

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO
W POZNANIU

Mariusz Kuberski

**WPLYW TRENINGU PLYWACKIEGO
NA WYBRANE ZMIENNE SOMATYCZNE,
FIZJOLOGICZNE I MOTORYCZNE ORAZ ICH
WSPOLZALEZNOŚĆ Z WYNIKIEM SPORTOWYM
U CHŁOPCÓW W WIEKU 10–12 LAT**

Rozprawa doktorska

Poznań 2020

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP.....	6
1.1. Definicja ontogenezy oraz etapy rozwoju człowieka.....	7
1.2. Rozwój zmiennych somatycznych w poszczególnych okresach rozwojowych	9
1.3. Charakterystyka wybranych zmiennych fizjologicznych z wiekiem.....	11
1.4. Rozwój zdolności motorycznych z wiekiem.....	12
1.5. Wpływ systematycznego wysiłku na organizm człowieka	14
1.6. Specyfika treningu fizycznego u młodocianych sportowców.....	16
1.7. Problem badawczy w świetle piśmiennictwa.....	18
2. CEL PRACY	21
2.1. Problemy badawcze	22
3. MATERIAŁ I METODY	23
3.1. Badane osoby	23
3.2. Protokół badań	24
3.3. Charakterystyka zastosowanego treningu pływackiego.....	29
3.4. Metody statystyczne.....	30
4. WYNIKI BADAŃ	32
4.1. Ogólna charakterystyka badanych osób.....	32
4.2. Porównanie zmian dotyczących cech somatycznych w grupie eksperymentalnej i w grupie kontrolnej.....	34
4.3. Porównanie zmian dotyczących wydolności tlenowej i beztlenowej w grupie eksperymentalnej i w grupie kontrolnej	44
4.4. Porównanie zmian dotyczących rozwoju i czynności układu oddechowego w grupie eksperymentalnej i w grupie kontrolnej	46
4.5. Porównanie zmian dotyczących zdolności motorycznych w grupie eksperymentalnej i grupie kontrolnej	49
4.6. Wyniki sportowe w pływaniu a wybrane zmienne somatyczne, motoryczne i fizjologiczne grupy eksperymentalnej.....	52
5. DYSKUSJA	59
5.1. Porównanie grupy eksperymentalnej i grupy kontrolnej pod względem badanych zmiennych.....	59
5.2. Współzależność badanych zmiennych z wynikiem sportowym	64

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI	68
7. BIBLIOGRAFIA.....	70

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH SKRÓTÓW

a. wykaz skrótów

B – współczynnik regresji

β – standaryzowany współczynnik regresji

CO – objętość minutowa serca

FEV1 – zwiększona natężona 1-sekundowa objętość wydechowa

FF – szybko kurczące się miocyty typu II X

FR – szybko kurczące się miocyty typu II A

FVC – zwiększona natężona pojemność życiowa płuc

HR – częstość skurczów serca

IQR – rozstęp ćwiartkowy

Log₁₀ – logarytm dziesiętny

M – mediana

MPA – maksymalna praca anaerobowa

p – poziom istotności

r – współczynnik korelacji Pearsona

R² – współczynnik determinacji

S – wolno kurczące się miocyty czerwone typu I

SD – odchylenie standardowe

SE – błąd standardowy

SEE – zmienność wewnątrzgrupowa

SV – objętość wyrzutowa serca

VC – pojemność życiowa płuc

V_E – wentylacja minutowa płuc

ḂO_{2max} – maksymalny pobór tlenu

W_{SDB} – wskaźnik stanu dojrzałości biologicznej

X_{ich} – wiek kalendarzowy osobnika w momencie badania

X_{ij} – wiek rozwojowy osobnika wyznaczony za pomocą wybranego kryterium

b. definicja punktów antropometrycznych (Drozdowski 2002)

a-a – szerokość barków mierzona od punktów położonych najwyżej i najbardziej bocznie na wyrostku barkowym łopatki

a-da – długość kończyny górnej mierzona od punktu położonego najwyżej i najbardziej bocznie na wyrostku barkowym łopatki do punktu położonego na końcu opuszki trzeciego palca ręki

a-r – długość ramienia mierzona od punktów położonych najwyżej i najbardziej bocznie na wyrostku barkowym łopatki do punktu położonego najwyżej i najbardziej bocznie na górnej krawędzi głowy kości promieniowej

B-sy – długość kończyny dolnej mierzony od punktu położonego w płaszczyźnie poziomej, na której usytuowany jest badany w pozycji stojącej do punktu położonego najbardziej bocznie na grzebieniu kości biodrowej

B-v – wysokość ciała mierzona od szczytu głowy do płaszczyzny podeszwowej stóp ustawionych prostopadle do podłoża

cm-cl – szerokość łokcia mierzona od punktu położonego najbardziej bocznie na nadkłykcium przyśrodkowym kości ramiennej do punktu położonego najbardziej bocznie na nadkłykcium bocznym kości ramiennej

epl-epm – szerokość kolana mierzona od punktu położonego najbardziej bocznie na nadkłykcium przyśrodkowym kości udowej do punktu położonego najbardziej bocznie na nadkłykcium bocznym kości udowej

eu-eu – szerokość głowy mierzona od punktów najbardziej wysuniętych na bokach na poprzecznej przekątnej czaszki

g-op – długość głowy mierzona od punktu najbardziej wysuniętego na kości czołowej do punktu położonego na kości potylicznej w płaszczyźnie pośrodkowej

ic-ic – szerokość bioder mierzona na szczytach krętarza większego kości udowej

mtt-mtf – szerokość stopy mierzona od punktu położonego najbardziej bocznie na głowie pierwszej kości śródstopia do punktu położonego najbardziej bocznie na głowie piątej kości śródstopia

mu-mr – szerokość ręki mierzona od punktu położonego najbardziej bocznie na głowie drugiej kości śródreęcza do punktu położonego najbardziej bocznie na głowie piątej kości śródreęcza

pte-ap – długość stopy mierzona od punktu położonego na opuszce najdłuższego palca stopy ku przodowi do punktu położonego na guzie piętowym kości piętowej najdalej ku tyłowi

r-sty – długość przedramienia mierzona od punktu położonego najwyżej i najbardziej bocznie na górnej krawędzi głowy kości promieniowej do punktu położonego najwyżej na szczycie wyrostka rylcowatego kości promieniowej

sty-da – długość ręki mierzona od punktu położonego najwyżej i najbardziej bocznie na wyrostku barkowym łopatki do punktu położonego na końcu opuszki trzeciego palca ręki

sy-ti – długość uda mierzona od punktu położonego najbardziej bocznie na grzebieniu kości biodrowej do punktu położonego najwyżej na brzegu przyśrodkowym nasady bliższej kości piszczelowej

ti-sph – długość podudzia mierzona od punktu położonego najwyżej na brzegu przyśrodkowym nasady bliższej kości piszczelowej do punktu położonego najniżej na kości przyśrodkowej kości piszczelowej

tkl-thl – szerokość klatki piersiowej mierzona od punktów położonych najbardziej bocznie na łukach żebrowych w linii pachowej

xi-ths – głębokość klatki piersiowej mierzona od punktu położonego na powierzchni przedniej mostka, w miejscu połączenia trzonu mostka z wyrostkiem mieczykowatym w linii środkowej ciała do punktu położonego na wyrostku kolczystym kręgu pierwszego w linii środkowej ciała

1. WSTĘP

Twierdzenie o pozytywnym wpływie uprawiania sportu pływackiego na organizm człowieka jest powszechnie znane – wiele ćwiczeń korygujących wady postawy wykonuje się w wodzie, również i walka z otyłością w środowisku wodnym odbywać się może bez nadmiernego obciążenia i ryzyka wystąpienia urazu. Powstawanie nowych obiektów z pływalniami i szerokim zapleczem rekreacyjnym, a także mnogość ofert ukierunkowanych na rekreację w wodzie sprzyja rozwojowi sportu pływackiego.

Systematyczny wzrost wyników sportowych zmusza trenerów oraz zawodników, chcących sprostać współzawodnictwu światowemu, do poszukiwania coraz to nowszych rozwiązań treningowych. Zjawisko to obserwowane jest na każdym etapie szkolenia sportowego. Presja osiągnięcia wyniku na poziomie zawodów międzynarodowych, narodowych jak i lokalnych jest tak duża, że w obliczu alternatywy między rozsądnie dobraćanymi metodami treningowymi, a zwiększaniem kilometrażu podczas jednostek treningowych, częściej wybiera się jednak wzrost przepływanych kilometrów. Nadmierna eksploatacja biologicznej siły dzieci (w skrajnych przypadkach) może jednak doprowadzić do zmian tempa dojrzewania płciowego, a także do zahamowania rozwoju sportowego. Poszukiwanie coraz to nowszych metod treningowych, znajomość wpływu poszczególnych składowych na wynik pływacki w konkretnym stylu i na konkretnym dystansie wydaje się odpowiednią drogą, by zwiększyć możliwość osiągnięcia lepszych wyników nie zaburzając przy tym naturalnego rozwoju biologicznego dziecka.

Obrany temat badań dotyczący porównania grupy trenującej pływanie oraz grupy nietrenującej związany jest zarówno z moimi zainteresowaniami jak i wykonywaną pracą z dziećmi w roli trenera pływania. Uzyskane wyniki mogą wskazać, na jakie zmienne – somatyczne, motoryczne oraz fizjologiczne – uprawianie pływania wpływa w największym stopniu. Wiedza ta może pomóc trenerom oraz nauczycielom pływania zarówno w wyborze kandydatów na profesjonalnych zawodników jak i podczas planowania oraz prowadzenia wieloletniego procesu treningowego.

1.1. Definicja ontogenezy oraz etapy rozwoju człowieka

Pod pojęciem ontogenezy (rozwój osobniczy) rozumiemy określony proces zmian, jakim podlega materia, prowadzący do powstawania ciągle nowych form, a ponieważ nie stwierdzamy powrotu do stanu wyjściowego, możemy z tym pojęciem łączyć stały postęp (Drozdowski 2002). W przypadku rozwoju osobniczego człowieka, pojęcie rozwoju rozumiane jest jako proces uporządkowania wzrostu i różnicowania, będący wynikiem genomu, cytoplazmy, środowiska wewnętrznego i zewnętrznego (Rieger i wsp. 1974). W takim rozumieniu rozwoju wyróżniamy cztery procesy: 1) replikacja genetyczna tzn. podwojenie się zawartej w chromosomach informacji genetycznej w trakcie mitozy, 2) wzrost, czyli powiększenie się masy ciała, 3) różnicowanie komórek pod względem struktury i funkcji, 4) histo i organogeneza, czyli proces tworzenia tkanek. Używając określenia „ontogenetyczny rozwój” mamy na myśli zespół procesów kierowanych, nieodwracalnych, powiązanych wzajemnie ze sobą, kształtujących organizm osobnika od zapłodnienia aż do śmierci (Drozdowski 2002; Stanula 2005). Proces ten może być ujmowany w różnych aspektach np. biologicznym, społecznym czy psychicznym. Istotą ontogenezy jest doskonalenie ustroju prowadzące do jego samodzielności i możliwości przedłużenia istnienia gatunku (Wolański 2012). Ontogeneza człowieka jest procesem całościowym, prowadzącym do ukształtowania osobnika, którego cechy są ze sobą powiązane. Pojęcie rozwoju fizycznego z kolei dotyczy procesów biologicznych, świadomie pomijając strefę tzw. życia psychicznego człowieka (Wolański 2012).

Cykl ludzkiego życia można podzielić na dwie podstawowe fazy: embrionalną – trwającą od zapłodnienia do urodzenia osobnika oraz postembrionalną – trwającą od urodzenia osobnika do śmierci (Drozdowski 2002). Dla szeroko rozumianej kultury fizycznej istotną rolę odgrywa druga z wymienionych faz.

Istnieje wiele podziałów okresów rozwoju osobniczego człowieka. Żebrowska (1977) wyróżniła: okres niemowlęcy (pierwszy rok życia), wiek poniemowlęcy (od 1 do 3 lat), wiek przedszkolny (od 3 do 7 lat), młodszy wiek szkolny (od 7 do 11–12 lat), wiek dorastania (od 12–13 do 17–18 lat). Wolański (2012) wyróżnił nieco inne etapy rozwoju, mianowicie: etap rozwoju śródmacicznego, etap postnatalnego rozwoju progresywnego, etap równowagi (człowiek dorosły), etap zmian inwolucyjnych (starość). Etap postnatalny rozwoju progresywnego można podzielić na dwie fazy: fazę bierności

(wczesne niemowlęstwo) oraz fazę ekspansji, w skład której wchodzi: niemowlęstwo, okres dzieciństwa, okres młodociany oraz okres młodzieńczy (Wolański 2012).

Okres niemowlęcy trwa od ok. 5 miesiąca życia do wieku 2,5–3 lat. W tym czasie występuje bardzo dynamiczny proces wzrastania. Pod koniec 3 roku życia dziecko osiąga 24–26% masy ciała (przyrost o 20% wielkości właściwej dorosłemu), ok. 33% powierzchni ciała (przyrost o 17%), 54–57% wysokości ciała (przyrost o 26%), 64–66% obwodu klatki piersiowej (przyrost o 26%) oraz ok. 90% obwodu głowy (przyrost o 26%) (Wolański 2012). W okresie tym obserwujemy szybki wzrost masy mięśniowej, a także tkanki tłuszczowej. Pod koniec tego etapu stwierdza się syntezę własnego hormonu wzrostu, który stymuluje proces wzrastania. Szczególnie szybko zaczynają rosnać kończyny, w wyniku czego ulegają zmianie proporcje ciała – dziecko staje się bardziej długokończynowe (Drozdowski 2002).

Etap życia dziecka rozpoczynający się od 3 roku życia i trwający do 6–7 roku życia nazywany jest okresem dzieciństwa lub wczesnym dzieciństwem (Wolański 2012). Czas ten charakteryzuje się zwolnieniem tempa rozwoju i powiększania masy ciała oraz postępującymi procesami dojrzewania wielu układów. Rozwojowi podlegają mięśnie szkieletowe, co daje możliwość lepszej koordynacji ruchowej (dziecko swobodnie operuje swoim ciałem, precyzja ruchów także jest większa). Okres pomiędzy 4–5 rokiem życia nazywany jest przez specjalistów „złotym wiekiem rozwoju motoryczności” (Ostrowski 2010). Na początku 4 roku życia przyrosty wysokości ciała są jeszcze większe od przyrostów masy, jednak pod koniec zachodzi stosunek odwrotny. Ilość podskórnej tkanki tłuszczowej jest niewielka, następuje jej spadek do ok. 5 roku życia. Widoczny jest dalej szybki rozwój kończyn dolnych, które pod koniec tej fazy przekraczają swą długością połowę wysokości ciała, co przyczynia się do bardziej smukłej sylwetki.

W okresie młodocianym (przedpokwitaniowym) (rozpoczyna się ok. 7–9 roku życia średnio nieco wcześniej u dziewcząt niż u chłopców) następuje pewne zwolnienie procesów rozwojowych, w szczególności przyrost wielkości ciała i obwodu głowy, które osiągają wartości zbliżone do ostatecznej. Zacierają się różnice czynnościowe wielu układów w stosunku do dorosłych, wzrasta sprawność ruchowa, siła mięśni oraz sprawność ustroju. Organizm koncentruje się na innych procesach takich jak dojrzewanie płciowe i zdolność do rozrodu. Jest to okres względnie krótki, trwający około 4 lat. W okresie młodocianym występują wyraźne zmiany w budowie ciała, między innymi przekształcenie klatki piersiowej. Z jednej strony jest to związane z wydzielaniem hormonów, z drugiej ze zmianą trybu życia. Są to zazwyczaj połączone procesy. Stan

przedpokwitaniowy ma przebieg trudno dostrzegalny, który rozpoczyna się ok. 7–9 roku życia. Następuje on pod wpływem aktywności hormonalnej nadnerczy, co powoduje rozwój kośćca oraz odkładanie się tkanki tłuszczowej.

Okolo 10 roku życia u dziewcząt i 11 u chłopców rozpoczyna się okres młodzieńczy (pokwitania). Dokładny wiek, w którym to następuje, jest wartością indywidualną dziecka zależną od genetycznego uwarunkowania tempa jego rozwoju, jak i wpływu środowiska oraz trybu życia. Zmienność wieku kalendarzowego wchodzenia w okres pokwitania wynosi u dziewcząt od 8 do 15 lat, u chłopców według wieku kostnego od 12 lat do 13,5 roku, podczas gdy według wieku kalendarzowego od 10 do 17 lat (Wolański 2012). Okres pokwitania charakteryzuje się szczególnie intensywnym rozwojem aparatu rozrodczego. Proces ten ma swój początek już w okresie młodocianym, stąd nazywany jest także okresem przedpokwitaniowym. Przejście od okresu przedpokwitaniowego do pokwitania objawia się wzrostem stężenia hormonów gonadotropowych i płciowych. Pokwitanie właściwe następuje w kolejnym okresie, z czym wiąże się proces dorastania (Mrozkowiak i Połuszyński 2015). U dziewcząt pierwsze zewnętrzne objawy pokwitania to rozwój gruczołów sutkowych ok. 10,5 roku życia (zróżnicowanie indywidualne 9–13 lat) oraz odkładanie się tkanki tłuszczowej na piersiach, pośladkach i udach. U chłopców natomiast pierwszymi objawami zewnętrznymi pokwitania są powiększenie jąder ok. 11,5 roku życia (szybki rozwój przypada na wiek 12–16 lat), a okolo pół roku później obserwuje się początek rozwoju owłosienia łonowego (zróżnicowanie od 10,5 do 14,5) a następnie prącia (Wolański 2012).

