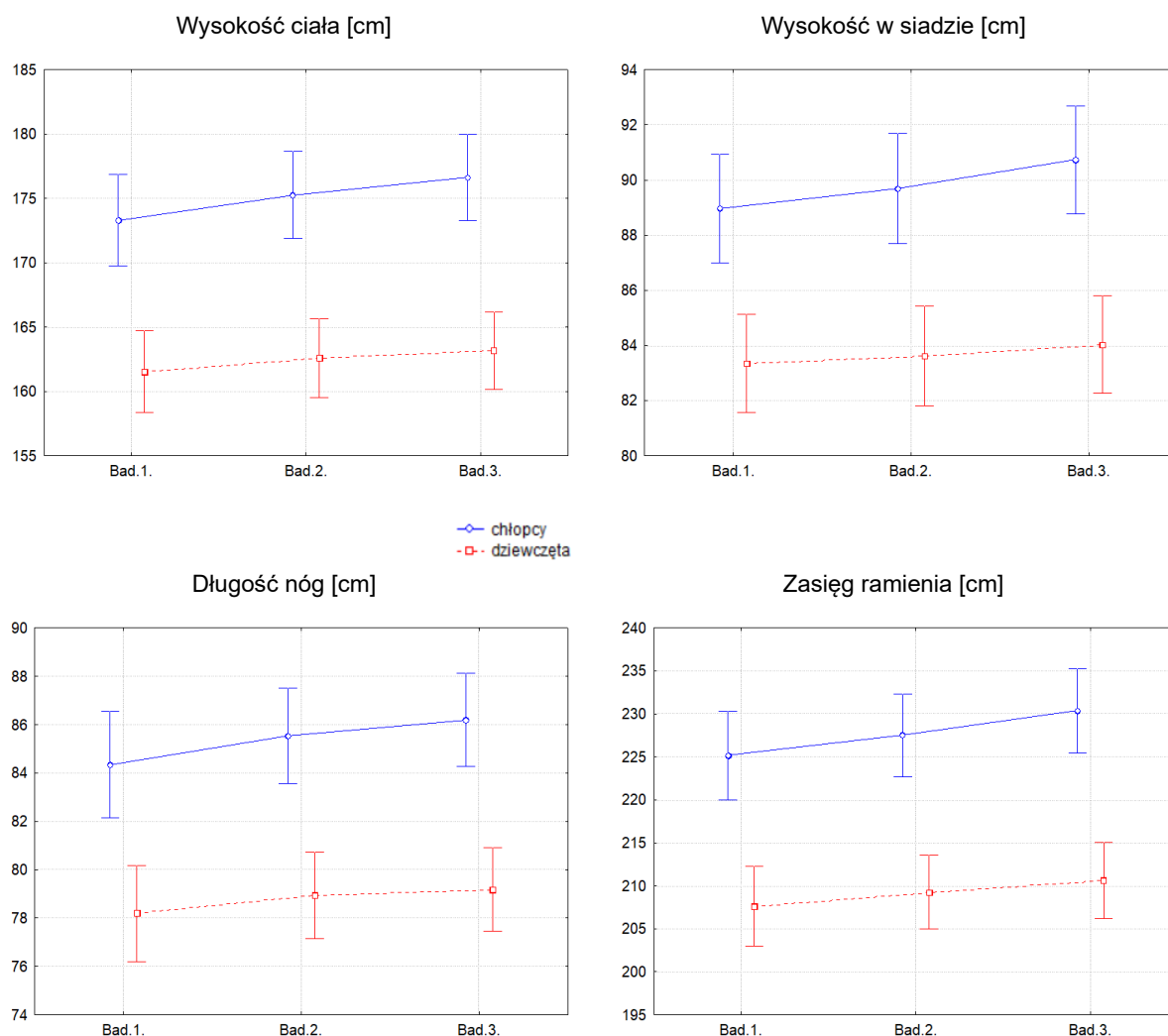
- największy, względny spadek liczby postępów pomiędzy kolejnymi cyklami treningowymi, odnotowano u chłopców w rzucie piłką lekarską (1 kg) oraz u dziewcząt w teście mięśni brzucha oraz tappingu piłką lekarską (2 kg);
- we wszystkich testach mocy kończyn dolnych, w obu cyklach treningowych, liczba wyników wskazujących na postęp była większa niż liczba wyników wskazujących na brak postępu lub regres, zarówno u chłopców, jak i u dziewcząt; jedyny wyjątek stanowiły wyniki pomiaru mocy względnej w teście Georgescu (seria podskoków na macie tensometrycznej) u dziewcząt, gdzie po standardowym cyklu treningowym odnotowano więcej wyników wskazujących na brak postępu lub regres niż na postęp;
- po treningu eksperymentalnym, proporcja liczby postępów do liczby wyników wskazujących na brak postępu w testach mocy kończyn dolnych była znacząco korzystniejsza niż w testach porównawczych; podobną przewagę stwierdzono porównując efekty obu cykli treningowych – po treningu eksperymentalnym liczba wyników wskazujących na poprawę mocy kończyn dolnych była znacząco większa niż po treningu standardowym; istotność różnic w analizowanych proporcjach potwierdziły wartości testu chi-kwadrat (χ^2).

4.2.2. Analiza różnic MANOVA – porównanie ilościowe

Statystyczną istotność różnic średnich arytmetycznych zweryfikowano za pomocą wieloczynnikowej analizy MANOVA dla badań powtarzanych. W porównaniach wewnątrzgrupowych czynnikiem głównym były pomiary w kolejnych terminach badań ("Badanie") osobno dla każdej grupy (chłopcy i dziewczęta), natomiast dla porównań międzygrupowych czynnikiem głównym była płeć badanych ("Płeć"). Dodatkowo, analiza istotności czynnika wspólnego ("Bad.*Płeć") świadczyła o istotności różnic w tempie zmian – "postępów" pomiędzy dziewczętami a chłopcami. Jeśli analiza MANOVA wskazywała na istotne zróżnicowanie ogólnego modelu porównań, wtedy poszczególne różnice, wyznaczone czynnikami głównymi, zweryfikowano testami post-hoc. W tabelach, spośród całej macierzy porównań poziomu istotności (post-hoc), zaprezentowano tylko te, które są niezbędne dla interpretacji wyników eksperymentu: różnice między badaniami oraz różnice między grupami.

W tabelach 7-42 w Aneksie pracy zestawiono wszystkie miary statystyki opisowej wykonanych pomiarów, obliczonych wskaźników sprawności oraz statystyki analizy MANOVA. Dodatkowo w tabelach tych uwzględniono miary zróżnicowania wewnątrzgrupowego w kolejnych badaniach (osobno dla chłopców i dla dziewcząt) oraz zróżnicowania międzygrupowego (międzyplciowego).

Na wykresach umieszczonych poniżej (ryc. 3-14), punktami oznaczono wielkość średnich arytmetycznych, natomiast odcinki pionowe (tzw. wąsy) wyznaczają 95% przedział ufności dla tych średnich.

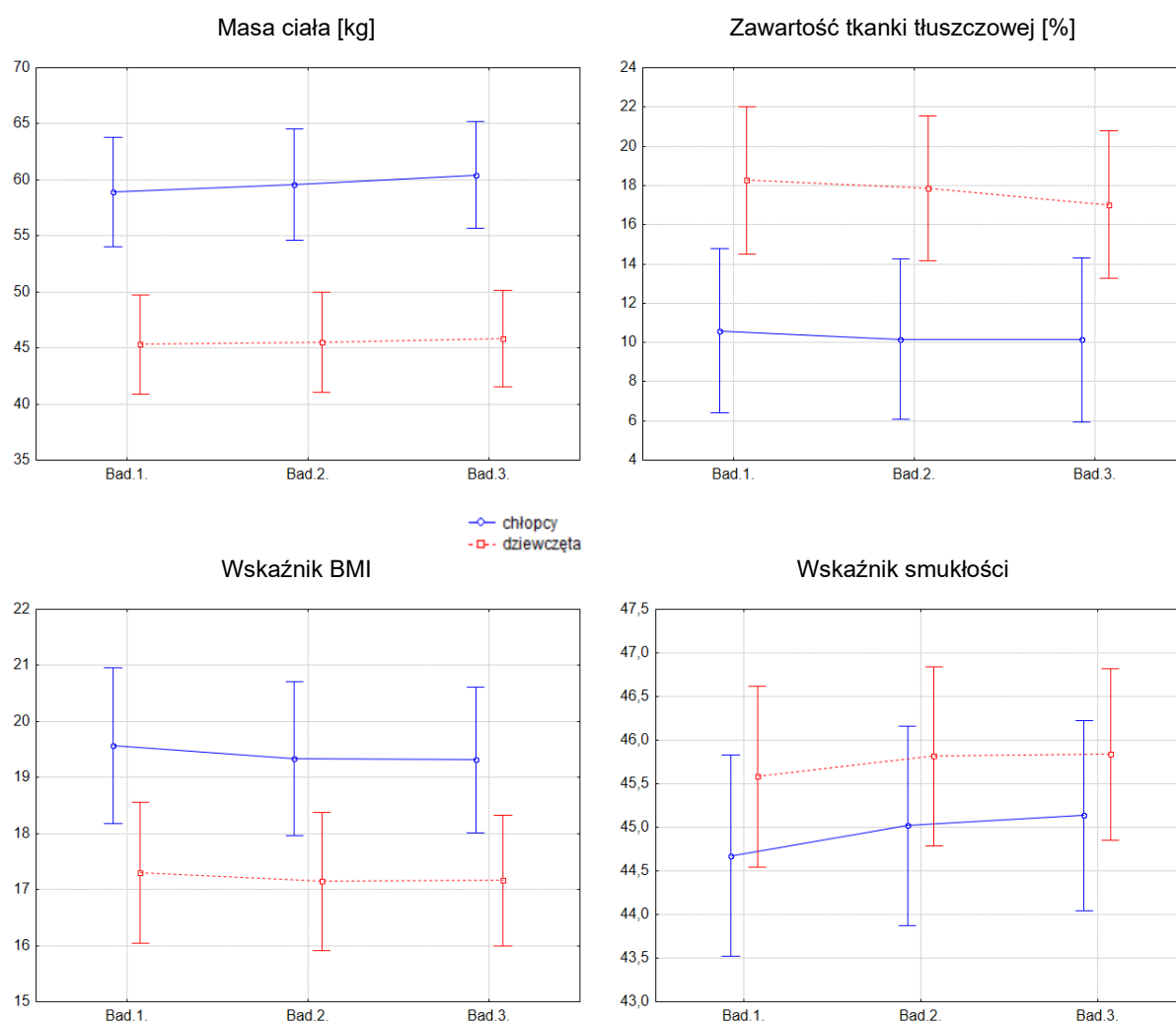


Ryc. 3. Długościowe cechy budowy ciała dziewcząt i chłopców w kolejnych terminach badań

Analiza wielkości długościowych cech ciała (ryc. 3 oraz tab. 7-9) pozwala na następujące spostrzeżenia:

- w obu grupach intensywniejszy rozwój cech zanotowano w pierwszym - standardowym etapie badań;
- w obu etapach badań, przyrosty wysokości ciała przekroczyły wielkość błędu pomiarowego (0,5 cm);
- rozmiar zmian był większy u chłopców niż u dziewcząt – zarówno w wymiarze bezwzględnym (wyrażonym jednostkami pomiarowymi), jak i w wymiarze względnym

- (wyrażonymi wskaźnikami unormowania średnich); różnice tempa tych zmian są znaczące statystycznie, co potwierdza poziom istotności czynnika "Bad.*Płeć" w analizie MANOVA;
- wysokie – bliskie jedności – związki korelacyjne między wynikami w kolejnych badaniach świadczą o zbliżonym tempie rozwoju poszczególnych dzieci i jednocześnie o rzetelności pomiarów; rzetelność tę potwierdzają także wartości skrajne (min i max) w kolejnych terminach badań – przyrastają zgodnie zmianami średniej arytmetycznej;
 - kierunek i istotność statystyczna obserwowanych różnic (MANOVA) potwierdza, iż obie grupy znajdowały się w naturalnym okresie rozwojowym.



Ryc. 4. Wskaźniki wagowe i proporcje budowy ciała dziewcząt i chłopców w kolejnych terminach badań

Wagowe wskaźniki masy ciała i proporcji wagowych (ryc. 4 oraz tab. 10-12) w toku kolejnych badań nie ulegały tak regularnym i znaczącym zmianom jak cechy długościowe ciała, należy jednak zauważyć, iż:

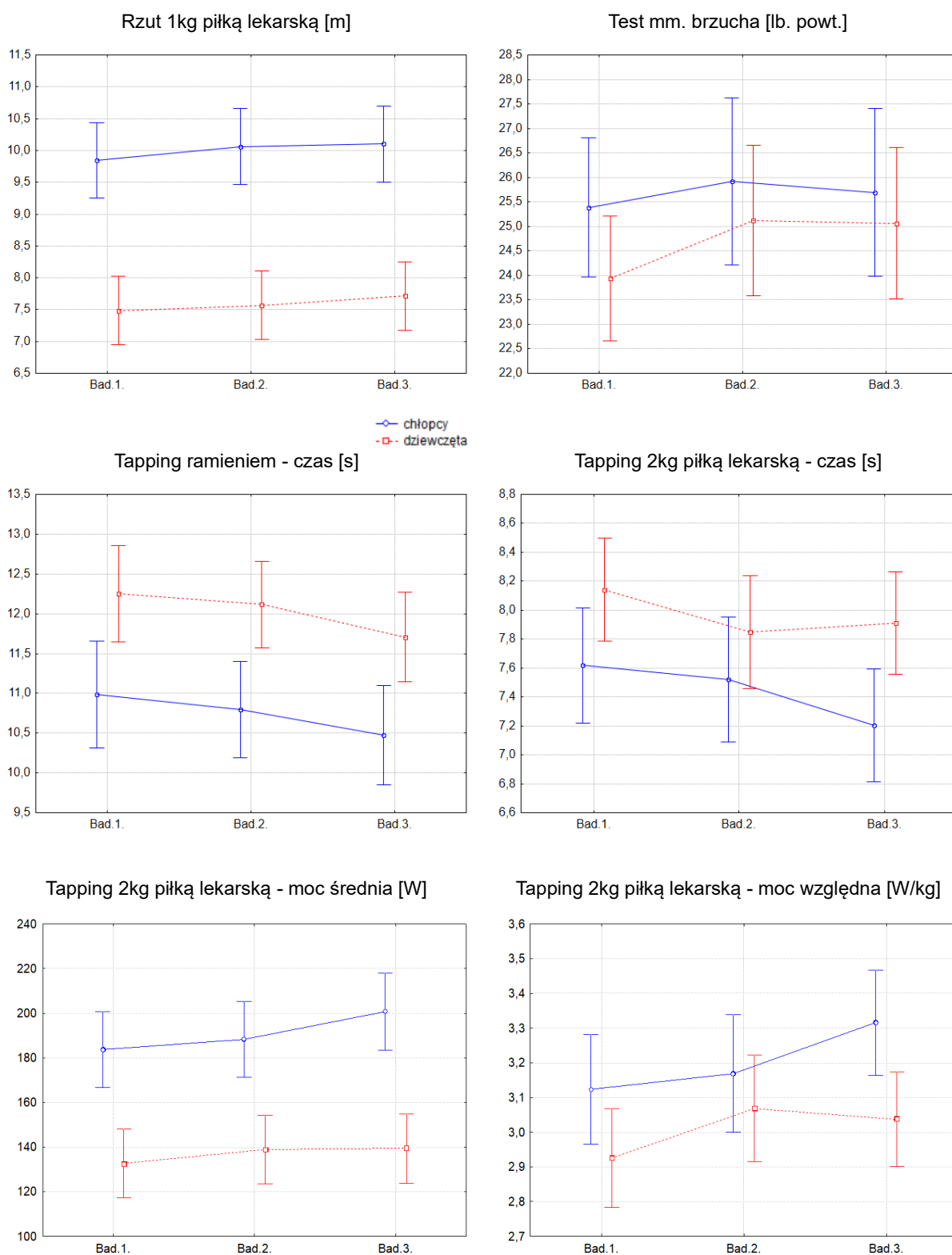
- przyrosty masy ciała były większe u chłopców niż u dziewcząt;

- w grupie chłopców, przyrosty masy ciała przekroczyły wielkość błędu pomiarowego (0,5 kg), a różnice osiągnęły wielkości znaczące statystycznie;
- w obu grupach zaobserwowano wysmuklenie sylwetki oraz nieznaczną – relatywną (odsetkową) redukcję tkanki tłuszczowej; zmiany zawartości tłuszczu były większe i wykraczają poza wielkość błędu pomiarowego w grupie dziewcząt;
- wysokie, bliskie jedności współczynniki korelacji między wynikami uzyskanymi w kolejnych terminach badań wskazują na dużą stabilność indywidualnego zróżnicowania wyników, co może pośrednio świadczyć o rzetelności przeprowadzonych pomiarów.

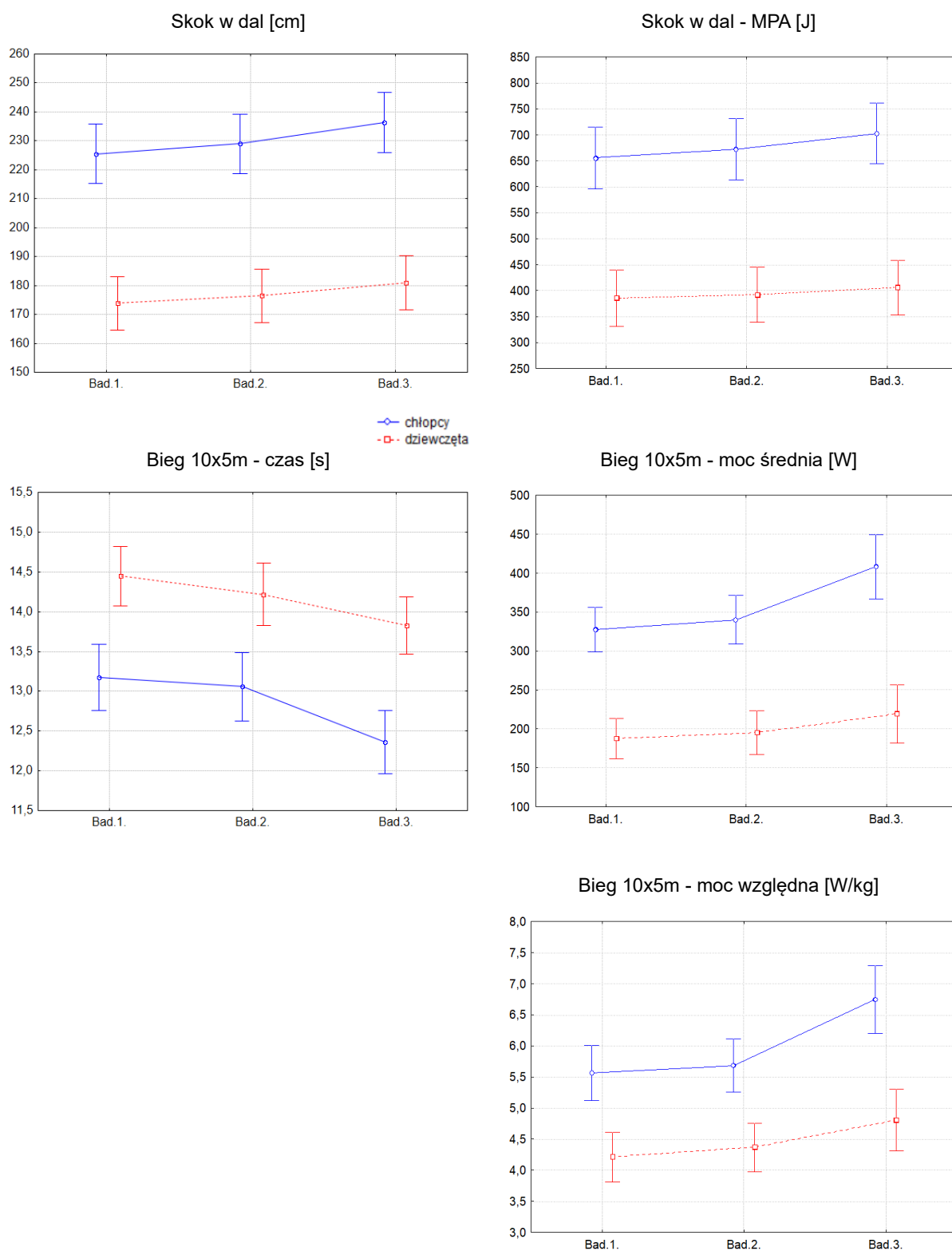
Analiza wskaźników sprawności motorycznej mierzonej testami populacyjnymi i selekcyjnymi (ryc. 5-6 oraz tab. 13-18) pozwala na następujące spostrzeżenia:

- we wszystkich testach porównawczych (moc ramion i koordynacja ruchów ramienia oraz moc tułowia) obie grupy uzyskały niewielką poprawę wyników;
- pomimo, iż w niektórych testach porównawczych skala postępu przekracza zadeklarowaną wielkość błędu pomiarowego, jednak odnotowane różnice nie osiągają niezbędnego poziomu istotności statystycznej;
- wyniki populacyjnych testów mocy nóg świadczą, iż w obu grupach całkowite postępy sprawności były znaczące, jednak statystyczną istotność tych postępów odnotowano jedynie podczas cyklu eksperymentalnego;
- w kolejnych terminach badań, chłopcy zwiększali przewagę nad dziewczętami w pomiarach mocy ramion (tapping piłką 2 kg) siły eksplozywnej nóg (skok w dal) i mocy nóg podczas sprintu (bieg 10x5 m), jednak czynnik zróżnicowania "Bad.*Płeć" nie osiągał poziomu istotnego w analizie MANOVA, a więc między-płciowe różnice w tempie zmian nie były znaczące;
- wyliczone wielkości mocy i pracy mięśniowej (MMA średnia i względna oraz MPA) w testach porównawczych (populacyjnych i selekcyjnych) świadczą, iż przyrost tych parametrów był bardziej systematyczny u chłopców, a także statystycznie istotny w eksperymentalnym cyklu treningowym;
- chłopcy uzyskali większą dynamikę postępów MMA i MPA niż dziewczęta; czynnik zróżnicowania "Bad.*Płeć" osiągał poziom istotności w zakresie mocy średniej RR (tapping piłką 2 kg), pracy podczas skoku w dal oraz mocy średniej i mocy względnej w teście sprinterskim (bieg 10x5 m);
- silne związki korelacyjne między wynikami w kolejnych badaniach świadczą o rzetelności pomiarów i postępowania testowego; rzetelność tę potwierdzają także wartości skrajne (min

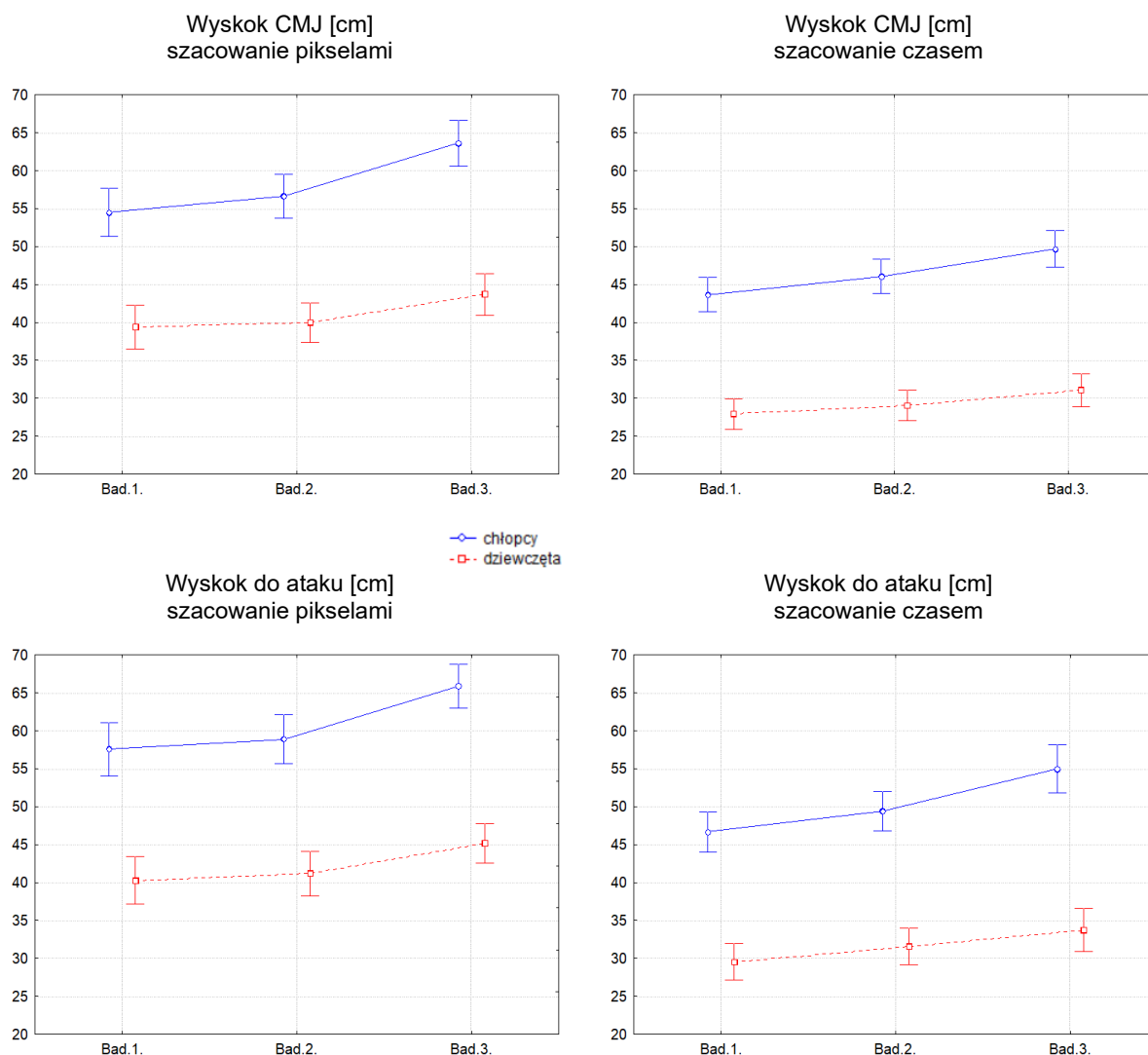
i max) w kolejnych terminach badań - w większości przypadków przyrastają zgodnie z kierunkiem zmian średniej arytmetycznej.



Ryc. 5. Porównawcze, populacyjne i selekcyjne testy mocy tułowia i ramion; wyniki pomiarów oraz wyliczone wskaźniki mocy mięśniowej w kolejnych terminach badań



Ryc. 6. Populacyjne testy mocy nóg; wyniki pomiarów oraz wyliczone wskaźniki pracy i mocy mięśniowej w kolejnych terminach badań



Ryc. 7. Pomiary wysokości wyskoków pionowych w kolejnych terminach badań

Wysokości wyskoków pionowych zmierzone podczas testów CMJ i "do ataku" (ryc. 7 oraz tab. 19-21) wskazują, iż:

- w obu grupach odnotowano istotną statystycznie poprawę wszystkich pomiarów wyskoku w eksperymentalnym cyklu treningowym; wielkość tych zmian kilkakrotnie przewyższa deklarowany błąd pomiarowy;
- podczas standardowego cyklu treningowego regularne i istotne statystycznie postępy stwierdzono w grupie chłopców; u dziewcząt istotność takiego postępu odnotowano jedynie w przypadku wyskoku do ataku szacowanego czasem lotu;
- w obu grupach wielkość postępów jest większa podczas cyklu treningu eksperymentalnego niż podczas cyklu standardowego – zarówno w wymiarze nominalnym (średnie pomiarów w cm), jak i względnym (unormowane różnice średnich arytmetycznych);

- w kolejnych etapach treningu, chłopcy zwiększali przewagę nad dziewczętami; odnotowane różnice w dynamice zmian są znaczące statystycznie – czynnik zróżnicowania "Bad.*Płeć" osiąga poziomu istotności w analizie MANOVA;
- wysokości wyskoków szacowane metodą pomiaru odcinka wyniesienia środka ciężkości (pix) są większe, niż pomiary szacowane czasem lotu podczas wyskoku; różnice te osiągają rozmiar nawet 14 cm;
- silne związki korelacyjne między wynikami w kolejnych badaniach świadczą o rzetelności pomiarów i postępowania testowego oraz o jednakowym kierunku i regularności zmian u poszczególnych dzieci; rzetelność testową potwierdzają także wartości skrajne (min i max) w kolejnych terminach badań – przyrastają zgodnie z kierunkiem zmian średniej arytmetycznej.

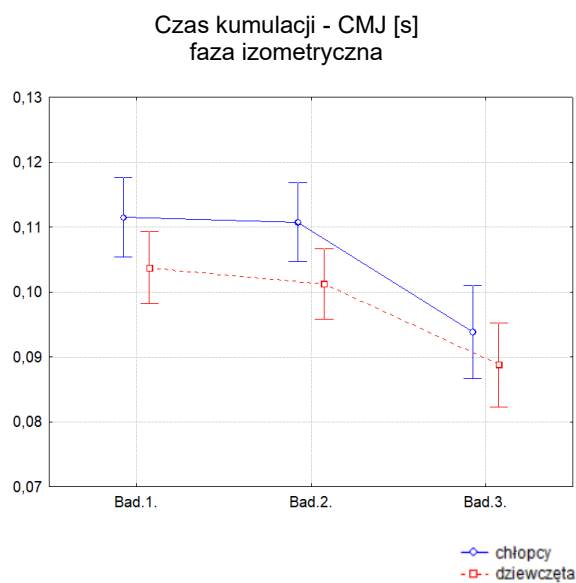
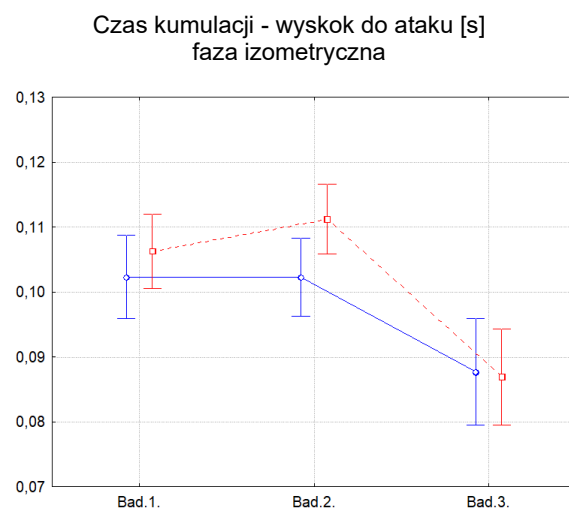
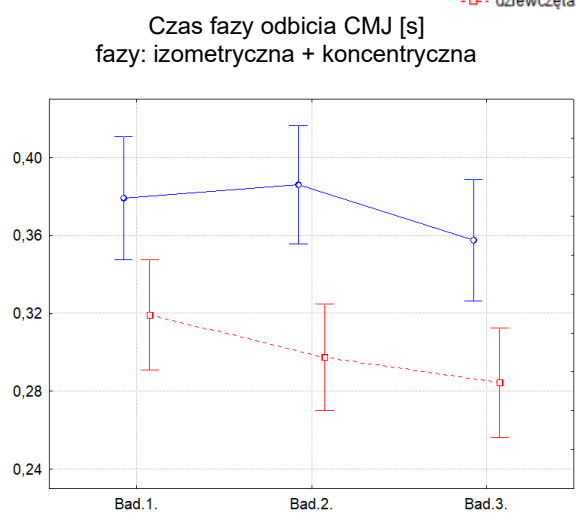
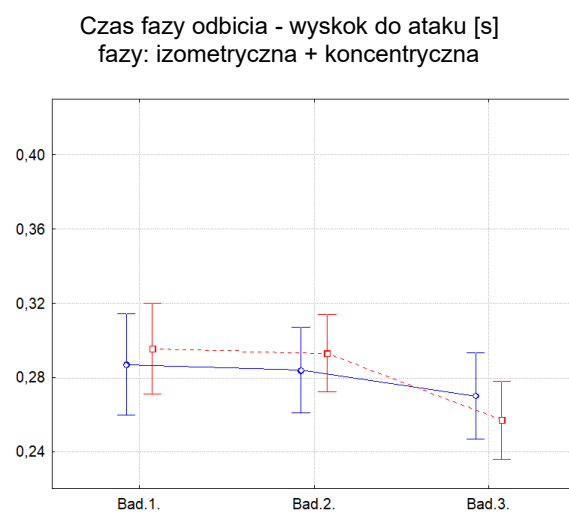
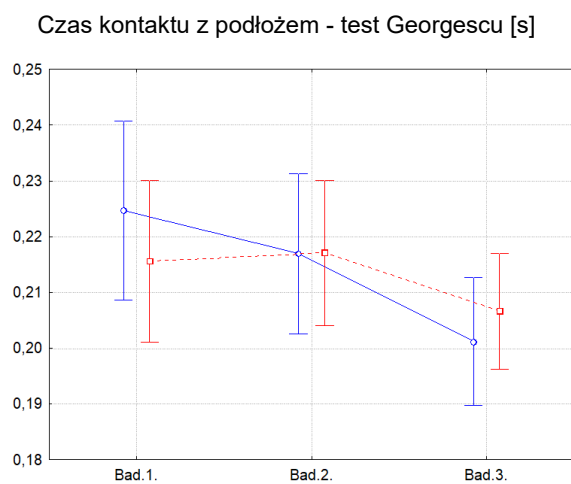
Analiza parametrów czasowych poszczególnych faz podporowych podczas wyskoków pionowych (ryc. 8. oraz tab. 22-30) pozwala stwierdzić, iż:

- w obu grupach wielkość postępów (skrócenie czasu faz podporowych) jest większa w cyklu treningu eksperymentalnego, zarówno w wymiarze bezwzględnym (średnie pomiarów w sekundach), jak i względnym (unormowane różnice średnich arytmetycznych);
- w obu grupach odnotowano znaczące statystycznie skrócenie czasu fazy izometrycznej (plyometrycznej fazy kumulacji) wyłącznie po eksperymentalnym cyklu treningowym; wielkość tych zmian dwukrotnie przewyższa deklarowany błąd pomiarowy (0,01 s); jedynie w grupie dziewcząt skrócenie fazy kontaktu w teście serii podskoków (Georgescu) nie było statystycznie istotne;
- czas całej aktywnej fazy podporowej (faza odbicia) uległ zauważalnemu skróceniu głównie po eksperymentalnym cyklu treningowym, jednak tylko w jednym przypadku - u dziewcząt, podczas testu wyskoku do ataku - zmiany te osiągnęły poziom istotności statystycznej;
- chłopcy i dziewczęta uzyskiwali bardzo zbliżone czasy poszczególnych faz podporowych w każdym terminie badań; jedyna znacząca różnica międzygrupowa wystąpiła w czasie trwania całej aktywnej fazy podporowej podczas pomiarów CMJ – krótsze czasy zanotowano w grupie dziewcząt; być może większy kąt ugięcia nóg przez chłopców podczas wyskoku CMJ nie został zrównoważony przez większą niż u dziewcząt prędkość wyprostu w fazie koncentrycznej, natomiast kompensacja taka, przypuszczalnie ma miejsce podczas bardziej złożonego koordynacyjnie testu wyskoku do ataku; przedstawiona hipoteza opiera się na piśmiennictwie oceniającym różnicę głębokość przysiadu oraz model kompensacji podczas wyskoku CMJ (Gheller i wsp. 2015, McHugh i wsp. 2024);

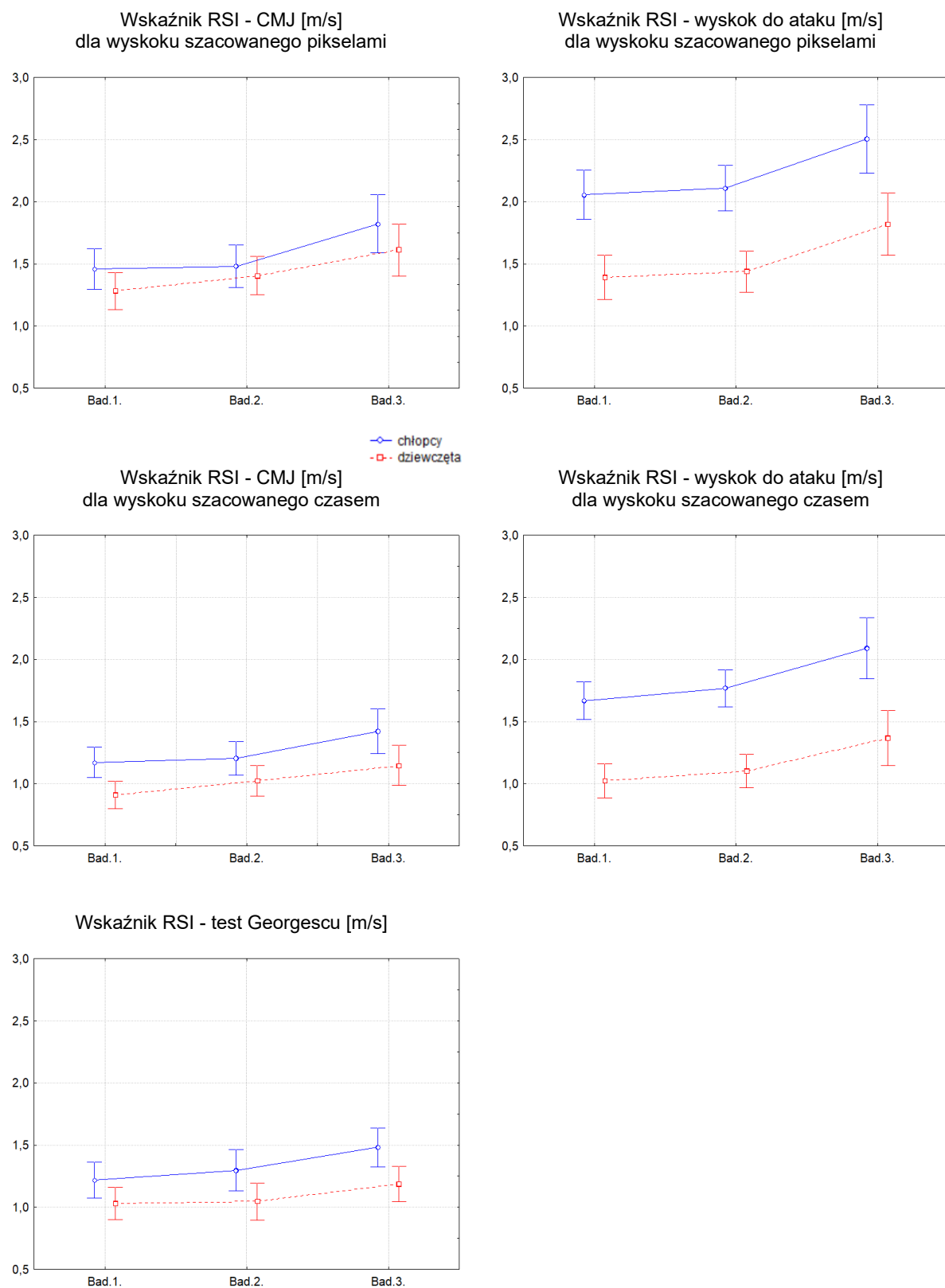
- związki korelacyjne między wynikami w kolejnych badaniach z reguły są umiarkowane lub silne, co świadczyć może o większej zmienności wyników indywidualnych w kolejnych terminach badań, nie bez znaczenia może być także niekorzystny wpływ relatywnie dużego błędu pomiarowego w szacowaniu czasu izometrycznej fazy kumulacji (max nawet 17%).