1.2. Rozwój zmiennych somatycznych w poszczególnych okresach rozwojowych

W okresie niemowlęcym dynamicznie przebiega proces rozwoju fizycznego: zwiększa się masa i długość ciała oraz obwód głowy i klatki piersiowej. Powiększenie masy ciała odbywa się przede wszystkim przez wzrost tkanki tłuszczowej, a w dalszej kolejności przez wzrost masy mięśniowej i kośćca. Innym przejawem rozwoju cech somatycznych w tym okresie są zmiany proporcji ciała, m.in. zwiększenie obwodu klatki piersiowej w stosunku do obwodu głowy (Skibińska i wsp. 1988; Stanula i wsp. 2005).

Podczas okresu dzieciństwa zmianie ulega układ kostny. Zwiększają się wymiary głowy, tułowia i kończyn. W okresie tym dalszemu rozwojowi podlega kośćciec i części twarzowe głowy (Łasiński 1991; Drozdowski 2002). Klatka piersiowa w bardzo szybkim tempie ulega spłaszczeniu, a w wieku 3–6 lat w przekroju strzałkowym charakteryzuje ją duże nachylenie odcinka piersiowego kręgosłupa. Następuje również rozrost miednicy w szerz, natomiast stopa jest szeroka, niska, średnio wysklepiona, a tempo jej rozrostu jest bardzo szybkie.

Zmienne somatyczne ulegają największym zmianom w okresie dojrzewania. Następuje wtedy dynamiczny przyrost wysokości ciała, co wskazuje na zakończenie okresu przedpokwitaniowego i rozpoczęcie okresu pokwitaniowego. Wiek rozpoczęcia pokwitania jest bardzo różny u dzieci. Zależy on m.in. od czynników genetycznych, środowiskowych, a także od tempa rozwoju w pierwszej dekadzie życia. W okresie dojrzewania każda cecha somatyczna wskazuje na intensywne wzrastanie. Szczyt wzrastania najwcześniej osiąga kończyna dolna, w ciągu kolejnych 4 miesięcy – biodra (szerokość) oraz klatka piersiowa (szerokość). U chłopców dodatkowo w tym czasie wzrasta szerokość barków. W kończynie dolnej najwcześniej rośnie stopa, a następnie udo. Kończyny dolne jako pierwsze przestają wzrastać ze wszystkich wymiarów długościowych. Po szczycie wzrastania kończyn dolnych następuje wzrastanie długości tułowia, a w wyniku wzrastania zarówno długości kończyny dolnej jak i długości tułowia, obserwuje się szczyt wzrastania wysokości ciała. Pół roku po szczycie wzrastania wysokości ciała następuje pokwitaniowy szczyt wzrostu masy ciała, która zwiększa się do czwartej dekady życia, co mocno związane jest z narastaniem tkanki tłuszczowej. Dopiero w okresie starczym masa ciała zmniejsza się głównie w wyniku stopniowo postępującego odwodnienia organizmu, zmniejszenia zawartości tkanki tłuszczowej oraz zaniku tkanki mięśniowej (Stanula i wsp. 2005).

W okresie dojrzewania wzrastają również wymiary głowy, w tym twarzy (długość szczęki i żuchwy, długość nosa). Rozwój tkanki miękkiej powoduje zmiany w wyrazie twarzy (Piechaczek i wsp. 2000).

Zmiany można zaobserwować w kształtowaniu podskórnej tkanki tłuszczowej. Grubość fałdów skórno-tłuszczowych u dziewcząt od około 8 roku życia wykazuje tendencję do powiększania się, a u chłopców (zwłaszcza na kończynach) do zmniejszania się. U chłopców około 2 lata przed okresem pokwitania obserwuje się zwiększenie grubości podskórnej tkanki tłuszczowej. W momencie gwałtownego wzrostu wysokości

ciała następuje utrata bądź utrzymanie przyrostu tkanki tłuszczowej, głównie na kończynach (Piechaczek i wsp. 2000).

1.3. Charakterystyka wybranych zmiennych fizjologicznych z wiekiem

Zmiana wydolności tlenowej ściśle związana jest ze stopniem dojrzałości płciowej, a dokładniej ze skutkiem wydzielania hormonu wzrostu i testosteronu. U chłopców wydolność tlenowa zwiększa się wraz z wiekiem do około 18–20 roku życia, natomiast u dziewcząt do 15–16 roku życia. Wartość maksymalnego pobierania tlenu ($\dot{V}O_2\text{max}$) przeliczona na kg masy ciała zmniejsza się już w połowie drugiej dekady życia (Cempla 1990; Kozłowski i Nazar 1995). Najszybszy przyrost $\dot{V}O_2\text{max}$ u chłopców stwierdza się w okresie szczytu szybkości wzrastania wysokości ciała. Po tym też okresie wyraźnie pogłębiają się różnice w $\dot{V}O_2\text{max}$ między chłopcami o różnym poziomie aktywności ruchowej. W przypadku dziewcząt osiągają one największy poziom maksymalnego pobierania tlenu w okresie 2–2,5 lat po pierwszej miesiączce (Mahon i Vaccaro 1989; Groot i wsp 2017). Osobnicza zmienność poziomu wydolności tlenowej uzależniona jest od wielu czynników takich jak: czynniki genetyczne, różnice w budowie i rozmiarach ciała, tempo wzrastania i dojrzewania, a także poziom aktywności ruchowej (Kozłowski i Nazar 1995).

Rozwijanie mocy beztlenowej u dzieci ze względu na mniejszą masę ciała jest ograniczona – dopiero po okresie dojrzewania zwiększa się sprawność glikolizy oraz możliwość znacznego zwiększenia poziomu mleczanu we krwi podczas wysiłku fizycznego (Drabik 1989; Waśkiewicz 2002). Również tzw. moc szczytowa podczas krótkich supramaksymalnych wysiłków jest mniejsza u dzieci niż u dorosłych. W wieku 10 lat maksymalna moc sięga około 30%, a wyrażona na kg masy ciała około 60% w porównaniu z osobami dorosłymi. Z wiekiem dzieci są w stanie rozwijać coraz większą moc, głównie ze względu na przyrost masy mięśniowej, zwłaszcza mięśni pracujących kończyn. Wartości maksymalnej mocy wykazują stały wzrost, aż do okresu dojrzewania (Górski 2008). U dziewcząt pełny rozwój mocy fosfagenowej jest osiągany około 16 roku życia, natomiast u chłopców około 19 roku życia. W okresie dojrzewania wyraźnie uwidaczniają się różnice w poziomie wydolności beztlenowej między dziewczętami a chłopcami. Najistotniejszym czynnikiem różnicującym jest tu powiększanie się masy

mięśniowej u chłopców w stosunku do dziewcząt. Zwiększenie różnic na korzyść chłopców jest spowodowana głównie hormonem wzrostu, ale także i lepszą koordynacją nerwowo – mięśniową (Kozłowski i wsp. 1995).

Liczba i wielkość pęcherzyków płucnych zwiększa się bardzo szybko w ciągu pierwszych 2 lat życia, później tworzenie nowych jednostek płucnych stopniowo słabnie i dopiero w okresie dojrzewania płciowego następuje ponowny dynamiczny wzrost płuc (liczba pierwotnych pęcherzyków u noworodka wynosi ok. 20 mln, liczba pęcherzyków płucnych w 8 r. życia to ok. 300 mln). Obecnie uważa się, że tkanka płucna jest zdolna do regeneracji przez cały okres wzrastania dziecka (Konturek 2001). Pojemność i objętość płuc wzrastają aż do ukończenia okresu dojrzewania wraz ze zwiększającymi się rozmiarami ciała. Pojemność życiowa płuc do zakończenia dojrzewania zwiększa się od 1000 do 3000 ml, a całkowita ich pojemność od 1400 do 4500 ml (Traczyk i Trzebski 1990; Jaskólski i Jaskólska 2006). Z wiekiem zmniejsza się procentowy udział objętości oddechowej w pojemności życiowej płuc i około 10 roku życia wynosi około 23%, natomiast u osób w 18 roku życia już zaledwie 13%. Dodatkowo zmniejsza się też spoczynkowa częstość oddechu, od 24/min u 6-latków do 16/min u 17-latków. Zmiany wskaźników oddechowych zarówno u dziewcząt jak i chłopców przebiegają podobnie, aczkolwiek wpływ mogą mieć na nie parametry rozmiaru ciała, które zazwyczaj są mniejsze u dziewcząt. Z wiekiem dynamicznie wzrasta spoczynkowa wentylacja minutowa. Przyrost ten spowodowany jest zmniejszeniem częstości oddechów i zwiększeniem objętości oddechowych. Podobnie przebiegają zmiany u dziewcząt, jednak uzyskiwane wartości są niższe. W porównaniu z osobami dorosłymi, praca oddechowa podczas wysiłku jest większa u dzieci (Konturek 2001).

1.4. Rozwój zdolności motorycznych z wiekiem

Rozwój zdolności motorycznych uwarunkowany jest prawidłową budową i czynnością układu ruchu oraz sterującym wpływem układu nerwowego. Główną rolę stanowi tutaj prawidłowa budowa i czynność układu kostno – stawowego i mięśniowego, kręgosłupa, tułowia i kończyn – zwłaszcza stóp. Przebieg rozwoju motorycznego uwarunkowany jest również czynnikiem genetycznym oraz wpływem środowiska zewnętrznego (Raczek i Młynarski 1992; Sankowski 1992). Wiek 9–12 lat określany jest

jako optymalny do kształtowania sprawności motorycznej, szczególnie szybkości, zwinności i mocy. Jest to również czas pełnej harmonii, co prowadzi do zwiększenia dokładności ruchów i dobrej ich koordynacji. W okresie pokwitania odbywa się również dalszy rozwój siły, który kontynuowany jest podczas dorastania. Okres pokwitania charakteryzuje się chwilowym pogorszeniem sprawności motorycznej, ale około 13–15 roku życia następuje powrót do wysokiej sprawności organizmu. W tym czasie (13–15 rok życia) kształtuje się odmienny dla chłopców i dziewcząt sposób chodzenia oraz odmienne aspekty motoryczności (Drabik i Harsanyi 1990; Waade i Przybylski 1999). U chłopców wzrasta przewaga ruchów siłowo–wytrzymałościowych, natomiast u dziewcząt ruchy stają się bardziej płynne i rytmiczne. Duża dynamika przemian budowy ciała powoduje, że z czasem kształtują się indywidualne właściwości motoryczne i pewne „stereotypy” ruchowe, które będą charakteryzowały osobnika w dorosłym życiu. Zwinność oraz szybkość rozwija się intensywnie około 1,5 roku przed okresem pokwitaniowym, natomiast siła i wytrzymałość po okresie pokwitaniowym (u chłopców przyrasta o ok. 54%, u dziewcząt o 40 %).

Rozwój siły mięśniowej kształtuje się wraz z rozwojem osobniczym. Antropolodzy wskazują, że wyraźne przyspieszenie rozwoju siły występuje w okresie dojrzewania. Największy jej „skok” przypada najczęściej w 9–12 miesięcy po osiągnięciu szczytowego tempa przyrostu masy ciała (Ulatowski 1992). W wyżej wymienionym przedziale wiekowym nie odnotowuje się dużego zróżnicowania względem płci. U chłopców zwiększenie tempa przyrostu siły przypada na 13–14 rok życia. Związane jest to z okresem pokwitania i ze zwiększeniem aktywności męskich hormonów płciowych. U dziewcząt w tym przedziale wiekowym obserwuje się już stabilizację poziomu siły mięśniowej, a niekiedy nawet jej regres. Prawdopodobną przyczyną stagnacji rozwoju siły u dziewcząt w wieku 13–14 lat jest wygasanie chęci podnoszenia własnej sprawności i zmniejszanie aktywności ruchowej (Rostkowska 2003; Pietrusik 1981). U chłopców wzrost siły mięśniowej występuje do 19 roku życia, a zaczyna systematycznie obniżać się już od około 30 roku życia (Ulatowski 1992).

Rozwój szybkości ściśle powiązany jest z rozwojem osobniczym człowieka. W wieku 7–12 lat dzieci przejawiają duże predyspozycje szybkościowe. Doskonali się w tym okresie ich system nerwowy, mięśnie ulepszają powiększeniu, poprawie ulegają też predyspozycje koordynacyjne. W kolejnych etapach rozwoju (12–14 lat) obserwujemy dalszy rozwój mięśni, przy czym nie jest on równomierny dla wszystkich

układów, co może zaburzać koordynację ruchową. W okresie 14–18 lat doskonalą się funkcje układu nerwowego oraz układu mięśniowego.

Wytrzymałość wzrasta wyraźnie w okresie szkolnym osiągając najwyższy poziom w różnym wieku u obu płci. Przebieg wzrostu wytrzymałości ogólnej zbliżony jest u chłopców i dziewcząt do około 12–14 roku życia (Ulatowski 1992). W późniejszym okresie wyraźnie można zaobserwować różnice zmian tej cechy pomiędzy chłopcami a dziewczętami. Największy przyrost tej cechy obserwuje się pomiędzy 8 a 12 rokiem życia u chłopców, u dziewcząt z kolei największy przyrost odnotowuje się między 8 a 11 rokiem życia. Po tym okresie następuje stagnacja lub nawet regres poziomu wytrzymałości (Paradowski 1991). Dynamika zmian wytrzymałości wskazuje, że w ontogenezie największy przyrost tej cechy występuje w okresie młodszego i średniego wieku szkolnego. Szopa (1989) zauważył, że predyspozycje te wynikają ze wzrastającej wydajności funkcji energetycznych oraz wzmocnienia układu ruchu, co sprzyja utworzeniu warunków do ekonomizacji pracy.

Poziom koordynacji w głównej mierze uzależniony jest od sprawności układu nerwowego. Krytyczny okres kształtowania się koordynacji ruchowej u dzieci przypada na wiek 8–12 lat (Bishop i Pangelinan 2018). Dziewczęta nieuprawiające sportu, najwyższy poziom koordynacji osiągają w wieku 12–14 lat, a chłopcy w wieku 15–17 lat. W kolejnych latach, jeśli zdolność ta nie jest stymulowana przez trening, ulega zmniejszeniu. W okresie pokwitania badania nad zmianami koordynacji ruchowej są utrudnione. Jest ona bowiem w bardzo dużym stopniu uzależniona od sprawności układu nerwowego (Vaz i wsp. 2016). Istotną rolę w opanowywaniu nowych ruchów odgrywa odpowiedni rozwój analizatora ruchowego, który to dostarcza zawodnikowi informacji o położeniu poszczególnych części ciała i stosunków napięć mięśniowych (Paradowski 1991).

1.5. Wpływ systematycznego wysiłku na organizm człowieka

Systematycznie wykonywany wysiłek fizyczny wpływa na poszczególne układy organizmu człowieka, m.in. na układ ruchu, układ krwionośny czy układ oddechowy, a co za tym idzie – powoduje poprawę funkcjonowania wielu narządów wewnętrznych organizmu człowieka (Jaskólski i Jaskólska 2006). Zmiany w funkcjonowaniu organizmu

poddanemu określonej wysiłkowi fizycznemu (zarówno statycznemu jak i dynamicznemu) określane są poprzez zastosowanie diagnostyki medycznej, praw fizycznych oraz diagnostyki sportowej (Wojtasik i wsp. 2015). Podział wysiłku fizycznego uzależniony jest od wielu kategorii takich jak długość, intensywność oraz charakter zmian, jakie zachodzą w poszczególnych układach pod wpływem aktywności ruchowej.

Systematyczny wysiłek fizyczny przyspiesza zmianę tkanki chrzęstnej w kostną, wspomagając w ten sposób proces wzrostu. Tkanka kostna szkieletu staje się stabilniejsza i odporniejsza na urazy, korygując również wady postawy (Wojtasik i wsp. 2015). Regularny wysiłek wpływa korzystnie także na stopień mineralizacji kości. Mówi się o hipertrofii kości. Systematyczny wysiłek fizyczny oddziałuje również na tkankę mięśniową, która posiada zdolność dostosowania się do różnego stopnia obciążenia wysiłkiem fizycznym. Pod wpływem treningu dochodzi do zmian cech skurczu, jak i cech biochemicznych tkanki mięśniowej w takim kierunku, by aktualnie wykonywana przez mięśnie praca była optymalna (Górski 2008). Trening wytrzymałościowy będzie wprowadzał zmiany w czynności tkanki mięśniowej, które będą umożliwiały jej optymalną pracę w dłuższym czasie, ale negatywnie wpłynę na możliwości wykonywania intensywnego wysiłku (Konturek 2001). Najistotniejszym jest określenie takich parametrów, jak poziom siły rozwijanych skurczów, czas trwania wysiłku, jego częstotliwość oraz rodzaj skurczów. W słabych skurczach biorą udział głównie jednostki typu S (wolno kurczące się miocyty czerwone typu I), w miarę wzrostu siły skurczu dołączają się początkowo jednostki typu FR (szybko kurczące się miocyty typu II A), a w bardzo silnych skurczach także FF (szybko kurczące się miocyty typu II X). Podczas wysiłków o niskim poziomie intensywności siła skurczu pobudza zmiany adaptacyjne tylko we włóknach mięśniowych jednostek ruchowych S i FR (typu I i II A). Kiedy mamy do czynienia z wysiłkami o bardzo wysokiej intensywności siła skurczu powoduje oddziaływanie na włókna mięśniowe jednostek FF (II X).

Do podstawowych zmian w czynności układu krążenia wywołanych poprzez trening wytrzymałościowy należy zmniejszenie częstości skurczów serca (HR) w spoczynku. U sportowców bardzo wytrenowanych HR w spoczynku może wynosić nawet poniżej 30 min^{-1} (bradykardia spoczynkowa). Zwolnieniu częstości skurczów serca towarzyszy wzrost objętości wyrzutowej (SV), dzięki czemu taka sama może utrzymać się objętość minutowa serca (CO). W reakcji na wysiłki submaksymalne do najważniejszych potreningowych zmian należy zmniejszenie HR. Porównując HR

przy takim samym obciążeniu przed i po kilku sesjach treningowych, można już stwierdzić jego zmniejszenie o 5–8 min⁻¹ (Górski 2006). Zwiększeniu pod wpływem treningu ulega z kolei tętno tlenowe, czyli stosunek pobierania tlenu do HR. Podczas wysiłków submaksymalnych pobieranie tlenu może ulec zmniejszeniu pod wpływem treningu wytrzymałościowego, głównie na skutek poprawy ekonomii ruchów, wynikającej z usprawnienia koordynacji ruchów (Mędraś 2004). Podczas wysiłków maksymalnych największe znaczenie ma zwiększenie maksymalnej objętości minutowej serca – jest ono związane wyłącznie ze wzrostem maksymalnej objętości wyrzutowej serca. U ludzi wytrenowanych SV osiąga maksymalną wielkość podczas wysiłków z obciążeniem odpowiadającym 30–40 $\dot{V}O_2\text{max}$. Podczas wysiłków maksymalnych ciśnienie tętnicze skurczowe pod wpływem treningu nie ulega zmianie, natomiast ciśnienie rozkurczowe może się obniżyć.

Trening wytrzymałościowy prowadzi do zwiększenia pojemności życiowej płuc, maksymalnej dowolnej wentylacji płuc i nasilonej objętości wydechowej w następstwie zwiększonej siły mięśni oddechowych i ruchomości klatki piersiowej. W wyniku poprawy stosunku wentylacji do przepływu krwi poprzez wpływ treningu zwiększa się pojemność dyfuzyjna płuc (Jaskólski i wsp. 2006). W spoczynku wentylacja minutowa (V_E) nie zmienia się pod wpływem treningu, natomiast może wystąpić zmniejszenie częstości oddechów przy jednoczesnym ich pogłębieniu co również występuje podczas wysiłków submaksymalnych. Charakterystyczną zmianą w reakcji na wysiłki występujące pod wpływem treningu wytrzymałościowego jest przesunięcie progu wentylacyjnego w kierunku wyższych obciążeń (Górski 2006).

1.6. Specyfika treningu fizycznego u młodocianych sportowców

Trening fizyczny u dzieci warunkuje jego efektywność, jeżeli w sposób optymalny zostanie dobrany rodzaj, wielkość oraz struktura obciążeń. Niezbędna jest optymalizacja działań uwzględniających naturalny rozwój biologiczny sportowca. Należy kierować się etapami treningu (etap treningu wszechstronnego, ukierunkowanego, specjalistycznego), dobierając odpowiednie środki i metody stymulujące rozwój młodego organizmu. Sozański wymienia następujące cele w poszczególnych etapach: 1) przygotowanie wszechstronne (wstępny etap treningu) –

rozwijanie potencjału ruchowego, polegające na wyposażeniu młodego sportowca w bogaty zasób umiejętności, 2) przygotowanie ukierunkowane – polegające na profilowaniu potencjału ruchowego jako funkcjonalnej bazy prognozowania specjalizacji, 3) trening specjalistyczny – polegający na doskonaleniu mistrzostwa sportowego (Perkowski i wsp. 1998; Sozański 1999). Dobór obciążeń powinien być podporządkowany prawidłowości rozwoju, wymogom modelu mistrzostwa sportowego i aktualnemu stanowi wytrenowania organizmu (Kielek i wsp. 1993; Grange i wsp. 2004; Martens 2004). W szkoleniu młodocianych sportowców w zakresie obciążeń treningowych można wyróżnić dwie drogi metodyczne: 1) intensywna – w której stosuje się duże obciążenia pracą specjalistyczną, 2) progresywna – w której trening jest zoptymalizowany ze względu na wiek i rozwój dziecka, a czas dochodzenia do mistrzostwa sportowego jest dłuższy (Ulatowski 1992). Trening intensywny najczęściej prowadzi do szybkiego wzrostu wyników, jednakże nie prowadzi on do pełnego rozwoju sportowca. Trening u młodych sportowców powinien opierać się o poznane prawidłowości rozwoju i uwzględniać zasadę, iż dziecko nie jest odbiciem człowieka dorosłego (Sozański 1999). W początkowej fazie szkolenia wymaga się realizacji szerokiego zakresu pracy wszechstronnej kształtującej funkcje ustroju oraz zdecydowane zmniejszenie zakresu pracy specjalistycznej (Ulatowski 1992).

Teoretycy sportu dzielą aktywność sportową na 3 struktury: 1) wejście do sportu – podjęcie decyzji przez sportowca o przystąpieniu do systematycznych wysiłków, poddanie się ocenie w formie sprawdzianu wstępnego, który to zdecyduje, czy chęci poparte są odpowiednimi predyspozycjami do danego sportu, 2) okres uprawiania sportu – etapy szkolenia, wielkość obciążeń, warunki materialne, metody treningowe, opieka lekarska, a także świadomość konsekwencji wyczynowego uprawiania sportu, 3) zakończenie kariery sportowej – możliwość przedwczesnego zakończenia kariery sportowej spowodowana jest chociażby wadliwym systemem szkolenia czy problemami ze zdrowiem.

Sport dzieci i młodzieży jest fazą otwierającą wieloletni proces szkolenia sportowego. Przebieg tego szkolenia należy programować bardzo rozważnie i odpowiedzialnie, ponieważ okres ten determinuje przyszłą karierę sportowca (Cholewa 2009).

1.7. Problem badawczy w świetle piśmiennictwa

Pływanie sportowe jest dyscypliną sportu znaną od ponad stu lat. Jest też przedmiotem licznych badań i doniesień naukowych. Ciągłe postępująca progresja wyników wsparta jest licznymi badaniami naukowymi, mającymi na celu usprawnienie procesu treningowego i jego optymalizację. Oddziaływanie treningu pływackiego na organizm dorosłego pływaka jest stosunkowo dobrze poznana, natomiast w przypadku dzieci w wielu aspektach niejednoznaczna.

Dowiedziano, że rozwój biologiczny u dzieci uprawiających pływanie jest większy w porównaniu z rówieśnikami, którzy nie wykonywali żadnej dodatkowej aktywności fizycznej (Benefice i Malina 1996; Wawrzyniak 2001). W badaniach Wawrzyniaka (2001) dzieci uprawiające pływanie na podstawie wysokości i masy ciała charakteryzowały się wyższym stopniem rozwoju biologicznego w porównaniu z rówieśnikami, którzy nie uczęszczali na zajęcia pływackie. Zwrócono jednak uwagę, że wyniki te mogą być spowodowane wcześniejszą selekcją do sportu pływackiego, a niekoniecznie samym wpływem treningu pływackiego na rozwój biologiczny. W badaniach Latte i współpracowników, podczas 2-letniej obserwacji młodych pływaczek (wyselekcjonowanych do sportu pływackiego) autorzy dowiedli, iż rozwój biologiczny znacznie wzrastał w ciągu każdego roku w porównaniu do grupy nie trenującej pływania ($p < 0,05$) (Latte i wsp. 2009). W 2-letnich badaniach Eidera u dzieci wykazano z kolei brak różnic w rozwoju biologicznym pomiędzy osobami uprawiającymi pływanie, a nie uprawiającymi pływania (Eider 2015). Autorzy wielu prac zwracają uwagę, że ciężki trening fizyczny rozpoczęty we wczesnym okresie dojrzewania może hamować naturalny rozwój biologiczny zwłaszcza w sportach estetycznych (gimnastyka sportowa, jazda na łyżwach, balet) natomiast w sporcie pływackim takich doniesień nie odnotowano (Lindholm i wsp. 1994; Malina i Rogol 2011).

Wyniki badań przekrojowych wskazują, że w porównaniu do referencyjnej grupy wiekowej młodzi pływacy charakteryzują się wyższą wysokością i masą ciała (Helmuth 1980; Paradowski 1991; Piechaczek i wsp. 2000; Górecka 2009), a także większą masą mięśniową i mniejszą masą tłuszczową (Piechaczek i wsp. 2000; Stanula i wsp. 2005). W badaniach wykonanych przez Łaska-Mierzejewską zauważono z kolei brak różnic w wysokości ciała pomiędzy osobami pływającymi a niepływającymi (Łaska-Mierzejewska 1985). Wykazano, że długość i obwody kończyny górnej są większe

u pływaków w porównaniu do grupy kontrolnej (Piechaczek i wsp. 2000; Stanula i wsp. 2005). Największe różnice zaobserwowano w długości stopy (Wieczorek 2001). Interesujących danych dostarczyła także praca Ostrowskiej i wsp. (2006). Na podstawie przeprowadzonej analizy czynnikowej w badaniach przekrojowych u 11–12 letnich pływaków badacze sugerują, że przy selekcji chłopców do uprawiania tej dyscypliny sportu powinno się brać pod uwagę dwa czynniki: 1) czynnik objętościowy – obejmujący masę ciała, wskaźnik Rohrera, obwód klatki piersiowej, obwód talii oraz obwody ramienia, przedramienia i podudzia; 2) czynnik wysokościowy – obejmujący wysokość ciała oraz długości kończyny górnej i dolnej. Na podstawie wyżej przytoczonych prac nie jest jednak możliwe ustalenie, do jakiego stopnia uzyskane dane są rezultatem wstępnej selekcji badanych, a w jakim zakresie jest to efekt treningu pływackiego.

Wyniki badań dotyczących wpływu dodatkowej aktywności fizycznej na rozwój zdolności motorycznych młodych sportowców (w tym także pływaków) sugerują korzystny jej wpływ, przejawiający się poprawą wytrzymałości, siły, mocy i gibkości (Ostrowski 2010). Warto jednak podkreślić, iż w/w doniesienia naukowe miały charakter przekrojowy i grupowały dzieci uprawiające różne dyscypliny sportu. W pracy Wieczorka i Witkowskiego (1990) dokonano oceny zmian zdolności motorycznych w sposób długofalowy (1,5 roku) na grupie dziewcząt w wieku 9–10 lat uprawiających pływanie. Uzyskane w tej pracy dane wskazują, że moc, szybkość i wytrzymałość nie różnią się istotnie pomiędzy grupą pływaczek a grupą kontrolną, jednak istotne różnice odnotowano w pomiarach siły, zwinności i gibkości. W innej pracy Dziedziczek i Witkowski wykazali wzrost wartości siły, zwinności i wytrzymałości na korzyść dzieci uprawiających pływanie, natomiast nie stwierdzono różnic w poziomie szybkości pomiędzy badanymi grupami (Dziedziczek i Witkowski 1998). Autorzy prac podkreślają również, że u młodych pływaków i pływaczek systematycznie wykonujących trening pływacki wzrasta siła mięśni brzucha, odpowiedzialna w dużym stopniu za efektywność pracy kończyn dolnych (Ozimek 2007; Łubkowska i wsp. 2014).

Rozwój układu oddechowego poprzez systematyczny trening pływacki i jego lepsze parametry u osób trenujących w porównaniu z osobami nie uprawiającymi pływania został udowodniony przez wielu autorów (Bloomfield i wsp. 1984; Courteix i wsp. 1997; Doherty i Dimitriou 1997; Silvestri i wsp. 2012). Charakterystyczną cechą treningu pływackiego są długotrwałe wysiłki fizyczne wykonywane w poziomym położeniu klatki piersiowej, na które oddziałuje zmienne ciśnienie hydrostatyczne, wiążące się z okresami bezdechu prowadzącymi do chwilowej, regularnie powtarzającej

się hipoksji. Większość badań, dotyczących wpływu treningu pływackiego na parametry oddechowe (Bloomfield i wsp. 1984; Courteix i wsp. 1997; Doherty i Dimitriou 1997; Silvestri i wsp. 2012) wskazuje na zwiększoną natężoną pojemność życiową płuc (FVC) u pływaków w porównaniu do osób nieuprawiających pływania oraz osób trenujących inne dyscypliny sportu. Wykazano również zwiększoną natężoną 1-sekundową objętość wydechową (FEV1) u pływaków (Courteix i wsp. 1997; Doherty i Dimitriou 1997), choć nie wszystkie prace potwierdzają te dane (Bloomfield i wsp. 1984; Kubiak-Janczaruk 2005). Zależności te utrzymywane są nawet w sytuacji porównywalnych wysokości ciała badanych. Dowiedziono również, że osoby uprawiające pływanie charakteryzują się większą przestrzenią martwą, a organizm zostaje pobudzony do zwiększonej głębokości i częstotliwości oddechów (Hammerberg i Wood 2003). W badaniach Hebisza i wsp. (2013) wykazano, że w grupie osób trenujących ze zwiększoną objętością martwej przestrzeni oddechowej odnotowuje się istotny statystycznie wzrost maksymalnej wartości wentylacji minutowej oraz objętości oddechowej.

Wyniki badań dotyczących wpływu treningu wytrzymałościowego na $\dot{V}O_2\max$ u dzieci w okresie okołopokwitaniowym wskazują, że pułap tlenowy może ulec zwiększeniu jedynie o 5–6%. Jeżeli do analizy zostaną wybrane jedynie te doniesienia, w których wykazano istotny efekt treningowy, zwiększenie $\dot{V}O_2\max$ sięga wartości 8–10% (Baquet i wsp. 2003). Uważa się, że tak niski przyrost $\dot{V}O_2\max$ u tych dzieci (lub nawet całkowity brak zauważalnych efektów) może być spowodowany krótkim okresem oddziaływania treningu fizycznego na organizm dziecka lub nieadekwatną siłą bodźca wysiłkowego zastosowanego w okresie treningu. Warto jednak dodać, że w pracy tej nie badano efektów treningu pływackiego (Kobosko i Bawelski 2003).

Nie ulega wątpliwości, że wydolność beztlenowa ma istotny wpływ na wynik sportowy w pływaniu (Hawley i wsp. 1992; Duché i wsp. 1993; Vitor i Bohme 2010), jednak wyniki badań dotyczących porównania maksymalnej mocy beztlenowej młodych pływaków z grupą kontrolną (nietrenującą) są niejednoznaczne. Falgairrette i wsp. (1993) wykazali, że u chłopców 11-letnich maksymalna moc anaerobowa nie różniła się pomiędzy pływakami, a grupą kontrolną. Z kolei Bawelski i wsp. (2006) odnotowali istotnie wyższą wartość tego wskaźnika wydolności anaerobowej u 12-letnich pływaków obojga płci w stosunku do nietrenujących rówieśników. Powyższe wyniki sugerują, że może istnieć pewien próg wiekowy, od którego możliwa jest poprawa tego wskaźnika, jednak trudno tutaj o ostateczne wnioski bez badań longitudinalnych.

Wpływ zmiennych somatycznych, fizjologicznych i motorycznych na wynik sportowy w pływaniu u osób dorosłych jest dość dobrze udokumentowany (Lavoie i Montpetit 1986; Zampagni i wsp. 2008). Jednakże ilość danych dotyczących tych współzależności u dzieci jest niezwykle ograniczona (Geladas i wsp. 2005; Lätt i wsp. 2009). Helmuth (1980) wykazał, że u 8–16 letnich pływaków prędkość pływania kraulem na piersiach na dystansie 100 m istotnie dodatnio koreluje z szerokością barków, obwodem klatki piersiowej, wielkością ręki i stopy, a także z beztłuszczową masą ciała. W badaniach Geladasa i wsp. (2005) przeprowadzonych na grupie pływaków obojga płci w wieku 12–14 lat odnotowano, że u chłopców długość kończyny górnej, odległość w skoku w dal i siła ścisku ręki są najważniejszymi czynnikami predykcyjnymi wyniku sportowego na dystansie 100 m kraulem na piersiach, natomiast dla dziewcząt dla tej samej konkurencji najistotniejszymi zmiennymi okazały się wysokość ciała, długość kończyny górnej, długość ręki, gibkość i odległość w skoku w dal. Z kolei Lätt i wsp. (2009) badając corocznie w ciągu dwóch kolejnych lat grupę 12-letnich dziewcząt trenujących pływanie wykazali, że najważniejszymi czynnikami predykcyjnymi wyniku sportowego na dystansie 400 m kraulem na piersiach są dla wieku 12–13 lat – stroke index (iloczyn prędkości pływania i odległości pokonanej przez jeden ruch ramienia), beztłuszczowa masa ciała oraz $\dot{V}O_2\max$, natomiast dla wieku 14 lat – stroke index, masa ciała oraz $\dot{V}O_2\max$.