Analiza współczynnika ilorazowego RSI - wysokości wyskoku i czasu aktywnej fazy podporowej (ryc. 9 oraz tab. 22-30) podczas wyskoków pionowych wskazuje, iż:

- w teście CMJ wskaźnik ilorazowy RSI przyjmuje wartości na zbliżonym poziomie w obu grupach - różnice między-grupowe (testy post-hoc w analizie MANOVA) nie są statystycznie istotne; jednak w grupie chłopców poprawa wyników miała znacząco większy i istotny rozmiar w cyklu eksperymentalnym; natomiast u dziewcząt zmiany są niemal jednakowe w obu cyklach treningowych;
- podczas testu "wyskok do ataku", wskaźniki ilorazowe RSI w grupie chłopców były znacząco wyższe niż u dziewcząt – różnice istotnie statystycznie we wszystkich terminach badań; dynamika zmian wskaźnika RSI w obu grupach była niemal identyczna (brak istotności zróżnicowania czynnika "Bad.*Płeć"), w obu grupach zanotowano postęp istotny statystycznie jedynie w cyklu treningu eksperymentalnego;
- zmiany wskaźnika RSI w teście serii podskoków (Georgescu), mają podobny zakres i wielkość zróżnicowania między-grupowego jak w testach CMJ (brak istotnych różnic między wynikami dziewcząt i chłopców); jednak w tym przypadku, istotne statystycznie zmiany wystąpiły w obu grupach podczas eksperymentalnego cyklu treningowego;
- siła korelacji między wynikami w kolejnych badaniach kształtuje się na poziomie umiarkowanym i silnym; jedynie w grupie dziewcząt związek rozmiarów wskaźnika RSI wyskoku do ataku w terminach badań oddalonych od siebie (1. i 3.) jest słaby.



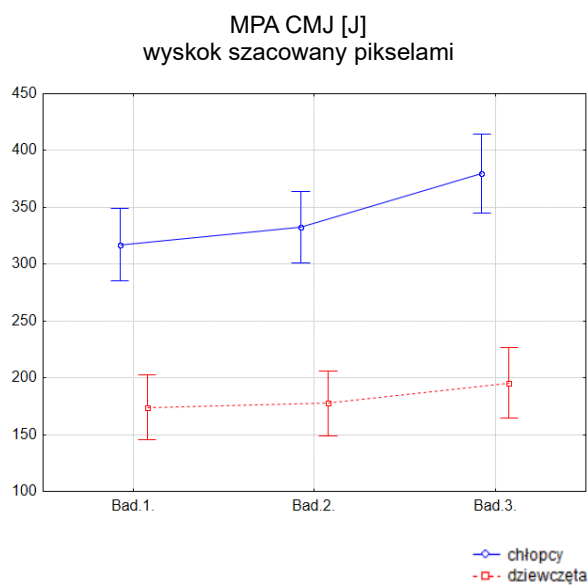
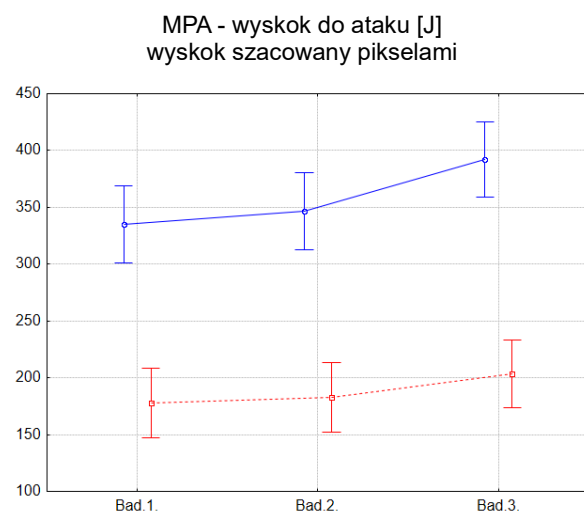
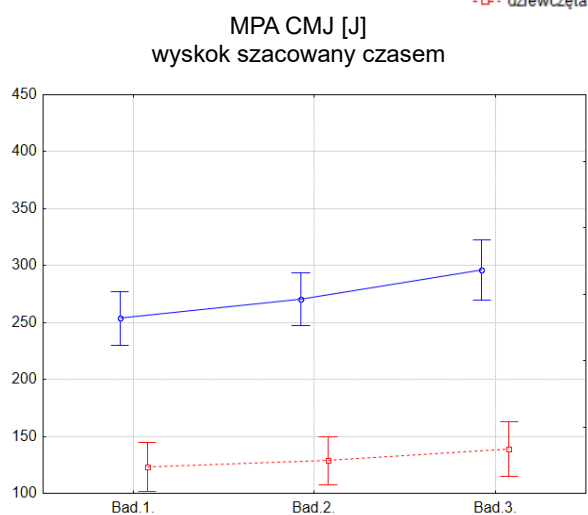
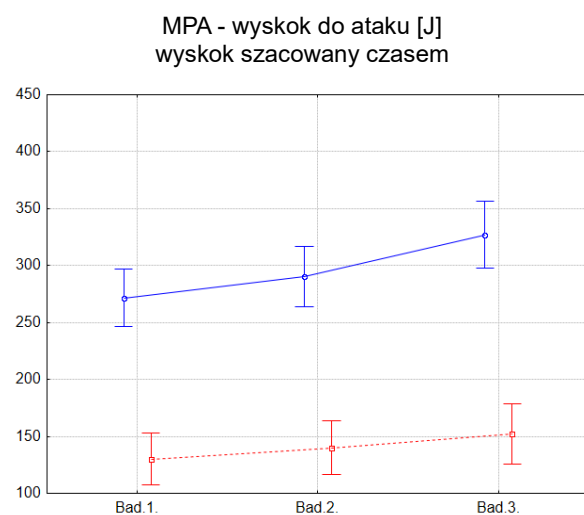
Ryc. 8. Parametry czasowe podporowych faz ruchu (izometryczna i koncentryczna) podczas testów wyskoków pionowych w kolejnych terminach badań



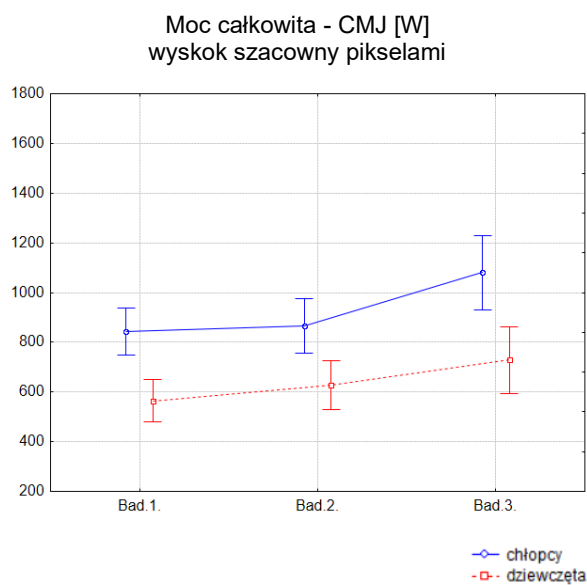
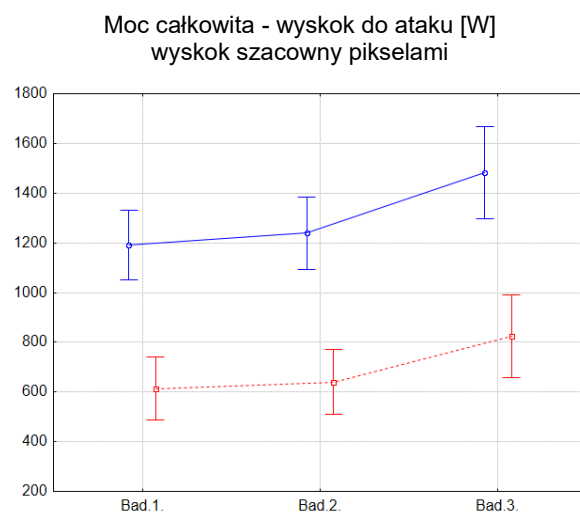
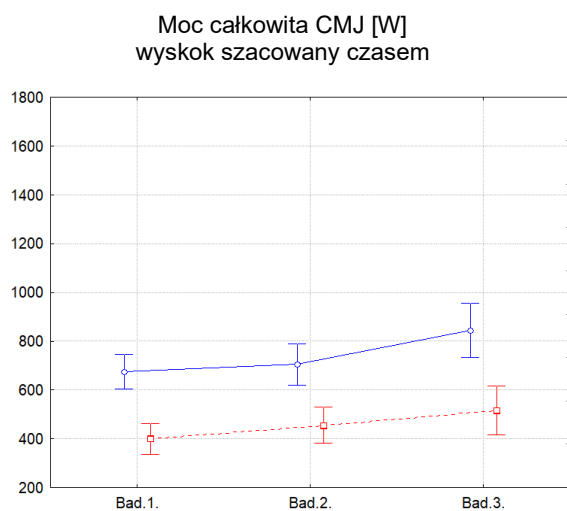
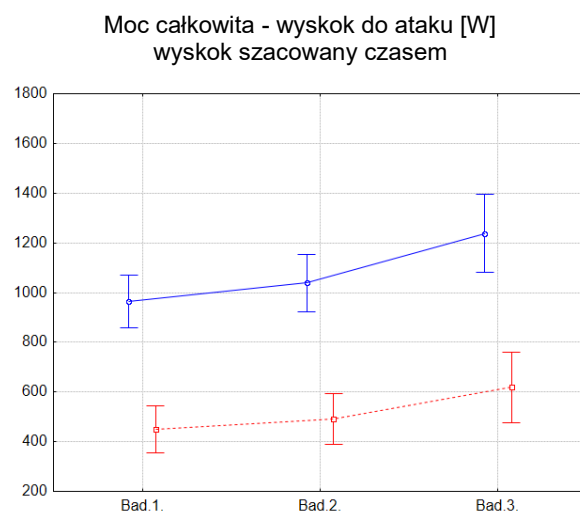
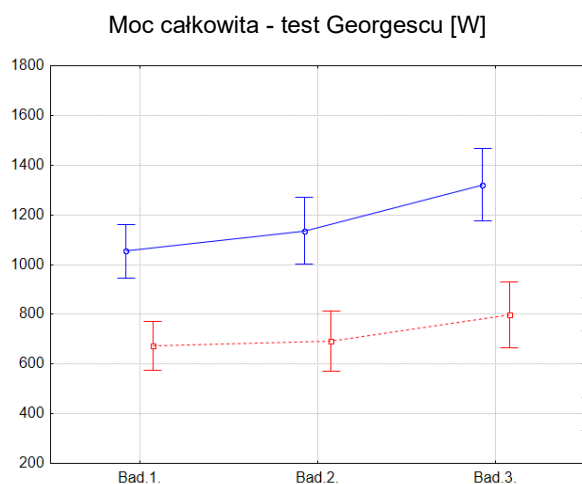
Ryc. 9. Wskaźnik RSI - ilorazowa proporcja wysokości wyskoku do czasu fazy "aktywnej" podczas testów wysokich pionowych w kolejnych terminach badań

Analiza poziomu pracy i mocy mięśniowej w testach wyskoków pionowych (ryc. 10-12 oraz tab. 31-39) pozwala na następujące spostrzeżenia:

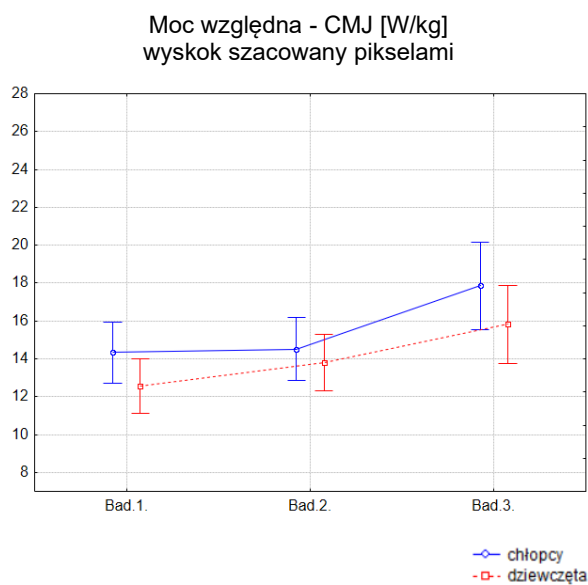
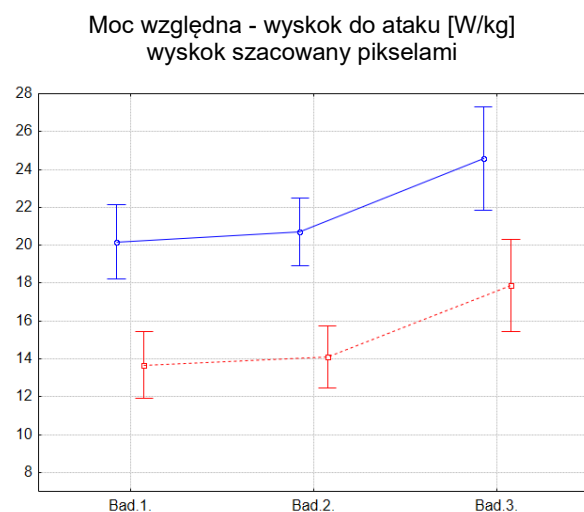
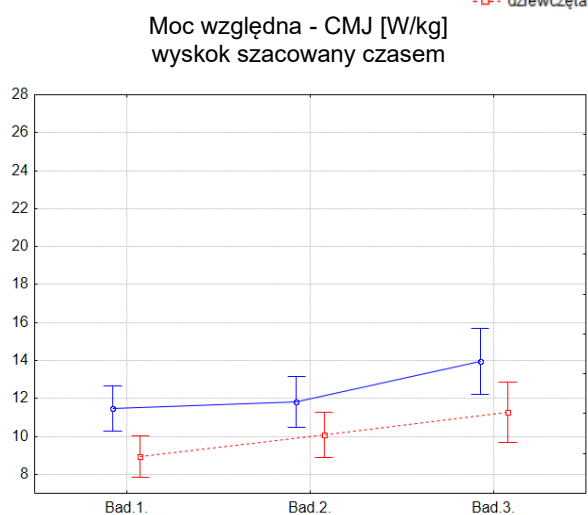
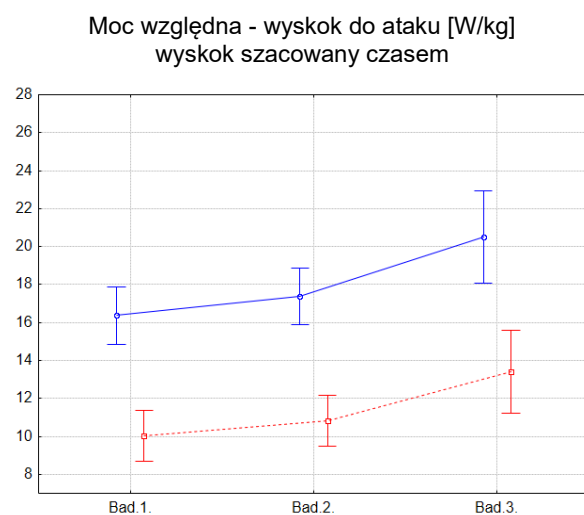
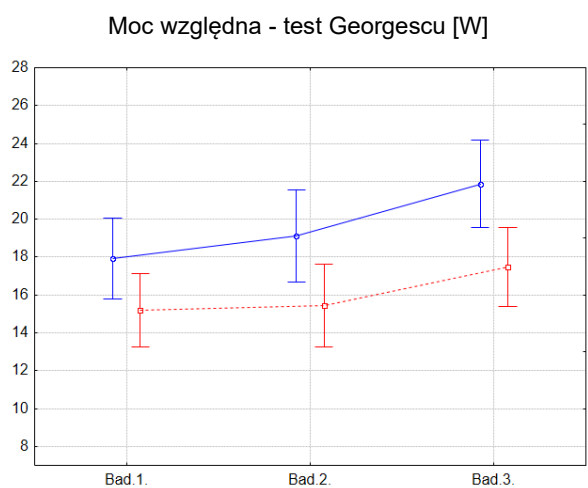
- we wszystkich testach (CMJ, wyskok do ataku i seria podskoków) dynamika zmian wskaźników pracy i mocy mięśniowej była podobna w obu grupach; mniejsze przyrosty obserwowano w pierwszym, standardowym cyklu treningowym, natomiast większe w drugim – eksperymentalnym;
- w grupie chłopców, w eksperymentalnym cyklu treningowym postępy w zakresie wszystkich wskaźników pracy i mocy były istotne statystycznie; natomiast w grupie dziewcząt, korzystne zmiany nie osiągnęły wielkości znaczącej statystycznie jedynie w przypadku wskaźników mocy całkowitej i względnej podczas testu CMJ;
- w każdym terminie badań, poziom wszystkich omawianych wskaźników był wyższy u chłopców, zawsze uzyskiwali oni znaczną nominalnie (różnica bezwzględna – w skali jednostek pomiarowych) przewagę nad dziewczętami; jedynie we wskaźnikach mocy względnej, wyliczonych w testach CMJ i serii podskoków, wielkość różnic międzygrupowych nie osiągnęła rozmiarów istotnych statystycznie;
- porównanie poziomów różnic według kryterium rodzaju testu (CMJ a "wyskok do ataku") wskazuje, że u dziewcząt w obu testach wskaźniki osiągały podobne wielkości; u chłopców różnice międzytestowe w zakresie MPA – podobnie jak u dziewcząt – były nieznaczne, natomiast rozmiary mocy całkowitej i mocy względnej podczas testu "wyskok do ataku" przyjmowały w grupie chłopców wartości znacząco wyższe niż notowane dla testu CMJ, co wynikało głównie ze znacznie krótszej fazy podporowej w pomiarach "wyskoku do ataku" niż podczas testu CMJ;
- współczynniki korelacji wewnątrzcechowej w kolejnych terminach badań są umiarkowane lub silne, a wartości skrajne przyjmują kierunek zmian średnich arytmetycznych; może to świadczyć z jednej strony o systematyczności efektów stosowanego treningu, ale także o większym rozproszeniu wyników wynikającym z innej, indywidualnej podatności na ukierunkowaną stymulację.



Ryc. 10. MPA; całkowita praca anaerobowa w fazie aktywnej podczas testów wyskoków pionowych w kolejnych terminach badań



Ryc. 11. MMA; wielkość mocy rozwijanej podczas testów wyskoków pionowych w kolejnych terminach badań



Ryc. 12. Moc względna rozwijana podczas testów wyskoków pionowych w kolejnych terminach badań

Podsumowanie analizy różnic:

- obie grupy, podczas 4-miesięcznego eksperymentu znajdowały się w dość intensywnym naturalnym okresie rozwojowym; całkowite przyrosty wysokości ciała osiągnęły w grupie chłopców 3,2 cm, a w grupie dziewcząt 1,6 cm; dla masy ciała różnice te wyniosły odpowiednio 1,5 kg oraz 0,5 kg;
- w porównawczych testach sprawności (tapping ramieniem oraz testy mocy RR i testy mocy tułowia) dynamika zmian pomiarów bezpośrednich oraz wyliczonych wskaźników mocy i pracy mięśniowej, osiągała - w obu cyklach treningowych - albo podobne rozmiary, albo była niższa w cyklu eksperymentalnym;
- w testach szacujących siłę eksplozywną nóg (pomiar bezpośredni oraz wyliczone wskaźniki mocy i pracy) zanotowano większe postępy w eksperymentalnym cyklu treningowym niż w cyklu standardowym, a wielkość tych postępów w cyklu eksperymentalnym niemal we wszystkich przypadkach była istotna statystycznie;
- równie korzystne, z punktu widzenia celów zastosowanego treningu, skrócenie czasu trwania faz podporowych podczas wyskoków pionowych miało większe rozmiary w cyklu eksperymentalnym niż w cyklu standardowym; w tym przypadku jednak statystyczna rzetelność różnic nie występowała tak regularnie jak w pomiarach wysokości wyskoku, czy wyliczonych wskaźnikach mocy i pracy mięśniowej;
- systematycznie rosnąca w kolejnych terminach badań przewaga chłopców nad dziewczętami zaznaczała się intensywniej w zakresie wyliczonych parametrów mocy i pracy mięśniowej, niż w zakresie bezpośrednich pomiarów podczas prób testowych; przyczyną tego efektu może być większa dynamika przyrostów masy mięśniowej w grupie chłopców, ponieważ masa mięśniowa jest mnożnikiem w iloczynowych formułach wyliczeniowych MMA i MPA.

4.2.3. Różnice unormowane – porównania relatywne

W poprzednich rozdziałach stwierdzono występowanie znaczących statystycznie różnic świadczących o systematycznej poprawie wyników w kolejnych badaniach. Postępy udokumentowano zarówno w postaci jakościowej – korzystna proporcja liczebności postępów do ich braku, jak i w wymiarze ilościowym – wielkość różnic nominalnych. Dalsza analiza weryfikować będzie wielkości tych postępów poprzez ocenę różnic międzycechowych. Bezpośrednie porównanie poziomu wielu cech i wskaźników, mierzonych różnymi jednostkami na różnych skalach wymiarowych, wymaga przeliczenia na jednostki bezwymiarowe – relatywne, za pomocą normowania wartości centralnych na miarę zmienności wyników. Inaczej, na podstawie dotychczasowych obliczeń trudno byłoby oszacować np. czy

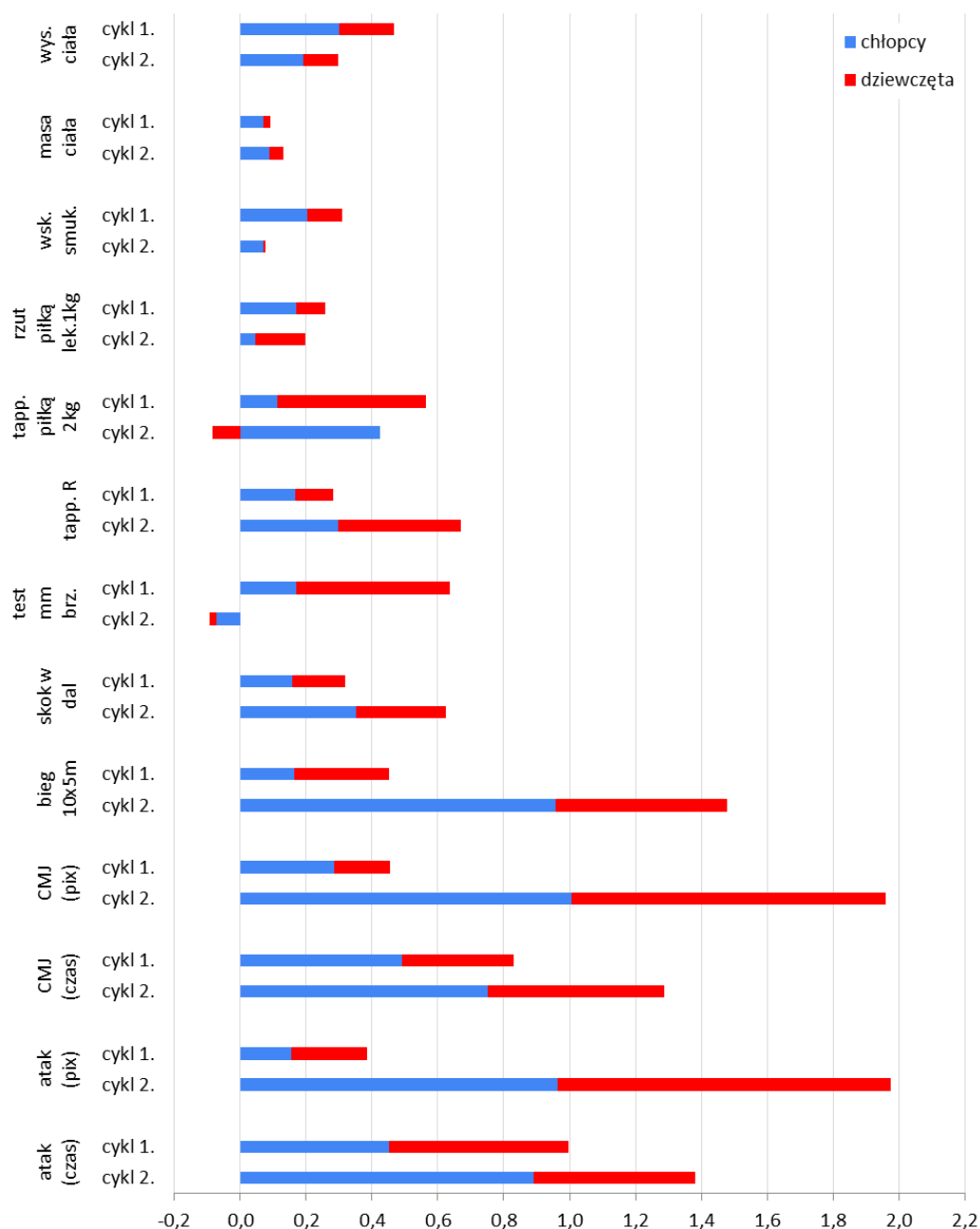
u badanych dzieci tempo zmian sprawności motorycznej dorównuje, czy też przewyższa tempo rozwoju somatycznego.

W rozdziale tym analizowane będą unormowane wielkości różnic średnich arytmetycznych w kolejnych etapach treningu, a przeliczone tą metodą wskaźniki unormowane posłużą zarówno do porównań międzycechowych (relatywnych wielkości zmian poszczególnych wskaźników sprawnościowych i somatycznych), wewnątrzcechowych (wielkość zmian a cykl treningowy) oraz międzygrupowych (wielkość zmian a płeć). Procedurę normowania różnicy średnich na ich 95% przedziały ufności opisuje formuła 8a (w Aneksie).

Na wszystkich rycinach w tym podrozdziale wartości dodatnie oznaczają postęp - wyniki lepsze, natomiast wartości ujemne oznaczają regres wyników.

Porównanie unormowanych wielkości dla pomiarów budowy somatycznej i wyników w testach sprawności (ryc. 13, tab. 8, 11, 14, 20) pozwala stwierdzić, iż:

- wskaźniki budowy somatycznej chłopców i dziewcząt w obu cyklach treningowych przyrastały o stosunkowo niewielkie wartości (W_u mniejsze lub równe 0,30), przy czym w grupie chłopców wskaźniki rozwoju są wyższe niż w grupie dziewcząt;
- w obu grupach, podczas 1. cyklu (trening standardowy) przyrost wysokości ciała był nieznacznie intensywniejszy, niż podczas 2. cyklu (trening eksperymentalny);
- niewielkie różnice (W_u mniejsze niż 0,5) reprezentują efekt rozwoju sprawności motorycznej szacowanej testami porównawczymi, gdzie często po pierwszym cyklu treningowym postępy były nawet nieco większe niż po cyklu eksperymentalnym;
- bardziej regularne i znacznie większe postępy, niż w przypadku cech somatycznych i sprawności mierzonej testami porównawczymi, stwierdzono w pomiarach skoczności i szybkości biegu sprinterskiego (10x 5m) – efekt postępu w obu grupach był często kilkakrotnie większe po eksperymentalnym cyklu treningowym, niż po cyklu standardowym;
- grupa chłopców w testach skoczności i teście sprinterskim uzyskiwała częściej postępy relatywnie większe niż grupa dziewcząt; efekt ten występował zarówno w standardowym cyklu treningowym, jak i w cyklu eksperymentalnym, w którym rozmiar zmian zbliżał się do wartości bliskich $W_u = 1$.



Ryc. 13. Zmiany wybranych wskaźników budowy somatycznej oraz wyników testowania sprawności motorycznej w kolejnych etapach (cyklach) treningowych wyrażone wielkościami unormowanymi średnich arytmetycznych na 95% przedział ufności

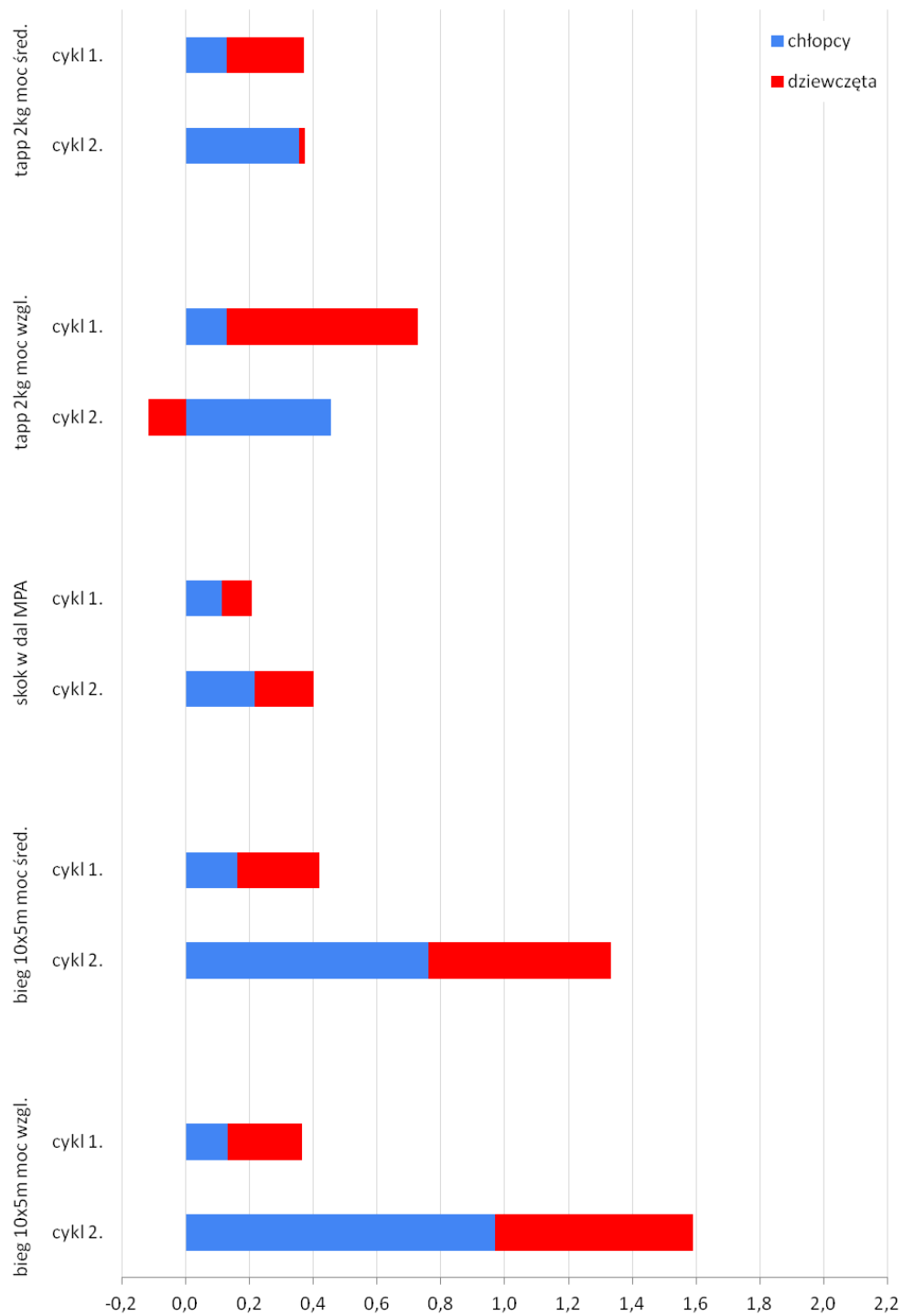
Unormowane wskaźniki różnic wielkości rozwijanej pracy i mocy mięśniowej podczas testów sprawnościowych (ryc. 14 i 15, tab. 17, 32, 35, 38) sugerują, iż:

- grupa chłopców uzyskała w cyklu eksperymentalnym regularne i – relatywnie – nawet kilkakrotnie większe postępy niż w cyklu standardowym; efekt ten występował zarówno w testach porównawczych, jak i w testach mocy nóg;

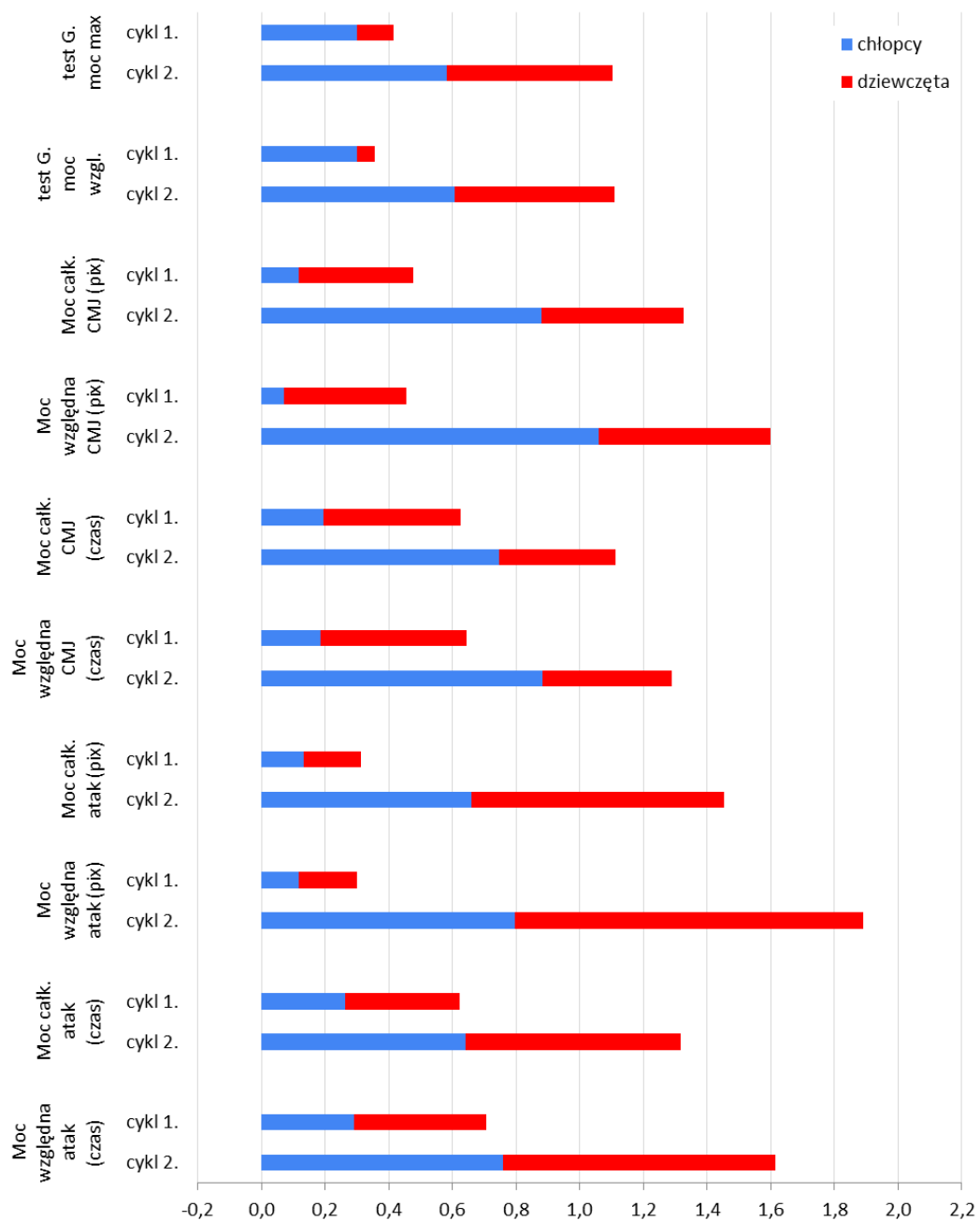
- w obu grupach, w eksperymentalnym cyklu treningowym, przyrost mocy i pracy mięśniowej notowany podczas wyskoków pionowych niemal zawsze wykraczał ponad poziom $Wu > 0,5$, a często osiągał wartość znaczącą – bliską $Wu = 1$;
- w grupie dziewcząt, regularność i przewaga relatywnych efektów cyklu eksperymentalnego nad efektami cyklu standardowego była nieco mniejsza niż u chłopców; porównywalne efekty obu cykli treningowych stwierdzono u dziewcząt we wskaźnikach mocy podczas testu CMJ;
- w obu grupach (dziewczeta i chłopcy), po cyklu eksperymentalnym, największe zmiany, stanowiące co najmniej dwukrotność postępów notowanych po cyklu standardowym, stwierdzono w zakresie mocy i pracy mięśniowej rozwijanej podczas następujących testów: seria podskoków (Georgescu), wyskok do ataku, bieg sprinterski (10x 5m) oraz skok w dal (obunóż z miejsca).