Na podstawie przytoczonego piśmiennictwa można wnioskować, iż autorzy nie są zgodni co do wpływu sportu pływackiego na omawiane w niniejszej pracy cechy somatyczne, fizjologiczne czy motoryczne u dzieci w wieku przedpokwitaniowym. W większości prac wskazują oni jednak na pozytywny wpływ treningu na organizm młodego pływaka.

2. CEL PRACY

Znajomość zdrowotnego wpływu uprawiania pływania na organizm człowieka (stosowanego w profilaktyce zdrowotnej a także w celach rehabilitacyjnych) jest dobrze znana. Sport ten również powoduje wymierne korzyści natury fizjologicznej (np. poprawa wydolności fizycznej), psychologicznej (np. zwiększenie pewności siebie)

i społecznej (np. interakcje z grupą rówieśniczą), które są odnoszone dzięki treningowi. Uprawianie pływania charakteryzuje się niskim ryzykiem urazowości w porównaniu z innymi dyscyplinami sportowymi (Tanaka 2009). Ze względu na korzyści wynikające z uprawiania pływania trening ten można rozpocząć już w fazie okresu przedszkolnego (Chromiński 1987; Sozański 1988). Warto również podkreślić, że aby osiągnąć sukces we współzawodnictwie sportowym na skalę międzynarodową, intensywny trening fizyczny powinien rozpocząć się przed okresem dojrzewania (Rowley 1987, Erlandson i wsp. 2008; Lätt i wsp. 2009). Wyniki prac dotyczących wpływu treningu pływackiego na dzieci w wieku 10–12 lat są w wielu aspektach niejednoznaczne (Paradowski 1991; Piechaczek i wsp. 2000; Czarnota 2010). Wynikać to może m.in. z braku doboru losowego badanej próby (dokonywanej wstępnej selekcji dzieci do szkolenia sportowego w zakresie pływania), a także z rodzaju zastosowanej metody badawczej (badania przekrojowe). Mając na uwadze fakt naturalnego rozwoju biologicznego zachodzącego u dzieci w tym wieku zasadnym jest prześledzenie zmian wynikających z uprawiania pływania w badaniach długofalowych, do których zrekrutowane zostaną osoby bez selekcji wstępnej (Helmuth 1980; Piechaczek i wsp. 2000; Górecka 2009).

Celem niniejszej pracy jest:

1. zbadanie wpływu 3-letniego treningu pływackiego u chłopców, którzy nie byli wyselekcjonowani do sportu pływackiego na wybrane zmienne somatyczne, fizjologiczne i motoryczne;
2. określenie współzależności badanych zmiennych somatycznych, fizjologicznych i motorycznych z wynikiem sportowym w pływaniu u 10–12 letnich chłopców w efekcie 3-letniego treningu pływackiego.

2.1. Problemy badawcze

1. Czy zmienne antropometryczne oraz tempo ich zmian będą odróżniać grupę eksperymentalną od grupy kontrolnej podczas 3 lat treningu pływackiego?
2. Czy na przestrzeni 3 lat treningu pływackiego nastąpią zmiany stopnia otłuszczenia ciała pomiędzy badanymi grupami?

3. Czy będą występowały różnice w wydolności tlenowej oraz beztlenowej pomiędzy grupą eksperymentalną, a grupą kontrolną w okresie 3-letniego treningu?
4. Czy wystąpi różnica w rozwoju i czynności układu oddechowego w grupie eksperymentalnej w porównaniu do grupy kontrolnej?
5. Czy w 3-letnim okresie uprawiania pływania wystąpią istotne różnice w wynikach wybranych testów motorycznych pomiędzy grupą pływaków a grupą kontrolną?
6. Które z badanych zmiennych somatycznych, fizjologicznych i motorycznych najlepiej korelują z uzyskiwanym przez badanych pływaków wynikiem sportowym?

3. MATERIAŁ I METODY

3.1. Badane osoby

Badania prowadzone były na grupie 46 ochotników płci męskiej. Grupę eksperymentalną stanowiło 24 chłopców, którzy oprócz standardowego uczestnictwa w obowiązkowych lekcjach wychowania fizycznego dodatkowo trenowali pływanie w częstochowskich uczniowskich klubach sportowych – UKS „Atut” oraz UKS „48”. Nabór chłopców do klubów sportowych odbył się na zasadzie dobrowolnego uczestnictwa w takich zajęciach treningowych. Do klubów wyżej wymienionych przystępowały osoby bez jakiegokolwiek selekcji wstępnej. Z chwilą rozpoczęcia badań (klasa IV szkoły podstawowej) grupa chłopców rozpoczęła trening pływacki, przy czym posiadali oni już wcześniej umiejętność pływania, gdyż w klasach I–III szkoły podstawowej chłopcy ci uczęszczali na zajęcia nauki pływania dwa razy w tygodniu po 45 min w ramach lekcji wychowania fizycznego.

Grupę kontrolną stanowiło 22 chłopców, zrekrutowanych ze Szkoły Podstawowej nr 48 w Częstochowie, którzy uczestniczyli tylko w obowiązkowych lekcjach wychowania fizycznego. Podobnie jak grupa eksperymentalna, również ta grupa chłopców w klasach I–III szkoły podstawowej uczęszczała na zajęcia nauki pływania dwa razy w tygodniu po 45 min w ramach lekcji wychowania fizycznego.

Zgodnie z wymogami Deklaracji Helsińskiej wszyscy badani oraz ich rodzice zostali poinformowani o celu i metodyce badań, wyrazili pisemną zgodę na udział w badaniach, a protokół całego doświadczenia został zaakceptowany przez Komisję ds. Bioetyki Badań Naukowych Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie.

3.2. Protokół badań

Badania były zaplanowane na trzy kolejne lata. Począwszy od października 2012 r. do kwietnia 2015 r., równo co sześć miesięcy (październik i kwiecień) wszyscy chłopcy poddani zostali następującym badaniom:

1. Pomiary antropometryczne*: masa ciała; wysokość ciała (B–v); długość głowy (g–op); szerokość głowy (eu–eu); obwód głowy; szerokość klatki piersiowej (thl–thl); głębokość klatki piersiowej (xi–ths); obwód klatki piersiowej; szerokość barków (a–a); szerokość bioder (ic–ic); obwód talii; długość kończyny górnej (a–da); długość ramienia (a–r); obwód ramienia; długość przedramienia (r–sty); obwód przedramienia; długość ręki (sty–da); szerokość ręki (mu–mr); szerokość łokcia (cm–cl); długość kończyny dolnej (B–sy); długość uda (sy–ti); obwód uda; długość podudzia (ti–sph); obwód podudzia; szerokość stopy (mtt–mtf); długość stopy (pte–ap); szerokość kolana (epl–epm) (Drozdowski 2002).

Masa i wysokość ciała były mierzone za pomocą wagi ze wzrostomierzem (WPT 150,0; RadWag; Polska) z dokładnością odpowiednio do 0,1 kg i 0,5 cm. Na podstawie masy i wysokości ciała dokonano obliczeń wskaźnika BMI (Wskaźnik Masy Ciała):

$$\text{BMI} = \frac{\text{masa ciała (kg)}}{\text{wzrost}^2}$$

Pomiary antropometryczne wykonano po prawej stronie ciała badanego w pozycji stojącej (płaszczyzna frankfurcka) za pomocą cyrkla kabłąkowego z dokładnością

* definicje punktów antropometrycznych wyjaśniono przed wstępem rozprawy doktorskiej

do 1 mm, natomiast obwody zmierzono centymetrem krawieckim z dokładnością do 10 mm. Wszystkie pomiary dokonywane były w godzinach 8.00–12.00.

2. Pomiary otłuszczenia ciała: pomiary grubości fałdów skórno-tłuszczowych wykonane w 4 miejscach anatomicznych: nad mięśniem dwugłowym ramienia; nad mięśniem trójgłowym ramienia; pod kątem dolnym łopatki; nad kolcem biodrowym górnym. Wszystkie pomiary wykonywano po prawej stronie badanego w pozycji stojącej (płaszczyzna frankfurcka) za pomocą fałdomierza typu Harpenden (M2 TOP, Käfer, Niemcy) z dokładnością do 0,1 mm. Na podstawie grubości fałdów skórno-tłuszczowych dokonano obliczeń procentowej zawartości tkanki tłuszczowej w organizmie, stosując wzór podany przez Slaughtera i wsp. (1988);

jeśli suma fałdów nad mięśniem trójgłowym ramienia i pod kątem dolnym łopatki ≤ 35 mm:

$$\% \text{ Tłuszczu} = 1,33 \times (R + \text{Ł}) - [0,013 \times (R + \text{Ł})^2] - 2,5\%$$

jeśli suma fałdów nad mięśniem trójgłowym ramienia i pod kątem dolnym łopatki > 35 mm:

$$\% \text{ Tłuszczu} = 0,546 \times (R + \text{Ł}) - 9,7$$

gdzie:

R – pomiar fałdu skórno-tłuszczowego nad mięśniem trójgłowym ramienia

Ł – pomiar fałdu skórno-tłuszczowego pod kątem dolnym łopatki

3. Pomiary objętości oddechowych: VC – pojemność życiowa płuc; FEV1 – natężona objętość wydechu w pierwszej sekundzie, ocena wskaźnika obturacji dróg oddechowych (FEV1/VC) oraz czas dowolnego bezdechu. Pomiar objętości oddechowych został dokonany za pomocą spirometru typu VF-S (PELAB, Polska). Po kilku minutach spokojnego oddychania w pozycji siedzącej badany przyjmował pozycję stojącą, po czym wykonywał najgłębszy wdech i wydmuchiwał największą możliwą ilość powietrza do spirometru (w czasie nie

krótszym niż 6 s.). Badanie odbywało się z nałożonym zaciskiem na nos badanego. Próbę powtarzano trzykrotnie (z 5-minutową przerwą pomiędzy próbami) – brano pod uwagę najlepszy uzyskany rezultat. W ten sposób otrzymywano pomiar pojemności życiowej płuc – VC. Procedura pomiaru FEV1 była podobna, z tym, że zamiast spokojnego pełnego wydechu, badany wykonał natężony wydech, czyli polecano badanemu, aby usunął z płuc jak największą objętość powietrza w czasie jednej sekundy. Na podstawie objętości VC i FEV1 dokonano obliczeń ilorazu FEV1/VC, który wyrażony w procentach jest wskaźnikiem obturacji dróg oddechowych – wskaźnik Tiffeneau. Pomiar czasu dowolnego bezdechu posłużył do oceny funkcjonalnej układu oddechowego i został wykonany po 10–sekundowej hiperwentylacji na szczycie maksymalnego wdechu. Próbę powtarzano trzykrotnie w odstępie 5 min z zaciskiem założonym na nos badanego. Do analizy brano najlepszy uzyskany wynik (Konturek 2001).

4. Wielostopniowy Test Wahadłowy 20 m (Maximal Multistage 20-m Shuttle Run Test). Test polegał na pokonywaniu wyznaczonego 20-metrowego odcinka. Start rozpoczynał się na sygnał dźwiękowy. Badany musiał przejść lub przebiec dystans w takim tempie, aby zdążyć przed następnym sygnałem oznaczającym kolejny start, lecz w przeciwnym kierunku. Szybkość pokonywania odcinków 20 m kontrolowana była za pomocą dźwięków z odtwarzacza. Prędkość biegu w pierwszym etapie wynosiła 8,5 km/h i zwiększała się o 0,5 km/h w każdym kolejnym etapie. Ilość odcinków w każdym etapie również ulegała zwiększaniu: pierwszy etap zakładał pokonanie 7 odcinków w tym samym tempie, drugi etap – 8 odcinków, trzeci etap – 9 odcinków, czwarty etap – 10 odcinków, etapy od piątego do ósmego – 10 odcinków, etapy od dziewiątego do trzynastego – 12 odcinków dwudziestometrowych. W przypadku gdy badany nie zdążył dobiec do linii przed kolejnym sygnałem dźwiękowym, jego próba była przerywana. Wynikiem testu była suma wszystkich pokonanych odcinków. Na podstawie prędkości ostatniego ukończonego etapu biegu oraz wieku kalendarzowego badanego obliczano maksymalny pobór tlenu ($\dot{V}O_2\max$) – wskaźnik wydolności tlenowej – według wzoru podanego przez Legera i wsp. (1988):

$$\dot{V}O_2\max = 31,025 + 3,238 \times P - 3,248 \times W + 0,1536 \times P \times W$$

gdzie:

P – maksymalna prędkość biegu (w ostatnim ukończonym etapie) w km/h

W – wiek kalendarzowy w latach w zaokrągleniu do mniejszej liczby całkowitej

5. Skok dosiężny. Badana osoba stawała bokiem prawym lub lewym (w zależności czy była prawo czy leworęczna) do ściany z wyciągniętą jak najwyżej ręką. Zaznaczano wysokość, do której sięgała prawa lub lewa kończyna górna uniesiona pionowo do góry. Następnie badany uginając kończyny dolne w stawach kolanowych do kąta 90° wykonywał skok pionowy w górę, wykorzystując zamach ramionami i zaznaczał kończyną górną wysokość, do której jest w stanie sięgnąć (Pilicz i wsp. 2005). Test był wykonywany trzykrotnie, bez obuwia, a najlepszy wynik brany był do analizy. Na podstawie uzyskanej różnicy wysokości, masy ciała badanego i wartości przyspieszenia ziemskiego obliczano maksymalną pracę anaerobową (MPA) – wskaźnik wydolności beztlenowej (Van Praagh 2007):

$$MPA = m \times g \times h$$

gdzie:

m – masa ciała w kg

g – przyspieszenie ziemskie = 9,81 m/s²

h – wyskok w metrach

6. Testy zdolności motorycznych:
- a) szybkość i koordynacja – bieg sprinterski z klaskaniem pod kolanami. W pozycji wyjściowej stojącej na sygnał badany wykonywał bieg w miejscu przez 10 sek z wysokim unoszeniem kolan i klaśnięciem w dłonie pod uniesioną nogą. Do wyniku brano pod uwagę liczbę klaśnięć pod kolanem (Talaga 2004);
- b) siła eksplozywna kończyn dolnych – skok w dal z miejsca. W pozycji wyjściowej stojącej badana osoba stawała w miejscu oznaczonym linią (próg), stopy równoległe do siebie. Następnie wykonywała ugięcie nóg w kolanach, zamach rąk w tył i skok z mocnym zamachem rąk w przód z odbicia obunóż.

Do wyniku brano odległość od linii (progu) do tylnej krawędzi pięty (ślad) w centymetrach (Szopa i wsp. 2000);

c) siła mięśni brzucha – nożyce poprzeczne. W pozycji wyjściowej badana osoba wykonywała leżenie tyłem z ramionami ułożonymi wzdłuż tułowia. Na sygnał badana osoba unosiła obie nogi tuż nad podłożem i wykonywała poziome naprzemienne ruchy nóg, tzw. „nożyce poprzeczne” w jak najdłuższym czasie. Do wyniku brano pod uwagę czas w sekundach (Szopa i wsp. 2000);

Kolejność wykonywania każdego testu wysiłkowego (testy motoryczne, skok dosiężny i Wielostopniowy Test Wahadłowy 20 m) w kolejnych pomiarach była stosowana w sposób losowy u badanych chłopców, aczkolwiek tylko jeden test przypadał na dany dzień – przerwa pomiędzy kolejnymi testami wynosiła co najmniej jeden dzień.

Wiek biologiczny badanych chłopców, czyli stan zaawansowania rozwojowego jednostki, został obliczony wg wzoru (Przewęda 1971):

$$\text{Wiek biologiczny} = \frac{\text{wiek masy ciała} + \text{wiek wysokości ciała} + \text{wiek kalendarzowy}}{3}$$

gdzie:

– wiek rozwojowy masy oraz wiek rozwojowy wysokości ciała oszacowany metodą tabel Pirqueta dla populacji chłopców ziemi lubuskiej, podany w formie ułamka dziesiętnego (Malinowski i wsp. 2005).

– wiek kalendarzowy – wiek liczony od daty urodzenia do daty wykonania badania, podany w formie ułamka dziesiętnego (Jopkiewicz i wsp. 1998).

Wskaźnik Stanu Dojrzałości Biologicznej (W_{SDB}) obliczono wykorzystując następujący wzór (Cieślik 1980):

$$W_{SDB} = \frac{X_{ij} \times 100}{X_{ich}} - 100$$

gdzie:

X_{ij} – wiek biologiczny osobnika

X_{ich} – wiek kalendarzowy osobnika

Otrzymane wyniki Wskaźnika Stanu Dojrzałości Biologicznej porównywano do poniższej klasyfikacji (Cieślik 2006):

- $x < -40,1$ – opóźnienie patologiczne
- $-40,0 < x < -20,1$ – opóźnienie w granicach fizjologicznych
- $-20,0 < x < +20,0$ – zakres prawidłowy „norma”
- $+20,1 < x < +40,0$ – przyspieszenie w granicach fizjologicznych
- $+40,1 < x$ – przyspieszenie patologiczne

Grupa chłopców trenujących pływanie oprócz w/w testów i pomiarów była dodatkowo poddana (również dwa razy w roku tj. w październiku i kwietniu przez trzy kolejne lata) następującym standardowym testom pływackim:

- a) pływanie na czas kraulem na piersiach na dystansie 50 oraz 400 m
- b) pływanie na czas stylem klasycznym na dystansie 50 m
- c) pokonanie jak najdłuższego dystansu w ciągu 12-minutowego pływania kraulem na piersiach

Każdy test pływacki wykonywany był po krótkiej rozgrzewce na lądzie oraz „rozpływaniu” w wodzie kraulem na piersiach na dystansie 200 m. Testy były wykonywane w godzinach od 6.15 do 7.15. Również w tym przypadku, kolejność wykonywania testów była losowa, przy czym tylko jeden test wysiłkowy był wykonywany w danym dniu zajęć, a przerwa pomiędzy kolejnymi testami wynosiła co najmniej jeden dzień.

3.3. Charakterystyka zastosowanego treningu pływackiego

Trening fizyczny w grupie pływaków odbywał się cztery razy w tygodniu w godzinach rannych (6.30–7.40). Każda sesja treningowa rozpoczynała się 10-minutową rozgrzewką na lądzie. Po wejściu do wody zawodnicy rozpoczynali rozgrzewkę w wodzie, przepływając od 200 do 400 m kraulem na piersiach lub kraulem na grzbiecie. Część główna sesji treningowej była poświęcona doskonaleniu techniki danych stylów pływania (kraul na piersiach, kraul na grzbiecie, styl klasyczny, styl motylkowy) oraz kształtowaniu możliwości wytrzymałościowych. Pływacy w części

głównej treningu wykonywali serie nie przekraczające odcinków 400-metrowych. Zwracano szczególną uwagę na ułożenie ciała w poszczególnych stylach, efektywność pociągnięć ramionami oraz równą pracę nogami. Trenerzy doskonalili w każdej jednostce treningowej nawroty w poszczególnych stylach, a także przykładali ogromną wagę do pływania pod powierzchnią wody po odbiciu od ściany pływalni. Sprawdziany umiejętności techniki pływania poszczególnymi stylami pływackimi odbywały się na dystansach 100 oraz 200 metrów stylem zmiennym. Do poprawy elementów technicznych trenerzy wykorzystywali specjalistyczny sprzęt pływacki m.in.: płetwy (krótkie oraz długie), łapki pływackie oraz gumy specjalistyczne. Kształtowanie wydolności tlenowej odbywało się zazwyczaj na odcinkach 400-metrowych pływając najczęściej kraulem na piersiach. Zwracano uwagę na równe tempo pływania, wykonywanie odpowiednich nawrotów, a także utrzymywanie prawidłowego „kroku pływackiego”. Jednostka treningowa kończyła się ćwiczeniami rozciągającymi na lądzie i trwała zazwyczaj około 7 min. Poprzez odpowiednie ćwiczenia rozciągające zwiększano zakres ruchu w obręczach barkowych, a także ruchomości stawów skokowych. Procentowy stosunek zadań wytrzymałościowych do szybkościowych w jednostce treningowej wynosił 80% do 20% na rzecz zadań wytrzymałościowych. Średni dzienny dystans przepływany przez badanych w ciągu pierwszego roku treningu wynosiła ok. 1500 m, w drugim roku – ok. 2000 m a w trzecim – ok. 2500 m.

3.4. Metody statystyczne

W celu określenia czy wyniki badań w grupie pływaków i grupie kontrolnej mają rozkład zbliżony do normalnego, został przeprowadzony test Shapiro–Wilka. W przypadku, gdy test wykazał brak rozkładu normalnego danej zmiennej (w jednej grupie bądź w obydwu grupach jednocześnie), do dalszej analizy statystycznej brano wyniki przekształcone na logarytm dziesiętny.

Statystyczna ocena istotności różnic pomiędzy badanymi grupami (pływacy vs kontrola) została przeprowadzona za pomocą dwuczynnikowej analizy wariancji z powtórzeniami dla jednego czynnika (czas). Wyniki sportowe pływania w grupie eksperymentalnej zostały ocenione za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji z powtórzeniami. W obu przypadkach, w sytuacji wykazania istotnego efektu głównego,

jako post-hoc zastosowany został test Newmana-Keulsa. Analizę wariancji zastosowano w związku z faktem, iż dwuczynnikowa analiza umożliwia wykrywanie efektów interakcji pomiędzy czynnikami i w związku z tym testowanie bardziej złożonych hipotez. Efekt główny interakcji przedstawiono w postaci wykresu regresji liniowej. Założenie o jednorodności wariancji wyników poszczególnych zmiennych zbadano testem Levene'a.

Do oceny współzależności pomiędzy badanymi zmiennymi a wynikami testów pływackich zastosowano model regresji liniowej (współczynniki równania prostej regresji oszacowano metodą najmniejszych kwadratów) i współczynnik korelacji liniowej Pearsona (r), czyli miernik liniowego związku między dwoma zmiennymi. W celu uniknięcia błędu I rodzaju, występującego podczas wykonywania porównań wielokrotnych, zastosowano poprawkę Bonferroniego, zmniejszając tym samym poziom istotności do $p < 0,0035$.

Udział (wkład) poszczególnych badanych zmiennych w uzyskiwane wyniki sportowe zbadano z wykorzystaniem regresji wielorakiej (metoda krokowa postępująca), uwzględniając 3 najważniejsze czynniki. Zgodnie z założeniem, iż w modelu powinny się znaleźć zmienne silnie skorelowane ze zmienną zależną i jednocześnie jak najslabiej skorelowane ze sobą (Rabiej 2012), do regresji wielorakiej wzięto pod uwagę pomiar długości całej kończyny górnej oraz całej kończyny dolnej (bez uwzględnienia pomiaru ramienia, przedramienia, ręki oraz uda i podudzia), aby uzyskać jak najbardziej wiarygodny model (współczynniki korelacji pomiędzy wyżej wymienionymi zmiennymi a długością całej kończyny przedstawiono w Tab.11 i Tab.12). Zgodnie z doniesieniami Szopy (1989) wyniki skoku w dal oraz wskaźnik MPA również są ze sobą silnie skorelowane, co potwierdza obliczony współczynnik korelacji na bazie wyników niniejszej pracy (Tab. 13). Do analizy regresji wielorakiej wzięto zatem wskaźnik MPA, pomijając skok w dal z miejsca – siłę eksplozywną kończyn dolnych, ponieważ technika skoku startowego oraz odbicia od ściany pływalni w momencie nawrotu zbliżona jest do wykonywania skoku dosiężnego.

Wszystkie obliczenia zostały dokonane przy użyciu komercyjnego programu komputerowego Statistica 12.0 firmy Statsoft (Polska). Wyniki zostały przedstawione w postaci średnich arytmetycznych (\bar{x}) i odchyłeń standardowych ($\pm SD$), a w przypadku braku rozkładu normalnego – w postaci mediany (M) i rozstępu ćwiartkowego (IQR). Za istotny statystycznie przyjęto poziom $p < 0,05$ oprócz analizy korelacji liniowej Pearsona pomiędzy wynikami testów pływackich, a badanymi zmiennymi ($p < 0,035$).

4. WYNIKI BADAŃ

4.1. Ogólna charakterystyka badanych osób

Wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji wskazują, iż grupa eksperymentalna ($\bar{x} \pm SD$ w chwili rozpoczęcia badań: wiek kalendarzowy – $10,49 \pm 0,31$ lat; wiek biologiczny – $10,40 \pm 1,16$ lat; masa ciała – $33,25 (9,70)$ kg; wysokość ciała – $143,83 \pm 7,10$ cm; BMI – $17,09 (3,37)$ kg/m²; $\dot{V}O_{2max}$ – $46,33 \pm 4,02$ ml*min⁻¹*kg⁻¹) i grupa kontrolna ($\bar{x} \pm SD$ w chwili rozpoczęcia badań: wiek kalendarzowy – $10,54 \pm 0,31$ lat; wiek biologiczny – $10,79 \pm 1,07$ lat; masa ciała – $39,08 \pm 9,62$ kg; wysokość ciała – $145,5 (3,50)$ cm; BMI – $18,14 \pm 3,45$ kg/m²; $\dot{V}O_{2max}$ – $41,51 (4,77)$ ml*min⁻¹*kg⁻¹) nie różniły się istotnie pod względem masy ciała, wysokości ciała i współczynnika BMI zarówno przed jak i po 3-letnim okresie prowadzonych badań (Tab.1). Nie wykazano również istotnych różnic pomiędzy grupami w odniesieniu do wieku biologicznego badanych chłopców. Efekt główny czynnika „czas” był istotny statystycznie dla wszystkich czterech zmiennych. Jednocześnie test post-hoc wykazał istotny przyrost wysokości i masy ciała w każdym kolejnym badaniu zarówno u grupy kontrolnej jak i eksperymentalnej (wyjątek stanowi różnica między 2 i 3 pomiarem masy ciała grupy pływaków). Badane grupy nie różniły się statystycznie pod względem wskaźnika stanu dojrzałości biologicznej na żadnym etapie pomiarów i wskaźnik ten nie ulegał zmianie przez cały okres trwania badań.

Tabela 1. Charakterystyka badanej grupy eksperymentalnej (n=24) i grupy kontrolnej (n=22).

$\bar{x} \pm SD$ - w przypadku rozkładu normalnego, M (IQR) - w przypadku braku normalności rozkładu danej zmiennej.

Zmienna	Grupa	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Pomiar 4	Pomiar 5	Pomiar 6	Efekt główny GRUPA	Efekt główny CZAS	Efekt główny INTER-AKCJA
Masa ciała (kg)	Eksper.	33,250 (9,700)	34,650 ** (10,45)	35,250 (9,650)	37,700 ** (11,500)	40,200 *** (11,700)	43,850 *** (12,750)	n.s.	F=177,5 p<0,001	n.s.
	Kontr.	39,082 ± 9,623	37,600 *** (11,800)	42,814 * ± 10,258	41,350 *** (19,200)	43,600 *** (21,400)	51,868 *** ± 12,767			
Wysokość ciała (cm)	Eksper.	143,833 ± 7,10	146,333 *** ± 7,338	147,917 ** ± 7,407	151,688 *** ± 8,020	154,583 *** ± 8,632	158,458 *** ± 8,878	n.s.	F=571,3 p<0,001	n.s.
	Kontr.	145,500 (3,500)	148,250 *** (4,500)	150,000 *** (5,500)	154,159 *** ± 6,645	157,955 *** ± 6,991	162,796 *** ± 8,333			
BMI (kg/m ²)	Eksper.	17,089 (3,373)	17,299 (3,742)	17,028 (3,755)	17,134 (4,382)	17,598 (4,381)	18,618 ± 2,934	n.s.	F=10,2 p<0,001	n.s.
	Kontr.	18,139 ± 3,449	18,442 ± 3,386	18,758 ± 3,584	19,157 ± 3,901	19,204 ± 4,024	19,422 ± 3,766			
Wiek biologiczny (lata)	Eksper.	10,397 ± 1,162	10,903 ± 1,196	11,168 ± 1,188	11,766 ± 1,143	12,255 ± 1,204	12,889 ± 1,204	n.s.	F=640,4 p<0,001	n.s.
	Kontr.	10,789 ± 1,066	11,296 ± 0,994	11,623 ± 1,023	12,247 ± 1,126	12,788 ± 1,169	13,431 ± 1,176			
Wskaźnik Stanu Dojrzałości Biologicznej (pkt)	Eksper.	-0,896 ± 10,412	-1,234 ± 10,096	-1,302 ± 9,810	-1,471 ± 9,052	-0,544 ± 9,224	-0,281 ± 1,176	n.s.	n.s.	n.s.
	Kontr.	2,359 ± 9,385	2,562 ± 8,370	2,349 ± 8,315	2,537 ± 8,505	2,973 ± 8,791	3,639 ± 8,467			

* - porównanie z wynikiem z pomiaru poprzedzającego (* - p<0,05; ** - p<0,01; *** - p<0,001)

^a - porównanie z wynikiem grupy kontrolnej w obrębie tego samego pomiaru (^a - p<0,05; ^{aa} - p<0,01; ^{aaa} - p<0,001)

4.2. Porównanie zmian dotyczących cech somatycznych w grupie eksperymentalnej i w grupie kontrolnej

Wszystkie badane cechy somatyczne uległy istotnej zmianie w ciągu trwania 3-letnich badań (efekt główny czynnika „czas”) (Tab.2). Badane grupy różniły się istotnie statystycznie (efekt główny czynnika „grupa”) wartościami pomiarów długości ramienia, długości ręki oraz szerokości kolana. W grupie kontrolnej odnotowano większy przyrost głębokości klatki piersiowej, długości kończyny górnej, długości ramienia, szerokości ręki, szerokości łokcia, długości kończyny dolnej, długości uda, długości stopy, szerokości stopy, szerokości kolana oraz obwodu uda i podudzia, natomiast grupa pływaków charakteryzowała się dynamiczniejszym rozwojem długości podudzia (efekt główny „interakcji”) (Ryc.1–13.).

Efekt główny czynnika „czas” nie był istotny dla pomiaru fałdu skórno-tłuszczowego nad mięśniem dwugłowym ramienia oraz nad mięśniem trójgłowym ramienia. Dla fałdów skórno-tłuszczowych pod kątem dolnym łopatki, nad kolcem biodrowym oraz nad mięśniem dwugłowym ramienia odnotowano większą dynamikę zmian tej cechy w grupie nie trenującej pływania w okresie 3 lat badań, natomiast nad mięśniem trójgłowym ramienia takiej różnicy nie zaobserwowano. Efekt „interakcji” wykazał również, iż procentowa zawartość tkanki tłuszczowej w organizmie u grupy kontrolnej odznaczała się większym przyrostem ($p < 0,001$), w przeciwieństwie do grupy eksperymentalnej, gdzie wartości te pozostały na poziomie początkowym po trzech latach treningu (Ryc.14–17.).

Tabela 2. Zestawienie wyników pomiarów cech somatycznych grupy eksperymentalnej (n=24) i kontrolnej (n=22).
 $\bar{x} \pm SD$ - w przypadku rozkładu normalnego, M (IQR) - w przypadku braku normalności rozkładu danej zmiennej.

Zmienna	Grupa	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Pomiar 4	Pomiar 5	Pomiar 6	Efekt główny GRUPA	Efekt główny CZAS	Efekt główny INTER-AKCJA
Długość głowy (mm)	Eksper.	199,000 ^(a) (14,000)	198,250 ± 8,290	202,500 (15,000)	203,500 (11,500)	205,000 (14,000)	206,500 (14,0000)	n.s.	F=23,3 p<0,001	n.s.
	Kontr.	189,273 ± 11,687	195,500 * (10,000)	201,273 ** ± 7,735	202,500 (9,000)	204,318 ± 8,888	205,273 ± 14,942			
Szerokość głowy (mm)	Eksper.	164,167 ± 6,863	164,958 ± 6,355	166,250 ± 6,435	168,292 ± 7,043	169,292 ± 7,123	170,583 ± 7,575	n.s.	F=26,89 p<0,001	n.s.
	Kontr.	161,091 ± 10,351	165,636 ** ± 6,779	167,091 ± 6,279	169,091 ± 5,847	170,637 ± 5,852	171,500 ± 186,000			
Szerokość barków (mm)	Eksper.	338,583 ± 20,315	340,333 ± 27,599	349,250 ± 22,495	356,000 (28,000)	358,500 (23,500)	370,917 ± 34,135	n.s.	F=26,6 p<0,001	n.s.
	Kontr.	340,727 ± 24,052	349,500 (28,000)	359,182 ± 21,398	366,500 (32,000)	376,000 (30,000)	388,591 ** ± 21,338			
Szerokość klatki piersiowej (mm)	Eksper.	227,708 ± 22,027	232,000 * (29,000)	237,500 (28,000)	246,500 (29,500)	250,500 (34,000)	255,000 (32,500)	n.s.	F=63,6 p<0,001	n.s.
	Kontr.	223,227 ± 15,608	233,773 *** ± 15,269	241,546 * ± 17,323	248,818 ± 18,592	253,727 ± 18,035	260,273 ± 17,838			
Głębokość klatki piersiowej (mm)	Eksper.	168,625 ± 17,472	174,458 ** ± 18,486	177,458 ± 19,022	181,250 ± 18,880	184,417 ± 18,889	190,625 * ± 19,336	n.s.	F=87,1 p<0,001	F=3,9 p<0,01
	Kontr.	159,000 ± 21,062	170,046 *** ± 18,846	176,591 ** ± 19,709	181,864 ± 20,055	185,136 ± 21,043	189,955 * ± 20,777			

* - porównanie z wynikiem z pomiaru poprzedzającego (* - p<0,05; ** - p<0,01; *** - p<0,001)

^a - porównanie z wynikiem grupy kontrolnej w obrębie tego samego pomiaru (^a - p<0,05; ^{aa} - p<0,01; ^{aaa} - p<0,001)

cd. Tabeli 2. Zestawienie wyników pomiarów cech somatycznych grupy eksperymentalnej (n=24) i kontrolnej (n=22).
 $\bar{x} \pm SD$ - w przypadku rozkładu normalnego, M (IQR) - w przypadku braku normalności rozkładu danej zmiennej.