Różnice unormowane, porównujące czas faz aktywnych oraz wskaźnik RSI podczas testów wyskoku pionowego przedstawiono na ryc. 16 oraz w tab. 23, 26, 29 (Aneks). Na rycinie, odwrócono znak wartości, tak aby postęp (skrócenie czasu fazy) oznaczony był wartością dodatnią, zgodną z oczekiwanym kierunkiem efektu treningowego. Na podstawie tego zestawienia należy zauważyć, iż:

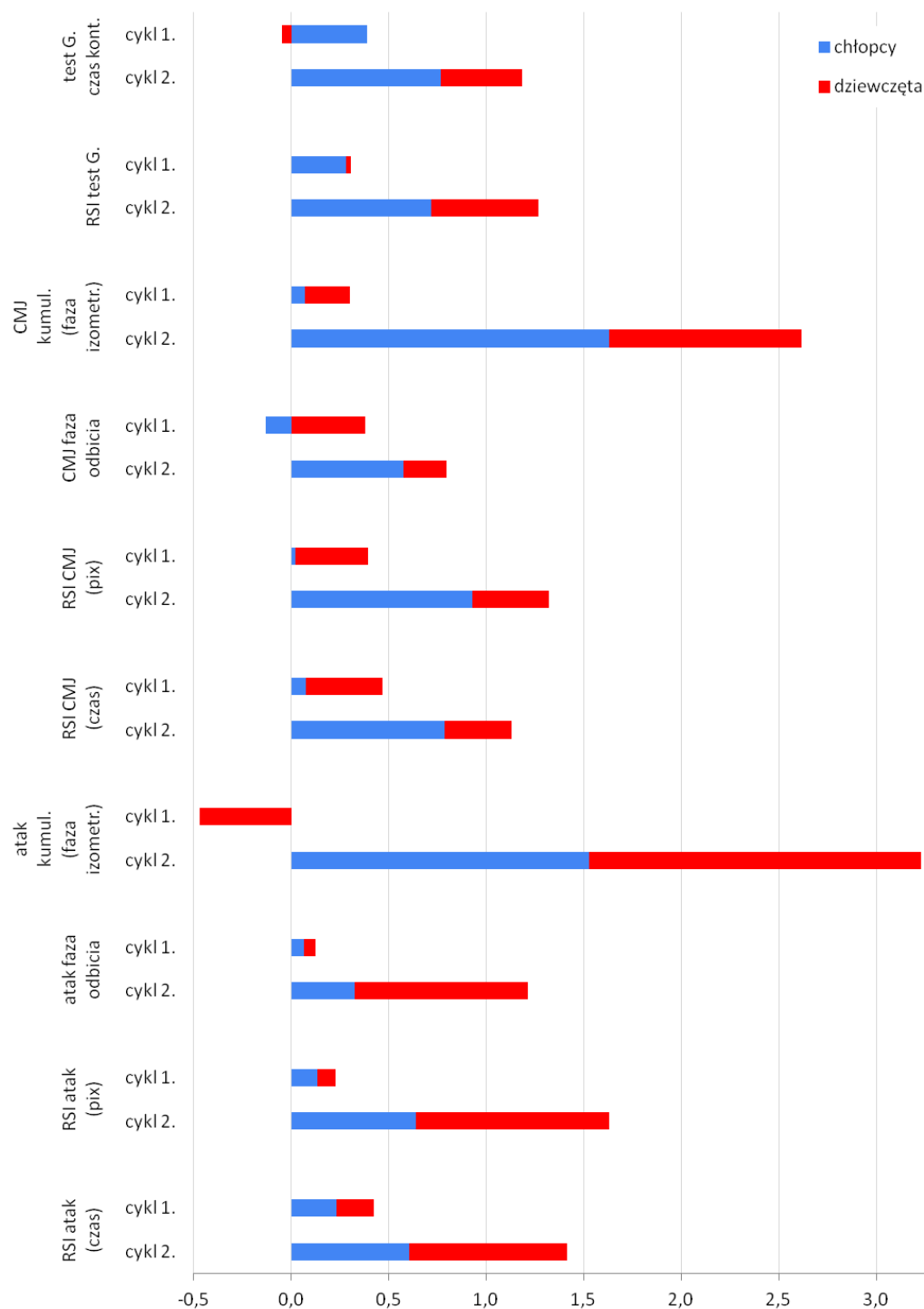
- u chłopców, w cyklu eksperymentalnym odnotowano znaczne ($Wu > 0,5$) przyrosty wskaźników RSI i skrócenie czasu faz aktywnych będące często wielokrotnością efektów obserwowanych w cyklu standardowym;
- u dziewcząt tak znaczących – jak u chłopców – efektów na korzyść cyklu eksperymentalnego nie odnotowano jedynie w dwóch parametrach mierzonych podczas testu CMJ: faza odbicia oraz RSI;
- w obu grupach, po eksperymentalnym cyklu treningowym, największe zmiany odnotowano w czasie trwania – skrócenie – fazy izometrycznej (plyometrycznej kumulacji energii); w obu testach wyskoków pionowych (CMJ i do ataku), postępy w cyklu eksperymentalnym osiągały poziom znaczący ($Wu \geq 1$) lub znacznie wykraczały ponad ten poziom; przy czym w cyklu standardowym zmiany czasu trwania omawianej fazy były nieznaczne ($-0,5 < Wu < 0,5$);
- w grupie dziewcząt, po cyklu eksperymentalnym obserwowano relatywnie większe postępy niż u chłopców w parametrach czasowych związanych z wyskokiem do ataku; natomiast chłopcy uzyskiwali relatywnie korzystniejsze zmiany parametrów czasowych w testach CMJ i serii podskoków (Georgescu).



Ryc. 14. Testy populacyjne; zmiany wskaźników mocy w kolejnych etapach (cyklach) treningowych wyrażone wielkościami unormowanymi średnich arytmetycznych na 95% przedział ufności



Ryc. 15. Testy wysoku pionowego (Georgescu, CMJ, "do ataku"); zmiany wskaźników mocy w kolejnych etapach (cyklach) treningowych wyrażone wielkościami unormowanymi średnich arytmetycznych na 95% przedział ufności



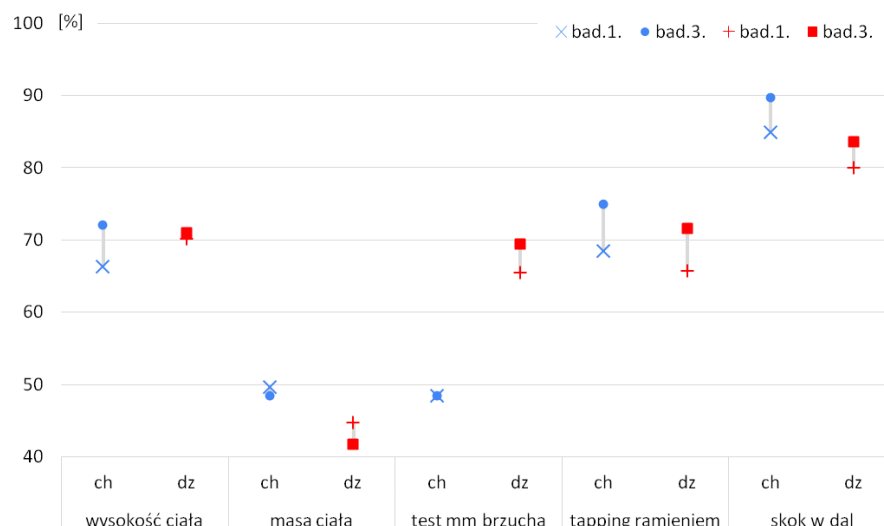
Ryc. 16. Testy wyskoku pionowego (Georgescu, CMJ, "do ataku"); zmiany wskaźników zawierających szacowanie czasu rozwijania mocy w kolejnych etapach (cyklach) treningowych wyrażone wielkościami unormowanymi średnich arytmetycznych na 95% przedział ufności

Podsumowanie porównań relatywnych:

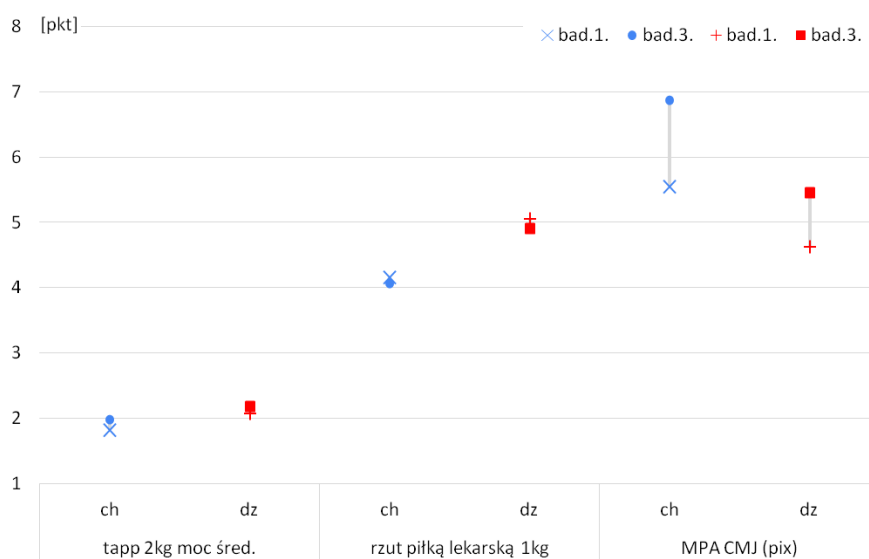
- rozmiary oczekiwanych efektów – mierzone normowanymi zmianami następujących parametrów: skoczność, mocy mięśniowa oraz wskaźniki czasowe faz wyskoku – po treningu eksperymentalnym okazały się nawet kilkukrotnie większe niż po treningu standardowym;
- w zestawieniu z relatywnie niewielkimi rozmiarami zmian notowanych w pomiarach somatycznych oraz w porównawczych testach sprawności, efekt treningu eksperymentalnego – w postaci przyrostu wszystkich wskaźników diagnozujących poziom mocy kończyn dolnych – przewyższa znacząco efekt zmian naturalnych (wyznaczonych przez wskaźniki somatyczne) i efektów wywołanych treningiem standardowym;
- zmiany niemal wszystkich parametrów, świadczących o rozwoju mocy mięśniowej kończyn dolnych, notowane u chłopców po cyklu eksperymentalnym, są relatywnie większe niż u dziewcząt; jedynie w przypadku wskaźników związanych z czasem faz podporowych podczas wyskoku do ataku w grupie dziewcząt stwierdzono nieco większą dynamikę zmian niż w grupie chłopców.

4.2.4. Wyniki na tle norm populacyjnych i sportowych

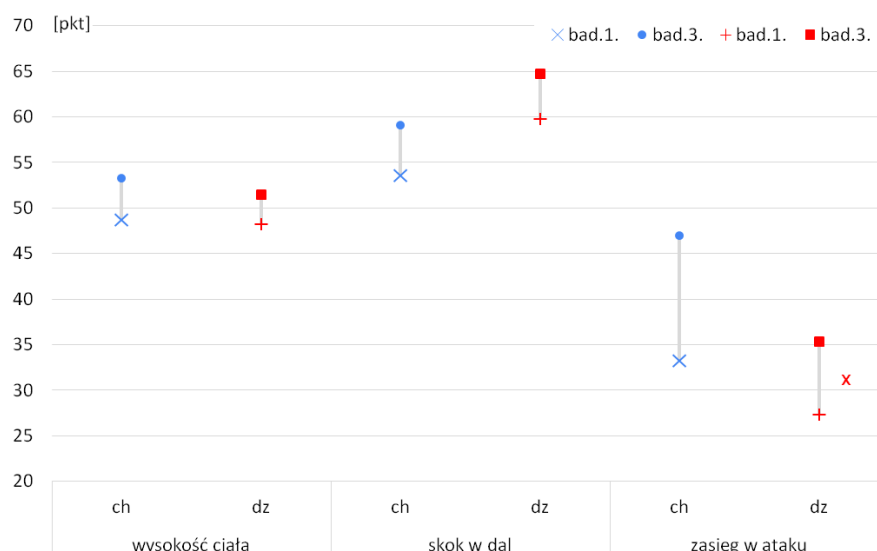
W rozdziale tym oceniono tempo przyrostu wybranych wskaźników somatycznych i sprawnościowych badanej grupy młodych siatkarek i siatkarzy w odniesieniu do wielkości norm populacyjnych i norm sportowych. W porównaniach uwzględniono tylko takie wskaźniki, gdzie metodyka pomiarowa była identyczna z zastosowaną w badaniach własnych. Całkowity postęp zanotowany podczas badań (między 1. a 3. badaniem – okres 16 tygodni) porównano w ujęciu relatywnym do norm populacyjnych (Eurofit za: Dobosz 2012) oraz norm sportowych (Spieszny 2011 oraz PZPS 2018). Każdy wynik, uzyskany w toku badań własnych, przeliczono na wartości według skali tych norm, odpowiedniej dla wieku kalendarzowego dziecka. Wyniki obliczeń zestawiono w tabelach 44-46 (Aneks) oraz zilustrowano na rycinach 17-19.



Ryc. 17. Wyniki szacujące postępy obu grup (ch - chłopców oraz dz- dziewcząt) w całym okresie badań na tle norm populacyjnych (Eurofit, za: Dobosz 2012) - średnie arytmetyczne pozycji wyników na skali centylowej w badaniach 1. i 3.



Ryc. 18. Wyniki szacujące postępy obu grup (ch - chłopców oraz dz- dziewcząt) w całym okresie badań na tle norm sportowych (normy za: Spieszny 2011) - średnie arytmetyczne pozycji wyników na skali punktowej w badaniach 1. i 3.



Ryc. 19. Wyniki szacujące postępy obu grup (ch - chłopców oraz dz- dziewcząt) w całym okresie badań na tle norm sportowych PZPS (normy za: PZPS 2018) - średnie arytmetyczne pozycji wyników na skali punktowej w badaniach 1. i 3.;
 x - wyniki dziewcząt w pomiarach zasięgu do ataku normowano na kategorię rocznikowo starszą - ze względu na brak norm PZPS dla klasy 6. - w tej kategorii skoczność ocenia się jedynie testem "skok obunóż w dal z miejsca"

Tempo rozwoju wybranych wskaźników somatycznych i sprawnościowych – odnotowane w toku badań – w porównaniu do wielkości normatywnych sugeruje, iż:

- na tle norm populacyjnych (Eurofit), zarówno w grupie dziewcząt, jak i w grupie chłopców, poziom parametrów somatycznych (wysokość i masa ciała) oraz wskaźników sprawności w testach porównawczych (test mm brzucha, tapping ramieniem) mieścił się w zakresie normy szerokiej (25-75%), a tempo rozwoju nie wykraczało ponad 5% tempa normatywnego; różnica tempa rozwoju mocy nóg (odległość skoku w dal obunóż) między testowanymi grupami a tempem postępów w populacji również nie przekroczyła wielkości 5% na skali centylowej, jednak w tym przypadku wyniki siatkarek i siatkarzy, mieściły się wyższym przedziale norm (75-90%) wyników osiągniętych przez znacznie mniejszy odsetek populacji, gdzie procentowa wielkość postępów ma większą wagę, niż w zakresie normy szerokiej (25-75%);
- na tle norm sportowych ("wyselekcjonowanej" młodzieży uprawiającej gry zespołowe) w testach porównawczych (moc średnia podczas tappingu piłką lekarską oraz odległość rzutu piłką lekarską) tempo rozwoju sprawności było identyczne jak to, które wyznaczają normy testowe (różnica bliska wartości 0 pkt); wyższe - niż normatywne - tempo przyrostu MPA podczas testu CMJ odnotowano zarówno w grupie chłopców, jak i w grupie dziewcząt (różnica o wielkość - odpowiednio 1,4 pkt i 0,9 pkt); za główną przyczynę tych zmian, uznać należy progres wysokości wyskoku;

- na tle norm selekcyjnych PZPS, tempo postępów badanej grupy w testach skoczności jest wyższe niż tempo przyrostów wysokości ciała; szczególnie znaczący ponadnormatywny postęp wystąpił podczas testu wyskoku do ataku (o 14 pkt w grupie chłopców i o 8 pkt w grupie dziewcząt); w tabelach norm, skoczność reprezentowana jest przez zasięg ramienia w ataku (najwyższy punkt zasięgu palców, uniesionego pionowo ramienia, podczas wyskoku do ataku), natomiast w badaniach własnych wyliczono go, jako sumę wyskoku oraz maksymalnego zasięgu ramienia w pozycji stojącej.

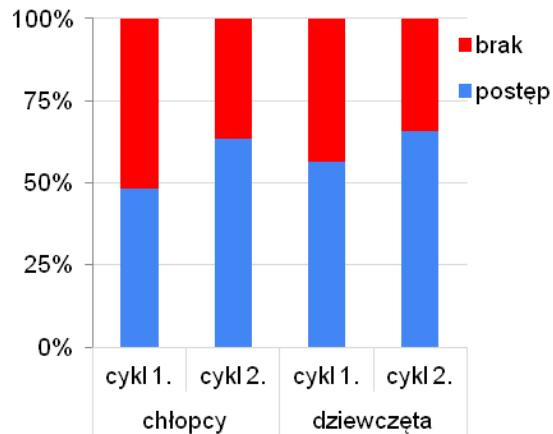
4.2.5. Wyskok do ataku – efektywność fazy rozbiegu

Efektywność skoordynowania faz rozbiegu i wyskoku do ataku obliczono wg następujących formuł:

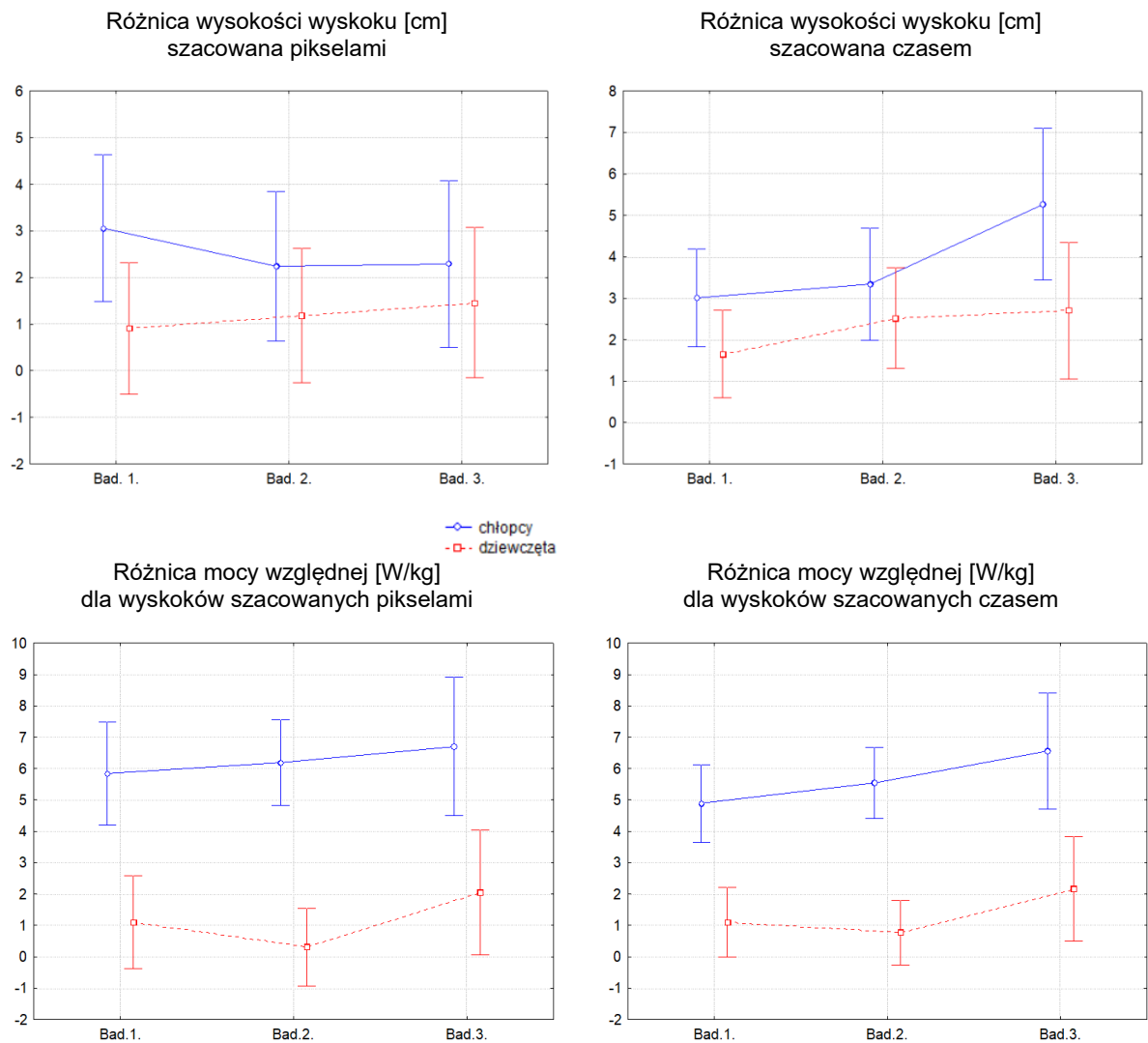
- 1) różnica pomiędzy wysokością wyskoku w testach "do ataku" oraz CMJ
- 2) różnica mocy względnej uzyskanej podczas tych testów.

Analiza wartości tak obliczonych wskaźników (ryc. 20-21 oraz tab. 40-43) wskazuje, iż:

- w pierwszym, standardowym cyklu treningowym w obu grupach różnice pomiędzy liczbą postępów do ich brakiem, dla niemal każdego wskaźnika, były nieistotne statystycznie (porównanie testem istotności dwumianowym); jedynie w grupie dziewcząt odnotowano istotną przewagę postępów w stosunku do ich braku w testach szacowanych czasem fazy lotu;
- w drugim cyklu – eksperymentalnym – w obu grupach ogólna liczba postępów, była większa niż liczba wyników świadczących o braku lub regresie poziomu omawianych wskaźników; przy czym w grupie dziewcząt w głównej mierze na tej dysproporcji zaważyły postępy we wskaźnikach mocy względnej, a w grupie chłopców różnica wysokości wyskoków mierzonych czasem (test istotności dwumianowy);
- zestawienie porównujące proporcję całkowitej liczby przypadków, kiedy nastąpiła poprawa wskaźników efektywności rozbiegu do liczby przypadków pozostałych (brak poprawy) oszacowano testem istotności chi-kwadrat (χ^2), i nie stwierdzono istotnych różnic proporcji między standardowym a eksperymentalnym cyklem treningowym;
- analiza proporcji liczby przypadków wskazujących na poprawę wskaźników skoordynowania faz rozbiegu i wyskoku oraz przypadków bez poprawy nie wykazała istotnych statystycznie różnic między standardowym a eksperymentalnym cyklem treningowym (test chi-kwadrat, χ^2);



Ryc. 20. Proporcje procentowe liczby efektów pozytywnych (postęp) do ich braku lub regresu wartości (brak) w wynikach reprezentujących wskaźniki efektywności fazy rozbiegu (mierzonego jak różnice w testach: "wyskok do ataku" a CMJ) w kolejnych cyklach treningowych (1-standardowy; 2-eksperymentalny)



Ryc. 21. MANOVA; wskaźnik efektywności fazy rozbiegu (różnica: "wyskok do ataku" a CMJ) w kolejnych terminach badań

- również analiza różnic wartości liczbowych (MANOVA) omawianych wskaźników nie dostarcza dowodów na znaczącą poprawę skoordynowania faz rozbiegu i wyskoku podczas testu "do ataku" zarówno po cyklu standardowym, jak i po cyklu eksperymentalnym;
- korzystne i istotne statystycznie zmiany odnotowano natomiast w grupie chłopców, ale w toku całego 16-tygodniowego okresu (pomiędzy badaniem 1. i 3.), postępy te wystąpiły we wskaźnikach efektywności fazy rozbiegu mierzonych czasem lotu (wysokość wyskoku i moc względna); zaznaczyć należy jednak, że wielkość opisanych zmian nie wykracza znacząco ponad obliczony maksymalny błąd pomiarowy;
- grupa chłopców w każdym terminie badań uzyskiwała wyższy poziom wszystkich wskaźników skoordynowania faz rozbiegu i wyskoku do ataku niż grupa dziewcząt; jednak statystycznie znaczące różnice międzygrupowe odnotowano jedynie w przypadku wskaźników szacowanych mocą względną.

5. DYSKUSJA

Głównym celem pracy była ocena wpływu eksperymentalnego treningu skoczności na moc kończyn dolnych u początkujących siatkarek i siatkarzy. Wiek kalendarzowy badanych dzieci wskazuje, że wiele spośród nich mogło być w okresie pokwitania, kiedy to charakterystyczny jest przyspieszony rozwój cech somatycznych, jak i samoistny rozwój sprawności motorycznej. Dodatkowo w badanych grupach rozwój ten wspierany był systematycznym szkoleniem sportowym o znacznej objętości. Z tego powodu należy uwzględnić fakt, iż nawet w typowym dla piłki siatkowej procesie szkolenia, dochodzi u młodzieży do znacznych postępów rozwoju mocy mięśniowej, pomimo, iż w szkoleniu tym nie stosuje się specjalnych metod, ukierunkowanych na stymulację szybkościowych zdolności motorycznych. Efekt ten jest logiczny i spodziewany, ponieważ standardowy trening techniczno-taktyczny zawiera znaczną objętość ćwiczeń typowych dla czynności wykonywanych podczas gry: maksymalne wysoki, sprinty na krótkich odcinkach, czy uderzenia w piłkę o znacznej dynamice. Liczba powtórzeń tego typu czynności jest większa niż w innych dyscyplinach sportowych – zarówno podczas rywalizacji (meczu), jak i podczas zajęć treningowych.

Z tej przyczyny na każdym etapie opisanego w niniejszej pracy eksperymentu, oprócz testów oceniających moc kończyn dolnych przeprowadzono również testy sprawności grup mięśniowych nie stymulowanych metodą eksperymentalną. Wyniki tych testów posłużyły do porównania między efektami standardowego tempa rozwoju sprawności, które wynikało z typowego procesu szkolenia, a efektami autorskiej metody treningowej. Porównanie to stanowiło dodatkową weryfikację skuteczności środków treningowych, zastosowanych w cyklu eksperymentalnym szkolenia.

W pierwszym, 8-tygodniowym, etapie eksperymentu stosowano środki treningowe nauczające i doskonalące umiejętności techniczno-taktyczne oraz stymulowano zdolności motoryczne metodami zalecanymi przez program szkolenia dzieci i młodzieży w systemie Siatkarskich Ośrodków Szkolnych (Świderek i wsp. 2012). Umiejętności specjalistyczne kształtowano poprzez ćwiczenia w formie: ścisłej, zabawowej, minigier 1x1 i 2x2 i fragmentów gry 6x6. Tok tych zajęć zawierał również środki ukierunkowane na kształtowanie zdolności motorycznych, zadania te wykonywano w części wstępnej oraz na początku części głównej – w objętości jedynie akcentującej rozwój poszczególnych zdolności motorycznych.

Po pierwszym – standardowym cyklu treningowym, zarówno u chłopców, jak i dziewcząt stwierdzono postępy we wszystkich testach sprawnościowych. Analiza wyników wykazała, że

progresja wyników odnotowana w testach mocy kończyn dolnych była zbliżona do obserwowanej w testach innych grup mięśniowych. Postępy te nie zawsze jednak były znaczące. W wielu przypadkach różnice nie były istotne statystycznie, a ich wymiar nominalny również nie wskazuje na ponadnormatywny rozmiar osiągniętych efektów.

W drugim, również 8-tygodniowym, cyklu eksperymentalnym, treści zajęć zmodyfikowano, wprowadzając środki kształtujące moc mięśni kończyn dolnych metodą plyometryczną. Analiza wyników wykazała, że podczas tego cyklu, postępy we wszystkich testach porównawczych – oceniających sprawność grup mięśniowych nie objętych treningiem eksperymentalnym – miały rozmiar podobny, a nierzadko nawet mniejszy niż notowany podczas cyklu standardowego. Znacząco większe postępy wystąpiły natomiast we wszystkich testach oceniających moc kończyn dolnych. Po pierwsze, wielkość tych postępów okazała się istotna statystycznie w ocenie każdej z zastosowanych metod weryfikacji statystycznej (jakościowa i ilościowa). Po drugie, nominalny wzrost wartości wskaźników mocy kończyn dolnych obserwowanych w cyklu eksperymentalnym był znacznie większy niż w cyklu standardowym, co potwierdza również rozmiar różnic szacowanych wskaźnikami unormowanymi. Po trzecie, grupa chłopców osiągnęła większy progres wskaźników skoczności w toku treningu eksperymentalnego niż grupa dziewcząt.

Na tej podstawie można stwierdzić, że zaplanowany trening przyniósł zamierzone rezultaty – zwiększył moc kończyn dolnych w większym zakresie niż typowy trening siatkarski, zalecany w oficjalnym programie szkolenia sportowego PZPS.

Przedyskutowania wymaga bezwzględna wielkość progresji wyników – stwierdzona u uczestniczących w eksperymencie siatkarek i siatkarzy – na tle wyników publikowanych w piśmiennictwie.

Idrizovic i wsp. (2018) badali młode siatkarki, które objęto treningiem siatkarskim z częstotliwością siedmiu jednostek tygodniowo, w okresie 3 miesięcy. Odnotowano poprawę o 4,4 cm w teście wyskoku pionowego, pomimo iż nie stosowano dodatkowych metod treningowych, ukierunkowanych na poprawę mocy kończyn dolnych. W tym samym czasie, u siatkarek, które brały udział w pięciu jednostkach treningowych tygodniowo stwierdzono postęp wielkości 3,4 cm. W żadnej z grup nie odnotowano natomiast poprawy w testach biegowych o charakterze sprinterskim.

W badaniach Gabbett (2008), młodych siatkarzy i siatkarki poddano eksperymentowi szkoleniowemu w okresie 12 tygodni, trening wykonywano w cyklu trzech jednostek tygodniowo. W jednej grupie niemal całą objętość zajęć wypełniały mini-gry, a w grupie drugiej korzystano z typowej proporcji środków, czyli przeważającej objętości ćwiczeń

technicznych w formie ścisłej. Grupa pierwsza uzyskała poprawę w testach: wyskoku pionowego (o 3,5 cm dla CMJ oraz 6,2 cm wyskok do ataku), szybkości biegu, mocy mięśni górnych partii ciała i maksymalnej wydolności tlenowej, podczas gdy typowy trening techniczny poprawił jedynie wyniki testów: wyskoku do ataku i szybkości biegu. W innych badaniach Gabbett i wsp. (2006) ocenili wpływ treningu techniczno-taktycznego na sprawność motoryczną młodych siatkarzy. W ramach eksperymentu grupa chłopców uczestniczyła w 8-tygodniowym programie treningowym, wykonywanym z częstotliwością trzech jednostek treningowych w tygodniu. Stosowano połączenie treningu technicznego i gier. Postępy zaobserwowano przede wszystkim w testach szybkości biegu (sprint na dystansie 5 m i 10 m) oraz zwinności (T-test). W pozostałych testach mocy (skoki, rzuty piłką) oraz testach wytrzymałości tlenowej również odnotowano postępy, lecz nie były one istotne statystycznie.

W doniesieniach, które opisują efekty kształtowania sprawności motorycznej u młodych sportowców poprzez ćwiczenia plyometryczne, środki specjalne (eksperymentalne) wprowadzano do cyklu treningowego albo jako całkowicie wydzielone jednostki, albo jako osobną część w toku zajęć techniczno-taktycznych. Nierzadko, środki eksperymentalne były dodatkowym obciążeniem - zwiększały objętość zajęć w cyklu tygodniowym. Każdorazowo, na wykonywanie ćwiczeń plyometrycznych przeznaczano od 20 do 35 minut. Zawsze były to więc, wyraźnie oddzielone - osobne części zajęć, które zastępowały część techniczno-taktyczną treningu, zaburzając jego strukturę (Vila-Chã i wsp. 2018, Aksović i wsp. 2019, Correia i wsp. 2020).

Innowacyjność badań przeprowadzonych w niniejszej pracy polega na tym, że ćwiczenia plyometryczne wprowadzono do ostatniej części rozgrzewki oraz do części techniczno-taktycznej, gdzie wykonywano je naprzemiennie z ćwiczeniami siatkarskimi. Dodatkowe środki treningowe (ćwiczenia plyometryczne) włączono do treści typowych zajęć. Zadania te nie wpływały jednak negatywnie na jakość wykonania czynności siatkarskich, ponieważ – zgodnie z założeniem metodycznym, intensywność ćwiczeń plyometrycznych była umiarkowana, natomiast intensywność specjalistycznych zadań siatkarskich nieco obniżono. Typowy tok jednostki treningowej pozostał więc niezmienny, a objętość ćwiczeń techniczno-taktycznych nie zmniejszyła się.

Publikacje powiązane tematycznie z omawianym zagadnieniem treningu plyometrycznego w siatkówce młodzieżowej często zawierają niepełny opis materiału lub metod, z tego powodu trudno bezpośrednio i jednoznacznie porównać opisywane w nich efekty do wyników pracy własnej. Przykładowe zaniedbania są następujące: brak opisu procedury pomiarowej, a przez to brak oszacowania błędu pomiarowego; brak grupy kontrolnej lub odniesień do wyników

testów kontrolnych a – co najmniej – odniesienia do jakiegokolwiek norm populacyjnych lub sportowych, a przecież u dorastającej młodzieży występuje naturalny rozwój cech somatycznych i sprawności motorycznej. Dodatkowo, często postępy szacowane są jedynie w wartościach bezwzględnych lub jako proporcje procentowe, bez przeliczenia na bardziej rzetelne statystycznie, wielkości unormowane lub standaryzowane. Ponadto, efekty treningu plyometrycznego u młodzieży opisywane są głównie jako pomiary nominalne wysokości wyskoku, bardzo rzadko natomiast prezentowane są zmiany czasu trwania poszczególnych faz wyskoku.

Vassil i Bazanovk (2012) przeprowadzili badania dotyczące wpływu 16-tygodniowego (listopad – luty) treningu plyometrycznego ukierunkowanego na rozwój mocy kończyn dolnych oraz kończyn górnych u 13-14 letnich siatkarek oraz 16-18 letnich siatkarzy. Ćwiczenia plyometryczne wykonywano dwukrotnie w każdym tygodniu. Odnotowano znaczną poprawę w teście maksymalnej wysokości wyskoku pionowego (CMJ): w grupie dziewcząt – średnio o 4,6 cm, w grupie chłopców – o 5,1 cm. Odległość skoku w dal wzrosła u dziewcząt średnio o 8,5 cm, natomiast u chłopców – o 8,1 cm. Opisywany eksperyment trwał niemal 4 miesiące, stąd też duży postęp w wartościach nominalnych, który dodatkowo mógł być wzmocniony naturalnym procesem rozwoju młodych siatkarek i siatkarzy. Niestety, Autorzy nie podają stażu treningowego badanych dzieci, co u początkujących może wpłynąć na wielkość postępów. W publikacji tej pominięto także opis procedury pomiarowej.

Lehnert i wsp. (2009) przeprowadzali 8-tygodniowy cykl treningów plyometrycznych, wykonywanych 2 razy w tygodniu w grupie młodych siatkarek (średnia wieku 14,8 lat). Przyrost skoczności w okresie eksperymentu osiągnął następujące rozmiary: 2,6 cm dla wyskoku pionowego z miejsca (CMJ) oraz 4,3 cm dla wyskoku do ataku (po rozbiegu). Nie odnotowano natomiast statystycznie istotnych postępów mierzonych czasem biegu sprinterskiego 6x6 m. W omawianym doniesieniu, Autorzy nie podali procedury pomiarowej.

Idrizovic i wsp. (2018) badali wpływ 3-miesięcznego treningu zawierającego zarówno jednostki zajęć doskonalące umiejętności techniczno-taktyczne, jak i osobne jednostki kształtujące sprawność motoryczną poprzez ćwiczenia ukierunkowane na rozwój mocy kończyn dolnych. Uczestniczkami eksperymentu były 16-letnie siatkarki, posiadające co najmniej 5-letni staż treningowy. Jednostki szkoleniowe wykonywano 3-krotnie w tygodniu, przy czym jedną z nich poświęcano na ćwiczenia plyometryczne i ekscentryczne. Dziewczęta wykonywały ćwiczenia o średniej i wysokiej intensywności, były to m.in.: maksymalne wyskoki pionowe, maksymalne przeskoki w kierunkach w bok i w skos, maksymalne skoki w dal oraz zeskoki w głąb (z wysokości 40 i 60 cm). Do pomiaru CMJ użyto systemu

OptoJump (Microgate, Bolzano, Włochy), a czas biegu sprinterskiego na długości 20 m zmierzono za pomocą fotokomórek. Zaobserwowano istotną statystycznie poprawę wyników testu biegowego – z 4 s na 3,8 s oraz testu CMJ – średnio o 7,3 cm. Metodyka treningu sprawności w opisywanym eksperymencie zawierała stosowanie zarówno typowych ćwiczeń plyometrycznych, jak i znaczną objętość ćwiczeń o charakterze ekscentrycznym "krótkiego czasu" (lądowanie po zeskoku, czy lądowanie po skokach maksymalnych). Odnotowana, znacząca poprawa skoczności u badanych siatkarek mogła być więc w znacznej mierze efektem zastosowania środków treningowych o bardzo wysokiej intensywności.

Ortega i wsp. (2022) porównywali efekty stosowania dodatkowych środków treningowych – ćwiczeń plyometrycznych o niskiej intensywności – z efektami typowego treningu specjalistycznego u 14-18 letnich siatkarek. Eksperyment trwał 7 tygodni. W toku treningowym stosowano typowe zadania siatkarskie, dodatkowo w grupie eksperymentalnej, dziewczęta wykonywały dwukrotnie w cyklu tygodniowym serie plyometrycznych ćwiczeń skocznościowych o niskiej i średniej intensywności. Wszystkie dane zebrano za pomocą platformy Kistler Quattro Jump Force. Pomiarzy wykazały postępy zarówno w grupie eksperymentalnej, jak i w grupie kontrolnej – odpowiednio: o 2,3 cm i o 1,2 cm. W grupie eksperymentalnej, znaczące statystycznie ($p < 0,01$) postępy wystąpiły również w testach siły i mocy kończyn dolnych.

Arede i wsp. (2025) prowadzili badania, celem których była ocena wpływu treningu plyometrycznego z zastosowaniem ćwiczeń o zróżnicowanej prędkości i przyspieszenia (wyskoki po zeskokach z podwyższenia) na sprawność fizyczną młodych koszykarzy (wiek 14-15 lat). Jednostki treningu plyometrycznego wykonywano dwukrotnie w cyklu tygodniowym. Po okresie 14-tygodni uczestnicy eksperymentu znacząco zwiększyli wysokość skoku pionowego (CMJ) – o 4,1 cm, w grupie kontrolnej postęp był mniejszy – o 2,6 cm. Testy wyskoku (CMJ) wykonywano za pomocą urządzenia OptoJump.

Z kolei Vilela i Silva (2017) odnotowali niewielkie efekty treningu plyometrycznego u 9-14 letnich siatkarek. Po 8 tygodniach eksperymentu, w ramach którego grupa dziewcząt wykonywała treningi plyometryczne trzykrotnie w cyklu tygodniowym, poprawa skoczności w testach SJ (wyskok pionowy bez zamachu ramion) i CMJ wyniosła zaledwie 0,6 cm.

Poniżej, w uproszczonej formie zestawiono omawiane powyżej wyniki badań eksperymentalnych w grupach młodzieżowych. W zestawieniu tym umieszczono także oczekiwane postępy, które oszacowano na podstawie norm populacyjnych oraz norm sportowych, odpowiadających wiekowi dziewcząt i chłopców - uczestników prezentowanego w niniejszej pracy eksperymentu.

Zestawienie, udokumentowanych w publikacjach, efektów treningowych mierzonych wskaźnikami skoczności:

Publikacja	Czas obserwacji (tygodnie) oraz liczba treningów w tygodniu	Interwał jednostek plyometrycznych w tygodniu	Testy i postępy	d-dziewczęta c-chłopcy
Idrizovic i wsp. (2018)	12 / 7	brak	CMJ [cm]: d-4,4;	
	12 / 5	brak	CMJ [cm]: d-3,4	
Gabbett (2006)	8 / 3	brak	CMJ [cm]: c-0 wyskok do ataku [cm]: c-1,2	
Gabbett (2008)	12 / 3	brak	CMJ [cm]: d, c (wspólnie) -6,2 wyskok do ataku [cm]: d, c (wsp.) -3,5	
Lehnert i wsp. (2009)	8 / brak informacji	2	CMJ [cm]: d-2,6 wyskok do ataku [cm]: d-4,3	
Vassil i Bazanovk (2012)	16 / 2	2	CMJ [cm]: d-4,6; c-5,1 skok w dal [cm]: d-8,5; c-8,1	
Idrizovic i wsp. (2018)	12 / 3	1 plyom. + ekscent.	CMJ [cm]: d-7,3	
Ortega i wsp. 2022	7 / 2	2	CMJ [cm]: d-2,3	
	7 / 2	gr. kontrolna - brak	CMJ [cm]: d-1,2	
Arede i wsp. (2025) - koszykówka	14 / 3	2	CMJ [cm]: c-4,1	
		brak (gr. kontrolna)	CMJ [cm]: c-2,6	
Vilela i Silva (2017)	8 / 6	3	CMJ [cm]: d-0,6	
Normy				
Eurofit - nietreningujący (Dobosz 2012)	12 / brak	brak	skok w dal [cm]: d-1,75; c-3	
Sportowcy - gry zespołowe (Spieszny 2011)	12 / 3-5	brak lub sporadyczny	MPA [J] (CMJ): d-5,25; c-12,5	
System szkolenia PZPS (PZPS 2018)	12 / 5-7	sporadyczny	skok w dal [cm]: d-2,6; c-4,6 wyskok do ataku [cm]: d-0,8; c-2	
Badania własne				
	8 / 3 (c) - 4 (d)	brak	CMJ [cm]: d-0,6; d-2,1 skok w dal [cm]: d-2,6; c-3,5 wyskok do ataku [cm]: d-0,9; c-1,3 MPA [J] (CMJ): d-3,5; c-15,7	
	8 / 3 (c) - 4 (d)	2	CMJ [cm]: d-3,7; c-7 skok w dal [cm]: d-7,2; c-10,8 wyskok do ataku [cm]: d-4,0; c-7,0 MPA [J] (CMJ): d-17,9; c-46,9	

We wszystkich omawianych badaniach efekty mierzone testami skoczności wskazują na podobny zakres postępów, będących następstwem stosowanych metod treningowych. Podkreślić należy, iż standardowy trening techniczno-taktyczny, nawet o znacznej objętości, wywoływał mniejsze przyrosty skoczności, niż trening o mniejszej objętości, lecz uwzględniający ćwiczenia plyometryczne.

Efekty uzyskane w badaniach własnych jednoznacznie wskazują, iż standardowy cykl treningowy wywołał postępy w typowym zakresie – nominalne wielkości zmian są niewielkie,

natomiast efekty cyklu eksperymentalnego dorównują, a często nawet przewyższają rozmiar postępów obserwowany w innych publikacjach, gdzie analogiczny okres postępowania eksperymentalnego był znacznie dłuższy i trwał 12 do 16 tygodni.

Kolejny etap dyskusji dotyczy rozważenia, który parametr był przyczyną efektu intensywnych przyrostów mocy mięśniowej, odnotowanych po drugim cyklu projektu – cyklu eksperymentalnym. Czy za efekt ten odpowiada jedynie przyrost siły rozwijanej w fazie koncentrycznej wyskoku – wyprost nóg, czy poprawie uległa także koordynacja ruchu – skrócenie początkowych, aktywnych faz podporowych: izometrycznej i koncentrycznej.

Biomechanicznym wskaźnikiem efektywności cyklu opisywanego w literaturze jako stretch-shortening cycle (SSC), czyli efektywności szybkiej zmiany fazy ekscentrycznej na koncentryczną, jest wskaźnik RSI (Reactive Strength Index). Określa on jak sprawnie, czynne i bierne elementy aparatu ruchowego potrafią kumulować energię w pierwszej fazie kontaktu z podłożem - w fazie ekscentrycznej, a następnie szybko wygenerować siłę do odbicia w fazie koncentrycznej. Wskaźnik RSI obliczany jest jako iloraz wysokości wyskoku (w liczniku) i czasu kontaktu z podłożem (w mianowniku), wylicza się go głównie dla wyskoków typu drop jump (DJ) – po zeskoku.

Z przeglądu systematycznego przeprowadzonego przez Southey i wsp. (2024) wynika, że występują istotne różnice RSI między sportowcami w zależności od uprawianej przez nich dyscypliny. Tam, gdzie podczas rywalizacji występują czynności wymagające eksplozywnego przyspieszenia: skoki, gwałtowne zmiany prędkości i kierunku biegu (np. biegi sprinterskie, skoki lekkoatletyczne, gry zespołowe), zawodnicy zwykle osiągają wyższe RSI niż sportowcy wykonujący ruchy o mniejszej dynamice – mniej gwałtowne. Sheppard i wsp. (2008) wykazali, że RSI wśród siatkarki koreluje z wysokością wyskoku pionowego (CMJ), a także skutecznością w ataku podczas gry. Również Pleša i wsp. (2022) w badaniach dorosłych siatkarki odnotowali umiarkowane i silne korelacje pomiędzy RSI a wysokością wyskoku do ataku (po rozbiegu).

Sole i wsp. (2018) wykazali, iż także płeć jest czynnikiem determinującym wielkość RSI, mężczyźni osiągają znacznie wyższe wartości tego wskaźnika niż kobiety, lecz wynika to głównie z większej wysokości wyskoku, natomiast czas kontaktu jest podobny u obu płci. Z kolei Kurian i wsp. (2024) stwierdzili, że relatywnie wysoki poziom RSI notuje się u sportowców dorosłych w zestawieniu z wynikami młodzieży, sugeruje to pozytywny związek wartości tego wskaźnika ze stażem treningowym.

W dostępnym piśmiennictwie, jak dotąd nie opublikowano efektów wpływu treningu plymetrycznego na zmiany RSI wśród młodzieży uprawiającej piłkę siatkową.

Dotychczasowe eksperymenty przeprowadzono głównie na sportowcach dorosłych. Meta-analiza sporządzona przez Ramirez-Campillo i wsp. (2021) wykazała, że trening plyometryczny sprzyja skróceniu czasu kontaktu z podłożem i poprawie RSI. Wyższa wartość RSI świadczy o bardziej efektywnym przejściu między fazami amortyzacji i odbicia. Dodatkowo, w tym przeglądzie publikacji RSI podaje się dla skoków typu DJ lub sporadycznie CJM. W badaniach własnych oceniono wartość tego wskaźnika nie tylko w teście CMJ, ale także podczas wykonywania specjalistycznej czynności siatkarskiej, jaką jest wyskok "do ataku" – po rozbiegu.

Bezpośrednie porównanie wartości referencyjnych z wynikami niniejszej pracy nie jest możliwe, ponieważ standardowo, wielkość wskaźnika RSI wylicza się na podstawie czasu całej fazy podporowej (suma czasów faz: ekscentrycznej, izometrycznej i koncentrycznej). W badaniach własnych natomiast fazę podporową szacowano jedynie na podstawie sumy czasów fazy izometrycznej i fazy koncentrycznej. Ograniczenie to wynikało z fotograficznej metody rejestracji ruchu podczas testów (zapis video). Niemożliwe było bowiem wiarygodne wskazanie momentu rozpoczęcia fazy ekscentrycznej, a tym samym precyzyjne oszacowanie całkowitego czasu trwania fazy podporowej.

W piśmiennictwie, częściej wskaźnik RSI podawany jest jako RSI_{mod} i opisuje parametry występujące podczas skoków DJ (drop jump - wyskok pionowy poprzedzony zeskokiem), możliwe jest wtedy stosowanie łatwiejszej procedury testowej i bardziej dostępnych narzędzi pomiarowych - mata tensometryczna lub fotokomórki (OptoJump). I tak, przykładowo, Bober i wsp. (2007) na podstawie danych przeglądowych podają, iż czas fazy podporowej (SSC) podczas skoku w dal i wzwyż u zaawansowanych sportowców mieści się w zakresie 0,11-0,23 sekundy, natomiast w testach wyskoków pionowych DJ obserwuje się wartości RSI_{mod} > 2 m/s. Pleša i wsp. (2022), podczas testów skoczności DJ, wykonywanych na platformie dynamograficznej przez grupę 40 wyczynowych siatkarzy, zanotowali czas kontaktu SSC w zakresie 0,16-0,25 sekundy oraz RSI pomiędzy 0,98 a 2,91 m/s.

Zastosowane w niniejszej pracy, szacowanie czasu efektywnej fazy kontaktu (SSC) podczas wyskoków pionowych (CMJ i "do ataku"), bliższe jest wartościom opisywanym w piśmiennictwie podczas wskoków DJ. Zakres zmierzonych parametrów dla wyskoku "do ataku" to - dla wartości średnich arytmetycznych - odpowiednio: SSC 0,26-0,30 sekundy oraz RSI 0,9-2,5 m/s. Po uwzględnieniu młodszego wieku i mniejszego zaawansowania sportowego dzieci biorących udział w eksperymencie, uzyskane miary, można więc uznać za rzetelnie opisujące parametry podczas testów wyskoku pionowego. Z tego powodu stwierdzić należy, iż zarówno standardowe środki treningowe, jak i środki eksperymentalne wywołały oczekiwane

zmiany zmodyfikowanego wskaźnika RSI – zgodne ze efektami stosowania ćwiczeń skocznościowych, opisywanymi w piśmiennictwie. Korzystne i znaczące postępy wystąpiły głównie w cyklu eksperymentalnym zarówno w komponencie wysokości wyskoku, jak i w skróceniu czasu fazy podporowej, a głównie fazy izometrycznej (przejścia z fazy ekscentrycznej do koncentrycznej).

Kolejnym parametrem wyskoku, jaki analizuje się podczas testów przeprowadzanych w warunkach laboratoryjnych z zastosowaniem platform dynamograficznych jest wskaźnik narastania siły, opisywany w piśmiennictwie jako wskaźnik Rate of Force Development – RFD. Przegląd zagadnienia (Maffiuletti i wsp. 2016) oraz doniesienia, w których synchronizowano elektromiograficzny zapis aktywacji mięśnia czworogłowego i przebieg czasowy narastania siły (Aagaard i wsp. 2002, Knudson 2007) wskazują, że największy przyrost siły występuje w pierwszej fazie skurczu mięśnia – początkowe 200 ms. Cormie i wsp. (2011), na podstawie przeprowadzonej metaanalizy danych, sugerują, że w tym krytycznym odcinku czasowym, można wyróżnić, co najmniej trzy podokresy o podobnej długości. Większe zmiany progresywne narastania siły w kolejnych podokresach uzyskuje się poprzez stosowanie różnych środków treningowych, i tak:

- większy postęp w pierwszym – początkowym podokresie wywołują ćwiczenia poprawiające koordynację (bez dodatkowego oporu lub z oporem niewielkim);
- w podokresie drugim – środkowym – większe przyrosty wywołują ćwiczenia z oporem średnim - ukierunkowane na rozwój mocy;
- natomiast ćwiczenia ze znacznym oporem (submaksymalnym) poprawiają wskaźnik narastania siły w trzecim – końcowym podokresie.

I chociaż, jak autorzy sami podkreślają, tak szczegółowe powiązanie RFD z metodami treningowymi jest ciągle hipotetyczne i wymaga dalszej weryfikacji praktycznej, to bez wątpienia ćwiczenia z niewielkimi oporami akcentującymi szybkość ruchu, ale również ćwiczenia typowo siłowe, mają pozytywny skutek w postaci przyrostu mocy maksymalnej. Obie metody treningowe zwiększają więc tempo narastania siły w początkowej fazie skurczu mięśni. W doniesieniach opracowanych na podstawie badań eksperymentalnych sugeruje się nawet, że stosowanie środków szybkościowych prowadzi do większej poprawy RFD niż trening oporowy (Suchomel i wsp. 2018).

Oszacowany w niniejszej pracy czas pracy mięśni podczas maksymalnego zgięcia stawu kolanowego (w przysiadzie poprzedzającym wyskok CMJ oraz wyskok "do ataku") zdefiniowano jako czas przejścia od fazy ekscentrycznej do koncentrycznej i określono jako fazę izometryczną, fazę kumulacji energii lub fazę plyometryczną. Przy założeniu, że okres ten

zawiera znaczną część opisywanego w piśmiennictwie początkowego czasu skurczu mięśni, kluczowego dla oceny RFD, można z dużym prawdopodobieństwem ocenić wpływ przeprowadzonego treningu na tempo narastania siły. Najbardziej systematyczne postępy i znaczące statystycznie różnice – skrócenie fazy izometrycznej (plyometrycznej) – odnotowano po eksperymentalnym cyklu treningowym w obu grupach szkoleniowych (dziewczeta i chłopcy). W zestawieniu z mniej systematycznymi i nieistotnymi statystycznie zmianami czasu całej aktywnej fazy podporowej, prawdopodobnie niemal wyłączny efekt poprawy składowej czasu we wskaźniku tempa narastania siły przypisać należy skróceniu początkowego podokresu fazy koncentrycznej – w zakresie 0-100 ms. Relacje takie wystąpiły w obu testach wyskoku pionowego (CMJ i "do ataku") zarówno w grupie dziewcząt, jak i chłopców.

Należy więc uznać, iż zastosowana w pracy metodyka ćwiczeń plyometrycznych miała pozytywny wpływ nie tylko na przyrost siły, ale również poprawiła koordynację ruchu w całej fazie podporowej.

Podsumowanie części dyskusji dotyczącej głównych efektów pracy pozwala na sformułowanie następujących spostrzeżeń:

- liczba oraz wielkość postępów w testach porównawczych często były większe w pierwszym, standardowym cyklu treningowym niż w cyklu drugim – eksperymentalnym;
- zaobserwowana stabilizacja poziomu sprawności grup mięśniowych, które nie były objęte oddziaływaniem eksperymentalnych środków treningowych, może świadczyć o adaptacji do metod i obciążeń stosowanych w trakcie wielotygodniowych makrocykli treningowych (w tym przypadku 16-tygodniowych); analiza uzyskanych wyników wskazuje, że efekt ten był wyraźniejszy w grupie dziewcząt;
- liczba i wielkość postępów w pomiarach mocy kończyn dolnych, stwierdzonych w obu cyklach treningowych, wskazują, że ukierunkowana stymulacja z wykorzystaniem ćwiczeń plyometrycznych w cyklu eksperymentalnym pozwoliła nie tylko utrzymać progresję uzyskaną w pierwszym, standardowym cyklu treningowym, lecz także zwiększyła systematyczność poprawy wyników u poszczególnych uczestników oraz wielkość przyrostu wszystkich analizowanych wskaźników mocy kończyn dolnych;
- korzystny efekt zastosowanego treningu, wyrażający się zwiększeniem mocy mięśniowej kończyn dolnych oraz poprawą parametrów czasowych fazy podporowej poprzedzającej wyskok, stwierdzono w obu grupach szkoleniowych – zarówno wśród dziewcząt, jak i chłopców.

Wyniki pracy pozwalają również na ocenę wpływu zastosowanych metod treningowych na efektywność fazy rozbiegu do ataku. Poprawa skoordynowania następujących bezpośrednio po sobie faz: rozbiegu i wyskoku ma bowiem niebagatelne znaczenie w praktyce sportowej. U zaawansowanych siatkarzy i siatkarek wielkość różnic pomiędzy wyskokiem z miejsca (CMJ) a wyskokiem do ataku nierzadko przekracza różnicę 20 cm (Wagner i wsp. 2009, Buśko i wsp. 2014, Fuchs i wsp. 2021), co świadczy o perfekcyjnym skoordynowaniu czynności ruchowej i jednocześnie znacznie poprawia predyspozycje do skutecznej gry ofensywnej – atakowania piłki z wyższego pułapu nad siatką.

Technika rozbiegu do ataku zakończonego wyskokiem opisana została wyczerpująco zarówno w podręcznikach dydaktycznych (m.in. Grządziel i Ljach 2000, Kłoczek i Szczepanik 2003) jak i publikacjach naukowych (Tillman i wsp. 2004, Forthomme i wsp. 2005, Reeser i wsp. 2010, Tilp 2017, Oliveira i wsp. 2020). W całej czynności atakowania wyróżnia się następujące fazy: rozbieg, wyskok, uderzenie piłki oraz lądowanie.

Rozbieg do ataku w siatkówce to ruch, którego głównym celem jest wygenerowanie znacznej prędkości ciała w kierunku poziomym. Składa się on zazwyczaj z jednego lub dwóch kroków biegowych oraz płaskiego, hamującego ruch do przodu, doskoku na obie stopy – począwszy od pięt na całą powierzchnię podeszwową. W czasie całego rozbiegu następuje stopniowe obniżanie środka ciężkości poprzez ugięcie wszystkich stawów nóg i pochylenie tułowia w przód, a doskok połączony jest obszernym zamachem ramion w tył – za plecy. W końcowej części rozbiegu – podczas doskoku – następuje gwałtowne wyhamowanie prędkości poziomej poprzez pracę ekscentryczną mięśni prostujących stawy nóg. Bezpośrednio po hamowaniu, następuje zmiana kierunku ruchu na pionowy połączona z koncentrycznym skurczem mięśni prostujących wszystkie stawy nóg, a gwałtowny wyprost tułowia i zamach ramion ponad głowę wytwarza siłę bezwładności skierowaną w górę, co zwiększa wysokość wyskoku.

Transfer energii z kierunku poziomego na pionowy wykonywany jest przez grupy mięśniowe prostowników stawu kolanowego, biodrowego i skokowego. Mięśnie te najpierw zostają gwałtownie rozciągnięte (praca ekscentryczna) i niemal natychmiast po tym przechodzą w fazę skurczu (praca koncentryczna). Płynne przejście z fazy rozbiegu do wyskoku, wykonane w bardzo krótkim czasie, wypełnia cechy cyklu plyometrycznego: rozciągnięcie–skurcz.

Przedstawiona analiza rozbiegu do ataku w piłce siatkowej sugeruje, że jest to czynność złożona, wymagająca wysokiego poziomu koordynacji ruchowej, co dokumentują wyniki badań wskazujące, że wysokość wyskoku do ataku jest istotnie skorelowana z poziomem opanowania umiejętności rozbiegu. Tai i wsp. (2021) wykazali, że prędkość podczas

trzy-krokowego rozbiegu wpływa na reakcję kończyn dolnych i na wysokość wyskoku, wyższa prędkość rozbiegu determinuje większą wysokość wyskoku. Z kolei badanie Guntur i wsp. (2022) przeprowadzone na siatkarzach wykazało, że koordynacja ruchowa jest skorelowana pozytywnie z wysokością wyskoku po rozbiegu do ataku.

W przypadku początkujących siatkarzy i siatkarek, uczestników opisanego w niniejszej pracy eksperymentu, wynik testu wyskoku pionowego – typowego dla czynności siatkarskich – w znacznym stopniu może być uwarunkowany właśnie poziomem umiejętności skoordynowania poszczególnych faz ruchu. Koordynacja ta może rozwijać się w różnym tempie u młodych sportowców, a przez to dodatkowo wpływać na wynik pomiaru i zmniejszać siłę współzmienności międzycechowej.

Wyniki oceniające postęp efektywności rozbiegu podczas testu wyskoku "do ataku" upoważniają do stwierdzenia, iż zarówno w grupie dziewcząt, jak i grupie chłopców w obu cyklach treningowych nie stwierdzono znaczących zmian. Prawdopodobnie, cały efekt skrócenia czasu faz podporowych wynika z zastosowanej metodyki treningu plyometrycznego, natomiast trening specjalistyczny - w 16 tygodniowym okresie - był zbyt krótki, aby znacząco poprawić skoordynowanie fazy rozbiegu z fazą wyskoku. Należy natomiast podkreślić, że u chłopców odnotowano nieco większą poprawę omawianych wskaźników niż u dziewcząt. Spostrzeżenie to potwierdza analiza korelacyjnych zależności wyników w testach szacujących poziom mocy mięśniowej nóg. W grupie dziewcząt stwierdzono silniejsze międzycechowe korelacje niż w grupie chłopców, co sugeruje, iż u dziewcząt występował większy wpływ wspólnych predyspozycji biologicznych na wynik testów: biegu sprinterskiego (10x5 m), skoku obunóż w dal oraz wyskoków pionowych (CMJ i "do ataku"). W grupie chłopców natomiast niższy poziom korelacji międzycechowej lub brak jakiegokolwiek zależności z testem sprinterskim, może świadczyć o większym wpływie różnic wynikających ze stopnia opanowania umiejętności specjalistycznej – wyskoku CMJ i wyskoku "do ataku". Opisane różnice mogą mieć źródło zarówno w dymorficznych różnicach międzypłciowych podatności na trening mocy mięśniowej, jak i w różnicy wieku kalendarzowego – chłopcy byli starsi od dziewcząt o 2 lata, jednak na podstawie niniejszych badań nie sposób jednoznacznie wskazać przyczynę.

Interpretacja uzyskanych wyników wymaga uwzględnienia ograniczeń wynikających z przyjętej metodyki badań oraz zastosowanych metod pomiarowych i analitycznych. Najważniejsze z nich przedstawiono poniżej:

- ostatecznej analizie poddano wyniki 28 uczestników, w tym 16 dziewcząt i 12 chłopców; relatywnie niewielka liczebność grup ogranicza możliwość uogólniania uzyskanych wyników

na szerszą populację młodych zawodników i zawodniczek piłki siatkowej; zwiększa również znaczenie zmienności osobniczej oraz pojedynczych wyników dla wartości statystyk grupowych; z tego względu w interpretacji rezultatów, obok istotności statystycznej, zweryfikowano liczebność obserwowanych zmian a ich nominalną wielkość odnoszono do oszacowanych błędów pomiarowych;

- efekty treningu eksperymentalnego oceniano poprzez porównanie zmian zachodzących u tych samych uczestników podczas dwóch kolejnych 8-tygodniowych cykli: standardowego i eksperymentalnego; taki schemat pozwolił ograniczyć wpływ różnic międzyosobniczych, jednak nie umożliwia pełnego oddzielenia efektów zastosowanego treningu plyometrycznego od zmian wynikających z naturalnego rozwoju biologicznego;
- badani znajdowali się w okresie intensywnych zmian rozwojowych, które mogą wpływać na dynamikę kształtowania siły, mocy i koordynacji ruchowej; ponadto grupy różniły się wiekiem kalendarzowym – dziewczęta miały 12–13 lat, a chłopcy 14–15 lat; w badaniach nie zastosowano bezpośredniej oceny wieku biologicznego ani stopnia dojrzałości biologicznej uczestników, z tego względu obserwowanych różnic między dziewczętami i chłopcami nie można interpretować wyłącznie jako efektu dymorfizmu płciowego lub odmiennej podatności na zastosowany trening;
- wysokość wyskoków CMJ oraz wyskoków do ataku określano na podstawie zapisu wideo dwiema metodami: pomiaru przemieszczenia środka ciężkości na podstawie liczby pikseli oraz czasu fazy lotu; pomiary tego samego wyskoku uzyskane obiema metodami wykazywały różnice wynikające z błędów systematycznych właściwych zastosowanym sposobom pomiaru; w celu ograniczenia wpływu błędów losowych zastosowano procedurę uśredniania standaryzowanych wyników uzyskanych obiema metodami; rozwiązanie to zwiększało rzetelność oceny, jednak nie eliminuje wszystkich źródeł błędu pomiarowego;
- częstotliwość rejestracji obrazu wynosząca 100 klatek na sekundę umożliwiała pomiar czasu z dokładnością do 0,01 sekundy; w przypadku bardzo krótkiej fazy izometrycznej (plyometrycznej), której czas trwania wynosił około 0,06–0,13 sekundy, błąd odpowiadający jednej klatce zapisu mógł stanowić znaczną część mierzonej wartości; w skrajnych przypadkach jego wielkość mogła sięgać około 17% czasu trwania tej fazy; ograniczenie to należy uwzględnić szczególnie przy interpretacji niewielkich zmian parametrów czasowych;
- zastosowana metoda rejestracji ruchu nie pozwalała na wiarygodne wskazanie momentu rozpoczęcia fazy ekscentrycznej; w konsekwencji niemożliwe było precyzyjne oszacowanie całkowitego czasu trwania fazy podporowej oraz bezpośrednie porównanie części uzyskanych wskaźników z wartościami referencyjnymi wyznaczanymi za pomocą platform

dynamograficznych lub innych metod umożliwiających dokładną identyfikację czasu trwania kolejnych faz ruchu;

- metoda rejestracji wideo umożliwiła wykonywanie wyskoków w warunkach mniej ograniczających naturalną strukturę ruchu w porównaniu do metod, które wymagają wykonania wyskoku i lądowania w obrębie ograniczonej powierzchni pomiarowej, np. platformy dynamograficznej lub maty tensometrycznej; zastosowana procedura zwiększała podobieństwo zadań testowych do czynności wykonywanych podczas treningu i gry, ale jednocześnie wpływała na mniejszą dokładność pomiaru niektórych parametrów biomechanicznych; przyjęta metoda stanowiła zatem kompromis pomiędzy trafnością ekologiczną testu a precyzją pomiaru.

6. WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników badań i przeprowadzonych analiz sformułowano następujące wnioski:

1. Zastosowanie autorskiego programu treningu plyometrycznego przyczyniło się do poprawy wskaźników mocy mięśniowej kończyn dolnych oraz wybranych parametrów wysoku pionowego u młodych siatkarek i siatkarzy. Wielkość zmian uzyskanych w cyklu eksperymentalnym była większa niż w poprzedzającym go cyklu standardowym, a poprawa wyników miała bardziej systematyczny charakter. Wyniki te wskazują na skuteczność ukierunkowanego treningu plyometrycznego w rozwijaniu zdolności szybkościowo-siłowych kończyn dolnych u badanych dziewcząt i chłopców.
2. Poprawa wskaźników mocy mięśniowej kończyn dolnych uzyskana w cyklu eksperymentalnym była większa niż zmiany wybranych cech somatycznych oraz wskaźników zdolności motorycznych nieobjętych ukierunkowanym oddziaływaniem treningu plyometrycznego. Zróźnicowanie wielkości tych zmian przemawia za istotnym udziałem zastosowanego programu plyometrycznego w uzyskanej poprawie mocy mięśniowej kończyn dolnych, przy jednoczesnym uwzględnieniu wpływu naturalnych procesów rozwojowych oraz innych oddziaływań treningowych.
3. Przyrosty wskaźników skoczności odnotowane w toku eksperymentu wykraczały poza zakres zmian oczekiwanych na podstawie norm populacyjnych i sportowych. Stanowi to dodatkową przesłankę wskazującą, że obserwowana poprawa nie była wyłącznie konsekwencją naturalnego rozwoju oraz standardowego procesu szkoleniowego, lecz pozostawała związana z zastosowaniem ukierunkowanego treningu plyometrycznego.
4. Zastosowany trening plyometryczny nie spowodował jednoznacznej poprawy wskaźników efektywności rozbiegu do ataku. Oznacza to, że zwiększenie możliwości siłowo-szybkościowych kończyn dolnych nie prowadziło automatycznie do poprawy efektywności wykorzystania rozbiegu w tym złożonym koordynacyjnie zadaniu ruchowym.

Wniosek aplikacyjny

Uzyskane wyniki wskazują na zasadność stosowania ukierunkowanego treningu plyometrycznego jako uzupełnienia procesu szkolenia młodych siatkarek i siatkarzy, szczególnie w celu rozwijania mocy mięśniowej kończyn dolnych i skoczności. Program taki powinien być dostosowany do wieku, poziomu rozwoju i wytrenowania zawodników oraz etapu szkolenia sportowego, a jego stosowanie powinno stanowić element uzupełniający wszechstronne przygotowanie motoryczne i specjalistyczne.