Zmienna	Grupa	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Pomiar 4	Pomiar 5	Pomiar 6	Efekt główny GRUPA	Efekt główny CZAS	Efekt główny INTER-AKCJA
Szerokość bioder (mm)	Eksper.	246,417 ± 25,600	252,500 (30,000)	255,500 * (26,000)	265,792 ± 22,467	272,750 ± 22,964	279,292 ± 21,517	n.s.	F=35,3 p<0,001	n.s.
	Kontr.	244,500 (25,000)	256,500 (25,000)	264,318 * ± 23,993	273,364 ± 20,937	280,409 ± 22,665	288,727 ± 26,962			
Długość kończyny górnej (cm)	Eksper.	63,833 ± 4,018	64,417 ± 3,955	64,667 ± 3,897	66,375 *** ± 3,987	67,375 * ± 4,490	69,500 *** ± 4,845	n.s.	F=210,8 p<0,001	F=11,2 p<0,001
	Kontr.	61,500 (5,000)	63,000 ** (3,000)	64,000 (2,000)	67,000 *** (3,000)	69,273 *** ± 2,848	71,137 *** ± 3,028			
Długość ramienia (cm)	Eksper.	26,375 ^(aaa) ± 3,062	26,625 ^(aa) ± 2,779	26,625 ^(a) ± 2,279	27,000 * (3,000)	27,000 (3,500)	28,458 ± 2,265	F= 5,6 p<0,05	F=96,1 p<0,001	F=19,3 p<0,001
	Kontr.	23,545 ± 1,535	24,000 * (1,000)	24,000 * (1,000)	26,000 *** (2,000)	27,818 *** ± 1,708	28,773 ** ± 1,631			
Długość przedramienia (cm)	Eksper.	22,042 ± 1,853	22,167 ± 1,711	22,500 ± 1,560	23,042 * ± 1,681	23,292 ± 1,732	24,083 *** ± 1,613	n.s.	F=59,0 p<0,001	n.s.
	Kontr.	22,000 (1,000)	23,000 (1,000)	23,000 (1,000)	23,000 (1,000)	24,000 * (2,000)	24,500 (2,000)			
Długość ręki (cm)	Eksper.	15,500 ± 1,285	15,625 ± 1,313	15,625 ^(a) ± 1,313	16,000 * (2,000)	16,500 * (1,000)	17,000 *** ± 1,504	F=8,7 p<0,01	F=57,4 p<0,001	n.s.
	Kontr.	16,000 (1,000)	17,000 (1,000)	17,000 (1,000)	17,000 (1,000)	17,000 ** (1,000)	18,000 *** (1,000)			

* - porównanie z wynikiem z pomiaru poprzedzającego (* - p<0,05; ** - p<0,01; *** - p<0,001)

^a - porównanie z wynikiem grupy kontrolnej w obrębie tego samego pomiaru (^a - p<0,05; ^{aa} - p<0,01; ^{aaa} - p<0,001)

cd. Tabeli 2. Zestawienie wyników pomiarów cech somatycznych grupy eksperymentalnej (n=24) i kontrolnej (n=22).
 $\bar{x} \pm SD$ - w przypadku rozkładu normalnego, M (IQR) - w przypadku braku normalności rozkładu danej zmiennej.

Zmienna	Grupa	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Pomiar 4	Pomiar 5	Pomiar 6	Efekt główny GRUPA	Efekt główny CZAS	Efekt główny INTER-AKCJA
Szerokość ręki (mm)	Eksper.	85,458 ^(aaa) ± 6,297	87,000 ± 5,324	88,417 ± 5,421	90,375 ± 4,362	91,083 ± 4,548	92,625 ± 4,762	n.s.	F=44,6 p<0,001	F=9,1 p<0,001
	Kontr.	78,682 ± 10,728	84,818 ^{***} ± 7,456	90,045 ^{***} ± 4,076	93,500 (7,000)	94,000 ± 3,952	95,727 ± 3,869			
Szerokość łokcia (mm)	Eksper.	70,500 ^(aaa) (6,500)	71,000 (6,500)	72,500 (6,000)	74,500 (6,500)	75,500 (7,500)	76,000 (8,500)	n.s.	F=60,8 p<0,001	F=13,0 p<0,001
	Kontr.	63,000 ± 8,810	69,500 ^{***} (7,000)	74,500 ^{***} (5,000)	76,500 (6,000)	77,000 (3,000)	78,000 (5,000)			
Długość kończyny dolnej (cm)	Eksper.	85,701 ± 4,921	88,167 ^{***} ± 4,914	89,375 [*] ± 5,037	91,708 ^{***} ± 5,614	92,333 ± 5,281	95,125 ^{***} ± 5,119	n.s.	F=193,0 p<0,001	F=3,7 p<0,01
	Kontr.	87,727 ± 4,431	88,182 ± 5,020	89,682 ^{**} ± 4,684	92,045 ^{***} ± 4,894	94,045 ^{***} ± 4,498	97,273 ^{***} ± 4,672			
Długość uda (cm)	Eksper.	43,917 ± 3,106	45,083 [*] ± 3,035	45,750 ± 3,179	46,875 [*] ± 3,481	47,375 ± 3,228	49,417 ^{***} ± 3,501	n.s.	F=118,1 p<0,001	F=4,8 p<0,001
	Kontr.	44,682 ± 3,014	44,727 ± 3,180	45,364 ± 3,079	46,818 ^{**} ± 3,813	48,682 ^{***} ± 3,386	51,136 ^{***} ± 3,385			
Długość podudzia (cm)	Eksper.	41,792 ± 2,828	43,458 ^{***} ± 2,963	43,917 ± 2,873	45,125 ^{***} ± 3,097	45,250 ± 3,110	45,583 ± 2,992	n.s.	F=91,3 p<0,001	F=3,0 p<0,05
	Kontr.	43,045 ± 2,751	43,455 ± 2,756	44,000 ^{**} (5,000)	45,227 ^{**} ± 2,389	45,364 ± 2,321	46,136 [*] ± 2,315			

* - porównanie z wynikiem z pomiaru poprzedzającego (* - p<0,05; ** - p<0,01; *** - p<0,001)

^a - porównanie z wynikiem grupy kontrolnej w obrębie tego samego pomiaru (^a - p<0,05; ^{aa} - p<0,01; ^{aaa} - p<0,001)

cd. Tabeli 2. Zestawienie wyników pomiarów cech somatycznych grupy eksperymentalnej (n=24) i kontrolnej (n=22).

$\bar{x} \pm SD$ - w przypadku rozkładu normalnego, M (IQR) - w przypadku braku normalności rozkładu danej zmiennej.

Zmienna	Grupa	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Pomiar 4	Pomiar 5	Pomiar 6	Efekt główny GRUPA	Efekt główny CZAS	Efekt główny INTER-AKCJA
Długość stopy (mm)	Eksper.	242,417 ± 14,711	246,042 ± 14,348	248,917 ± 14,879	254,917 ± 17,075	257,208 ± 17,401	261,750 ± 15,652	n.s.	F=50,7 p<0,001	F=4,5 p<0,001
	Kontr.	236,000 ± 14,182	242,500 (18,000)	251,136 *** ± 8,871	257,000 (12,000)	263,909 ± 12,440	268,091 ± 11,820			
Szerokość stopy (mm)	Eksper.	98,458 (aa) ± 8,309	98,500 (8,000)	102,292 ± 6,464	102,500 (7,500)	105,083 ± 6,626	106,292 ± 6,557	n.s.	F=41,0 p<0,001	F=6,0 p<0,001
	Kontr.	91,591 ± 12,156	97,591 ± 7,385 ***	101,864 ± 5,718 **	104,182 ± 5,746	106,000 ± 5,127	106,955 ± 5,085			
Szerokość kolana (mm)	Eksper.	74,875 (aaa) ± 9,629	75,000 (a) (6,500)	75,000 (6,000)	75,500 (7,500)	78,000 (9,500)	78,000 (9,500)	F=4,2 p<0,05	F=51,7 p<0,001	F=20,3 p<0,001
	Kontr.	61,045 ± 9,126	66,091 *** ± 16,338	75,591 *** ± 6,545	78,318 ± 5,891	80,091 ± 6,354	80,273 ± 6,430			
Obwód głowy (mm)	Eksper.	53,500 (2,000)	53,500 (2,000)	54,000 (2,000)	54,000 (3,500)	54,000 (3,000)	54,000 (3,000)	n.s.	F=25,5 p<0,001	n.s.
	Kontr.	54,000 (1,000)	54,000 * (2,000)	54,000 (2,000)	54,500 (2,000)	55,000 (3,000)	55,000 (3,000)			
Obwód klatki piersiowej (cm)	Eksper.	67,000 (6,500)	69,500 ** (8,000)	71,000 (10,000)	71,000 (11,000)	71,500 (13,500)	75,833 * ± 9,168	n.s.	F=50,9 p<0,001	n.s.
	Kontr.	67,000 (14,000)	71,636 ± 8,209	70,500 (12,000)	75,000 * ± 8,435	76,227 ± 8,613	77,727 ± 8,096			

* - porównanie z wynikiem z pomiaru poprzedzającego (* - p<0,05; ** - p<0,01; *** - p<0,001)

^a - porównanie z wynikiem grupy kontrolnej w obrębie tego samego pomiaru (^a - p<0,05; ^{aa} - p<0,01; ^{aaa} - p<0,001)

cd. Tabeli 2. Zestawienie wyników pomiarów cech somatycznych grupy eksperymentalnej (n=24) i kontrolnej (n=22).

$\bar{x} \pm SD$ - w przypadku rozkładu normalnego, M (IQR) - w przypadku braku normalności rozkładu danej zmiennej.

Zmienna	Grupa	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Pomiar 4	Pomiar 5	Pomiar 6	Efekt główny GRUPA	Efekt główny CZAS	Efekt główny INTER-AKCJA
Obwód ramienia (cm)	Eksper.	20,000 (3,000)	20,000 (3,500)	20,500 (4,000)	21,667 $\pm 3,046$	21,625 $\pm 2,795$	22,417 ** $\pm 2,796$	n.s.	F=39,2 p<0,001	n.s.
	Kontr.	20,000 (6,000)	21,545 * $\pm 3,348$	21,955 $\pm 3,565$	21,500 (7,000)	21,000 (7,000)	22,818 $\pm 3,607$			
Obwód talii (cm)	Eksper.	64,292 $\pm 7,732$	64,000 (8,5000)	67,417 $\pm 9,965$	66,000 (10,000)	66,500 (15,500)	68,500 ** (13,500)	n.s.	F=21,3 p<0,001	n.s.
	Kontr.	65,500 $\pm 9,455$	67,000 $\pm 8,630$	69,045 *** $\pm 8,676$	70,273 $\pm 9,004$	72,500 $\pm 10,414$	72,636 * $\pm 9,815$			
Obwód uda (cm)	Eksper.	36,729 $\pm 5,024$	37,750 $\pm 4,173$	39,125 $\pm 4,600$	38,583 $\pm 4,491$	39,583 $\pm 4,925$	38,917 $\pm 4,925$	n.s.	F=22,6 p<0,001	F=6,6 p<0,001
	Kontr.	37,545 $\pm 4,954$	38,318 $\pm 4,040$	38,545 $\pm 3,876$	41,364 *** $\pm 4,746$	41,773 $\pm 4,908$	42,727 $\pm 4,832$			
Obwód podudzia (cm)	Eksper.	28,521 $\pm 3,321$	29,000 *** (3,500)	30,000 (3,500)	30,750 $\pm 3,260$	30,792 $\pm 3,036$	31,583 $\pm 3,438$	n.s.	F=39,2 p<0,001	F=2,3 p<0,05
	Kontr.	29,000 (6,000)	30,000 (7,000)	30,5000 (6,000)	30,5000 (5,000)	31,500 (4,000)	32,000 (6,000)			
Fałd skórno-tłuszczowy – łopatka (mm)	Eksper.	6,400 (3,100)	5,650 (3,100)	5,950 (6,500)	6,450 (6,500)	5,850 (5,450)	6,350 (3,800)	n.s.	F=2,9 p<0,05	F=3,4 p<0,01
	Kontr.	6,050 (6,600)	5,800 (4,600)	7,200 (11,500)	8,000 (9,900)	7,700 (11,800)	7,100 (12,400)			

* - porównanie z wynikiem z pomiaru poprzedzającego (* - p<0,05; ** - p<0,01; *** - p<0,001)

^a - porównanie z wynikiem grupy kontrolnej w obrębie tego samego pomiaru (^a - p<0,05; ^{aa} - p<0,01; ^{aaa} - p<0,001)

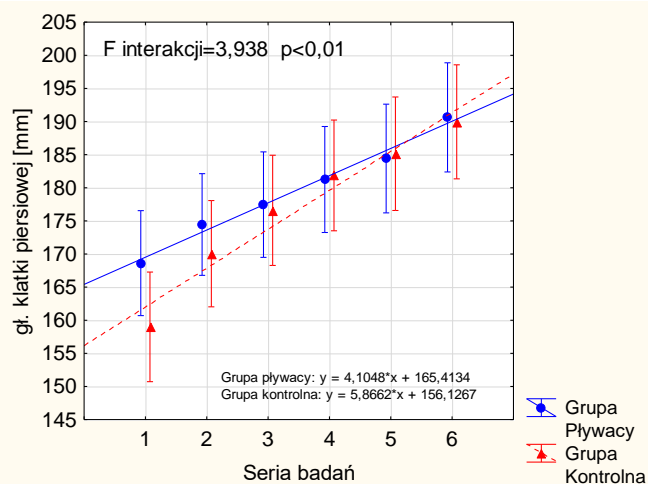
cd. Tabeli 2. Zestawienie wyników pomiarów cech somatycznych grupy eksperymentalnej (n=24) i kontrolnej (n=22).

$\bar{x} \pm SD$ - w przypadku rozkładu normalnego, M (IQR) - w przypadku braku normalności rozkładu danej zmiennej.

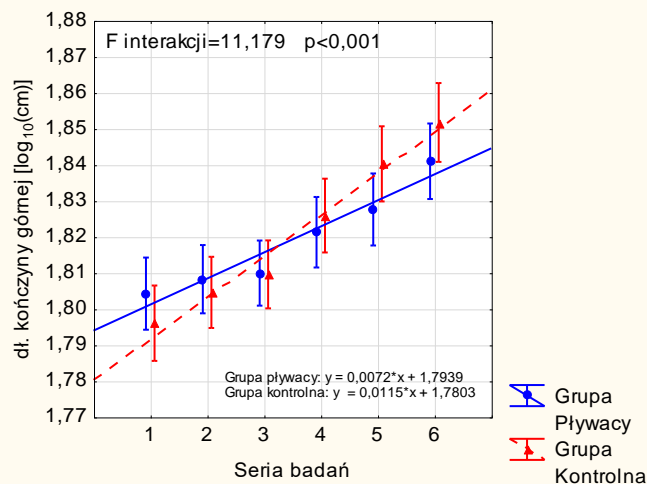
Zmienna	Grupa	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Pomiar 4	Pomiar 5	Pomiar 6	Efekt główny GRUPA	Efekt główny CZAS	Efekt główny INTER-AKCJA
Fałd skórno-tłuszczowy – kolec biodrowy (mm)	Eksper.	6,750 (6,100)	7,800 (8,700)	9,100 (12,700)	8,750 (9,200)	8,850 (10,050)	9,892 ± 5,014	n.s.	F=5,9 p<0,001	F=2,5 p<0,05
	Kontr.	7,900 (15,900)	8,750 (15,500)	15,900 ± 9,840	14,450 (20,900)	16,573 ± 11,297	14,450 (13,900)			
Fałd skórno-tłuszczowy – m. dwugłowy ramienia (mm)	Eksper.	6,600 (4,800)	6,400 (5,450)	6,300 (5,600)	5,650 (4,100)	6,000 (4,150)	6,050 (3,250)	n.s.	n.s.	F=3,4 p<0,01
	Kontr.	7,750 ± 4,216	7,355 ± 4,014	7,559 ± 4,295	8,059 ± 4,134	5,650 (5,900)	7,914 ± 3,116			
Fałd skórno-tłuszczowy – m. trójgłowy ramienia (mm)	Eksper.	11,000 (8,000)	11,350 (7,100)	10,900 (9,700)	10,900 (6,850)	12,663 ± 5,448	12,779 ± 5,801	n.s.	n.s.	n.s.
	Kontr.	11,600 (4,600)	13,468 ± 5,858	15,032 ± 6,722	16,695 ± 8,570	17,027 ± 9,145	16,909 ± 7,264			
Zawartość tkanki tłuszczowej (%)	Eksper.	15,771 (9,274)	15,996 (10,461)	15,498 (12,285)	15,993 (10,938)	15,951 (9,825)	18,731 ± 7,967	n.s.	F=3,2 p<0,01	F=2,9 p<0,05
	Kontr.	18,624 ± 6,376	19,212 ± 8,087	21,891 ± 9,246	22,851 ± 10,245	23,053 ± 11,325	23,791 ± 9,273			

* - porównanie z wynikiem z pomiaru poprzedzającego (* - p<0,05; ** - p<0,01; *** - p<0,001)

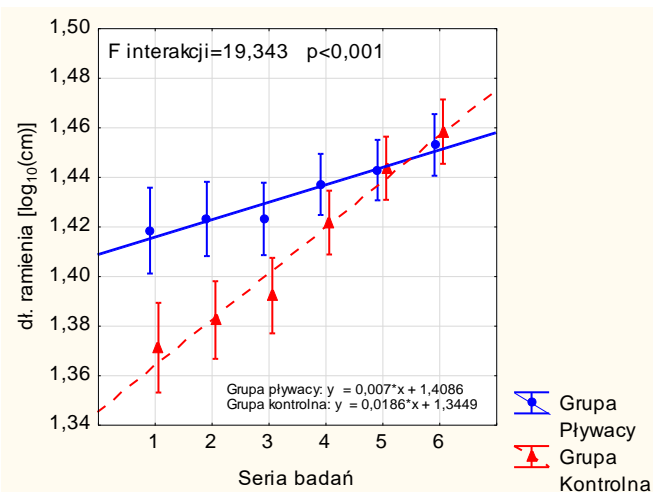
^a - porównanie z wynikiem grupy kontrolnej w obrębie tego samego pomiaru (^a - p<0,05; ^{aa} - p<0,01; ^{aaa} - p<0,001)



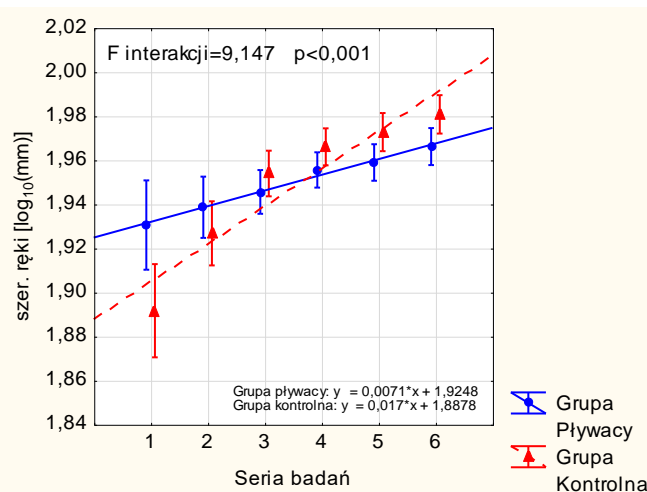
Ryc. 1. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyniku pomiaru głębokości klatki piersiowej (mm).