PIŚMIENNICTWO

1. Aagaard P., Simonsen E.B., Andersen J.L., Magnusson P., Dyhre-Poulsen P. 2002. Increased Rate of Force Development and Neural Drive of Human Skeletal Muscle Following Resistance Training. *Journal of Applied Physiology*, 93 (4), 1318-1326. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00283.2002>
2. Aksović N., Berić D., Kocić M., Jakovljević S., Milanović F. 2019. Plyometric Training and Sprint Abilities of Young Basketball Players. *Physical Education and Sport*, Vol. 17 (3), 539-548. <https://doi.org/10.22190/FUPES190315048A>
3. Arede J., Sevin I.P., Williams M., Mikołajec K., Birrento R., Schöllhorn W. 2025. Velocity and Acceleration-Based Differential Plyometric Training Effects on Young Basketball Players. *Journal of Human Kinetics*, 96 (Special Issue), 145-161. <https://doi.org/10.5114/jhk/201139>
4. Asmussen E., Bonde-Petersen F. 1974. Storage of Elastic Energy in Skeletal Muscles in Man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 91 (3), 385-392. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1974.tb05693.x>
5. Attia A., Dhahbi W., Chaouachi A., Padulo J., Wong D.P., Chamari K. 2017. Measurement Errors when Estimating the Vertical Jump Height with Flight Time Using Photocell Devices: the Example of Optojump. *Biology of Sport*, 34 (1), 63-70. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2017.63735>
6. Baechle T. R., Earle R. W. 2008. Essentials of Strength Training and Conditioning (3rd ed.). Human Kinetics, Champaign, IL. ISBN: 9780736058032
7. Bober T., Rutkowska-Kucharska A., Pietraszewski B. 2007. Ćwiczenia plyometryczne – charakterystyka biomechaniczna, wskaźniki, zastosowania. *Sport Wyczynowy*, 7-9: 511-513. <https://polona2.pl/item/...>
8. Bohm S., Mersmann F., Tettke M., Kraft, M., Arampatzis, A. 2014. Human Achilles Tendon Plasticity in Response to Cyclic Strain: Effect of Rate and Duration. *Journal of Experimental Biology*, 217 (22), 4010-4017. <https://doi.org/10.1242/jeb.112268>
9. Bompa T. O., Coaching Association of Canada. 1993. Power Training for Sport: Plyometrics for Maximum Power Development (New rev. ed.). Gloucester, Ont. Oakville, Ont., Coaching Association of Canada, Mosaic Press. ISBN 9780920678589
10. Bompa T.O., Carrera M.C. 2003. Peak Conditioning for Volleyball. W: Reeser J.C., Bahr R. (red.) Handbook of Sport Medicine and Science - Volleyball. Blackwell Science, 29-44. DOI:10.1002/9780470693902
11. Bompa T.O., Haff G.G. 2010. Periodeyzacja – teoria i metodyka treningu. Biblioteka Trenera, COS, Warszawa. ISBN: 978-83-60052-21-1
12. Bompa T., Buzzichelli C. 2015. Periodization Training for Sports (3rd ed.). Human Kinetics, Champaign, IL. ISBN: 978-1-4504-6943-2
13. Bosco C., Komi P. V., Ito A. 1981. Prestretch Potentiation of Human Skeletal Muscle During Ballistic Movement. *Acta Physiologica Scandinavica*, 111 (2), 135-140. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1981.tb06716.x>

14. Bouguezzi R., Chaabene H., Negra Y., Moran, J., Sammoud S., Ramirez-Campillo R., Hachana Y. 2020. Effects of Jump Exercises with and Without Stretch-Shortening Cycle Actions on Components of Physical Fitness in Prepubertal Male Soccer Players. *Sport Sciences for Health*, 16, 297-304. <https://doi.org/10.1007/s11332-019-00605-6>
15. Bouteraa I. Negra Y., Shephard R.J., Chelly M.S., 2020. Effects of Combined Balance and Plyometric Training on Athletic Performance in Female Basketball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34 (7), 1967-1973, July 2020. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002546>
16. Buśko K., Szulc A., Kołodziejczyk M. 2014. Comparison of the Height of Jump and Maximal Power of the Lower Limbs Using Coaching and Laboratory Tests in Volleyball. *Journal of Health Sciences*, 4 (13), 201-206. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13869>
17. Chu D. A. 1998. Jumping into Plyometrics. Human Kinetics, Champaign, IL. ISBN: 0880118466
18. Chu D., Myer G. 2013. Plyometrics. Human Kinetics, Champaign, IL. ISBN: 0736079602
19. Cormie P., McGuigan M. R., Newton R. U. 2011. Developing Maximal Neuromuscular Power: Part 2 - Training Considerations for Improving Maximal Power Production. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.), 41 (2), 125-146. <https://doi.org/10.2165/11538500-000000000-00000>
20. Correia G., Freitas C., Alvares H., Oliveira S., Santos W., Silva C., Silva P., Paes P. 2020. The Effect of Plyometric Training on Vertical Jump Performance in Young Basketball Athletes. *Journal of Physical Education*, 31, 3175. <https://doi.org/10.4025/jphyseduc.v31i1.3175>
21. Costill D.L., Fink W.J., Pollock M.L. 1976. Muscle Fiber Composition and Enzyme Activities of Elite Distance Runners. *Medicine and Science in Sports*, 8 (2), 96-100. [PMID: 957938](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/957938/)
22. Davies G., Riemann B.L., Manske R. 2015. Current Concepts of Plyometric Exercise. International. *Journal of Sports Physical Therapy*, 10 (6), 760-786. [PMID: 26618058](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26618058/)
23. Dobosz J. 2012. Tabele punktacyjne testów Eurofit, Międzynarodowego i Coopera dla uczniów i uczennic gimnazjów oraz szkół ponadgimnazjalnych. AWF, Warszawa. [ISBN: 978-83-61830-01-6](https://www.wydawnictwoawf.pl/tabele-punktacyjne-testow-eurofit-miedzynarodowego-i-coopera-dla-uczniow-i-uczennic-gimnazjow-oraz-szkol-ponadgimnazjalnych)
24. Ercolessi D. 1999. La caduta dal salto. *Super Volley*, 1, 79-82.
25. Firmansyah A., Prasetya M. R. A., Ardha M. A. A., Ayubi N., Putro A. B., Mutohir T. C., Jimenez J. V., Hanief Y. N. 2024. The Football Players on Plyometric Exercise: A Systematic Review. *Retos*, 51, 442-448. <https://doi.org/10.47197/retos.v51.100800>
26. Forthomme B., Croisier J.L., Ciccarone G., Crielaard J.M., Cloes M. 2005. Factors Correlated with Volleyball Spike Velocity. *American Journal of Sports Medicine*, 33 (10), 1513-1519. <https://doi.org/10.1177/0363546505274935>
27. Foure A., Nordez A., Cornu, C. 2010. Plyometric Training Effects on Achilles Tendon Stiffness and Dissipative Properties. *Journal of Applied Physiology*, 109 (3), 849-854. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01150.2009>
28. Fuchs P. X., Mitteregger J., Hoelbling D., Menzel H.-J. K., Bell J. W., von Duvillard S. P., Wagner H. 2021. Relationship between General Jump Types and Spike Jump

- Performance in Elite Female and Male Volleyball Players. *Applied Sciences*, 11 (3), 1105.
<https://doi.org/10.3390/app11031105>
29. Fukunaga T., Kawakami Y., Kuno S., Funato K., Fukashiro S. 1997. Muscle Architecture and Function in Humans. *Journal of Biomechanics*, 30 (5), 457-463.
[https://doi.org/10.1016/s0021-9290\(96\)00171-6](https://doi.org/10.1016/s0021-9290(96)00171-6)
 30. Gabbett T.J., Georgieff B., Anderson S., Cotton B., Savovic D., Nicholson L. 2006. Changes in Skill and Physical Fitness Following Training in Talent-Identified Volleyball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20 (1), 29-35.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16503688/>
 31. Gabbett T.J. 2008. Do Skill-Based Conditioning Games Offer a Specific Training Stimulus for Junior Elite Volleyball Players? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22 (2), 509-517. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3181634550>
 32. Galay V., Poonia R., Singh M. 2021. Understanding the Significance of Plyometric Training in Enhancement of Sports Performance: a systematic review. *Vidyabharati International Interdisciplinary Research Journal*, 11 (2), 141–148. [ISSN 2319-4979](https://doi.org/10.24327/2319-4979)
 33. Georgescu M. 1969. Eine Methode zur Messung der Leistungsfähigkeit und einiger Parameter der Motorik bei harten und kurzdauernden Belastungen. *Sportarzt Sportmed* 20, 25-31.
 34. Georgescu M., Alexandrescu C., Fozza C., Dimitriu V., Cherebetiu G., Nicolaescu V. 1979. Capacitatea de efort anaerob a elevilor si elevilor din scoala primara. *Educatie Fizica Si Sport*, 2, 3-12.
 35. Gheller R.G., Dal Pupo J., Ache-Dias J., Detanico D., Padulo J., dos Santos S.G. 2015. Effect of Different Knee Starting Angles on Intersegmental Coordination and Performance in Vertical Jumps. *Human Movement Science*, (42) 71-80,
<https://doi.org/10.1016/j.humov.2015.04.010>
 36. Greene D.A. 2006. Adaptive Skeletal Responses to Mechanical Loading During Adolescence. *Sports Medicine*, 36 (8), 723-732.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200636090-00001>
 37. Grządziel G., Ljach W. 2000. Piłka Siatkowa. Biblioteka Trenera, Centralny Ośrodek Sportu, Warszawa. ISBN: 83-86504-75-7
 38. Grządziel G. 2012. Piłka siatkowa. Cechy somatyczne, zdolności motoryczne i wydolność młodzieży siatkarskiej na poziomie gimnazjum. AWF w Katowicach.
<https://www.mlodziowasiatkowka.pl/88,3165>
 39. Guntur G., Shahril M.I., Suhadi S., Kriswanto E.S., Nadzalan A.M. 2022. The Influence of Jumping Performance and Coordination on the Spike Ability of Young Volleyball Athletes. *Pedagogy of Physical Culture and Sports*, 26 (6), 374-80.
<https://doi.org/10.15561/26649837.2022.0603>
 40. Hammami R., Granacher U., Makhoulouf I., Behm, D.G., Chaouachi A. 2016. Sequencing Effects of Balance and Plyometric Training on Physical Performance in Youth Soccer Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30 (12), 3278-3289.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001425>

41. Hewett T.E, Ford K.R, Myer G.D. 2006. Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes: Part 2, a meta-analysis of neuromuscular interventions aimed at injury prevention. *American Journal of Sports Medicine*, 34 (3), 490-498.
<https://doi.org/10.1177/0363546505282619>
42. Howard-Shaughnessy C., Bush G., Cherry S. 2013. Six Steps for Implementing Plyometric Training In Elementary Physical Education. *Strategies*, 26 (5), 10-16.
[ISSN-0892-4562](https://doi.org/10.1080/08924562.2013.828261)
43. Idrizovic K., Sekulic D., Uljevic O., Spasic M., Gjinovci B., Paulo V.J., Sattler T. 2018. The Effects of 3-Month Skill-Based and Plyometric Conditioning on Fitness Parameters in Junior Female Volleyball Players. *Pediatric Exercise Science*, 30, 353-363.
<https://doi.org/10.1123/pes.2017-0178>
44. Ikeda Y., Sasaki Y., Hamano R. 2018. Factors Influencing Spike Jump Height in Female College Volleyball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32 (1), 267-273. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002191>
45. Iseul Jo, Hae-Dong Lee. 2023. Joint Coordination and Muscle-Tendon Interaction Differ Depending on The Level of Jumping Performance. *Journal of Sports Science and Medicine*, 22, 189-195. <https://doi.org/10.52082/jssm.2023.189>
46. Jastrzębski Z., Wnorowski K., Mikolajewski R., Jaskulska E., Radziminski L. 2014. The Effect of a 6-week Plyometric Ttraining on Explosive Power in Volleyball Players. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, 6 (2), 79-89.
<http://dx.doi.org/10.2478/bjha-2014-0008>
47. Jazi A. A., Shoukhi R. 2024. The Effect of a 12-week Plyometric Training on Growth Hormone, IGF-1 and Bone Health Indexes in Adolescent Boys. *Asian Journal of Sports Medicine*, 15 (3), 1-7. <https://doi.org/10.5812/asjms-144800>
48. Kasović M., Oreški A., Vespalec T., Gimunová M., Štefan L. 2022. Associations between Fat Mass and Fat Free Mass with Physical Fitness in Adolescent Girls: A 3-Year Longitudinal Study. *Biology*, 11 (5), 783. <https://doi.org/10.3390/biology11050783>
49. Kawakami Y., Muraoka T., Ito S., Kanehisa H., Fukunaga T. 2002. In Vivo Muscle Fibre Behaviour During Countermovement Exercise in Humans Reveals a Significant Role for Tendon Elasticity. *The Journal of Physiology*, 540 (2), 635-646.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2001.013459>
50. Kielak D. 1999. Niektóre uwarunkowania rozwoju osobniczego w szkoleniu sportowym. W: Sozański H. i wsp. (red.) Podstawy teorii treningu sportowego. Biblioteka Trenera, COS Warszawa, 32-45.
51. Klocek O., Lipowska M., Klocek T., Cepicka L., Spieszny M. 2023. Psychomotor Determinants of Children's Sports Talent for Team Sports: a Case Study of Mini-Volleyball Athletes. *Journal of Kinesiology and Exercise Sciences*; 33 (104): 11-17.
<https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.7517>
52. Klocek T., Żak S. 2001. Strukturalne i motoryczne determinanty skuteczności gry w piłce siatkowej kobiet. *Antropomotoryka*, nr 22, 65-80.
53. Klocek T., Szczepanik M. 2003. Siatkówka na lekcji wychowania fizycznego. Podręcznik dla nauczycieli i instruktorów. Biblioteka Trenera, Centralny Ośrodek Sportu, Warszawa. ISBN: 83-86504-92-7

54. Kłoczek T., Spieszny M. 2024. Specjalizacja taktyczna siatkarza – uwarunkowania somatyczne i sprawnościowe a konsekwencje zbyt wczesnego doboru do gry. W: Duda H., Spieszny M. (red.) Kierunki efektywnego szkolenia w grach sportowych. Monografia Nr 52, AWF Kraków, s. 156-172. [ISBN: 978-83-62891-76-4](#)
55. Knudson D. 2007. Fundamentals of Biomechanics. Springer, Science & Business Media, New York, Second Edition. [e-ISBN 978-0-387-49312-1](#)
56. Komi P. V., Gollhofer A. 1997. Stretch reflexes can have an important role in force enhancement during SSC exercise. *Journal of Applied Biomechanics*, 13 (4), 451-460. <https://doi.org/10.1123/jab.13.4.451>
57. Kotzamanidis C. 2006. Effect of plyometric training on running performance and vertical jumping in prepubertal boys. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20 (2):441-445. <https://doi.org/10.1519/r-16194.1>
58. Kram R., Dawson T. J. 1998. Energetics and Biomechanics of Locomotion by Kangaroos (*Macropus Rufus*). Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 120 (1), 41-49. [https://doi.org/10.1016/s0305-0491\(98\)00022-4](https://doi.org/10.1016/s0305-0491(98)00022-4)
59. Kryeziu A. R., Iseni A., Teodor D. F., Croitoru H., Badau, D. 2023. Effect of 12 Weeks of the Plyometric Training Program Model on Speed and Explosive Strength Abilities in Adolescents. *Applied Sciences*, 13 (5), 2776. <https://doi.org/10.3390/app13052776>
60. Kubo K., Kanehisa H., Fukunaga T. 2007. Effects of Plyometric and Weight Training on Muscle-Tendon Complex and Jump Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39 (10), 1801-1810. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31813e630a>
61. Kurian J., Prasad A., Mohare M., Gandhe Harshe N., Prasanna A. i Sankar, U. 2024. Reactive Strength Index as a Predictor of Jump Height and Agility in Basketball Athletes. *Recent Trends in Sports*, 1 (2), 8-13. <https://journals.stmjournals.com/rtss/181777>
62. Lake, J., Mundy, P., Comfort, P., McMahon, J. J., Suchomel, T. J., & Carden, P. 2018. Concurrent Validity of a Portable Force Plate Using Vertical Jump Force-Time Characteristics. *Journal of Applied Biomechanics*, 34 (5), 410-413. <https://doi.org/10.1123/jab.2017-0371>
63. Lehnert M., Lamrova I. i Elfmark M. 2009. Changes in Speed and Strength in Female Volleyball Players During and After a Plyometric Training Program. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Gymnica*, 39 (1), 59-66. <https://www.researchgate.net/publication/40423179>
64. Lidor R. Ziv G. 2010. Physical Characteristics and Physiological Attributes of Adolescent Volleyball Players - a review. *Pediatric Exercise Science*, 22 (1), 114-134. <https://doi.org/10.1123/pes.22.1.114>
65. Lima R.F., Palao J.M., Clemente F.M. 2019. Jump Performance During Official Matches in Elite Volleyball Players: A Pilot Study. *J Hum Kinet.* 5; 67: 259-269. <https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0080>
66. Lloyd R.S., Meyers R.W., Oliver J.L. 2011. The Natural Development and Trainability of Plyometric Ability During Childhood. *Strength & Conditioning Journal*, 33, 23-32. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3182093a27>

67. Lloyd R.S., Faigenbaum A.D., Stone M.H., Oliver J.L., Jeffreys I., Moody J.A., Herrington L. 2014. Position Statement on Youth Resistance Training: the 2014 International Consensus. *British Journal of Sports Medicine*, 48 (7), 498-505.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092952>
68. Lobletti R., Cleman S., Pizzichillo E., Merni F. 2010. Landing Techniques in Volleyball. *Journal of Sport Science*, 28 (13), 1469-1476.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2010.514278>
69. Loturco I., Tricoli, V., Roschel H., Nakamura F.Y., Abad C.C.C.; Kobal R., Gil, S., González-Badillo J.J. 2014. Transference of Traditional Versus Complex Strength and Power Training to Sprint Performance. *Journal of Human Kinetics*, 41, 265-276.
<https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0054>
70. Loturco I., Pereira L. A., Kobal R., Zanetti V., Kitamura K., Abad C. C. C., Nakamura F. Y. 2015. Transference Effect of Vertical and Horizontal Plyometrics on Sprint Performance of High-Level U-20 Soccer Players. *Journal of Sports Sciences*, 33 (21), 2182-2191. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1081394>
71. Maffiuletti N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N., Duchateau, J. 2016. Rate of Force Development: Physiological and Methodological Considerations. *European Journal of Applied Physiology*, 116 (6), 1091-1116.
<https://doi.org/10.1007/s00421-016-3346-6>
72. Magnusson S. P., Narici M. V., Maganaris C. N., Kjaer M. 2008. Human Tendon Behaviour and Adaptation, in Vivo. *The Journal of Physiology*, 586 (1), 71-81.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.139105>
73. Markovic G., Jaric S. 2007. Is Vertical Jump Height a Body Size-Independent Measure of Muscle Power? *Journal of Sports Sciences*, 25 (12), 1355-1363.
<https://doi.org/10.1080/02640410601021713>
74. Markovic G, Mikulic P. 2010. Neuro-Musculoskeletal and Performance Adaptations to Lower-Extremity Plyometric Training. *Sports Medicine*, 40 (10), 859-895.
<https://doi.org/10.2165/11318370-000000000-00000>
75. Marques M. C., van den Tillaar R., Gabbett T. J., Reis V. M., González-Badillo J. J. 2009. Physical Fitness Qualities of Professional Volleyball Players: Determination of Positional Differences. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23 (4), 1106-1111.
<https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e31819b78c4>
76. Martínez-Rodríguez A., Mira-Alcaraz J., Cuestas-Calero B. J., Pérez-Turpín J. A., Alcaraz P. E. 2017. La Pliometría en el Voleibol Femenino. Revisión Sistemática (Plyometric Training in Female Volleyball Players. Systematic Review). *Retos*, 32, 208-213. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i32.56053>
77. Maughan R.J., Shirreffs S.M. 2017. Energy Demands of Volleyball. W: Reeser J.C., Bahr R. (red.) *Handbook of Sports Medicine and Science: Volleyball*. Wiley Blackwell & International Olympic Committee, Second Edition, 29-27. [ISBN 9781119227038](https://doi.org/10.1002/9781119227038.ch2)
78. McHugh M.P., Alexander Cohen J., Orishimo K.F., Kremenec I.J. 2024. Effect of Countermovement Depth on the Neuromechanics of a Vertical Jump. *Translational Sports Medicine*, 7113900. <https://doi.org/10.1155/2024/7113900>

79. Mersmann F., Bohm S., Schroll A., Marzilger R., Arampatzis A. 2016. Athletic Training Affects the Uniformity of Muscle and Tendon Adaptation During Adolescence. *Journal of Applied Physiology*, 121 (4), 893-899. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00493.2016>
80. Meylan C., Malatesta D. 2009. Effects of In-Season Plyometric Training Within Soccer Practice on Explosive Actions of Young Players. *Journal Strength Condition Research*, 23, 2605-2613. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3181b1f330>
81. Michailidis Y., Fatouros I. G., Primpa E., Michailidis C., Avloniti A., Chatzinikolaou A., Barbero-Álvarez J. C., Tsoukas D., Douroudos I. I., Draganidis D., Leontsini D., Margonis K., Berberidou F., i Kambas, A. 2013. Plyometrics' Trainability in Preadolescent Soccer Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27 (1), 38-49. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3182541ec6>
82. Moran J., Ramirez-Campillo R., Liew B., Chaabene H., Behm D.G., García-Hermoso A. 2021. Effects of Vertically and Horizontally Orientated Plyometric Training on Physical Performance: a meta-analytical comparison. *Sports Medicine*, 51 (1), 65-79. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01340-6>
83. Mroczek D., Maćkała K., Kawczynski A., Superlak E., Chmura P., Seweryniak T., Chmura J. 2017. Effects of Volleyball Plyometric Intervention Program on Vertical Jumping Ability in Male Volleyball Players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58 (11), 1611-1617. <https://doi.org/10.23736/s0022-4707.17.07772-6>
84. Naglak Z. 1994. Zespołowa gra sportowa. Wyd. AWF Wrocław, Wrocław
85. Naglak Z. 2001. Teoria zespołowej gry sportowej. Kształcenie gracza. AWF, Wrocław.
86. Norcross M.F., Lewek M.D., Padua D.A., Shultz, S.J., Weinhold P.S., Blackburn T. 2013. Lower Extremity Energy Absorption and Biomechanics During Landing, part 1: Sagittal-Plane Energy Absorption Analyses. *Journal of Athletic Training*, 48, 748-756. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-48.4.09>
87. Nosiadek L. 2009. Ćwiczenia plyometryczne w kształtowaniu dyspozycji siłowych – zalety i niebezpieczeństwa. *Sport Wyczynowy*, 2, 80-87. <https://polona.pl/preview/...>
88. Oliveira L., Moura T., Rodacki A., Tilp M., Okazaki V. 2020. A Systematic Review of Volleyball Spike Kinematics: Implications for Practice and Research. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 15 (2). 239-255. <https://doi.org/10.1177/1747954119899881>
89. Ortega R.D., Berral-Aguilar A.J, Berral de la Rosa F.J. 2022. Kinetics and Vertical Stiffness of Female Volleyball Players: Effect of Low-Intensity Plyometric Training. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 93 (4), 734-740. <https://doi.org/10.1080/02701367.2021.1915946>
90. Osiński W. 1988. Wielokierunkowe związki zdolności motorycznych i parametrów fizjologicznych. Badania dzieci i młodzieży wielkomejskiej z uwzględnieniem poziomu stratyfikacji społecznej. Monografie nr 261, 38-73, AWF Poznań.
91. Osiński W. 2000. Antropomotoryka. Podręczniki, AWF Poznań.
92. Pain M. T. G., Challis J.H. 2006. The Influence of Soft Tissue Movement on Ground Reaction Forces, Joint Torques and Joint Reaction Forces in Drop Landings. *Journal of Biomechanics*, 39, 119-124. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.10.036>

93. Pedley J.S., Lloyd R.S., Read P.J., Moore I.S., Myer G.D. Oliver, J.L. 2022. A Novel Method to Categorize Stretch-Shortening Cycle Performance Across Maturity in Youth Soccer Players. *Journal of Strength Conditioning Research*, 36, 2573-2580.
<https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003900>
94. Pereira A., Costa A.M. Santos P. Figueiredo T., Vicente João P. 2015. Training Strategy of Explosive Strength in Young Female Volleyball Players. *Medicina* (Kaunas, Lithuania), 51 (2), 126-131. <https://doi.org/10.1016/j.medici.2015.03.004>
95. Perez-Gomez J., Calbet J. A. 2013. Training Methods to Improve Vertical Jump Performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 53 (4), 339-357.
[PMID: 23828282](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23828282/)
96. Pilicz S. 1997. Pomiar ogólnej sprawności fizycznej. Studia i Monografie AWF, Warszawa. [ISBN: 838721020X](https://www.isbn-international.org/view/title/838721020X)
97. Pleša J., Kozinc Ž., Smajla D., Šarabon N. 2022. The Association between Reactive Strength Index and Reactive Strength Index Modified with Approach Jump Performance. *PloS one*, 17 (2), e0264144. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264144>
98. Polglaze T., Dawson B. 1992. The Physiological Requirements of the Positions in State League Volleyball. *Sports Coach*, 15, 32-37. <https://www.researchgate.net/profile/Ted-Polglaze/publication/331327464>
99. Potteiger J. A., Lockwood R. H., Haub M. D., Dolezal B. A., Almuzaini K. S., Schroeder J. M., Zebas C. J. 1999. Muscle Power and Fiber Characteristics Following 8-Weeks of Plyometric Training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 13 (3), 275-279.
<https://journals.lww.com/nsca-jscr/abstract/1999/08000/>
100. PZPS 2018. Program szkolenia w sporcie: Piłka Siatkowa. PZPS, Warszawa.
<https://www.gov.pl/web/sport/polski-zwiazek-pilki-siatkowej>
101. Raczek J. 1991. Podstawy szkolenia sportowego dzieci i młodzieży. Biblioteka Trenera, Resortowe Centrum Metodyczno-Szkoleniowe Kultury Fizycznej i Sportu, Warszawa.
102. Raczek J., Mynarski W., Ljach W. 2003. Kształtowanie i diagnozowanie koordynacyjnych zdolności motorycznych. Podręcznik dla nauczycieli trenerów i studentów, AWF Katowice. Wydanie 2. [ISBN: 83-87478-39-3](https://www.isbn-international.org/view/title/83-87478-39-3)
103. Radcliffe J., Farentinos R. 1999. High Powered Plyometrics. Champaign, IL: Human Kinetics.
104. Ramirez-Campillo R., Álvarez C., García-Hermoso A., Ramírez-Vélez R., Gentil P., Asadi A., Chaabene H., Moran J., Meylan C., García-De-Alcaraz A. 2018. Methodological Characteristics and Future Directions for Plyometric Jump Training Research: A Scoping Review. *Sports Medicine*. 48, 1059-1081.
<https://doi.org/10.1007/s40279-018-0870-z>
105. Ramirez-Campillo R., Alvarez C., García-Pinillos F., Gentil P., Moran J., Pereira L.A., Loturco I. 2019. Effects of Plyometric Training on Physical Performance of Young Male Soccer Players: Potential Effects of Different Drop Jump Heights. *Pediatric Exercise Science*, 31 (3), 306-313. <https://doi.org/10.1123/pes.2018-0207>

106. Ramirez-Campillo R., Andrade D. C., Nikolaidis P. T., Moran J., Clemente F. M., Chaabene H., Comfort P. 2020. Effects of Plyometric Jump Training on Vertical Jump Height of Volleyball Players: A Systematic Review with Meta-Analysis of Randomized-Controlled Trial. *Journal of Sports Science & Medicine*, 19 (3), 489-499.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7429440/>
107. Ramirez-Campillo R., García-de-Alcaraz A., Chaabene H., Moran J., Negra Y., Granacher U. 2021. Effects of Plyometric Jump Training on Physical Fitness in Amateur and Professional Volleyball: a meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 12, 636140.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2021.636140>
108. Reeser J.C., Fleisig G.S., Bolt B., Ruan M. 2010. Upper Limb Biomechanics During the Volleyball Serve and Spike. *Sports Health*, 2 (5), 368-374.
<https://doi.org/10.1177/1941738110374624>.
109. Rutherford O.M., Jones D.A. 1986. The Role of Learning and Coordination in Strength Training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55, 100–105. <https://doi.org/10.1007/bf00422902>
110. Sáez-Sáez de Villarreal E., Requena B., Newton R.U. 2010. Does Plyometric Training Improve Strength Performance? A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13 (5), 513-522. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.08.005>
111. Sammoud S., Bouguezzi R., Ramirez-Campillo R., Negra Y., Prieske O., Moran J., 2022. Effects of Plyometric Jump Training Versus Power Training Using Free Weights on Measures of Physical Fitness in Youth Male Soccer Players. *Journal of Sports Sciences*, 40 (2), 130-137. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1976570>
112. Sargeant A.J., Jones D.A. 1995. The Significance of Motor Unit Variability in Sustaining Mechanical Output of Muscle. W: Gandevia S., Enoka R.M., McComas A.J., Stuart D.G., Thomas C.K. (red.) *Fatigue. Advances in Experimental Medicine and Biology*, 384, 323-338, Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1016-5_26
113. Sattler T., Hadžić V., Dervišević E., Marković G. 2015. Vertical Jump Performance of Professional Male and Female Volleyball Players: Effects of Playing Position and Competition Level. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29 (6), 1486-1493.
<https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000000781>
114. Sawicki G. S., Lewis C.L., Ferris, D.P. 2009. It Pays to Have a Spring in Your Step. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 37 (3), 130-138.
<https://doi.org/10.1097/jes.0b013e31819c2df6>
115. Sheppard J.M., Cronin J.B., Gabbett T.J., McGuigan M.R., Etxebarria N., Newton R.U. 2008. Relative Importance of Strength, Power, and Anthropometric Measures to Jump Performance of Elite Volleyball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22 (3), 758-765. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e31816a8440>
116. Siekańska M. 2013. Talent sportowy: psychologiczne i środowiskowe uwarunkowania rozwoju uzdolnionych zawodników. Monografia Nr 15, AWF w Krakowie.
[ISBN: 978-83-62891-24-5](https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e31816a8440)

117. Silva A. F., Clemente F. M., Lima R., Nikolaidis P. T., Rosemann T., Knechtle B. 2019. The Effect of Plyometric Training in Volleyball Players: a systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16 (16), 2923. <https://doi.org/10.3390/ijerph16162960>
118. Simoneau J.A., Bouchard C. 1995. Genetic Determinism of Fiber Type Proportion in Human Skeletal Muscle. *FASEB Journal (Federation of American Societies for Experimental Biology Journal)*, 9 (11), 1091-1095. <https://doi.org/10.1096/fasebj.9.11.7649409>
119. Sleivert G., Backus R. D., Wenger H. A. 1995. Neuromuscular Differences Between Volleyball Players, Middle Distance Runners and Untrained Controls. *International Journal of Sports Medicine*, 16 (6), 390-398. <https://doi.org/10.1055/s-2007-973026>
120. Slimani M., Chamari K., Miarka B., Del Vecchio F. B., Chéour F. 2016. Effects of Plyometric Training on Physical Fitness in Team Sport Athletes: A Systematic Review. *Journal of Human Kinetics*, 53, 231-247. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28149427/>
121. Sole C., Suchomel T., Stone M. 2018. Preliminary Scale of Reference Values for Evaluating Reactive Strength Index-Modified in Male and Female NCAA Division I Athletes. *Journal of Human Kinetics*, 53 (1), 133-144. <https://doi.org/10.3390/sports6040133>
122. Southey B., Willshire M., Connick M.J., Austin D., Spits D., Beckman E. 2024. Reactive Strength Index as a Key Performance Indicator in Different Athlete Populations – A Systematic Review. *Science & Sports*, 39 (2), 129-143. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2023.01.004>
123. Sozański H. 1999a. Podstawowe zasady programowania szkolenia sportowego dzieci i młodzieży. W: Sozański H. i wsp. (red.) *Podstawy teorii treningu sportowego*. Biblioteka Trenera, Centralny Ośrodek Sportu, Warszawa: 20-31.
124. Sozański H. 1999b. Trening sportowy. W: Sozański H. i wsp. (red.) *Podstawy teorii treningu sportowego*. Biblioteka Trenera, COS Warszawa: 73-79.
125. Spieszny M. 2011. Test zdolności szybkościowo-siłowych dla gier zespołowych oraz normy i punktacje dla trenujących dziewcząt i chłopców w wieku 11–16 lat. Monografie, Nr 2, AWF, Kraków. [ISBN 978-83-62891-01-06](https://doi.org/10.1007/s40279-016-0634-6)
126. Stojanović E., Ristić V., McMaster D. T., Milanović Z. 2017. Effect of Plyometric Training on Vertical Jump Performance in Female Athletes: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine* 47 (5), 975-986. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0634-6>
127. Suchomel T.J., Taber C.B., Sole C.J., Stone M.H. 2018. Force-Time Differences between Ballistic and Non-Ballistic Half-Squats. *Sports* (Basel, Switzerland), 6 (3), 79. <https://doi.org/10.3390/sports6030079>
128. Szopa J., Mleczko E., Żak S. 1996. *Podstawy antropomotoryki*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Kraków. [ISBN: 8301119462](https://doi.org/10.1007/s40279-016-0634-6)
129. Świderek A., Krzyżanowski Z., Kasza W., Felczak K., Kielak D., Bałuszyński R., Majakowski S., Ryś G., Grządziel G. 2012. Program szkolenia siatkarza; młodzik, kadet, junior. Polski Związek Piłki Siatkowej, Akademia Polskiej Siatkówki, publikacja APS nr 1, Warszawa. [ISBN 978-83-931660-5-3](https://doi.org/10.1007/s40279-016-0634-6)

130. Tai W-H., Hsien-Te P., Chen-Yi S., Jian-Zhi L., Hai-Bin Y., Li-I W. 2021. Dynamic Characteristics of Approach Spike Jump Tasks in Male Volleyball Players. *Applied Sciences*, 11 (6), 2710. <https://doi.org/10.3390/app11062710>
131. Tillman M. D., Hass C. J., Brunt D., Bennet G. R. 2004. Jumping and Landing Techniques in Elite Women's Volleyball. *Journal of Sports Science and Medicine*, 3 (1), 30-36. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3896111/>
132. Tilp M. 2017. The Biomechanics of Volleyball. W: Reeser J.C., Bahr R. (red.) Handbook of sports medicine and science: Volleyball. Wiley Blackwell & International Olympic Committee, Second Edition, 29-27. [ISBN 9781119227038](https://doi.org/10.1002/9781119227038)
133. Trzaskoma T., Trzaskoma Ł. 2001. Kompleksowe zwiększanie siły mięśniowej sportowców. COS, Warszawa. ISBN: 8386504781
134. Vadivelan K., Sudhakar S. 2015. To Compare the Effects of Sprint and Plyometric Training Program on Anaerobic Power and Agility in Collegiate Male Football Players. *International Journal of Physiotherapy*, 2 (3), 535-543. <https://doi.org/10.15621/ijphy/2015/v2i3/67027>
135. Van Heest J.L. 2003. Energy demands in the sport of volleyball. In: Reeser J.C., Bahr R. (Eds.): Handbook of sports medicine and science. Volleyball. Blackwell Science: 11-17. [DOI:10.1002/9780470693902](https://doi.org/10.1002/9780470693902)
136. Vassil K. Bazanovk B. 2012. The Effect of Plyometric Training Program on Young Volleyball Players in Their Usual Training Period. *Journal of Human Sport & Exercise*, 7 (1), 34-40. <http://dx.doi.org/10.4100/jhse.2012.7.Proc1.05>
137. Vila-Chã C., Viegas J., Serra N., Barbosa A., Conceição F. 2018. The Effect of In-Season Short-Term Progressive Plyometric Training on Explosive Actions of Young Soccer Players. *Egitania Scientia*, 195-212. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:261009101>
138. Vilela G., Silva S.F. 2017. Efeitos do treinamento pliométrico na força explosiva e potência de meninas púberes praticantes de voleibol. *Revista Brasileira de Ciências do Movimento*, 25 (1), 109-117. <https://doi.org/10.31501/rbcm.v25i1.6519>
139. Wagner H., Tilp M., von Duvillard S. P., Mueller E. 2009. Kinematic Analysis of Volleyball Spike Jump. *International Journal of Sports Medicine*, 30 (10), 760-765. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1224177>
140. Wakeling J.M., Blake O.M., Chan H.K. 2010. Muscle Coordination is Key to the Power Output and Mechanical Efficiency of Limb Movements. *Journal of Experimental Biology*, 213 (3), 487-492. <https://doi.org/10.1242/jeb.036236>
141. Wakeling J.M., Blake O.M., Wong I., Rana M., Lee S.S.M. 2011. Movement Mechanics as a Determinate of Muscle Structure, Recruitment and Coordination. *Philosophical Transactions the Royal Society B*, 366 (1570): 1554-1564. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0294>
142. Ważny Z. 1981. Współczesny system szkolenia w sporcie wyczynowym. Sport i Turystyka, Warszawa.
143. Weltin E., Gollhofer A., Mornieux G. 2017. Effects of Perturbation or Plyometric Training on Core Control and Knee Joint Loading in Women Turing Lateral Movements. *Scandinavian Journal of Medicine Science in Sports*, 27, 299-308. <https://doi.org/10.1111/sms.12657>

144. Wilson G., Elliott B., Wood G. 1991. The Effect of Performance of Imposing a Delay Turing Stretch-Shorten Cycle. *Medicine and Science In Sports ans Exercises*, 23, 364-370. [PMID: 2020276](#)
145. Wolański N. Kaczmarek M. 2008. Rozwój biologiczny człowieka, od poczęcia do śmierci. PWN, Warszawa.
146. Zatsiorsky V., Kraemer W. 2005. Science and Practice of Strength Training. Human Kinetics, Second Edition. ISBN: 0-7360-5628-9
147. Żołądź J.A. 2001. Wydolność Fizyczna Człowieka. W: Górski J. (red.) Fizjologiczne podstawy wysiłku fizycznego. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 456-522. ISBN: 9788320056761

Źródła internetowe:

- URL1. Media Player Classic Home Cinema®. <https://mpc-hc.org/>
- URL2. FastStone Capture®. <https://www.faststone.org/FSCaptureDetail.htm>
- URL3. Avidemux®. <https://avidemux.sourceforge.net/>

ANEKS

Tabele wyników

Tab. 7. Wiek i długościowe wskaźniki budowy somatycznej; podstawowe miary statystyki opisowej wyników w kolejnych etapach eksperymentu

		chłopcy						dziewczęta							
		bad.	średnia	SD	p 95%	min	max	V%		średnia	SD	p 95%	min	max	V%
wiek	1	14,3	0,43	0,23	13,6	14,9	3,0		12,3	0,56	0,28	11,2	13,0	4,6	
[lata]	2	14,5	0,43	0,24	13,8	15,1	3,0		12,5	0,56	0,28	11,4	13,2	4,5	
	3	14,7	0,44	0,24	14,0	15,3	3,0		12,7	0,56	0,28	11,6	13,4	4,4	
wysokość ciała	1	173,4	6,34	3,45	161	188	3,7		161,6	6,06	2,97	152	173	3,8	
[cm]	2	175,4	5,94	3,23	164	190	3,4		162,6	6,03	2,96	153	174	3,7	
	3	176,6	5,94	3,23	165	190	3,4		163,3	5,94	2,91	154	174	3,6	
wysokość "siedząc"	1	89,0	3,16	1,72	83	93	3,6		83,4	3,76	1,84	78	92	4,5	
[cm]	2	89,8	3,26	1,77	83	94	3,6		83,8	3,78	1,85	78	92	4,5	
	3	90,8	3,34	1,81	85	95	3,7		84,1	3,58	1,75	79	92	4,3	
długość nóg	1	84,5	4,41	2,40	78	95	5,2		78,4	3,40	1,67	73	83	4,3	
[cm]	2	85,7	3,95	2,14	80	95	4,6		79,1	3,10	1,52	74	83	3,9	
	3	86,3	3,82	2,07	81	95	4,4		79,3	3,03	1,48	74	83	3,8	
zasięg ramienia	1	225,2	9,56	5,20	209	248	4,2		207,6	8,62	4,22	193	222	4,2	
[cm]	2	227,6	9,14	4,97	213	250	4,0		209,3	7,79	3,82	195	223	3,7	
	3	230,4	9,27	5,04	216	253	4,0		210,6	8,03	3,94	197	225	3,8	

średnia	średnia arytmetyczna
SD	odchylenie standardowe
p 95%	zakres odchylenia od średniej na poziomie ufności 95%
min, max	najmniejsza i największa wartość w zbiorze danych
V%	współczynnik zmienności (iloraz: średnia/SD, wyrażony w procentach)

Tab. 8. Długościowe wskaźniki budowy somatycznej; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice pomiarów wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań

		chłopcy						dziewczęta		
	bad.	różnica (ch. - dz.)	Wu	postęp między bad.	różnica	Wu	korelacja	różnica	Wu	korelacja
wysokość ciała	1	11,8	1,83	2-1	2,0	0,30	0,98	1,0	0,17	1,00
[cm]	2	12,8	2,06	3-2	1,2	0,19	0,99	0,6	0,11	1,00
	3	13,4	2,18	3-1	3,2	0,48	0,98	1,6	0,28	1,00
wysokość "siedząc"	1	5,6	1,56	2-1	0,8	0,24	0,99	0,4	0,10	0,99
[cm]	2	6,0	1,66	3-2	1,0	0,28	0,96	0,3	0,09	0,99
	3	6,7	1,88	3-1	1,8	0,52	0,93	0,7	0,19	0,98
długość nóg	1	6,1	1,50	2-1	1,2	0,27	0,97	0,8	0,24	0,99
[cm]	2	6,6	1,79	3-2	0,6	0,15	0,98	0,2	0,06	0,99
	3	7,0	1,97	3-1	1,8	0,41	0,99	0,9	0,30	0,98
zasięg ramienia	1	17,5	1,86	2-1	2,5	0,24	0,99	1,6	0,20	0,98
[cm]	2	18,4	2,09	3-2	2,8	0,28	0,98	1,4	0,18	0,99
	3	19,8	2,20	3-1	5,2	0,51	0,98	3,0	0,37	0,98

różnica (ch.-dz.)