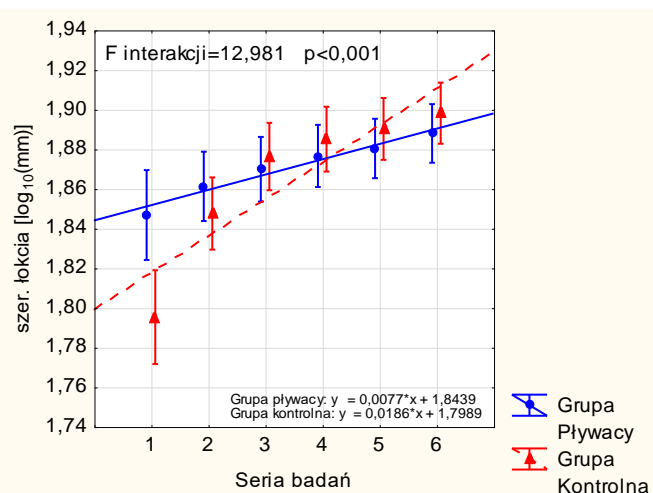
Ryc. 2. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników pomiaru długości kończyny górnej [log₁₀(cm)].



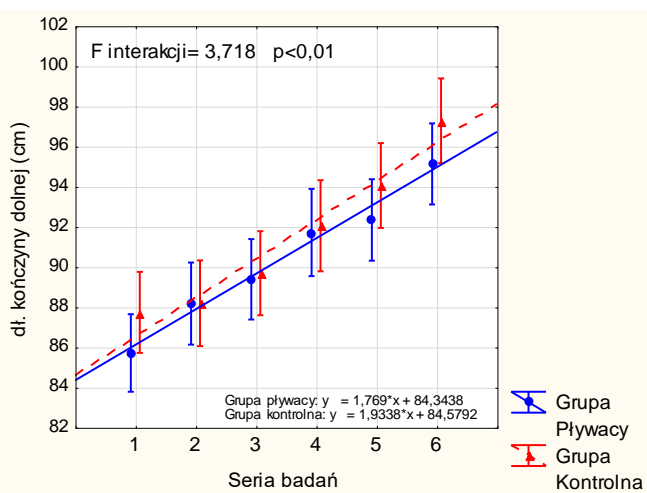
Ryc. 3. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników pomiaru długości ramienia [log₁₀(cm)].



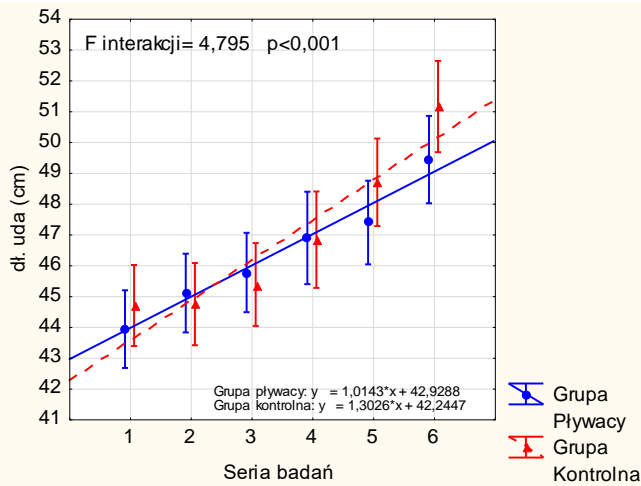
Ryc. 4. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników pomiaru szerokości ręki [log₁₀(mm)].



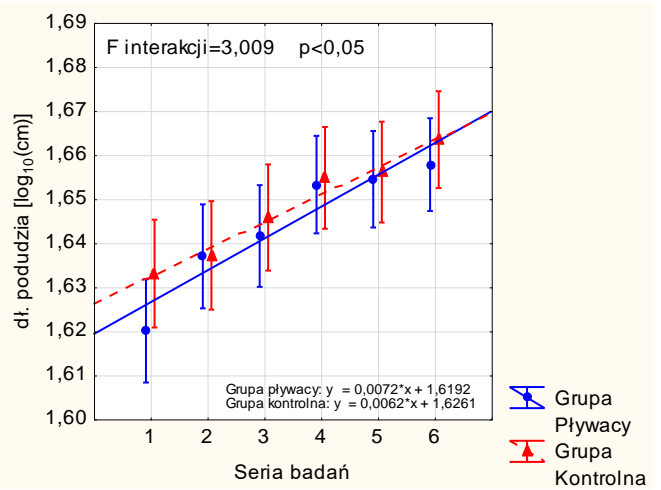
Ryc. 5. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i eksperymentalną dla wyników pomiaru szerokości łokcia [log₁₀(mm)].



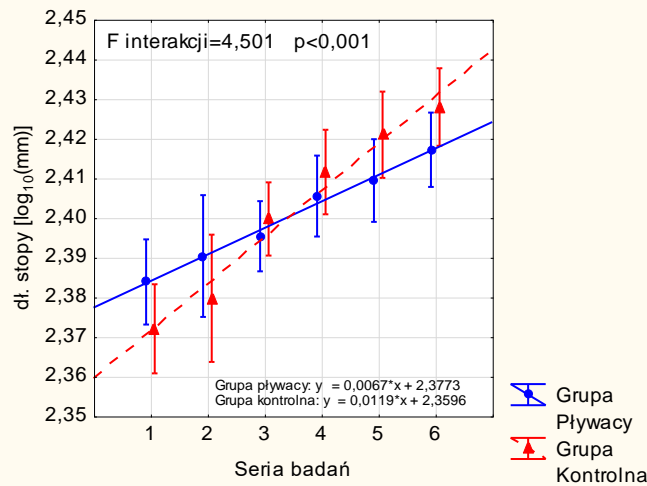
Ryc. 6. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników pomiaru długości kończyny dolnej (cm).



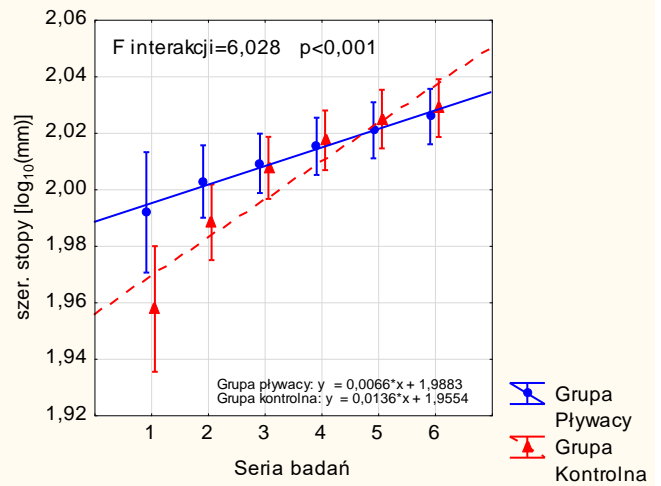
Ryc. 7. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników pomiaru długości uda (cm).



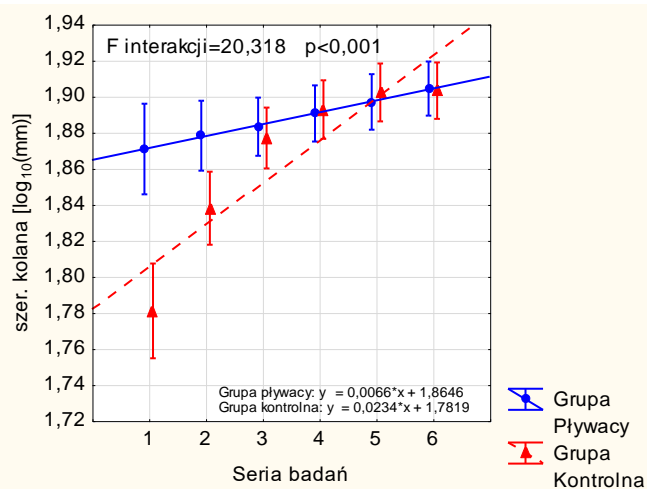
Ryc. 8. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników pomiaru długości podudzia [$\log_{10}(\text{cm})$].



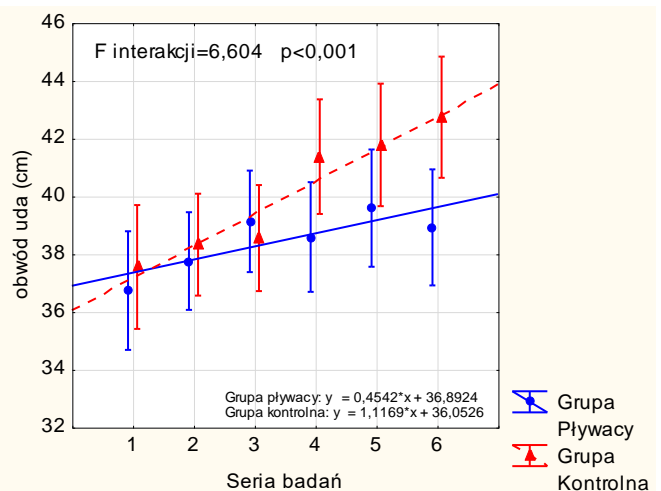
Ryc. 9. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników pomiaru długości stopy [$\log_{10}(\text{mm})$].



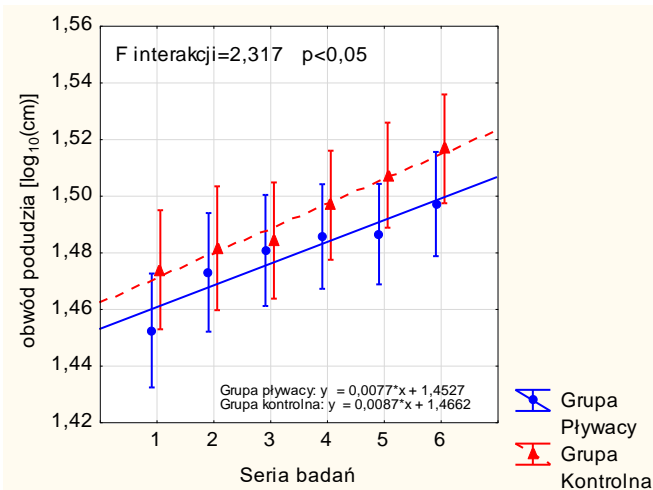
Ryc. 10. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników pomiaru szerokości stopy [$\log_{10}(\text{mm})$].



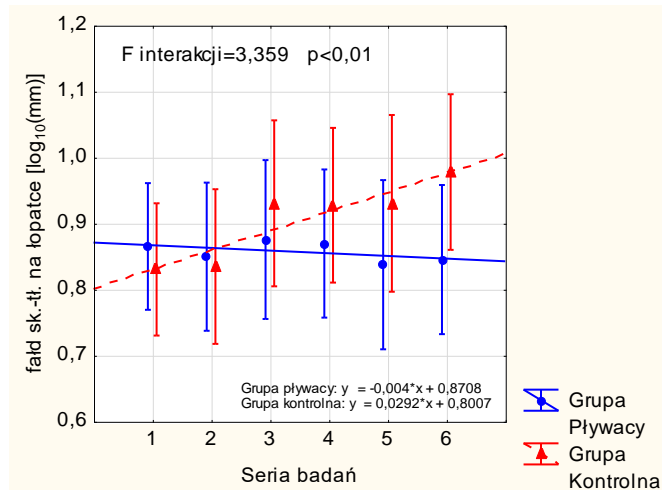
Ryc. 11. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników pomiaru szerokości kolana [$\log_{10}(\text{mm})$].



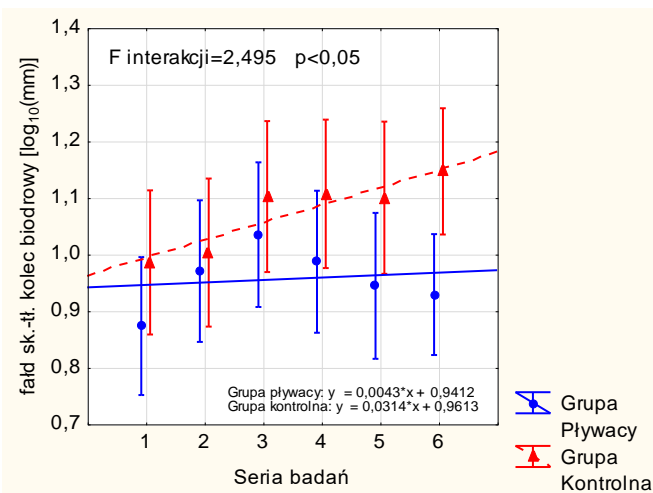
Ryc. 12. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników pomiaru obwodu uda (cm).



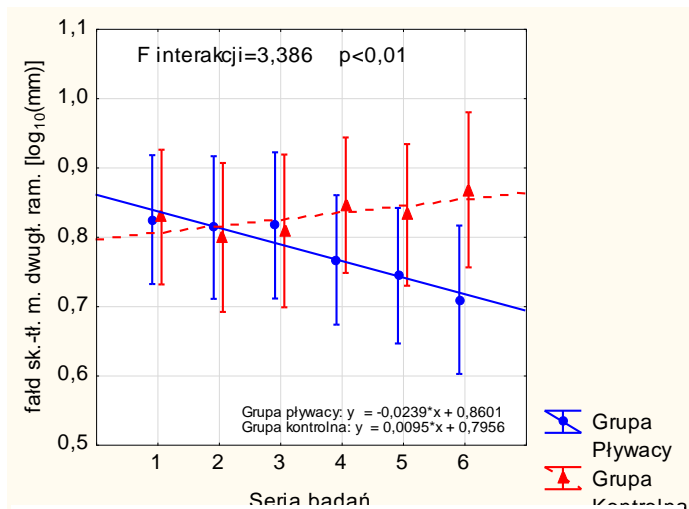
Ryc. 13. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników pomiaru obwodu podudzia [$\log_{10}(\text{cm})$].



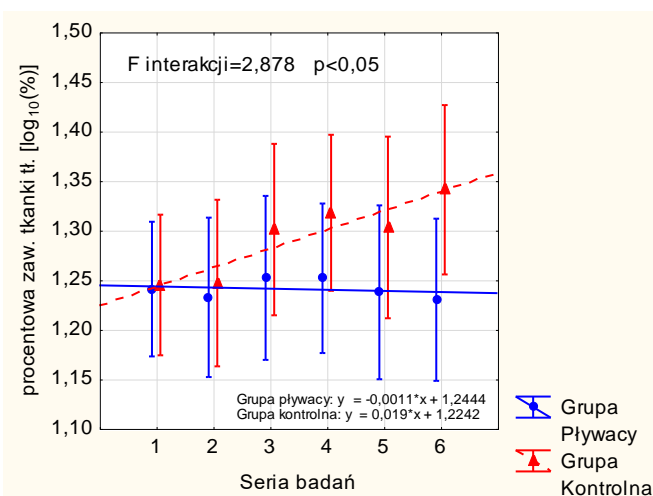
Ryc. 14. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników pomiaru fałdu skórno-tłuszczowego pod kątem dolnym łopatki [$\log_{10}(\text{mm})$].