Wu

postępy między bad.

korelacja

bezwzględna różnica średnich arytmetycznych

względna różnica między średnimi - normowanie na 95% zakres ufności

oznaczenie porównywanych wyników - wg numeru badania

wewnątrz-cechowa korelacja wyników między kolejnymi badaniami

Tab. 9. MANOVA; długościowe wskaźniki budowy somatycznej; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu

testy post-hoc					główne statystyki analizy MANOVA				
wysokość ciała [cm]									
	Bad.	1	2	3	Czynnik	SS	MS	F	p
chłopcy	Av	173,3	175,3	176,6	Płeć	3431,0	3431,0	31,5	0,000
	1		0,00	0,00	Badanie	86,0	43,0	133,9	0,000
	2			0,00	Bad.*Płeć	9,0	5,0	14,7	0,000
dziewczęta	Av	161,5	162,6	163,2					
	1		0,00	0,00					
	2			0,03					
ch / dz		0,00	0,00	0,00					
wysokość "siedząc" [cm]									
	Bad.	1	2	3	Czynnik	SS	MS	F	p
chłopcy	Av	89,0	89,7	90,7	Płeć	802,2	802,2	22,0	0,000
	1		0,00	0,00	Badanie	23,0	11,5	40,6	0,000
	2			0,00	Bad.*Płeć	4,9	2,4	8,6	0,001
dziewczęta	Av	83,3	83,6	84,0					
	1		0,36	0,01					
	2			0,56					
ch / dz		0,00	0,00	0,00					
długość nóg [cm]									
	Bad.	1	2	3	Czynnik	SS	MS	F	p
chłopcy	Av	84,3	85,5	86,2	Płeć	923,1	923,1	24,1	0,000
	1		0,00	0,00	Badanie	29,4	14,7	50,3	0,000
	2			0,06	Bad.*Płeć	3,0	1,5	5,1	0,010
dziewczęta	Av	78,2	78,9	79,2					
	1		0,00	0,00					
	2			0,92					
ch / dz		0,00	0,00	0,00					
zasięg ramienia [cm]									
	Bad.	1	2	3	Czynnik	SS	MS	F	p
chłopcy	Av	225,2	227,5	230,4	Płeć	7405,0	7405,0	33,1	0,000
	1		0,00	0,00	Badanie	243,0	121,0	85,8	0,000
	2			0,00	Bad.*Płeć	18,0	9,0	6,4	0,003
dziewczęta	Av	207,6	209,3	210,6					
	1		0,00	0,00					
	2			0,02					
ch / dz		0,00	0,00	0,00					

szarym wypełnieniem zaznaczono wartości testów post-hoc weryfikujące statystyczną istotność różnic ważnych dla oceny efektów eksperymentu: postępy w kolejnych badaniach oraz różnice międzygrupowe (między-płciowe) **czerwoną** czcionką oznaczono wartości testów post-hoc pozytywnie weryfikujące istotność statystyczną różnic na poziomie co najmniej 95%

Tab. 10. Wskaźniki wagowo-wzrostowe; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu

		chłopcy						dziewczęta					
	bad.	średnia	SD	p 95%	min	max	V%	średnia	SD	p 95%	min	max	V%
masa ciała [kg]	1	58,9	8,61	4,68	46,1	78,3	14,6	45,3	8,59	4,21	30,5	67,2	18,9
	2	59,6	8,81	4,79	46,7	79,2	14,8	45,5	8,60	4,22	30,1	67,6	18,9
	3	60,4	8,54	4,64	47,7	80,5	14,1	45,9	8,30	4,06	30,8	67,4	18,1
BMI	1	19,6	2,15	1,17	16,8	22,9	11,0	17,3	2,68	1,31	13,0	22,5	15,5
	2	19,4	2,13	1,16	16,6	22,9	11,0	17,1	2,61	1,28	12,9	22,3	15,2
	3	19,3	1,96	1,07	16,8	22,3	10,2	17,2	2,52	1,23	13,0	22,3	14,7
wskaźnik smukłości	1	44,7	1,60	0,87	42,2	46,8	3,6	45,6	2,31	1,13	41,5	50,0	5,1
	2	45,0	1,57	0,85	42,5	47,3	3,5	45,8	2,31	1,13	41,9	49,8	5,0
	3	45,1	1,45	0,79	42,8	47,2	3,2	45,8	2,22	1,09	42,3	49,8	4,8
tkanka tłuszczowa [%]	1	10,6	3,72	2,02	5,0	17,9	35,1	18,3	9,30	4,56	3,1	33,4	50,9
	2	10,2	3,70	2,01	4,8	17,7	36,3	17,9	9,02	4,42	2,8	32,4	50,5
	3	10,1	3,61	1,96	4,5	17,0	35,6	17,0	9,33	4,57	1,2	32,1	54,8

Tab. 11. Wskaźniki wagowo-wzrostowe; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice pomiarów wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań

		chłopcy						dziewczęta		
	bad.	różnica (ch. - dz.)	Wu	postęp między bad.	różnica	Wu	korelacja	różnica	Wu	korelacja
masa ciała [kg]	1	13,6	1,53	2-1	0,7	0,07	1,00	0,2	0,02	1,00
	2	14,1	1,57	3-2	0,8	0,09	0,99	0,3	0,04	1,00
	3	14,6	1,68	3-1	1,5	0,16	0,99	0,5	0,06	1,00
BMI	1	2,2	0,90	2-1	-0,2	-0,09	0,99	-0,2	-0,07	1,00
	2	2,2	0,91	3-2	0,0	-0,02	0,98	0,0	0,01	1,00
	3	2,1	0,93	3-1	-0,2	-0,11	0,98	-0,1	-0,06	0,99
wskaźnik smukłości	1	-0,9	-0,46	2-1	0,4	0,21	0,99	0,2	0,10	0,99
	2	-0,8	-0,40	3-2	0,1	0,07	0,98	0,0	0,01	1,00
	3	-0,7	-0,37	3-1	0,5	0,28	0,97	0,3	0,11	0,99
tkanka tłuszczowa [%]	1	-7,7	-1,17	2-1	-0,4	-0,10	1,00	-0,4	-0,05	0,99
	2	-7,7	-1,19	3-2	0,0	-0,01	0,99	-0,8	-0,09	1,00
	3	-6,9	-1,06	3-1	-0,5	-0,11	0,98	-1,3	-0,14	0,99

Tab. 12. MANOVA; wskaźniki wagowo-wzrostowe; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu

testy post-hoc

masa ciała [kg]		masa ciała [kg]		
	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	58,9	59,6	60,4
	1		0,03	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	45,3	45,5	45,9
	1		0,92	0,07
	2			0,47
ch / dz		0,00	0,00	0,00

BMI

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	19,6	19,3	19,3
	1		0,28	0,11
	2			1,00
dziewczęta	Av	17,3	17,1	17,2
	1		0,31	0,53
	2			1,00
ch / dz		0,20	0,21	0,24

wskaźnik smukłości

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	44,7	45,0	45,1
	1		0,00	0,00
	2			0,76
dziewczęta	Av	45,6	45,8	45,8
	1		0,04	0,02
	2			1,00
ch / dz		0,84	0,90	0,94

tkanka tłuszczowa [%]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	10,6	10,2	10,1
	1		0,51	0,41
	2			1,00
dziewczęta	Av	18,3	17,9	17,0
	1		0,36	0,00
	2			0,00
ch / dz		0,11	0,11	0,19

główne statystyki analizy MANOVA

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	4276,7	4276,7	19,5	0,000
Badanie	15,0	7,5	26,0	0,000
Bad.*Płeć	3,4	1,7	5,9	0,005

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	103,5	103,5	6,1	0,020
Badanie	0,7	0,4	6,2	0,004
Bad.*Płeć	0,0	0,0	0,4	0,699

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	14,0	14,0	1,2	0,284
Badanie	2,1	1,1	22,1	0,000
Bad.*Płeć	0,2	0,1	1,8	0,174

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	1185,2	1185,2	7,5	0,011
Badanie	10,4	5,2	14,2	0,000
Bad.*Płeć	3,0	1,5	4,1	0,022

Tab. 13. Populacyjne i selekcyjne testy sprawności; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu

		chłopcy						dziewczęta					
	bad.	średnia	SD	p 95%	min	max	V%	średnia	SD	p 95%	min	max	V%
rzut piłką lekarską 1kg [m]	1	9,8	1,2	0,6	8,1	12,0	11,9	7,5	0,9	0,5	6,4	9,8	12,3
	2	10,1	1,2	0,6	8,5	12,5	11,5	7,6	1,0	0,5	6,3	10,0	12,6
	3	10,1	1,0	0,6	8,4	11,9	10,2	7,7	1,1	0,5	6,3	10,4	13,7
tapping piłką 2kg [s]	1	7,6	0,86	0,47	6,2	9,3	11,3	8,1	0,54	0,26	7,2	9,0	6,6
	2	7,5	0,72	0,39	6,5	9,0	9,6	7,9	0,79	0,39	6,5	9,3	10,1
	3	7,2	0,66	0,36	6,2	8,2	9,1	7,9	0,71	0,35	6,6	9,2	9,0
test mm brzucha [lb. powt.]	1	25,4	2,84	1,55	21	29	11,2	23,9	2,17	1,07	20	27	9,1
	2	25,9	2,96	1,61	21	29	11,4	25,1	3,03	1,48	21	31	12,1
	3	25,7	2,90	1,58	21	30	11,3	25,1	3,11	1,52	21	31	12,4
tapping ramieniem [s]	1	11,0	1,13	0,61	9,1	14,0	10,3	12,3	1,22	0,60	9,3	13,8	9,9
	2	10,8	1,01	0,55	9,3	13,5	9,4	12,1	1,10	0,54	9,7	13,7	9,0
	3	10,5	0,98	0,53	9,3	13,3	9,3	11,7	1,18	0,58	9,4	13,5	10,1
skok w dal [cm]	1	225,5	20,13	10,94	188	250	8,9	173,9	16,08	7,88	142	200	9,2
	2	229,0	19,78	10,75	194	252	8,6	176,4	16,56	8,11	142	202	9,4
	3	236,3	18,29	9,94	204	256	7,7	181,1	18,26	8,95	143	212	10,1
bieg 10x5m [s]	1	13,2	0,69	0,38	11,8	14,4	5,3	14,4	0,77	0,37	13,1	15,6	5,3
	2	13,1	0,64	0,35	12,0	14,0	4,9	14,2	0,85	0,41	12,5	15,4	5,9
	3	12,4	0,70	0,38	11,1	13,6	5,6	13,8	0,70	0,34	12,8	15,1	5,1

Tab. 14. Populacyjne i selekcyjne testy sprawności; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań

chłopcy				dziewczęta						
	bad.	różnica (ch. - dz.)	Wu	postęp między bad.	różnica	Wu	korelacja	różnica	Wu	korelacja
rzut piłką lekarską 1kg [m]	1	2,4	2,16	2-1	0,2	0,17	0,98	0,1	0,09	0,99
	2	2,5	2,28	3-2	0,1	0,05	0,84	0,2	0,15	0,89
	3	2,4	2,22	3-1	0,3	0,22	0,84	0,2	0,24	0,88
tapping piłką 2kg [s]	1	-0,5	0,72	2-1	-0,1	0,11	0,92	-0,3	0,45	0,82
	2	-0,3	0,42	3-2	-0,3	0,42	0,83	0,1	-0,08	0,80
	3	-0,7	1,01	3-1	-0,4	0,50	0,76	-0,2	0,38	0,62
test mm brzucha [lb. powt.]	1	1,4	0,55	2-1	0,5	0,17	0,96	1,2	0,47	0,84
	2	0,8	0,26	3-2	-0,2	-0,07	0,91	-0,1	-0,02	0,98
	3	0,6	0,20	3-1	0,3	0,10	0,85	1,1	0,43	0,88
tapping ramieniem [s]	1	-1,3	1,05	2-1	-0,2	0,17	0,84	-0,1	0,12	0,95
	2	-1,3	1,22	3-2	-0,3	0,30	0,88	-0,4	0,37	0,75
	3	-1,2	1,11	3-1	-0,5	0,45	0,86	-0,5	0,47	0,64
skok w dal [cm]	1	51,7	2,75	2-1	3,5	0,16	0,97	2,6	0,16	0,98
	2	52,6	2,79	3-2	7,3	0,35	0,97	4,6	0,27	0,99
	3	55,2	2,92	3-1	10,8	0,52	0,91	7,2	0,43	0,99
bieg 10x5m [s]	1	-1,3	1,69	2-1	-0,1	0,16	0,94	-0,2	0,29	0,89
	2	-1,2	1,52	3-2	-0,7	0,96	0,73	-0,4	0,52	0,78
	3	-1,5	2,02	3-1	-0,8	1,08	0,76	-0,6	0,87	0,71

W testach, gdzie niższa wartość liczbową pomiaru oznaczała wynik lepszy (tapping ramieniem, tapping piłką 2kg oraz bieg 10x5m) zmieniono znak wskaźników unormowania tak, aby wartości dodatnie Wu zawsze oznaczały postęp między badaniami lub przewagę grupy chłopców nad grupą dziewcząt.

Tab. 15. MANOVA; populacyjne i selekcyjne testy sprawności; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu

testy post-hoc

rzut piłką lekarską 1kg [m]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	9,8	10,1	10,1
	1		0,58	0,33
	2			1,00
dziewczęta	Av	7,5	7,6	7,7
	1		0,98	0,38
	2			0,80
ch / dz		0,00	0,00	0,00

tapping piłką 2kg [s]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	7,6	7,5	7,2
	1		0,98	0,03
	2			0,18
dziewczęta	Av	8,1	7,9	7,9
	1		0,16	0,39
	2			1,00
ch / dz		0,43	0,85	0,14

test mm brzucha [lb. powt.]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	25,4	25,9	25,7
	1		0,68	0,96
	2			0,99
dziewczęta	Av	23,9	25,1	25,1
	1		0,01	0,01
	2			1,00
ch / dz		0,78	0,98	0,99

tapping ramieniem [s]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	11,0	10,8	10,5
	1		0,91	0,10
	2			0,55
dziewczęta	Av	12,3	12,1	11,7
	1		0,97	0,03
	2			0,18
ch / dz		0,07	0,05	0,08

skok w dal [cm]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	225,5	229,0	236,3
	1		0,12	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	173,9	176,4	181,1
	1		0,30	0,00
	2			0,00
ch / dz		0,00	0,00	0,00

bieg 10x5m [s]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	13,2	13,1	12,4
	1		0,94	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	14,4	14,2	13,8
	1		0,38	0,00
	2			0,02
ch / dz		0,00	0,00	0,00

główne statystyki analizy MANOVA

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	125,6	125,6	41,2	0,000
Badanie	0,9	0,5	4,0	0,023
Bad.*Płeć	0,1	0,0	0,3	0,738

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	5,9	5,9	4,5	0,044
Badanie	1,5	0,8	6,6	0,003
Bad.*Płeć	0,5	0,3	2,2	0,118

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	19,8	19,8	0,9	0,358
Badanie	12,2	6,1	7,1	0,002
Bad.*Płeć	2,7	1,3	1,6	0,221

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	34,9	34,9	10,8	0,003
Badanie	4,3	2,1	8,8	0,000
Bad.*Płeć	0,0	0,0	0,1	0,936

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	60801,0	60801,0	63,3	0,000
Badanie	1198,0	599,0	50,5	0,000
Bad.*Płeć	50,0	25,0	2,1	0,132

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	36,2	36,2	26,0	0,000
Badanie	8,1	4,0	37,0	0,000
Bad.*Płeć	0,3	0,2	1,5	0,231

Tab. 16. Populacyjne i selekcyjne testy sprawności; wskaźniki pracy i mocy mięśniowej; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu

		chłopcy						dziewczęta					
	bad.	średnia	SD	p 95%	min	max	V%	średnia	SD	p 95%	min	max	V%
tapp 2kg moc śred.	1	183,7	34,69	18,86	132	252	18,9	132,6	25,66	12,57	94	200	19,4
[W]	2	188,4	32,25	17,53	136	237	17,1	138,9	27,79	13,62	95	204	20,0
	3	200,8	31,83	17,30	154	258	15,9	139,4	29,03	14,22	91	214	20,8
tapp 2kg moc wzgl.	1	3,1	0,35	0,19	2,6	3,6	11,3	2,9	0,20	0,10	2,6	3,4	6,8
[W/kg]	2	3,2	0,31	0,17	2,7	3,7	9,7	3,1	0,29	0,14	2,6	3,6	9,5
	3	3,3	0,28	0,15	2,9	3,8	8,5	3,0	0,25	0,12	2,6	3,4	8,3
skok w dal MPA	1	656	134	73	425	945	20,4	385	75	37	241	560	19,4
[J]	2	672	133	72	444	971	19,7	392	74	36	248	567	18,9
	3	703	129	70	477	1011	18,4	406	76	37	258	579	18,6
bieg 10x5m moc śred.	1	328	68	37	193	424	20,9	188	29	14	150	252	15,4
[W]	2	340	73	40	213	478	21,6	195	33	16	137	264	16,8
	3	408	91	50	247	531	22,4	219	53	26	153	389	24,2
bieg 10x5m moc wzgl.	1	5,6	0,9	0,5	4,2	7,6	16,0	4,2	0,7	0,3	3,3	5,6	16,1
[W/kg]	2	5,7	0,8	0,5	4,6	7,2	14,6	4,4	0,7	0,3	3,4	5,7	16,0
	3	6,7	1,2	0,6	5,0	9,3	17,6	4,8	0,7	0,4	3,6	6,0	15,3

Tab. 17. Populacyjne i selekcyjne testy sprawności; wskaźniki pracy i mocy mięśniowej; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań

chłopcy				dziewczęta						
	bad.	różnica (ch. - dz.)	Wu	postęp między bad.	różnica	Wu	korelacja	różnica	Wu	korelacja
tapp 2kg moc śred.	1	51,1	1,63	2-1	4,7	0,13	0,96	6,3	0,24	0,96
[W]	2	49,5	1,59	3-2	12,4	0,36	0,95	0,5	0,02	0,95
	3	61,4	1,95	3-1	17,1	0,47	0,92	6,8	0,25	0,94
tapp 2kg moc wzgl.	1	0,2	0,69	2-1	0,0	0,13	0,90	0,1	0,60	0,78
[W/kg]	2	0,1	0,32	3-2	0,1	0,46	0,85	0,0	-0,12	0,80
	3	0,3	1,00	3-1	0,2	0,56	0,70	0,1	0,51	0,63
skok w dal MPA	1	270	2,47	2-1	16,5	0,11	0,99	6,8	0,09	1,00
[J]	2	280	2,58	3-2	30,7	0,22	0,99	13,6	0,19	0,99
	3	297	2,77	3-1	47,2	0,33	0,98	20,4	0,28	0,99
bieg 10x5m moc śred.	1	140	2,73	2-1	12,5	0,16	0,95	7,8	0,26	0,93
[W]	2	145	2,59	3-2	68,2	0,76	0,85	24,1	0,57	0,87
	3	189	2,50	3-1	80,7	0,93	0,88	31,8	0,79	0,77
bieg 10x5m moc wzgl.	1	1,3	1,65	2-1	0,1	0,13	0,93	0,2	0,23	0,94
[W/kg]	2	1,3	1,66	3-2	1,1	0,97	0,73	0,4	0,62	0,81
	3	1,9	1,93	3-1	1,2	1,05	0,78	0,6	0,86	0,71

Tab. 18. MANOVA; populacyjne i selekcyjne testy sprawności; wskaźniki pracy i mocy mięśniowej; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu

testy post-hoc

tapp 2kg moc śred. [W]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	183,7	188,4	200,8
	1		0,55	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	132,6	138,9	139,4
	1		0,14	0,09
	2			1,00
ch / dz		0,00	0,00	0,00

tapp 2kg moc wzgl. [W/kg]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	3,1	3,2	3,3
	1		0,95	0,01
	2			0,08
dziewczęta	Av	2,9	3,1	3,0
	1		0,04	0,19
	2			0,99
ch / dz		0,48	0,94	0,14

skok w dal MPA [J]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	655,5	672,1	702,8
	1		0,00	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	385,4	392,2	405,8
	1		0,47	0,00
	2			0,01
ch / dz		0,00	0,00	0,00

bieg 10x5m moc śred. [W]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	327,6	340,2	408,3
	1		0,76	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	187,6	195,3	219,4
	1		0,94	0,01
	2			0,07
ch / dz		0,01	0,01	0,00

bieg 10x5m moc wzgl. [W/kg]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	5,6	5,7	6,7
	1		0,42	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	4,2	4,4	4,8
	1		0,26	0,00
	2			0,00
ch / dz		0,01	0,01	0,00

główne statystyki analizy MANOVA

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	62770	62770	24,1	0,000
Badanie	2051	1025	20,1	0,000
Bad.*Płeć	596	298	5,8	0,005

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	0,79	0,79	4,0	0,056
Badanie	0,34	0,17	9,3	0,000
Bad.*Płeć	0,11	0,06	3,1	0,053

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	1715477	1715477	53,2	0,000
Badanie	16913	8457	74,2	0,000
Bad.*Płeć	2652	1326	11,6	0,000

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	536764	536764	55,6	0,000
Badanie	51576	25788	45,2	0,000
Bad.*Płeć	10415	5207	9,1	0,000

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	50,7	50,7	27,9	0,000
Badanie	13,1	6,6	44,4	0,000
Bad.*Płeć	1,8	0,9	6,0	0,004

Tab. 19. Wysokość wyskoku pionowego; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu

	bad.	chłopcy						dziewczęta					
		średnia	SD	p 95%	min	max	V%	średnia	SD	p 95%	min	max	V%
CMJ (pix)	1	54,5	7,38	4,01	47	68	13,5	39,4	3,61	1,77	33	45	9,2
[cm]	2	56,6	6,41	3,48	50	70	11,3	40,0	3,63	1,78	33	46	9,1
	3	63,6	6,38	3,47	56	77	10,0	43,7	4,29	2,10	36	51	9,8
CMJ (czas)	1	43,7	4,95	2,69	39	53	11,3	27,9	2,94	1,44	23	33	10,5
[cm]	2	46,1	4,12	2,24	42	54	8,9	29,1	3,82	1,87	22	35	13,1
	3	49,7	4,76	2,59	44	60	9,6	31,0	3,78	1,85	24	38	12,2
atak (pix)	1	57,6	8,16	4,43	47	71	14,2	40,3	3,94	1,93	33	47	9,8
[cm]	2	58,9	7,46	4,05	47	73	12,7	41,2	3,82	1,87	34	47	9,3
	3	65,9	5,95	3,24	55	77	9,0	45,2	4,21	2,06	37	52	9,3
atak (czas)	1	46,7	5,69	3,09	39	56	12,2	29,6	3,63	1,78	23	36	12,3
[cm]	2	49,4	5,39	2,93	41	60	10,9	31,6	3,88	1,90	24	37	12,3
	3	55,0	6,12	3,33	44	66	11,1	33,7	5,15	2,53	23	42	15,3

Tab. 20. Wysokość wyskoku pionowego; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań

	bad.	chłopcy						dziewczęta		
		różnica (ch. - dz.)	Wu	postęp między bad.	różnica	Wu	korelacja	różnica	Wu	korelacja
CMJ (pix)	1	15,1	2,61	2-1	2,1	0,29	0,97	0,6	0,17	0,90
[cm]	2	16,7	3,16		7,0	1,00	0,92	3,7	0,95	0,94
	3	19,9	3,58		9,1	1,22	0,88	4,3	1,11	0,94
CMJ (czas)	1	15,7	3,81	2-1	2,4	0,49	0,97	1,1	0,34	0,90
[cm]	2	17,0	4,14		3,6	0,75	0,92	2,0	0,54	0,94
	3	18,7	4,20		6,0	1,15	0,88	3,1	0,95	0,94
atak (pix)	1	17,3	2,71	2-1	1,3	0,16	0,95	0,9	0,23	0,86
[cm]	2	17,7	2,99		7,0	0,96	0,91	4,0	1,01	0,84
	3	20,8	3,92		8,4	1,09	0,86	4,8	1,21	0,77
atak (czas)	1	17,1	3,51	2-1	2,7	0,45	0,95	2,0	0,54	0,86
[cm]	2	17,8	3,69		5,6	0,89	0,91	2,2	0,49	0,84
	3	21,2	3,63		8,3	1,29	0,86	4,2	0,97	0,77

Tab. 21. MANOVA; wysokość wyskoku pionowego; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu

testy post-hoc

CMJ (pix) [cm]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	54,5	56,6	63,6
	1		0,01	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	39,4	40,0	43,7
	1		0,88	0,00
	2			0,00
ch / dz		0,00	0,00	0,00

CMJ (czas) [cm]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	43,7	46,1	49,7
	1		0,00	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	27,9	29,1	31,0
	1		0,10	0,00
	2			0,00
ch / dz		0,00	0,00	0,00

atak (pix) [cm]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	57,6	58,9	65,9
	1		0,57	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	40,3	41,2	45,2
	1		0,83	0,00
	2			0,00
ch / dz		0,00	0,00	0,00

atak (czas) [cm]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	46,7	49,4	55,0
	1		0,01	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	29,6	31,6	33,7
	1		0,04	0,00
	2			0,02
ch / dz		0,00	0,00	0,00

główne statystyki analizy MANOVA

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	6386,7	6386,7	79,2	0,000
Badanie	723,0	361,5	154,0	0,000
Bad.*Płeć	87,1	43,5	18,5	0,000

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	6319,0	6319,0	136,2	0,000
Badanie	306,8	153,4	105,0	0,000
Bad.*Płeć	30,8	15,4	10,5	0,000

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	7425,1	7425,1	84,2	0,000
Badanie	718,5	359,3	85,7	0,000
Bad.*Płeć	52,3	26,2	6,2	0,004

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	7536,4	7536,4	112,0	0,000
Badanie	568,4	284,2	80,5	0,000
Bad.*Płeć	69,7	34,9	9,9	0,000

Tab. 22. CMJ; wskaźniki czasu poszczególnych faz ruchu podczas wyskoku; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu

	bad.	chłopcy						dziewczęta					
		średnia	SD	p 95%	min	max	V%	średnia	SD	p 95%	min	max	V%
CMJ kumul. (faza izometr.)	1	0,11	0,010	0,005	0,09	0,12	8,8	0,10	0,011	0,006	0,09	0,13	11,1
[s]	2	0,11	0,010	0,006	0,09	0,12	9,4	0,10	0,011	0,005	0,09	0,13	10,7
	3	0,09	0,009	0,005	0,08	0,11	9,3	0,09	0,015	0,007	0,06	0,12	16,9
CMJ faza odbicia	1	0,38	0,054	0,029	0,29	0,45	14,3	0,32	0,056	0,028	0,23	0,44	17,7
[s]	2	0,39	0,043	0,023	0,30	0,45	11,1	0,30	0,061	0,030	0,21	0,43	20,5
	3	0,36	0,049	0,026	0,23	0,41	13,6	0,28	0,059	0,029	0,20	0,41	20,9
RSI CMJ (pix)	1	1,46	0,259	0,141	1,08	1,86	17,8	1,28	0,310	0,152	0,76	1,97	24,2
[m/s]	2	1,48	0,205	0,112	1,21	1,78	13,9	1,41	0,356	0,175	0,79	2,18	25,3
	3	1,82	0,386	0,210	1,39	2,84	21,2	1,61	0,431	0,211	0,95	2,54	26,7
RSI CMJ (czas)	1	1,17	0,196	0,106	0,88	1,48	16,7	0,91	0,230	0,113	0,53	1,43	25,3
[m/s]	2	1,20	0,153	0,083	1,00	1,42	12,7	1,02	0,290	0,142	0,53	1,67	28,3
	3	1,42	0,298	0,162	1,09	2,22	20,9	1,15	0,327	0,160	0,65	1,87	28,5

Tab. 23. CMJ; wskaźniki czasu poszczególnych faz ruchu podczas wyskoku; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań

	bad.	chłopcy						dziewczęta		
		różnica (ch. - dz.)	Wu	postęp między bad.	różnica	Wu	korelacja	różnica	Wu	korelacja
CMJ kumul. (faza izometr.)	1	0,008	0,71	2-1	-0,001	-0,07	0,64	-0,003	-0,23	0,60
[s]	2	0,010	0,87	3-2	-0,017	-1,63	0,52	-0,013	-0,99	0,34
	3	0,005	0,42	3-1	-0,018	-1,75	0,22	-0,015	-1,16	0,57
CMJ faza odbicia	1	0,060	1,05	2-1	0,007	0,13	0,77	-0,022	-0,38	0,56
[s]	2	0,089	1,67	3-2	-0,028	-0,57	0,36	-0,013	-0,22	0,92
	3	0,073	1,32	3-1	-0,022	-0,39	0,71	-0,035	-0,62	0,56
RSI CMJ (pix)	1	0,180	0,62	2-1	0,02	0,08	0,78	0,13	0,38	0,51
[m/s]	2	0,074	0,26	3-2	0,34	1,06	0,38	0,21	0,53	0,93
	3	0,210	0,50	3-1	0,36	1,03	0,77	0,33	0,91	0,53
RSI CMJ (czas)	1	0,26	1,20	2-1	0,03	0,18	0,76	0,12	0,45	0,54
[m/s]	2	0,18	0,80	3-2	0,22	0,89	0,35	0,12	0,41	0,93
	3	0,28	0,85	3-1	0,25	0,94	0,77	0,24	0,87	0,56

Tab. 24. MANOVA; CMJ; wskaźniki czasu poszczególnych faz ruchu podczas wyskoku; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu

testy post-hoc

CMJ kumul. (faza izometr.) [s]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	0,112	0,111	0,094
	1		1,00	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	0,104	0,101	0,089
	1		0,95	0,00
	2			0,00
ch / dz		0,51	0,29	0,86

CMJ faza odbicia [s]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	0,379	0,386	0,358
	1		0,99	0,52
	2			0,22
dziewczęta	Av	0,319	0,298	0,284
	1		0,39	0,03
	2			0,85
ch / dz		0,08	0,00	0,02

RSI CMJ (pix) [m/s]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	1,46	1,48	1,82
	1		1,00	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	1,28	1,41	1,61
	1		0,52	0,00
	2			0,07
ch / dz		0,94	1,00	0,90

RSI CMJ (czas) [m/s]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	1,17	1,20	1,42
	1		0,99	0,00
	2			0,01
dziewczęta	Av	0,91	1,02	1,15
	1		0,30	0,00
	2			0,24
ch / dz		0,54	0,85	0,49

główne statystyki analizy MANOVA

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	0,0012	0,0012	4,7	0,038
Badanie	0,0047	0,0023	34,2	0,000
Bad.*Płeć	0,0001	0,0000	0,5	0,595

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	0,1176	0,1176	17,0	0,000
Badanie	0,0123	0,0062	6,0	0,004
Bad.*Płeć	0,0030	0,0015	1,5	0,241

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	0,52	0,52	2,0	0,169
Badanie	1,91	0,96	22,8	0,000
Bad.*Płeć	0,07	0,04	0,9	0,427

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	1,23	1,23	8,0	0,009
Badanie	0,91	0,45	18,7	0,000
Bad.*Płeć	0,04	0,02	0,8	0,462

Tab. 25. Wyskok do ataku; wskaźniki czasu poszczególnych faz ruchu podczas wyskoku; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu

chłopcy								dziewczęta					
	bad.	średnia	SD	p 95%	min	max	V%	średnia	SD	p 95%	min	max	V%
atak kumul. (faza izometr.)	1	0,10	0,012	0,007	0,08	0,12	12,1	0,11	0,010	0,005	0,09	0,13	9,6
[s]	2	0,10	0,009	0,005	0,08	0,11	9,1	0,11	0,011	0,006	0,09	0,13	10,3
	3	0,09	0,008	0,005	0,08	0,10	9,5	0,09	0,018	0,009	0,06	0,13	20,5
atak faza odbicia	1	0,29	0,046	0,025	0,21	0,36	16,0	0,30	0,049	0,024	0,24	0,42	16,7
[s]	2	0,28	0,039	0,021	0,23	0,37	13,7	0,29	0,042	0,021	0,24	0,40	14,3
	3	0,27	0,040	0,022	0,20	0,31	14,7	0,26	0,042	0,020	0,18	0,31	16,2
RSI atak (pix)	1	2,06	0,460	0,250	1,39	2,97	22,4	1,39	0,226	0,111	0,79	1,68	16,2
[m/s]	2	2,11	0,383	0,208	1,54	2,60	18,2	1,44	0,267	0,131	0,84	1,95	18,6
	3	2,51	0,529	0,288	2,00	3,61	21,1	1,82	0,448	0,220	1,29	2,78	24,6
RSI atak (czas)	1	1,67	0,351	0,191	1,16	2,38	21,0	1,02	0,178	0,087	0,55	1,26	17,5
[m/s]	2	1,77	0,301	0,164	1,30	2,16	17,0	1,10	0,228	0,112	0,60	1,55	20,6
	3	2,09	0,471	0,256	1,64	3,08	22,5	1,37	0,401	0,196	0,87	2,21	29,3

Tab. 26. Wyskok do ataku; wskaźniki czasu poszczególnych faz ruchu podczas wyskoku; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań

chłopcy							dziewczęta			
	bad.	różnica (ch. - dz.)	Wu	postęp między bad.	różnica	Wu	korelacja	różnica	Wu	korelacja
atak kumul. (faza izometr.)	1	-0,004	-0,34	2-1	0,000	0,00	0,68	0,005	0,47	0,44
[s]	2	-0,009	-0,84	3-2	-0,015	-1,53	0,40	-0,024	-1,70	0,41
	3	0,001	0,06	3-1	-0,015	-1,30	0,30	-0,019	-1,41	0,66
atak faza odbicia	1	-0,009	-0,18	2-1	-0,003	-0,07	0,86	-0,002	-0,06	0,61
[s]	2	-0,009	-0,22	3-2	-0,014	-0,32	0,73	-0,036	-0,89	0,50
	3	0,013	0,31	3-1	-0,017	-0,36	0,72	-0,039	-0,87	-0,04
RSI atak (pix)	1	0,665	1,84	2-1	0,05	0,11	0,87	0,04	0,18	0,61
[m/s]	2	0,672	1,98	3-2	0,40	0,80	0,76	0,38	1,10	0,60
	3	0,684	1,35	3-1	0,45	0,83	0,66	0,43	1,30	0,15
RSI atak (czas)	1	0,65	2,32	2-1	0,10	0,29	0,86	0,08	0,41	0,64
[m/s]	2	0,67	2,42	3-2	0,32	0,76	0,81	0,26	0,86	0,65
	3	0,72	1,60	3-1	0,42	0,95	0,70	0,35	1,22	0,25

Tab. 27. MANOVA; wyskok do ataku; wskaźniki czasu poszczególnych faz ruchu podczas wyskoku; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu

testy post-hoc

atak kumul. (faza izometr.) [s]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	0,102	0,102	0,088
	1		1,00	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	0,106	0,111	0,087
	1		0,61	0,00
	2			0,00
ch / dz		0,96	0,43	1,00

atak faza odbicia [s]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	0,287	0,284	0,270
	1		1,00	0,70
	2			0,85
dziewczęta	Av	0,296	0,293	0,257
	1		1,00	0,01
	2			0,01
ch / dz		1,00	0,99	0,97

RSI atak (pix) [m/s]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	2,06	2,11	2,51
	1		0,60	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	1,39	1,44	1,82
	1		0,62	0,00
	2			0,00
ch / dz		0,00	0,00	0,00

RSI atak (czas) [m/s]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	1,67	1,77	2,09
	1		0,81	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	1,02	1,10	1,37
	1		0,87	0,00
	2			0,01
ch / dz		0,03	0,02	0,01

główne statystyki analizy MANOVA

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	0,0003	0,0003	1,2	0,278
Badanie	0,0065	0,0032	40,4	0,000
Bad.*Płeć	0,0003	0,0002	2,1	0,128

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	0,0001	0,0001	0,0	0,904
Badanie	0,0135	0,0067	7,5	0,001
Bad.*Płeć	0,0023	0,0012	1,3	0,280

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	9,76	9,76	28,8	0,000
Badanie	3,31	1,65	26,6	0,000
Bad.*Płeć	0,00	0,00	0,0	0,989

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	9,90	9,90	40,6	0,000
Badanie	2,31	1,15	27,0	0,000
Bad.*Płeć	0,02	0,01	0,3	0,767

Tab. 28. Test Georgescu wskaźniki czasu poszczególnych faz ruchu; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu

		chłopcy						dziewczęta					
	bad.	średnia	SD	p 95%	min	max	V%	średnia	SD	p 95%	min	max	V%
test G. czas kont. [s]	1	0,22	0,018	0,010	0,20	0,26	7,9	0,22	0,034	0,017	0,17	0,29	16,0
	2	0,22	0,019	0,010	0,19	0,26	8,8	0,22	0,029	0,014	0,18	0,28	13,6
	3	0,20	0,019	0,010	0,17	0,24	9,4	0,21	0,021	0,010	0,17	0,24	10,3
test G. czas lotu [s]	1	0,47	0,032	0,017	0,41	0,52	6,8	0,42	0,039	0,019	0,36	0,50	9,4
	2	0,47	0,045	0,024	0,39	0,54	9,4	0,42	0,045	0,022	0,34	0,52	10,6
	3	0,49	0,031	0,017	0,43	0,53	6,4	0,44	0,041	0,020	0,37	0,52	9,2
RSI test G. [m/s]	1	1,22	0,210	0,114	0,87	1,50	17,2	1,03	0,288	0,141	0,59	1,64	27,9
	2	1,30	0,286	0,156	0,86	1,80	22,1	1,05	0,294	0,144	0,56	1,75	28,1
	3	1,48	0,281	0,153	1,12	1,98	19,0	1,19	0,275	0,135	0,69	1,78	23,1

Tab. 29. Test Georgescu wskaźniki czasu poszczególnych faz ruchu; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań

		chłopcy						dziewczęta		
	bad.	różnica (ch. - dz.)	Wu	postęp między bad.	różnica	Wu	korelacja	różnica	Wu	korelacja
test G. czas kont. [s]	1	0,009	0,34	2-1	-0,008	-0,39	0,63	0,002	0,05	0,91
	2	0,000	-0,01	3-2	-0,016	-0,76	0,78	-0,010	-0,42	0,80
	3	-0,005	-0,26	3-1	-0,024	-1,18	0,73	-0,009	-0,33	0,77
test G. czas lotu [s]	1	0,052	1,43	2-1	0,005	0,12	0,85	0,006	0,14	0,89
	2	0,052	1,11	3-2	0,014	0,34	0,87	0,020	0,46	0,92
	3	0,046	1,25	3-1	0,019	0,55	0,87	0,025	0,64	0,84
RSI test G. [m/s]	1	0,19	0,74	2-1	0,08	0,29	0,90	0,02	0,05	0,91
	2	0,25	0,84	3-2	0,18	0,59	0,90	0,14	0,51	0,94
	3	0,29	1,02	3-1	0,26	0,98	0,80	0,16	0,57	0,85

Tab. 30. MANOVA; test Georgescu wskaźniki czasu poszczególnych faz ruchu; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu

testy post-hoc

test G. czas kont. [s]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	0,225	0,217	0,201
	1		0,55	0,00
	2			0,02
dziewczęta	Av	0,216	0,217	0,207
	1		1,00	0,28
	2			0,14
ch / dz		0,93	1,00	0,99

test G. czas lotu [s]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	0,470	0,475	0,489
	1		0,95	0,02
	2			0,16
dziewczęta	Av	0,417	0,423	0,443
	1		0,88	0,00
	2			0,01
ch / dz		0,02	0,02	0,06

RSI test G. [m/s]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	1,22	1,30	1,48
	1		0,31	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	1,03	1,05	1,19
	1		1,00	0,00
	2			0,00
ch / dz		0,90	0,73	0,59

główne statystyki analizy MANOVA

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	0,0000	0,0000	0,0	0,892
Badanie	0,0043	0,0021	15,2	0,000
Bad.*Płeć	0,0008	0,0004	2,8	0,069

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	0,0538	0,0538	12,7	0,001
Badanie	0,0077	0,0038	17,5	0,000
Bad.*Płeć	0,0002	0,0001	0,4	0,701

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	1,28	1,28	6,1	0,020
Badanie	0,70	0,35	37,6	0,000
Bad.*Płeć	0,04	0,02	2,1	0,129

Tab. 31. CMJ; praca i moc mięśniowa podczas wyskoku; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu

chłopcy								dziewczęta						
	bad.	średnia	SD	p 95%	min	max	V%		średnia	SD	p 95%	min	max	V%
MPA CMJ (pix)	1	317	76,8	41,8	223	525	24,2		174	30,8	15,1	115	254	17,7
[J]	2	333	74,5	40,5	235	541	22,4		178	32,3	15,8	115	267	18,2
	3	380	83,3	45,3	263	610	21,9		196	34,3	16,8	127	288	17,5
Moc całk. CMJ (pix)	1	843	183	100	556	1 221	21,7		565	153	75	349	823	27,0
[W]	2	866	179	98	588	1 258	20,7		628	204	100	360	1 111	32,5
	3	1 080	268	145	693	1 603	24,8		728	256	125	409	1 440	35,2
Moc względna CMJ (pix)	1	14,3	2,5	1,4	10,5	18,2	17,8		12,56	3,0	1,5	7,5	19,4	24,3
[W/kg]	2	14,5	2,0	1,1	11,9	17,4	13,8		13,79	3,5	1,7	7,8	21,4	25,4
	3	17,9	3,8	2,1	13,6	27,9	21,2		15,83	4,2	2,1	9,3	24,9	26,7
MPA CMJ (czas)	1	254	56,8	30,9	181	407	22,4		123	22,0	10,8	81	179	17,8
[J]	2	270	55,2	30,0	195	423	20,4		129	24,7	12,1	82	194	19,2
	3	296	63,9	34,7	207	473	21,6		139	25,1	12,3	89	204	18,1
Moc całk. CMJ (czas)	1	675	138	75	454	946	20,4		401	110	54	241	595	27,5
[W]	2	705	136	74	489	983	19,3		457	155	76	241	809	33,9
	3	843	206	112	545	1 250	24,4		518	186	91	287	1 022	36,0
Moc względna CMJ (czas)	1	11,5	1,9	1,0	8,7	14,5	16,7		8,93	2,2	1,1	5,2	14,0	25,2
[W/kg]	2	11,8	1,5	0,8	9,9	13,9	12,6		10,06	2,8	1,4	5,2	16,4	28,2
	3	13,9	2,9	1,6	10,7	21,7	20,9		11,26	3,2	1,6	6,4	18,3	28,5

Tab. 32. CMJ; praca i moc mięśniowa podczas wyskoku; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań

				chłopcy				dziewczęta		
	bad.	różnica (ch. - dz.)	Wu	postęp między bad.	różnica	Wu	korelacja	różnica	Wu	korelacja
MPA CMJ (pix)	1	143	2,51	2-1	15,7	0,19	0,99	3,5	0,11	0,97
[J]	2	155	2,75	3-2	46,9	0,55	0,98	17,9	0,55	0,98
	3	184	2,97	3-1	62,6	0,72	0,95	21,4	0,67	0,97
Moc całk. CMJ (pix)	1	278	1,59	2-1	23	0,12	0,88	63	0,36	0,71
[W]	2	239	1,21	3-2	214	0,88	0,61	100	0,45	0,95
	3	352	1,30	3-1	237	0,97	0,83	163	0,81	0,68
Moc względna CMJ (pix)	1	1,8	0,62	2-1	0,2	0,07	0,78	1,2	0,38	0,50
[W/kg]	2	0,7	0,26	3-2	3,3	1,06	0,38	2,0	0,54	0,93
	3	2,0	0,49	3-1	3,5	1,02	0,77	3,3	0,92	0,53
MPA CMJ (czas)	1	130	3,13	2-1	16,8	0,28	0,99	5,5	0,24	0,94
[J]	2	142	3,36	3-2	25,9	0,40	0,98	10,0	0,41	0,97
	3	158	3,35	3-1	42,7	0,65	0,96	15,5	0,67	0,96
Moc całk. CMJ (czas)	1	275	2,13	2-1	29	0,20	0,87	56	0,43	0,71
[W]	2	248	1,66	3-2	139	0,75	0,59	61	0,36	0,95
	3	326	1,60	3-1	168	0,90	0,83	117	0,80	0,68
Moc względna CMJ (czas)	1	2,6	1,19	2-1	0,3	0,19	0,76	1,1	0,46	0,54
[W/kg]	2	1,8	0,80	3-2	2,1	0,88	0,36	1,2	0,40	0,93
	3	2,7	0,85	3-1	2,5	0,94	0,77	2,3	0,87	0,56

Tab. 33. MANOVA; CMJ; praca i moc mięśniowa podczas wyskoku; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu

testy post-hoc

MPA CMJ (pix) [J]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	317,0	332,7	379,6
	1		0,00	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	174,1	177,6	195,5
	1		0,92	0,00
	2			0,00
ch / dz		0,00	0,00	0,00

Moc całk. CMJ (pix) [W]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	843,1	866,3	1080,4
	1		0,99	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	565,1	627,7	728,1
	1		0,57	0,00
	2			0,11
ch / dz		0,02	0,07	0,00

Moc względna CMJ (pix) [W/kg]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	14,3	14,5	17,9
	1		1,00	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	12,6	13,8	15,8
	1		0,52	0,00
	2			0,06
ch / dz		0,75	0,99	0,62

MPA CMJ (czas) [J]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	253,6	270,4	296,3
	1		0,00	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	123,2	128,7	138,7
	1		0,34	0,00
	2			0,01
ch / dz		0,00	0,00	0,00

Moc całk. CMJ (czas) [W]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	675,4	704,6	843,5
	1		0,94	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	400,7	456,5	517,5
	1		0,40	0,00
	2			0,30
ch / dz		0,00	0,00	0,00

Moc względna CMJ (czas) [W/kg]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	11,5	11,8	13,9
	1		0,99	0,00
	2			0,01
dziewczęta	Av	8,9	10,1	11,3
	1		0,30	0,00
	2			0,24
ch / dz		0,13	0,49	0,10

główne statystyki analizy MANOVA

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	555862	555862	57,1	0,000
Badanie	27829	13915	139,8	0,000
Bad.*Płeć	6418	3209	32,2	0,000

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	1805263	1805263	16,4	0,000
Badanie	637143	318572	27,5	0,000
Bad.*Płeć	47820	23910	2,1	0,137

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	49,2	49,2	2,0	0,171
Badanie	184,0	92,0	22,6	0,000
Bad.*Płeć	7,0	3,5	0,9	0,431

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	441536	441536	81,2	0,000
Badanie	12367	6183	105,3	0,000
Bad.*Płeć	2678	1339	22,8	0,000

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	1722377	1722377	28,1	0,000
Badanie	306819	153409	22,8	0,000
Bad.*Płeć	22461	11230	1,7	0,198

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	117,5	117,5	8,0	0,009
Badanie	86,6	43,3	18,6	0,000
Bad.*Płeć	3,5	1,8	0,8	0,472

Tab. 34. Wyskok do ataku; praca i moc mięśniowa podczas wyskoku; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu

chłopcy								dziewczęta						
	bad.	średnia	SD	p 95%	min	max	V%		średnia	SD	p 95%	min	max	V%
MPA atak (pix)	1	335	81,8	44,5	211	546	24,4		178	30,6	15,0	123	249	17,2
[J]	2	347	80,0	43,5	215	544	23,1		183	34,1	16,7	126	265	18,6
	3	392	72,4	39,4	258	563	18,5		203	43,0	21,1	128	317	21,2
Moc całk. atak (pix)	1	1 190	339	184	780	2 099	28,5		614	130	64	362	858	21,2
[W]	2	1 238	325	177	768	2 013	26,2		641	176	86	381	1 103	27,5
	3	1 483	356	193	992	2 214	24,0		824	295	144	440	1 763	35,8
Moc względna atak (pix)	1	20,2	4,5	2,5	13,7	29,1	22,4		13,66	2,2	1,1	7,8	16,5	16,2
[W/kg]	2	20,7	3,7	2,0	15,1	25,5	18,1		14,10	2,6	1,3	8,2	19,1	18,6
	3	24,6	5,2	2,8	19,6	35,4	21,1		17,87	4,4	2,2	12,6	27,2	24,6
MPA atak (czas)	1	271	61,6	33,5	177	431	22,7		130	23,2	11,4	91	180	17,8
[J]	2	290	62,9	34,2	187	446	21,7		140	27,3	13,4	98	201	19,5
	3	327	64,9	35,3	205	477	19,9		152	38,0	18,6	91	246	25,0
Moc całk. atak (czas)	1	964	258	140	654	1 657	26,8		450	96	47	251	619	21,3
[W]	2	1 038	259	141	667	1 652	25,0		491	140	68	270	837	28,5
	3	1 238	314	171	789	1 862	25,4		619	246	120	314	1 367	39,7
Moc względna atak (czas)	1	16,4	3,4	1,9	11,3	23,3	21,0		10,02	1,8	0,9	5,4	12,4	17,5
[W/kg]	2	17,4	3,0	1,6	12,7	21,2	17,0		10,83	2,2	1,1	5,8	15,2	20,7
	3	20,5	4,6	2,5	16,1	30,1	22,5		13,42	3,9	1,9	8,5	21,6	29,3

Tab. 35. Wyskok do ataku; praca i moc mięśniowa podczas wyskoku; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań

		chłopcy						dziewczęta		
	bad.	różnica (ch. - dz.)	Wu	postęp między bad.	różnica	Wu	korelacja	różnica	Wu	korelacja
MPA atak (pix)	1	157	2,64	2-1	11,7	0,13	0,98	5,1	0,16	0,96
[J]	2	164	2,72	3-2	45,5	0,55	0,98	20,5	0,54	0,97
	3	189	3,12	3-1	57,2	0,68	0,95	25,6	0,71	0,96
Moc całk. atak (pix)	1	576	2,32	2-1	49	0,13	0,91	27	0,18	0,79
[W]	2	598	2,27	3-2	244	0,66	0,83	183	0,79	0,83
	3	659	1,95	3-1	293	0,78	0,70	210	1,01	0,57
Moc względna atak (pix)	1	6,5	1,84	2-1	0,5	0,12	0,87	0,4	0,18	0,62
[W/kg]	2	6,6	1,99	3-2	3,9	0,80	0,77	3,8	1,10	0,61
	3	6,7	1,35	3-1	4,4	0,83	0,66	4,2	1,30	0,15
MPA atak (czas)	1	141	3,15	2-1	19,0	0,28	0,98	9,9	0,40	0,94
[J]	2	150	3,16	3-2	36,6	0,53	0,98	11,7	0,37	0,96
	3	175	3,25	3-1	55,6	0,81	0,95	21,6	0,72	0,93
Moc całk. atak (czas)	1	514	2,74	2-1	74	0,26	0,90	42	0,36	0,79
[W]	2	547	2,61	3-2	200	0,64	0,85	128	0,68	0,83
	3	619	2,13	3-1	274	0,88	0,73	169	1,01	0,58
Moc względna atak (czas)	1	6,4	2,33	2-1	1,0	0,29	0,86	0,8	0,42	0,64
[W/kg]	2	6,5	2,42	3-2	3,1	0,76	0,81	2,6	0,86	0,66
	3	7,1	1,60	3-1	4,1	0,95	0,70	3,4	1,22	0,26

Tab. 36. MANOVA; wyskok do ataku; praca i moc mięśniowa podczas wyskoku; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu

testy post-hoc

MPA atak (pix) [J]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	334,9	346,6	392,1
	1		0,13	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	177,8	182,9	203,4
	1		0,83	0,00
	2			0,00
ch / dz		0,00	0,00	0,00

Moc całk. atak (pix) [W]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	1189,9	1238,5	1482,8
	1		0,95	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	613,8	640,5	823,6
	1		0,99	0,00
	2			0,01
ch / dz		0,00	0,00	0,00

Moc względną atak (pix) [W/kg]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	20,2	20,7	24,6
	1		0,99	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	13,7	14,1	17,9
	1		1,00	0,00
	2			0,00
ch / dz		0,00	0,00	0,00

MPA atak (czas) [J]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	271,5	290,5	327,1
	1		0,00	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	130,2	140,1	151,8
	1		0,10	0,00
	2			0,03
ch / dz		0,00	0,00	0,00

Moc całk. atak (czas) [W]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	963,9	1038,2	1238,1
	1		0,57	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	449,5	491,0	618,7
	1		0,91	0,00
	2			0,03
ch / dz		0,00	0,00	0,00

Moc względną atak (czas) [W/kg]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	16,4	17,4	20,5
	1		0,80	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	10,0	10,8	13,4
	1		0,87	0,00
	2			0,01
ch / dz		0,00	0,00	0,00

główne statystyki analizy MANOVA

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	620758	620758	61,6	0,000
Badanie	27431	13716	99,5	0,000
Bad.*Płeć	3981	1990	14,4	0,000

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	8035957	8035957	42,3	0,000
Badanie	1054916	527458	27,0	0,000
Bad.*Płeć	26596	13298	0,7	0,510

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	938,7	938,7	28,8	0,000
Badanie	318,5	159,2	26,7	0,000
Bad.*Płeć	0,1	0,1	0,0	0,990

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	521129	521129	78,9	0,000
Badanie	21844	10922	97,2	0,000
Bad.*Płeć	4444	2222	19,8	0,000

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	6755572	6755572	53,4	0,000
Badanie	758668	379334	28,7	0,000
Bad.*Płeć	41414	20707	1,6	0,218

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	954,9	954,9	40,7	0,000
Badanie	222,0	111,0	27,0	0,000
Bad.*Płeć	2,1	1,1	0,3	0,775

Tab. 37. Test Georgescu; praca i moc mięśniowa podczas wyskoku; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu

chłopcy								dziewczęta						
	bad.	średnia	SD	p 95%	min	max	V%		średnia	SD	p 95%	min	max	V%
test G. moc max	1	1 054	219	119	726	1 329	20,8		673	163	80	407	876	24,3
[W]	2	1 136	282	154	644	1 635	24,9		693	193	95	381	1 021	27,9
	3	1 321	299	163	787	1 757	22,7		797	215	106	447	1 186	27,0
test G. moc wzgl.	1	17,9	3,1	1,7	12,8	22,0	17,3		15,2	4,2	2,1	8,7	24,1	27,9
[W/kg]	2	19,1	4,2	2,3	12,6	26,5	22,1		15,4	4,3	2,1	8,2	25,7	28,1
	3	21,9	4,1	2,2	16,5	29,2	18,9		17,5	4,0	2,0	10,1	26,1	22,9

Tab. 38. Test Georgescu; praca i moc mięśniowa podczas wyskoku; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań

chłopcy								dziewczęta		
	bad.	różnica (ch. - dz.)	Wu	postęp między bad.	różnica	Wu	korelacja	różnica	Wu	korelacja
test G. moc max	1	380	1,91	2-1	82	0,30	0,91	20	0,11	0,86
[W]	2	443	1,78	3-2	185	0,58	0,93	104	0,52	0,94
	3	523	1,95	3-1	267	0,95	0,88	124	0,67	0,82
test G. moc wzgl.	1	2,7	0,73	2-1	1,2	0,30	0,90	0,2	0,06	0,91
[W/kg]	2	3,7	0,83	3-2	2,8	0,61	0,90	2,1	0,50	0,94
	3	4,4	1,04	3-1	4,0	1,01	0,81	2,3	0,57	0,85

Tab. 39. MANOVA; test Georgescu; praca i moc mięśniowa podczas wyskoku; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu

testy post-hoc

test G. moc max [W]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	1053,7	1136,0	1320,7
	1		0,12	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	673,4	693,1	797,3
	1		0,98	0,00
	2			0,01
ch / dz		0,00	0,00	0,00

test G. moc wzgl. [W/kg]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	17,9	19,1	21,9
	1		0,27	0,00
	2			0,00
dziewczęta	Av	15,2	15,4	17,5
	1		1,00	0,00
	2			0,00
ch / dz		0,53	0,22	0,09

główne statystyki analizy MANOVA

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	4334739	4334739	29,9	0,000
Badanie	589663	294831	45,0	0,000
Bad.*Płeć	73845	36922	5,6	0,006

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	278,5	278,5	6,2	0,019
Badanie	153,6	76,8	38,9	0,000
Bad.*Płeć	10,0	5,0	2,5	0,090

Tab. 40. Wskaźniki efektywności rozbiegu do ataku; różnica pomiędzy wyskokiem "do ataku" a CMJ; różnice liczebności postępu i ich braku; oszacowanie istotności proporcji testem dwumianowym oraz testem chi-kwadrat (χ^2),

		chłopcy		dziewczeta		p dla rozkładu dwu-mianow.	
		postęp	brak	postęp	brak	chłopcy	dziewczeta
wys. wysk. (pix) bad. 2-1		5	8	9	7	0,29	0,77
	bad. 3-2	6	7	10	6	0,50	0,89
wys. wysk. (czas) bad. 2-1		6	7	12	4	0,50	0,99
	bad. 3-2	11	2	9	7	1,00	0,77
Moc wzgl. (pix) bad. 2-1		7	6	7	9	0,71	0,40
	bad. 3-2	8	5	12	4	0,87	0,99
Moc wzgl. (czas) bad. 2-1		7	6	8	8	0,71	0,60
	bad. 3-2	8	5	11	5	0,87	0,96
Razem bad. 2-1		25	27	36	28	0,44	0,87
	bad. 3-2	33	19	42	22	0,98	1,00

test chi-kwadrat (χ^2)

chłopcy	wskaźniki atak-CMJ				dziewczeta	wskaźniki atak-CMJ			
	postęp	brak	%_postęp	%_brak		postęp	brak	%_postęp	%_brak
bad.2-1	25	27	48	52	bad.2-1	36	28	56	44
bad.3-2	33	19	63	37	bad.3-2	42	22	66	34
liczebności	29	23	p= 0,11		liczebności	39	25	p= 0,28	
oczekiwane	29	23	Chi2= 2,49		oczekiwane	39	25	Chi2= 1,18	

Tab. 41. Wskaźnik efektywności rozbiegu do ataku; różnica pomiędzy wyskokiem do ataku a CMJ; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu

		chłopcy						dziewczęta					
	bad.	średnia	SD	p 95%	min	max	V%	średnia	SD	p 95%	min	max	V%
wys. wysk. (pix)	1	3,1	3,73	2,03	-2,6	11,8	121,8	0,9	1,60	0,78	-1,6	4,5	174,9
[cm]	2	2,2	3,54	1,93	-4,3	7,3	157,8	1,2	2,07	1,01	-2,4	4,4	174,3
	3	2,3	3,76	2,04	-6,1	7,8	164,0	1,5	2,54	1,25	-2,4	6,5	174,5
wys. wysk. (czas)	1	3,0	2,61	1,42	-1,1	9,0	86,5	1,7	1,51	0,74	-0,1	4,9	91,2
[cm]	2	3,3	2,64	1,44	-1,9	7,7	79,4	2,5	2,14	1,05	-1,2	5,7	84,9
	3	5,3	3,52	1,92	-0,3	11,2	66,9	2,7	2,96	1,45	-0,9	8,2	109,6
Moc wzgl. (pix)	1	5,8	3,20	1,74	-0,5	11,2	54,7	1,1	2,61	1,28	-5,8	4,8	237,2
[W/kg]	2	6,2	2,76	1,50	0,9	10,6	44,6	0,3	2,08	1,02	-4,3	4,4	679,9
	3	6,7	4,42	2,40	0,7	16,3	65,9	2,0	3,38	1,66	-3,3	9,8	165,3
Moc wzgl. (czas)	1	4,9	2,51	1,36	-0,2	9,1	51,4	1,1	1,83	0,90	-3,7	3,8	167,3
[W/kg]	2	5,5	2,36	1,28	1,0	9,0	42,5	0,8	1,65	0,81	-3,1	3,8	214,7
	3	6,6	3,86	2,10	2,0	14,8	58,8	2,2	2,66	1,30	-1,5	8,8	123,5

Tab. 42. Wskaźnik efektywności rozbiegu do ataku; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań

		chłopcy						dziewczęta		
	bad.	różnica (ch. - dz.)	Wu	postęp między bad.	różnica	Wu	korelacja	różnica	Wu	korelacja
wys. wysk. (pix)	1	2,1	0,76	2-1	-0,8	-0,21	0,72	0,3	0,15	0,55
[cm]	2	1,1	0,36	3-2	0,0	0,01	0,55	0,3	0,12	0,54
	3	0,8	0,25	3-1	-0,8	-0,19	0,53	0,5	0,27	0,26
wys. wysk. (czas)	1	1,4	0,63	2-1	0,3	0,11	0,73	0,9	0,49	0,47
[cm]	2	0,8	0,32	3-2	1,9	0,58	0,66	0,2	0,07	0,44
	3	2,6	0,76	3-1	2,3	0,68	0,57	1,0	0,48	0,29
Moc wzgl. (pix)	1	4,7	1,57	2-1	0,3	0,11	0,65	-0,8	-0,35	0,06
[W/kg]	2	5,9	2,33	3-2	0,5	0,13	0,46	1,7	0,65	0,70
	3	4,7	1,15	3-1	0,9	0,21	0,35	0,9	0,32	-0,28
Moc wzgl. (czas)	1	3,8	1,68	2-1	0,7	0,25	0,69	-0,3	-0,19	0,03
[W/kg]	2	4,8	2,29	3-2	1,0	0,30	0,52	1,4	0,66	0,55
	3	4,4	1,29	3-1	1,7	0,48	0,40	1,1	0,48	-0,42

Tab. 43. MANOVA; wskaźniki efektywności rozbiegu do ataku; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu

testy post-hoc

główne statystyki analizy MANOVA

wys. wysk. (pix) [cm]

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	39,1	39,1	2,2	0,150
Badanie	1,1	0,5	0,1	0,871
Bad.*Płeć	7,1	3,5	0,9	0,401

wys. wysk. (czas) [cm]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	3,0	3,3	5,3
	1		1,00	0,03
	2			0,09
dziewczęta	Av	1,7	2,5	2,7
	1		0,75	0,59
	2			1,00
ch / dz		0,93	0,99	0,50

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	53,6	53,6	3,9	0,058
Badanie	40,0	20,0	6,1	0,004
Bad.*Płeć	11,7	5,8	1,8	0,181

Moc wzgl. (pix) [W/kg]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	5,8	6,2	6,7
	1		1,00	0,96
	2			1,00
dziewczęta	Av	1,1	0,3	2,0
	1		0,95	0,91
	2			0,42
ch / dz		0,05	0,01	0,06

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	558,3	558,3	35,9	0,000
Badanie	20,6	10,3	1,5	0,229
Bad.*Płeć	6,6	3,3	0,5	0,616

Moc wzgl. (czas) [W/kg]

	Bad.	1	2	3
chłopcy	Av	4,9	5,5	6,6
	1		0,43	0,05
	2			0,22
dziewczęta	Av	1,1	0,8	2,2
	1		0,66	0,16
	2			0,07
ch / dz		0,00	0,00	0,00

Czynnik	SS	MS	F	p
Płeć	402,4	402,4	38,9	0,000
Badanie	32,0	16,0	3,6	0,034
Bad.*Płeć	3,6	1,8	0,4	0,671

Tab. 44. Szacowanie postępu w całym okresie badań na tle norm populacyjnych (Eurofit, za: Dobosz 2012)
- średnie arytmetyczne pozycji wyników na skali centylowej w kolejnych badaniach

	chłopcy					dziewczęta			
	bad.	średnia	min	max	V%	średnia	min	max	V%
wysokość ciała	1	66,3	29	97	25,8	70,1	30	97	33,4
	2	69,3	35	97	22,9	71,1	28	97	31,8
	3	72,0	40	97	19,9	70,9	33	97	31,0
masa ciała	1	49,6	18	86	42,6	44,7	2	91	53,2
	2	48,3	15	87	45,7	42,9	2	92	55,9
	3	48,4	19	88	43,4	41,7	2	91	56,5
BMI	1	40,5	8	75	58,1	32,9	1	80	73,0
	2	37,5	6	75	62,6	30,4	1	79	77,3
	3	35,9	7	70	61,2	29,7	1	78	76,4
wskaźnik smukłości	1	63,3	28	90	35,5	72,9	20	99	32,3
	2	67,7	31	93	30,8	75,2	25	99	30,0
	3	69,6	37	93	27,2	76,0	31	99	27,8
test mm brzucha	1	48,5	15	71	40,1	65,4	33	86	22,0
	2	51,2	15	73	39,0	70,4	40	97	22,4
	3	48,4	13	78	41,0	69,4	39	97	24,2
tapping ramieniem	1	68,4	19	98	29,4	65,7	30	98	30,5
	2	70,3	22	96	26,6	66,7	34	98	28,8
	3	74,9	24	95	24,9	71,5	35	98	29,3
skok w dal	1	84,8	57	98	15,4	80,0	34	98	23,3
	2	85,6	60	98	15,0	81,2	32	98	22,8
	3	89,6	73	98	10,5	83,5	32	99	21,7

Tab. 45. Szacowanie postępu w całym okresie badań na tle norm sportowych (normy za: Spieszny 2011)
- średnie arytmetyczne pozycji wyników na skali 10-punktowej w kolejnych badaniach.

	chłopcy					dziewczęta			
	bad.	średnia	min	max	V%	średnia	min	max	V%
tapp 2kg moc śred.	1	1,8	0,2	4,2	67,3	2,1	0,0	5,7	72,7
	2	1,7	0,2	3,4	64,3	2,2	0,0	6,3	75,9
	3	2,0	0,7	3,6	55,6	2,2	0,0	7,3	95,3
rzut piłką lekarską 1kg	1	4,2	2,7	7,6	32,2	5,1	3,0	9,3	42,3
	2	4,2	2,6	7,8	32,8	4,8	2,9	8,0	37,7
	3	4,1	2,6	7,1	29,3	4,9	3,0	9,0	38,8
MPA CMJ (pix)	1	5,5	3,2	10,0	36,5	4,6	1,5	8,7	44,8
	2	5,7	3,0	10,0	34,3	4,5	1,2	9,3	46,0
	3	6,9	4,0	10,0	22,9	5,5	2,0	10,0	41,3

Tab. 46. Szacowanie postępu w całym okresie badań na tle norm sportowych PZPS (normy za: PZPS 2018)
- średnie arytmetyczne pozycji wyników na skali 100-punktowej w kolejnych badaniach

	chłopcy					dziewczęta			
	bad.	średnia	min	max	V%	średnia	min	max	V%
wysokość ciała	1	48,7	30	70	19,1	48,3	29	71	25,1
	2	51,5	35	73	16,7	50,3	31	73	24,0
	3	53,3	36	73	16,5	51,5	33	73	23,1
skok w dal	1	53,6	35	66	18,8	59,8	39	77	17,7
	2	55,4	38	67	17,9	61,7	39	79	17,8
	3	59,1	43	69	15,3	64,8	39	85	18,8
zasięg w ataku	1	33,2	6	70	49,7	27,4	11	46	34,0
	2	37,3	11	71	40,3	29,9	19	45	27,4
	3	47,0	22	75	27,8	35,4	20	51	28,1

wyniki dziewcząt w pomiarach "zasięg w ataku" normowano na kategorię rocznikowo starszą - ze względu na brak norm PZPS dla klasy 6, - w tej kategorii skoczność ocenia się jedynie testem "skok obunóż w dal z miejsca"

Procedury pomiarowe testów sprawnościowych

1. Częstotliwość ruchów ramienia – tapping ręką

Próbie przeprowadzono z użyciem blatu stołu o standardowej wysokości 90 cm. Na powierzchni blatu narysowano dwa koła o średnicy 20 cm, ich środki było oddalone o 80 cm], na środku, między nimi narysowano pionową linię środkową. Przed rozpoczęciem testu dłoń ręki mniej sprawnej układano się na linii środkowej, natomiast dłoń ręki sprawniejszej musiała być ustawiona skrzyżnie nad ręką mniej sprawną i ponad kołem, próbę rozpoczynało uderzenie startowe ("zerowe") w koło pod dłoń ręki sprawniejszej. Zadaniem było jak najszybsze "uderzanie" wyznaczonych kół, na przemian - lewego i prawego. Należało wykonać 25 pełnych cykli (w sumie 50 ruchów ramienia). Próbę rejestrowano za pomocą kamery cyfrowej z częstotliwością 25 klatek/s – dokładność 0,04 s. Jeśli uznano, że uderzenie startowe lub ostatnie uderzenie nastąpiło między klatkami filmowymi, wtedy w zapisie czasu stosowano korektę 0,02 s. Próbę wykonano dwukrotnie - z 5-minutową przerwą. W obliczeniach uwzględniono rezultat lepszy (krótszy czas).

2. Skok w dal z miejsca

Próbie przeprowadzono na sztucznej nawierzchni hali sportowej z wyznaczoną linią odbicia oraz podziałką centymetrową ułożoną obok strefy lądowania. Stopy należało ustawić przed linią odbicia w niewielkim - swobodnym rozkroku. Zadanie było wykonać maksymalny wyskok w przód, poprzedzony znacznym ugięciem nóg i zamachem ramion. Długość skoku odczytywano z podziałki centymetrowej z dokładnością do 1 [cm], standardowo - między linią odbicia a "tylną krawędzią" stopy lądującej bliżej linii odbicia. Próbę wykonywano trzykrotnie - w odstępach 2-minutowych. Zapisywano wynik najlepszy - skok najdłuższy.

3. Interwałowy bieg sprinterski 10 x 5 [m]

Próbie przeprowadzono na sztucznej nawierzchni hali sportowej. Na podłożu wykreślono dwie równoległe linie oddalone od siebie o 5 [m]. Zadaniem było 10-krotne przebiegnięcie dystansu pomiędzy wyznaczonymi liniami, ze startu "zatrzymanego". Analizie poddano sumę czasów pokonania poszczególnych odcinków (pominięto sumę czasów nawrotów między poszczególnymi odcinkami). Rejestrację czasu przebiegnięcia pojedynczego odcinka notowano od momentu przekroczenia linii startu, do momentu przekroczenia linii mety - decydowała pozycja stopy uniesionej nad linią lub postawionej na linii. Przebieg testów rejestrowano w formie cyfrowego zapisu video z dokładnością do 0,01 [s]. Jeśli uznano, że moment przekroczenia linii nastąpił między klatkami filmowymi, wtedy w zapisie czasu stosowano korektę 0,005 [s]

4. Maksymalna liczba skłonów z siadu w czasie 30 [s]

Test wykonywano na twardym materacu gimnastycznym. Z pozycji startowej: leżnie tyłem, nogi ugięte w kolanach pod kątem około 90 stopni, podeszwy stóp oparte o podłoże i rozstawione swobodnie (20-30 [cm]), dłonie zgiętych rąk splecione za głową - na karku. Osoba pomagająca unieruchamiała stopy osoby testowanej - przyciskała je do podłoża. Zadanie polegało na jak najszybszym wykonywaniu serii naprzemiennych siadów (dotknięcie łokciami do kolan) i leżeń (położenie całej powierzchni pleców na materacu) w czasie 30 [s]. Notowano liczbę pełnych cykli (siad-leżenie) wykonanych w wyznaczonym czasie. Test wykonywano jednokrotnie.

5. Tapping piłką lekarską o masie 2 [kg]

Test wykonywano z pozycji wyjściowej: siad rozkroczny na materacu - dolnym - przysuniętym do ściany, plecy oparte o materac - górny - ustawiony pionowo przy ścianie, piłka lekarska trzymana oburącz, przed sobą na materacu dolnym. Zadaniem było jak najszybsze, naprzemienne przenoszenie piłki lekarskiej pomiędzy materacem dolnym ("uderzenie" pomiędzy rozstawionymi nogami) i materacem górnym ("uderzenie" ponad głową). Należało wykonać 10 pełnych cykli (gór-dół), rozpoczynając od uderzenia startowego w dolnym materac. Próbę rejestrowano za pomocą kamery cyfrowej z częstotliwością 25 fps [klatek/s] - dokładność 0,04 [s]. Jeśli uznano, że moment startowy lub ostatnie uderzenie w materac nastąpiło między klatkami filmowymi, wtedy w zapisie czasu stosowano korektę 0,02 [s]. Próbę wykonano dwukrotnie - z 5-minutową przerwą. W obliczeniach uwzględniono rezultat lepszy (krótszy czas).

6. Rzut piłką lekarską o masie 1 [kg]

Rzut wykonywano na materacu gimnastycznym. Materac ustawiono wzdłuż kierunku rzutu, poprzeczną - startową linię rzutu wyznaczono w około 1/3 materaca, tak aby po rzucie można było bezpiecznie zamortyzować upadek tułowia w przód. Po jednej stronie strefy rzutu ułożono taśmę mierniczą. Zadanie polegało na tym, aby z pozycji klęku prostego obunóż wykonać rzut zza głowy w przód na maksymalną odległość. Rzut poprzedzony był odchyleniem tułowia, natomiast po rzucie można było przewrócić się (opad tułowia) na materac. Przed testem udzielono wskazówek dotyczących najlepszego ułożenia tułowia (odchylenie) oraz kierunku rzutu (pod kątem 45°). Mierzono odległość między linią rzutu (wyznaczoną na materacu) a punktem upadku piłki z dokładnością do 10 [cm]. Próbę wykonywano 3-krotnie. W obliczeniach uwzględniono najlepszy rezultat - najdłuższy rzut.

7. Wyskok pionowy z miejsca, z fazą zamachową ramion (CMJ);

Test wykonywano na sztucznej nawierzchni hali sportowej. Kamery ustawiono na statywie w odległości 350 [cm] od wyznaczonego na podłożu punktu pomiarowego. Obiektyw kamery poziomowano za mocą wskaźnika zamontowanego na statywie - na wysokości 150 [cm]. Przed każdym powtórzeniem próby testowej należało ustawić się w postawie wyprostowanej, ze stopami ustawionymi centralnie na wyznaczonym na podłożu punkcie pomiarowym (miejsce wyskoku), tak aby kamera zarejestrowała znacznik umieszczony na biodrze - reprezentujący środek ciężkości. Zadanie testowe było standardowym wyskokiem pionowym, poprzedzonym ugięciem nóg i obszernym zamachem ramion.

Wykonanie testu rejestrowano za pomocą kamery cyfrowej z częstotliwością zapisu klatek FPS=100 (dokładność do 0,01 [s]) oraz rozdzielczością obrazu "full HD" (1920x1080 pikseli); wysokość wyskoku oceniano dwoma metodami:

- 1) czasem fazy lotu - pomiar z dokładnością do 0,01 [s]; jeśli uznano, że moment kontaktu z podłożem (wyskok i lądowanie) nastąpił między klatkami filmowymi, w zapisie czasu stosowano korektę 0,005 [s];
- 2) pionowym odcinkiem reprezentującym wysokość wyskoku na stopklatce filmowej - pomiar z dokładnością do 1 [pix].

Próbę powtarzano trzykrotnie. W obliczeniach uwzględniono wynik najlepszy.

8. Wyskok pionowy po dwukrokovym rozbiegu - do ataku;

Do testu wykorzystano ustawienie kamery i metodę kalibracji punktów pomiarowych - jak w teście poprzednim (CMJ). Zadanie testowe polegało na wykonaniu wyskoku obunóż, poprzedzonym dwukrokovym rozbiegiem (krok i doskok) - czynność typowa dla siatkarskiego rozbiegu do ataku. W momencie wyskoku stopy musiały mieć kontakt z podłożem niemal centralnie na punkcie pomiarowym wyznaczonym na podłożu - z tolerancją kilkucentymetrową. Natomiast miejsce lądowania mogło być odchylone co najwyżej o 20 [cm] - w bok od punktu pomiarowego. Wykonanie testu rejestrowano za pomocą kamery cyfrowej z częstotliwością zapisu klatek FPS=100 (dokładność do 0,01 [s]) oraz rozdzielczością obrazu "full HD" (1920x1080 pikseli). Wysokość wyskoku oceniano dwoma metodami:

- 1) czasem fazy lotu - pomiar z dokładnością do 0,01 [s]; jeśli uznano, że moment kontaktu z podłożem (wyskok i lądowanie) nastąpił między klatkami filmowymi, w zapisie czasu stosowano korektę 0,005 [s];
- 2) pionowym odcinkiem reprezentującym wysokość wyskoku na stopklatce filmowej - pomiar z dokładnością do 1 [pix].

Próbę powtarzano trzykrotnie. W obliczeniach uwzględniono wynik najlepszy.

9. Czas aktywnych faz podporowych podczas wyskoków pionowych: CMJ i "do ataku"

Pomiar wykonano tylko dla tych wyskoków (najwyższych), których parametry wykorzystano do pozostałych analiz liczbowych. Czas trwania fazy izometrycznej (plyometrycznej kumulacji energii) zmierzono jako okres między klatkami filmowymi, od kiedy kolana osiągnęły maksymalne zgięcie - przed wykonaniem wyskoku - do klatki, kiedy rozpoczął się ruch wyprostu. Czas fazy koncentrycznej zapisano jak okres między klatkami filmowymi od początku wyprostu kolan do momentu utraty kontaktu z podłożem.

Materiału zarejestrowano za pomocą kamery cyfrowej z częstotliwością zapisu klatek FPS=100 (dokładność 0,01 [s]), jeśli uznano, że moment kluczowy dla rejestracji nastąpił między klatkami filmowymi, w zapisie czasu stosowano korektę 0,005 [s]. W pracy zaprezentowano statystyki dla fazy izometrycznej oraz dla całej aktywnej fazy podporowej (suma czasów obu zmierzonych faz: izometrycznej i koncentrycznej).

10. Test serii podskoków na platformie tensometrycznej "FitroJump"

Platforma ułożono na sztucznej nawierzchni hali sportowej i połączono z komputerem za pomocą interfejsu i łącza kablowego, sygnały elektryczne rejestrowano w dedykowanej aplikacji komputerowej producenta platformy.

Przed rozpoczęciem testu należało ustawić się na środku platformy z dłońmi złączonymi z tyłu - za biodrami. Zadanie polegało na wykonaniu serii "sprężystych", pionowych podskoków obunóż (w liczbie: 20 do 30), następujących bezpośrednio po sobie, tak aby po jednym podskoku wykonać krótkie - "sztywne" lądowanie (na palce i śródstopie z nieznacznym ugięciem kolan) i bezpośrednio po nim - natychmiast podskoczyć po raz kolejny. Podczas podskoków dłonie musiały być splecione z tyłu - za biodrami - jak w pozycji wyjściowej, aby zredukować wspomaganie wyskoku fazą zamachową ramion. Rejestrowano czas fazy podporowej - kontaktu z platformą i czas fazy lotu w następujących po sobie podskokach z deklarowaną przez producenta oprogramowania dokładnością do 0,001 s.

Formuły obliczeniowe

Formuła 1. Wysokość wyskoku w pomiarach szacowanych czasem lotu oraz czas lotu w pomiarach szacowanych odcinkiem (liczba pikseli) na stop-klatce filmowej

Wysokość skoku oraz czas trwania fazy lotu obliczono przekształcając równanie drogi w ruchu jednostajnie przyspieszonym:

$$H = \frac{g \cdot \left(\frac{t}{2}\right)^2}{2} \quad (1a) \qquad t = 2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}} \quad (1b)$$

gdzie:

H – wysokość wyskoku [m]

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2]

t – czas lotu [s]

Formuła wykorzystuje połowę czasu lotu, wychodząc z założenia, że w czasie lotu występuje dwukrotnie ruch jednostajnie zmienny, który charakteryzuje wartość przyspieszenia ziemskiego (g): ruch jednostajnie opóźniony w okresie do osiągnięcia maksymalnej wysokości uniesienia ciała i ruch jednostajnie przyspieszony do ponownego kontaktu z podłożem.

Formuła 2. Test serii podskoków (Georgescu 1969)

Pacę mechaniczną podczas każdego podskoku wyliczono jako następujący iloczyn:

$$MPA = m \cdot g \cdot H \cdot 1,5 \quad (2a)$$

gdzie:

MPA – całkowita praca mechaniczna [J]

m – masa ciała [kg]

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2]

H – wysokość podskoku [m] - wyliczona wg formuły (1a) - powyżej

1,5 – mnożnik, zaproponowany przez Autora testu, reprezentujący energię całkowitą w czasie fazy podporowej w cyklu: lądowanie - podskok

O wielkości pracy decyduje ilość wyzwolonej energii jedynie w czasie fazy podporowej, stąd w każdym podskoku obliczono maksymalną moc anaerobową według formuły:

$$MMA = \frac{MPA}{t_p} \quad (2b)$$

gdzie:

MMA – całkowita moc anaerobowa [W]

MPA – całkowita praca anaerobowa [J] (wg formuły 2a)

t_p – czas fazy podporowej [s]

Zgodnie z oryginalną metodyką testu (Georgescu 1969, Georgescu i wsp. 1979), do dalszych obliczeń użyto uśrednionych wartości parametrów (czasów fazy podporowej i fazy lotu oraz obliczonej MMA) występujących podczas trzech następujących po sobie podskoków wykonanych z największą mocą.

Kolejny wskaźnik - moc względną (MMA na kg masy ciała) wyliczono według formuły:

$$Moc_{wzgl.} = \frac{MMA}{m} \quad (2c)$$

gdzie:

$Moc_{wzgl.}$ - wielkość mocy na kilogram masy ciała [W/kg]

MMA - moc całkowita [W]

m - masa ciała [kg]

Formuła 3. Moc całkowita podczas testu tapping piłką lekarską o masie 2 kg (Spieszny 2011)

$$MMA = \frac{20 \cdot (2 + 0,1 \cdot m) \cdot g \cdot h_s}{t} \quad (3)$$

gdzie:

MMA - moc całkowita [W]

20 - liczba odcinków (w górę i w dół) pokonywanych podczas testu

2 - masa piłki lekarskiej [kg]

0,1 - mnożnik masy ciała reprezentujący masę ramion

m - masa ciała [kg]

g - przyspieszenie ziemskie [m/s^2]

h_s - wysokość vertex w pozycji siedzącej [m]

t - czas wykonania testu [s]

Formuła 4. Praca podczas skoku obunóż z miejsca w dal

W obliczeniach założono, że każdy skok wykonywany był pod kątem 45° do podłoża po symetrycznym - parabolicznym torze lotu, stąd pracę mechaniczną włożoną w fazie wyskoku obliczono wg formuły szacującej energię kinetyczną:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (4a)$$

Gdzie prędkość kinetyczną znaleziono po przekształceniu formuły obliczania odległości lotu w ruchu parabolicznym:

$$L = \frac{v^2 \cdot \sin 2\alpha}{g} \quad (4b)$$

$$v^2 = \frac{L \cdot g}{\sin 2\alpha} \quad (4c)$$

Postać końcowa formuły obliczania MPA w skoku w dal:

$$MPA = \frac{m \cdot L \cdot g}{2 \cdot \sin 2\alpha} \quad (4d)$$

gdzie:

$E_k = MPA$ – całkowita praca anaerobowa [J]

m - masa ciała [kg]

L - długość skoku [m]

g - przyspieszenie ziemskie [m/s^2]

α - kąt kierunku wyskoku - ustalony na wielkość 45°

Formuła 5. Moc podczas interwałowego biegu sprinterskiego 10 x 5m

W obliczeniach założono, że na starcie każdego 5-metrowego odcinka prędkość początkowa wynosiła 0 [m/s], prędkość końcowa osiągała maksimum na końcu tego odcinka, a przyspieszenie miało stałą wartość (ruch jednostajnie przyspieszony). Moc oszacowano więc, za pomocą ilorazu średnich wartości energii kinetycznej wydatkowanej podczas przebiegania pojedynczego odcinka i czasu jego pokonania, według formuły:

$$MMA = \frac{E_k}{t} \quad (5a)$$

$$MMA = \frac{\frac{m \cdot v^2}{2}}{t} \quad (5b)$$

$$MMA = \frac{m \cdot \left(\frac{s}{t}\right)^2}{2 \cdot t} \quad (5c)$$

gdzie:

MMA - moc średnia [W]

E_k - energia kinetyczna w końcowej fazie biegu na odcinku 5 m

m - masa ciała [kg]

v - prędkość końcowa biegu na odcinku 5 m

s - długość pojedynczego odcinka biegu = 5 m

t - czas przebiegnięcia pojedynczego odcinka [s] = 1/10 zarejestrowanego czasu testu

Formuła 6. Współczynnik RSI (Reactive Strength Index) w testach wyskoku pionowego

W piśmiennictwie, najczęściej spotykanym przelicznikiem porównującym czas fazy podporowej do fazy lotu jest współczynnik ilorazowy wysokości wyskoku [m] do czasu całej fazy podporowej - od momentu rozpoczęcia ruchu. W niniejszej pracy zastosowano modyfikację, której zamiarem jest bardziej precyzyjne porównanie efektów zastosowanego treningu, zmierzających do skrócenia izometrycznej plyometrycznej fazy (kumulowania energii) i koncentrycznej fazy wyprostu nóg, przy jednoczesnym zwiększeniu czasu fazy lotu - a więc wysokości wyskoku.

Współczynnik wyliczony jako proporcja wysokości wyskoku i czasów fazy podporowej:

$$RSI = \frac{H}{T_{kont.}} \quad (6)$$

gdzie:

RSI - współczynnik proporcji

H - wysokość wyskoku [m]

$T_{kont.}$ - czas aktywnej fazy podporowej - w analizie wyników opisanej jako "faza odbicia":
połączony czas fazy izometrycznej i fazy koncentrycznej - do momentu utraty kontaktu z podłożem [s]

Formuła 7. Praca i moc w testach wyskoków pionowych

Wielkość pracy anaerobowej (MPA) obliczono według formuły:

$$MPA = m \cdot g \cdot H \quad (7a)$$

gdzie:

MPA – całkowita praca mechaniczna [J]

m – masa ciała [kg]

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2]

H – wysokość wyskoku [m]

Moc (MMA) wyliczono w oparciu o założenie, iż moc bezpośrednio ukierunkowana na wyskok rozwijana jest podczas aktywnej fazy podporowej - w fazie odbicia: od początku fazy kumulacji (plyometrycznej) do momentu utraty kontaktu z podłożem.

$$MMA = \frac{MPA}{T_{kont.}} \quad (7b)$$

gdzie:

MMA - moc całkowita [W]

MPA - praca całkowita [J]

$T_{kont.}$ - czas aktywnej fazy podporowej [s] - połączony czas fazy izometrycznej i fazy koncentrycznej

Formuła 8. Wskaźniki unormowania różnic średnich arytmetycznych oraz standaryzacja wyników pomiarowych

Unormowane różnice średnich arytmetycznych obliczono według formuły:

$$W_u = \frac{X_1 - X_2}{(p_1 + p_2)/2} \quad (8a)$$

gdzie:

W_u - różnica unormowana

X_1 - średnia arytmetyczna wyników badania przed etapem treningowym

X_2 - średnia arytmetyczna wyników badania po etapie treningowym

p_1 - 95% przedział ufności średniej wyników przed etapem treningowym

p_2 - 95% przedział ufności średniej wyników po etapie treningowym

Standaryzowane wyniki pojedynczych pomiarów obliczono według formuły:

$$W_{SD} = \frac{X - x_i}{SD} \quad (8b)$$

gdzie:

W_{SD} - wynik standaryzowany

X - średnia arytmetyczna wyników w grupie

x_i - pojedynczy wynik pomiaru

SD - odchylenie standardowe wyników grupy

WYKAZY

Spis rycin

Ryc. 1. Funkcje: wysokość wyskoku oraz wielkość błędu pomiaru w jednostce czasu w zależności od czasu lotu	25
Ryc. 2. Procentowe proporcje liczby efektów pozytywnych (postęp) i braku efektów lub regresu (brak) w wynikach indywidualnych w kolejnych okresach treningowych (cykl 1. - trening standardowy; cykl 2. - trening eksperymentalny)	34
Ryc. 3. Długościowe cechy budowy ciała dziewcząt i chłopców w kolejnych terminach badań	37
Ryc. 4. Wskaźniki wagowe i proporcji budowy ciała dziewcząt i chłopców w kolejnych terminach badań	38
Ryc. 5. Porównawcze, populacyjne i selekcyjne testy mocy tułowia i ramion; wyniki pomiarów oraz wyliczone wskaźniki mocy mięśniowej w kolejnych terminach badań	40
Ryc. 6. Populacyjne testy mocy nóg; wyniki pomiarów oraz wyliczone wskaźniki pracy i mocy mięśniowej w kolejnych terminach badań	41
Ryc. 7. Pomiar wysokości wyskoków pionowych w kolejnych terminach badań	42
Ryc. 8. Parametry czasowe podporowych faz ruchu (izometryczna i koncentryczna) podczas testów wyskoków pionowych w kolejnych terminach badań	45
Ryc. 9. Wskaźnik RSI - ilorazowa proporcja wysokości wyskoku do czasu fazy "aktywnej" podczas testów wyskoków pionowych w kolejnych terminach badań	46
Ryc. 10. MPA; całkowita praca anaerobowa w fazie aktywnej podczas testów wyskoków pionowych w kolejnych terminach badań	48
Ryc. 11. MMA; wielkość mocy rozwijanej podczas testów wyskoków pionowych w kolejnych terminach badań	49
Ryc. 12. Moc względna rozwijana podczas testów wyskoków pionowych w kolejnych terminach badań	50
Ryc. 13. Zmiany wybranych wskaźników budowy somatycznej oraz wyników testowania sprawności motorycznej w kolejnych etapach (cyklach) treningowych wyrażone wielkościami unormowanymi średnich arytmetycznych na 95% przedział ufności	53
Ryc. 14. Testy populacyjne; zmiany wskaźników mocy w kolejnych etapach (cyklach) treningowych wyrażone wielkościami unormowanymi średnich arytmetycznych na 95% przedział ufności	55
Ryc. 15. Testy wyskoku pionowego (Georgescu, CMJ, "do ataku"); zmiany wskaźników mocy w kolejnych etapach (cyklach) treningowych wyrażone wielkościami unormowanymi średnich arytmetycznych na 95% przedział ufności	56
Ryc. 16. Testy wyskoku pionowego (Georgescu, CMJ, "do ataku"); zmiany wskaźników zawierających szacowanie czasu rozwijania mocy w kolejnych etapach (cyklach) treningowych wyrażone wielkościami unormowanymi średnich arytmetycznych na 95% przedział ufności	57
Ryc. 17. Wyniki szacujące postępy obu grup (ch - chłopców oraz dz- dziewcząt) w całym okresie badań na tle norm populacyjnych (Eurofit, za: Dobosz 2012) - średnie arytmetyczne pozycji wyników na skali centylowej w badaniach 1. i 3.	59
Ryc. 18. Wyniki szacujące postępy obu grup (ch - chłopców oraz dz- dziewcząt) w całym okresie badań na tle norm sportowych (normy za: Spieszny 2011) - średnie arytmetyczne pozycji wyników na skali punktowej w badaniach 1. i 3.	59
Ryc. 19. Wyniki szacujące postępy obu grup (ch - chłopców oraz dz- dziewcząt) w całym okresie badań na tle norm sportowych PZPS (normy za: PZPS 2018) - średnie arytmetyczne pozycji wyników na skali punktowej w badaniach 1. i 3.; x - wyniki dziewcząt w pomiarach zasięgu do ataku normowano na kategorię rocznikowo starszą - ze względu na brak norm PZPS dla klasy 6. - w tej kategorii skoczność ocenia się jedynie testem "skok obunóż w dal z miejsca"	60
Ryc. 20. Proporcje procentowe liczby efektów pozytywnych (postęp) do ich braku lub regresu wartości (brak) w wynikach reprezentujących wskaźniki efektywności fazy rozbiegu (mierzonego jak różnice w testach: "wyskok do ataku" a CMJ) w kolejnych cyklach treningowych (1-standardowy; 2-eksperymentalny)	62
Ryc. 21. MANOVA; wskaźnik efektywności fazy rozbiegu (różnica: "wyskok do ataku" a CMJ) w kolejnych terminach badań	62

Spis tabel

Tab. 1. Weryfikacja rzetelności pomiarów wysokości pionowego; współczynniki korelacji pomiędzy wynikami standaryzowanymi przed i po korekcie	28
Tab. 2. Testy mocy NN: współczynniki między-cechowej korelacji wyników znormalizowanych - w kolejnych badaniach oraz w połączonych zbiorach danych ("razem")	30
Tab. 3. Fazy w testach wysokości pionowego; współczynniki między-cechowej korelacji wyników znormalizowanych - w kolejnych badaniach oraz w połączonych zbiorach danych ("razem")	32
Tab. 4. Liczebności wyników indywidualnych grupowanych ze względu na postępy lub ich brak w testach porównawczych oraz poziom prawdopodobieństwa występowania postępów	33
Tab. 5. Liczebności wyników indywidualnych grupowanych ze względu na postępy lub ich brak w testach mocy nóg oraz poziom prawdopodobieństwa występowania postępów	34
Tab. 6. Weryfikacja statystycznej istotności różnic liczebności wyników indywidualnych między badaniami; grupowanie ze względu na postępy lub ich brak - test chi-kwadrat (χ^2)	35
Tab. 7. Wiek i długościowe wskaźniki budowy somatycznej; podstawowe miary statystyki opisowej wyników w kolejnych etapach eksperymentu	92
Tab. 8. Długościowe wskaźniki budowy somatycznej; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice pomiarów wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań	93
Tab. 9. MANOVA; długościowe wskaźniki budowy somatycznej; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu	94
Tab. 10. Wskaźniki wagowo-wzrostowe; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu	95
Tab. 11. Wskaźniki wagowo-wzrostowe; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice pomiarów wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań	95
Tab. 12. MANOVA; wskaźniki wagowo-wzrostowe; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu	96
Tab. 13. Populacyjne i selekcyjne testy sprawności; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu	97
Tab. 14. Populacyjne i selekcyjne testy sprawności; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań	98
Tab. 15. MANOVA; populacyjne i selekcyjne testy sprawności; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu	99
Tab. 16. Populacyjne i selekcyjne testy sprawności; wskaźniki pracy i mocy mięśniowej; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu	100
Tab. 17. Populacyjne i selekcyjne testy sprawności; wskaźniki pracy i mocy mięśniowej; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań	101
Tab. 18. MANOVA; populacyjne i selekcyjne testy sprawności; wskaźniki pracy i mocy mięśniowej; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu	102
Tab. 19. Wysokość wysokości pionowego; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu	103
Tab. 20. Wysokość wysokości pionowego; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań	103
Tab. 21. MANOVA; wysokość wysokości pionowego; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu	104
Tab. 22. CMJ; wskaźniki czasu poszczególnych faz ruchu podczas wyskoku; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu	105
Tab. 23. CMJ; wskaźniki czasu poszczególnych faz ruchu podczas wyskoku; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań	105

Tab. 24. MANOVA; CMJ; wskaźniki czasu poszczególnych faz ruchu podczas wyskoku; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu	106
Tab. 25. Wyskok do ataku; wskaźniki czasu poszczególnych faz ruchu podczas wyskoku; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu	107
Tab. 26. Wyskok do ataku; wskaźniki czasu poszczególnych faz ruchu podczas wyskoku; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań	107
Tab. 27. MANOVA; wyskok do ataku; wskaźniki czasu poszczególnych faz ruchu podczas wyskoku; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu	108
Tab. 28. Test Georgescu wskaźniki czasu poszczególnych faz ruchu; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu	109
Tab. 29. Test Georgescu wskaźniki czasu poszczególnych faz ruchu; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań	109
Tab. 30. MANOVA; test Georgescu wskaźniki czasu poszczególnych faz ruchu; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu	110
Tab. 31. CMJ; praca i moc mięśniowa podczas wyskoku; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu	111
Tab. 32. CMJ; praca i moc mięśniowa podczas wyskoku; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań	112
Tab. 33. MANOVA; CMJ; praca i moc mięśniowa podczas wyskoku; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu	113
Tab. 34. Wyskok do ataku; praca i moc mięśniowa podczas wyskoku; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu	114
Tab. 35. Wyskok do ataku; praca i moc mięśniowa podczas wyskoku; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań	115
Tab. 36. MANOVA; wyskok do ataku; praca i moc mięśniowa podczas wyskoku; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu	116
Tab. 37. Test Georgescu; praca i moc mięśniowa podczas wyskoku; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu	117
Tab. 38. Test Georgescu; praca i moc mięśniowa podczas wyskoku; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań	117
Tab. 39. MANOVA; test Georgescu; praca i moc mięśniowa podczas wyskoku; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu	117
Tab. 40. Wskaźniki efektywności rozbiegu do ataku; różnica pomiędzy wyskokiem "do ataku" a CMJ; różnice liczebności postępu i ich braku; oszacowanie istotności proporcji testem dwumianowym oraz testem chi-kwadrat (χ^2),	118
Tab. 41. Wskaźnik efektywności rozbiegu do ataku; różnica pomiędzy wyskokiem do ataku a CMJ; podstawowe miary statystyki opisowej pomiarów w kolejnych etapach eksperymentu	119
Tab. 42. Wskaźnik efektywności rozbiegu do ataku; międzygrupowe i wewnątrzgrupowe różnice wyrażone w wartościach bezwzględnych i względnych (normowanie na 95% poziom ufności) oraz korelacyjny związek pomiarów w kolejnych etapach badań	119
Tab. 43. MANOVA; wskaźniki efektywności rozbiegu do ataku; analiza zmian w kolejnych etapach eksperymentu	120
Tab. 44. Szacowanie postępu w całym okresie badań na tle norm populacyjnych (Eurofit, za: Dobosz 2012) - średnie arytmetyczne pozycji wyników na skali centylowej w kolejnych badaniach	121
Tab. 45. Szacowanie postępu w całym okresie badań na tle norm sportowych (normy za: Spieszny 2011) - średnie arytmetyczne pozycji wyników na skali 10-punktowej w kolejnych badaniach	122
Tab. 46. Szacowanie postępu w całym okresie badań na tle norm sportowych PZPS (normy za: PZPS 2018) - średnie arytmetyczne pozycji wyników na skali 100-punktowej w kolejnych badaniach	122

Spis formuł

Formuła 1. Wysokość wyskoku w pomiarach szacowanych czasem lotu oraz czas lotu w pomiarach szacowanych odcinkiem (liczba pikseli) na stop-klatce filmowej.....	127
Formuła 2. Test serii podskoków (Georgescu 1969).....	127
Formuła 3. Moc całkowita podczas testu tapping piłką lekarską o masie 2 kg (Spieszny 2011).....	128
Formuła 4. Praca podczas skoku obunóż z miejsca w dal.....	128
Formuła 5. Moc podczas interwałowego biegu sprinterskiego 10 x 5m	129
Formuła 6. Współczynnik RSI (Reactive Strength Index) w testach wyskoku pionowego	129
Formuła 7. Praca i moc w testach wyskoków pionowych.....	130
Formuła 8. Wskaźniki unormowania różnic średnich arytmetycznych oraz standaryzacja wyników pomiarowych	130

STRESZCZENIE

Efekty kształtowania mocy mięśniowej kończyn dolnych u młodych siatkarzy i siatkarek w toku eksperymentalnego treningu skoczności o charakterze plyometrycznym

W sportowym szkoleniu dzieci i młodzieży olbrzymie znaczenie przypisuje się metodyce nauczania umiejętności specjalistycznych i metodyce kształtowania sprawności motorycznej. Poziom maksymalnej mocy mięśniowej jest fundamentem efektywności wielu elementów technicznych: wyskoki do zagrywki, ataku i bloku; uderzenie w piłkę oraz gwałtowne przyspieszenia i zmiany kierunku podczas przemieszczania się po boisku. Analiza biomechaniczna ruchu wskazuje, iż w takich ruchach mięśnie angażowane są w gwałtownym cyklu rozciągnięcie-skurcz – cyklu plyometrycznym. Zaleca się, aby ukierunkowane kształtowanie zdolności motorycznych – w tym mocy mięśniowej – rozpocząć już przed okresem pokwitania, co później podniesie pułap sprawności dorosłego sportowca. Uzasadnione jest więc, aby w tej fazie ontogenezy zaplanować odpowiedni, dostosowany do wieku trening mocy mięśniowej.

Celem pracy była ocena skuteczności autorskiego programu treningu plyometrycznego w kształtowaniu mocy mięśniowej kończyn dolnych u młodych siatkarek i siatkarzy.

Projekt przeprowadzono w dwóch etapach: dla chłopców w sezonie 2022/23, dla dziewcząt w sezonie 2023/24. Przeanalizowano wyniki pomiarów 16 dziewcząt w wieku 12-13 lat oraz 12 chłopców w wieku 14-15 lat. występujących Staż treningowy w obu grupach wynosił 2-3 lata.

Program szkoleniowy pierwszego, 8-tygodniowego cyklu standardowego obejmował 3 (chłopcy) lub 4 (dziewczeta) typowe, siatkarskie jednostki treningowe oraz dwie jednostki zajęć wychowania fizycznego o charakterze wszechstronnym. Bezpośrednio po cyklu standardowym zastosowano 8-tygodniowy cykl eksperymentalny o identycznej strukturze częstotliwości i głównych treści treningowych jak w cyklu pierwszym. W cyklu eksperymentalnym jednak, dwukrotnie w tygodniu - w ramach treningowych jednostek siatkarskich - uczestnicy wykonywali zaplanowane ćwiczenia plyometryczne. Objętość tych ćwiczeń była następująca: 140-160 podskoków i wyskoków jednonóż oraz obunóż w krótkich seriach (od 6 do 16 powtórzeń). Serie ćwiczeń plyometrycznych włączono do typowego toku zajęć – w końcowej części rozgrzewki oraz na początku części głównej – wykonywano je naprzemiennie z zadaniami doskonalącymi umiejętności techniczno-taktyczne. Jednocześnie intensywność zadań specjalistycznych – wykonywanych równolegle do ćwiczeń

plyometrycznych – obniżono, tak aby całkowite obciążenia wysiłkowe zachować na poziomie jak w standardowym cyklu treningowym.

Pomiary somatyczne i testy sprawnościowe wykonano w terminach umożliwiających ocenę postępów w każdym 8-tygodniowym cyklu treningowym. W celu oceny skuteczności treningu plyometrycznego porównano wielkość zmian wskaźników somatycznych i sprawnościowych, które wystąpiły w obu cyklach.

Zakres badań obejmował następujące pomiary i testy:

1. Pomiar podstawowych parametrów somatycznych.
2. Populacyjne testy sprawności motorycznej z baterii Eurofit: częstotliwość ruchów ramienia, interwałowy bieg sprinterski 10x 5 m, maksymalna liczba skłonów z siadu w czasie 30 s.
3. Selekcyjne testy sprawności dla młodych sportowców: tapping piłką lekarską o masie 2 kg rzut z za głowy z pozycji klęku obunóż, piłką lekarską o masie 1 kg.
4. Testy wyskoku pionowego:
 - wyskok pionowy z miejsca, z fazą zamachową ramion (CMJ) oraz wyskok pionowy po dwukrokovym rozbiegu ("do ataku"); wysokość wyskoku w obu testach oceniano dwoma metodami: 1) czasem fazy lotu 2) pionowym odcinkiem reprezentującym wysokość wyskoku na stopklatce filmowej; pomiary wykonano stosując zapis filmowy za pomocą kamery o wysokiej rozdzielczości obrazu i częstotliwości zapisu klatek filmowych;
 - test serii podskoków; podskoki wykonywano na połączonej z komputerem platformie tensometrycznej FitroJump

Do opracowania danych liczbowych zastosowano następujące metody statystyki matematycznej:

- podstawowe miary opisujące zmienność w zbiorach pomiarów, które posiadają typ ilościowy i normalny rozkład zmienności: średnią arytmetyczną, odchylenie standardowe, 95% przedział ufności średniej arytmetycznej, wyniki najmniejszy (min) i największy (max) oraz współczynnik zmienności;
- współczynnik korelacji liniowej Pearsona do oceny zależności pomiędzy wybranymi zmiennymi;
- test dwumianowy oraz test chi-kwadrat (χ^2) - do oceny różnic częstości występowania danych w poszczególnych kategoriach;
- wieloczynnikową analizę wariancji MANOVA dla badań powtarzanych, weryfikującą istotność różnic średnich arytmetycznych, uzupełnioną o analizę prawdopodobieństwa testami post-hoc;

– unormowane wskaźniki różnic średnich arytmetycznych, odnoszone do 95% przedziału ufności.

Na podstawie analizy wyników, sformułowano następujące spostrzeżenia i wnioski:

1. W obu grupach, korzystne zmiany wskaźników mocy mięśniowej kończyn dolnych były większe i bardziej systematyczne po cyklu eksperymentalnym niż po cyklu standardowym.
2. Przyrost mocy mięśniowej kończyn dolnych po cyklu eksperymentalnym był znacznie większy niż naturalny rozwój cech somatycznych oraz przyrost poziomu zdolności motorycznych, kształtowanych metodą standardową.
3. Postępy w testach skoczności odnotowane w toku eksperymentu były kilkukrotnie większe niż zmiany oczekiwane na podstawie norm populacyjnych i sportowych.
4. W toku 16-tygodniowego treningu, istotne zwiększenie poziomu mocy mięśniowej kończyn dolnych nie wpłynęło na efektywność rozbiegu do ataku.
5. Uzyskane wyniki wskazują, że usystematyzowany trening plyometryczny powinien uzupełniać proces szkolenia młodych siatkarek i siatkarzy.

Słowa kluczowe: piłka siatkowa, plyometria, moc mięśniowa kończyn dolnych, młodzież, wyskok, trening sportowy

SUMMARY

Effects of Lower-Limb Muscular Power Development in Young Male and Female Volleyball Players During Experimental Plyometric Jump Training

Introduction

In the sports training of children and adolescents, considerable importance is attached to the methodology of teaching sport-specific skills and to the development of motor fitness. The level of maximal muscular power constitutes a fundamental determinant of the effectiveness of many technical elements, including the jump serve, attack and block jumps, ball striking, as well as rapid accelerations and changes of direction while moving around the court. Biomechanical analysis of these movements indicates that the muscles involved are activated through a rapid stretch–shortening cycle (SSC), commonly referred to as the plyometric cycle. It is recommended that the targeted development of motor abilities, including muscular power, be initiated before puberty, as this may subsequently increase the performance potential of the adult athlete. It is therefore justified to implement an age-appropriate muscular power training programme during this stage of ontogenetic development.

The aim of the study was to evaluate the effectiveness of an original plyometric training programme in developing lower-limb muscular power in young female and male volleyball players.

Materials and methods

The study was conducted in two stages: the boys were examined during the 2022/23 season, whereas the girls were examined during the 2023/24 season. The analysis included measurements obtained from 16 girls aged 12–13 years and 12 boys aged 14–15 years. The training experience of participants in both groups was 2–3 years.

The training programme during the first, 8-week standard training cycle consisted of three (boys) or four (girls) typical volleyball training sessions per week and two general physical education sessions. Immediately following the standard cycle, an 8-week experimental cycle was implemented, with an identical training frequency and similar principal training content. During the experimental cycle, however, participants performed planned plyometric exercises twice per week as part of their volleyball training sessions. The volume of these exercises comprised 140–160 single- and double-leg jumps and hops performed in short sets of 6–16 repetitions.

The plyometric exercise sets were incorporated into the regular structure of the training sessions, being performed during the final part of the warm-up and at the beginning of the main

training component. They were alternated with exercises aimed at developing technical and tactical skills. At the same time, the intensity of the sport-specific exercises performed alongside the plyometric exercises was reduced so that the total training load was maintained at a level comparable to that of the standard training cycle.

Anthropometric measurements and physical fitness tests were conducted at time points that enabled the assessment of changes occurring during each 8-week training cycle. To evaluate the effectiveness of the plyometric training programme, the magnitude of changes in somatic and physical fitness variables occurring during the two training cycles was compared.

The study protocol included the following measurements and tests:

1. Measurement of basic somatic characteristics.
2. Population-based motor fitness tests from the Eurofit battery: upper-limb movement frequency; 10 × 5 m shuttle sprint; maximum number of sit-ups performed in 30 s.
3. Selection tests of physical fitness for young athletes: medicine-ball tapping; 2-kg medicine-ball overhead throw performed from a double-kneeling position; 1-kg medicine-ball throw.
4. Vertical jump tests:
 - countermovement jump (CMJ) performed from a standing position with an arm swing, and a vertical jump following a two-step approach (attack jump). Jump height in both tests was assessed using two methods: (1) flight time and (2) the vertical distance representing jump height measured from a video still frame. Measurements were performed using high-resolution video recording with a camera capable of recording at a high frame rate;
 - repeated-jump test: repeated jumps were performed on a computer-connected tensometric force platform (FitroJump).

The following methods of mathematical statistics were used to analyse the numerical data:

- basic descriptive statistics for quantitative variables with an approximately normal distribution, including the arithmetic mean, standard deviation, 95% confidence interval (CI) for the arithmetic mean, minimum (min) and maximum (max) values, and coefficient of variation;
- Pearson's linear correlation coefficient to assess relationships between selected variables;
- the binomial test and chi-square test (χ^2) to assess differences in the frequency of observations across individual categories;
- multivariate analysis of variance (MANOVA) for repeated measures to assess the statistical significance of differences between arithmetic means, supplemented by post hoc analyses of statistical significance;

- standardized indices of differences between arithmetic means, referenced to the 95% confidence interval.

Conclusions

1. In both groups, favourable changes in lower-limb muscular power were greater and more systematic following the experimental cycle than following the standard cycle.
2. The increase in lower-limb muscular power following the experimental cycle was substantially greater than the natural development of somatic characteristics and the improvement in motor abilities achieved through standard training methods.
3. Improvements in the jumping tests observed during the experiment were several times greater than the changes expected on the basis of population-based and sport-specific normative values.
4. During the 16-week training period, the significant increase in lower-limb muscular power did not result in improved effectiveness of the approach run for the attack jump.
5. The results indicate that systematic plyometric training should complement the training process of young female and male volleyball players.

Key words: volleyball, plyometrics, lower-limb muscle power, youth, jump, sports training