Ryc. 15. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników pomiaru fałdu skórno-tłuszczowego nad kolcem biodrowym [$\log_{10}(\text{mm})$].



Ryc. 16. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników pomiaru fałdu skórno-tłuszczowego nad mięśniem dwugłowym ramienia [$\log_{10}(\text{mm})$].



Ryc. 17. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników obliczeń otluszczenia ciała [$\log_{10}(\%)$].

4.3. Porównanie zmian dotyczących wydolności tlenowej i beztlenowej w grupie eksperymentalnej i w grupie kontrolnej

W odniesieniu do maksymalnego poboru tlenu ($\dot{V}O_2\max$) wykazano istotną różnicę pomiędzy badanymi grupami w ostatnim roku pomiarów ($p<0,001$) na korzyść pływaków, oraz odnotowano większą dynamikę zmian wydolności tlenowej (efekt główny interakcji) u osób uprawiających pływanie w porównaniu z osobami którzy nie uprawiali pływania (Ryc.18). Grupa eksperymentalna charakteryzowała się zmianami istotnie statystycznymi pomiędzy pomiarami 2 i 3 ($p<0,05$) oraz 4 i 5 ($p<0,001$) (Tab.3).

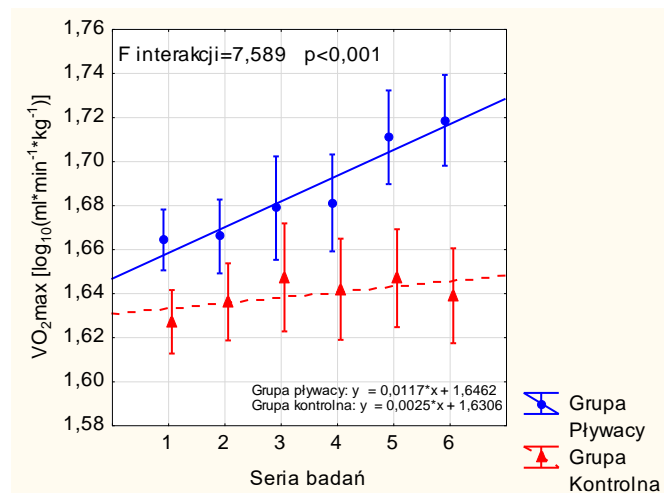
U wszystkich badanych osób nastąpił wzrost maksymalnej pracy anaerobowej (MPA) w trakcie 3-letnich badań (efekt główny czynnika „czas”), a większym przyrostem tej cechy charakteryzowała się grupa trenująca pływanie (Ryc.19). W grupie uprawiającej pływanie wykazano istotnie statystycznie zmiany pomiędzy pomiarami 3 i 4 ($p<0,01$) oraz w grupie kontrolnej również pomiędzy pomiarami 3 i 4 ($p<0,05$) (Tab.3).

Tabela 3. Zestawienie wyników $\dot{V}O_2\max$ i MPA grupy eksperymentalnej (n=24) i grupy kontrolnej (n=22).
 $\bar{x} \pm SD$ - w przypadku rozkładu normalnego, M (IQR) - w przypadku braku normalności rozkładu danej zmiennej.

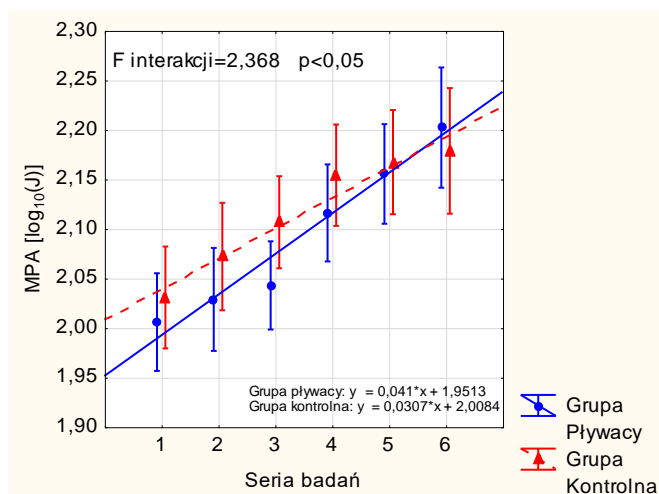
Zmienna	Grupa	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Pomiar 4	Pomiar 5	Pomiar 6	Efekt główny GRUPA	Efekt główny CZAS	Efekt główny INTERAKCJA
$\dot{V}O_2\max$ (ml*min ⁻¹ *kg ⁻¹)	Eksper.	46,325 ± 4,023	46,537 ± 4,941	48,186 * ± 6,941	48,292 ± 5,843	53,023 *** (aaa) (12,703)	53,630 (aaa) (9,537)	F=13,8 p<0,001	F=14,0 p<0,001	F=7,6 p<0,001
	Kontr.	41,511 (4,774)	43,427 ± 3,799	46,661 (9,027)	44,131 ± 5,285	46,219 (7,622)	43,784 ± 4,919			
MPA (J)	Eksper.	106,532 ± 33,899	113,270 ± 38,856	113,925 ± 130,418	134,903 ** ± 35,964	145,914 (44,254)	167,222 (55,422)	n.s.	F=47,9 p<0,001	F=2,4 p<0,05
	Kontr.	109,308 ± 21,433	120,020 ± 23,402	131,355 ± 31,637	148,358 * ± 43,461	153,991 ± 49,201	141,647 (81,158)			

* - porównanie z wynikiem z pomiaru poprzedzającego (* - p<0,05; ** - p<0,01; *** - p<0,001)

^a - porównanie z wynikiem grupy kontrolnej w obrębie tego samego pomiaru (^a - p<0,05; ^{aa} - p<0,01; ^{aaa} - p<0,001)



Ryc. 18. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników obliczeń wskaźnika wydolności tlenowej $\dot{V}O_2\max$ [$\log_{10}(\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1})$].



Ryc. 19. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników obliczeń wskaźnika wydolności beztlenowej MPA [$\log_{10}(\text{J})$].

4.4. Porównanie zmian dotyczących rozwoju i czynności układu oddechowego w grupie eksperymentalnej i w grupie kontrolnej

Obie grupy nie różniły się statystycznie między sobą w odniesieniu do wyników testów czynności układu oddechowego w trakcie rozpoczęcia badań, natomiast podczas 3 ostatnich pomiarów odnotowano istotne różnice ($p < 0,001$) w testach czasu dowolnego bezdechu na korzyść pływaków (Tab.4). Tylko dla natężonej objętości wydechowej pierwszosekundowej nie stwierdzono efektu głównego czynnika „czas”. W trakcie 3-letniego okresu badań grupa eksperymentalna charakteryzowała się większą dynamiką zmian pojemności życiowej płuc ($p < 0,001$) (Ryc.20), natężonej objętości wydechowej pierwszosekundowej ($p < 0,001$) (Ryc.21), oraz czasem dowolnego bezdechu po hiperwentylacji ($p < 0,001$) (Ryc.22).

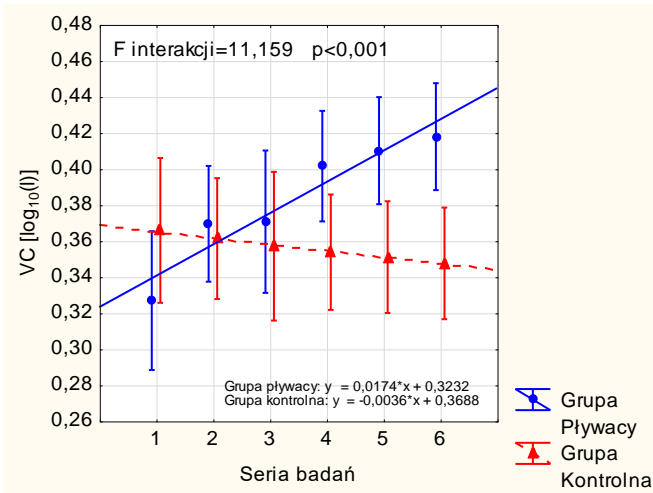
Tabela 4. Zestawienie wyników testów oddechowych grupy eksperymentalnej (n=24) i kontrolnej (n=22).

$\bar{x} \pm SD$ - w przypadku rozkładu normalnego, M (IQR) - w przypadku braku normalności rozkładu danej zmiennej.

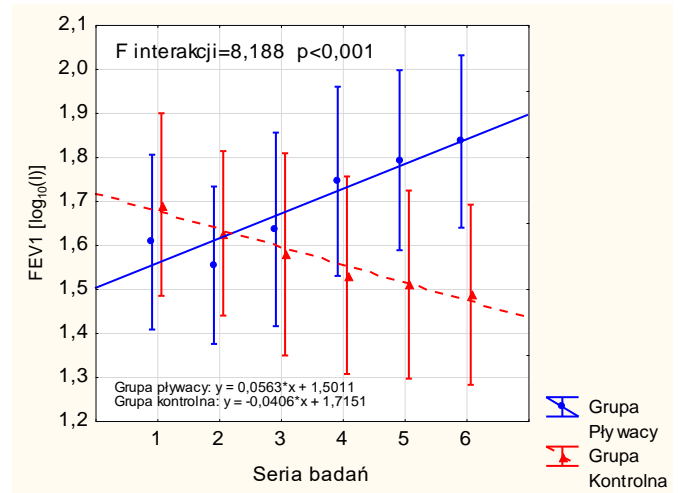
Zmienna	Grupa	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Pomiar 4	Pomiar 5	Pomiar 6	Efekt główny GRUPA	Efekt główny CZAS	Efekt główny INTER-AKCJA
Pojemność życiowa płuc – VC (l)	Eksper.	2,172 ± 0,467	2,374 * ± 0,419	2,408 ± 0,499	2,541 * ± 0,332	2,589 ± 0,313	2,635 ± 0,308	n.s.	F=5,1 p<0,001	F=11,2 p<0,001
	Kontr.	2,367 ± 0,480	2,339 ± 0,468	2,190 (0,610)	2,190 (0,610)	2,170 (0,650)	2,273 ± 0,495			
Natężona objętość wydechowa pierwszos. – FEV1 (l)	Eksper.	1,605 ± 0,504	1,553 ± 0,374	1,635 ± 0,376	1,744 ± 0,348	1,792 ± 0,327	1,834 ± 0,312	n.s.	n.s.	F=8,2 p<0,001
	Kontr.	1,691 ± 0,459	1,625 ± 0,493	1,578 ± 0,666	1,530 ± 0,662	1,509 ± 0,634	1,486 ± 0,607			
Wskaźnik Tiffeneau (%)	Eksper.	75,543 ± 23,403	67,696 ± 16,055	68,645 ± 14,626	64,794 (16,946)	69,685 ± 13,131	65,682 (12,557)	n.s.	F=2,6 p<0,05	n.s.
	Kontr.	71,924 ± 14,719	69,452 ± 14,527	67,172 ± 21,187	65,555 ± 21,063	65,424 ± 21,202	65,053 ± 20,301			
Czas dowolnego bezdechu – hiperwent. (s)	Eksper.	48,548 ± 18,327	51,950 ± 12,191	50,783 ± 16,784	62,744 ** (aaa) ± 19,226	66,880 (aaa) ± 17,338	71,293 (aaa) ± 16,579	F=22,5 p<0,001	F=6,7 p<0,001	F=6,3 p<0,001
	Kontr.	41,859 ± 13,930	41,220 ± 11,083	39,340 ± 13,503	42,280 (27,740)	40,032 ± 12,460	42,165 ± 12,142			

* - porównanie z wynikiem z pomiaru poprzedzającego (* - p<0,05; ** - p<0,01; *** - p<0,001)

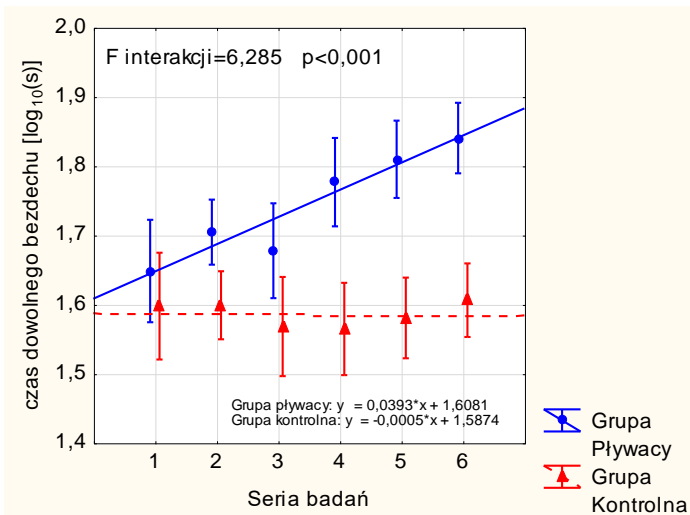
^a - porównanie z wynikiem grupy kontrolnej w obrębie tego samego pomiaru (^a - p<0,05; ^{aa} - p<0,01; ^{aaa} - p<0,001)



Ryc. 20. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników pomiaru pojemności życiowej płuc – VC [log₁₀(l)].



Ryc. 21. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników pomiaru natężonej objętości wydechowej pierwszosekundowej – FEV1 (l).



Ryc. 22. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników pomiaru czasu dowolnego bezdechu po hiperwentylacji [log₁₀(s)].

4.5. Porównanie zmian dotyczących zdolności motorycznych w grupie eksperymentalnej i grupie kontrolnej

Grupa trenująca pływanie uzyskiwała istotnie wyższe wyniki testu szybkości i koordynacji ($p < 0,001$) tylko w pierwszym pomiarze w porównaniu z grupą kontrolną (Tab.5). Efekt główny czynnika „czas” nie był istotny dla wyników testów siły mięśni brzucha, jednak w końcowym etapie badań (pomiar 4, 5, 6) grupa eksperymentalna uzyskiwała w nich istotnie wyższe wyniki (odpowiednio $p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$). Grupa kontrolna charakteryzowała się większą dynamiką zmian przyrostu szybkości i koordynacji w całym okresie badań ($p < 0,01$) (Ryc.23), natomiast grupa pływaków wykazywała większą dynamikę rozwoju siły eksplozywnej kończyn dolnych ($p < 0,001$) (Ryc.24), oraz siły mięśni brzucha ($p < 0,001$) (Ryc.25).

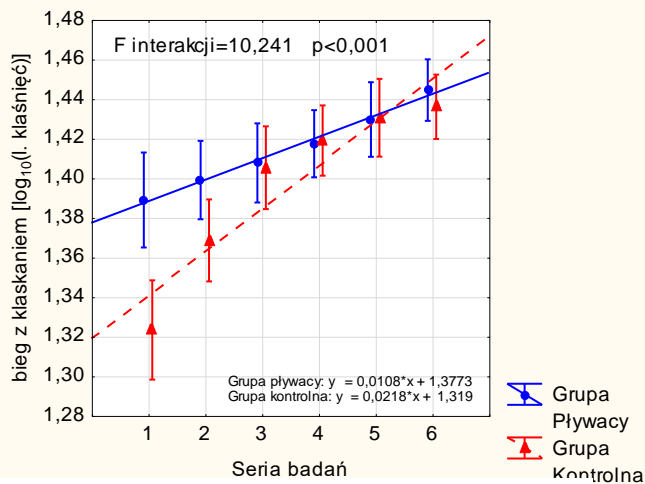
Tabela 5. Zestawienie wyników testów sprawności motorycznych grupy eksperymentalnej (n=24) i kontrolnej (n=22).

$\bar{x} \pm SD$ - w przypadku rozkładu normalnego, M (IQR) - w przypadku braku normalności rozkładu danej zmiennej.

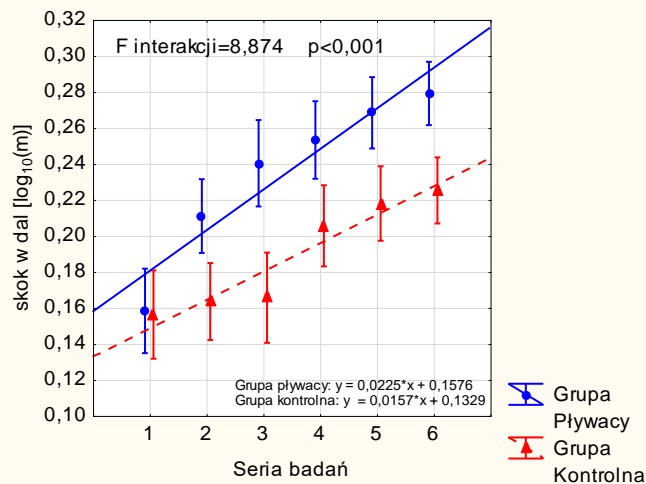
Zmienna	Grupa	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Pomiar 4	Pomiar 5	Pomiar 6	Efekt główny GRUPA	Efekt główny CZAS	Efekt główny INTER-AKCJA
Bieg w miejscu – szybkość i koordyn. (liczba kłaśnień)	Eksper.	24,708 ^(aaa) ± 3,445	25,167 ± 02,371	25,000 (4,000)	25,000 (2,500)	27,083 ± 3,348	27,958 ± 2,758	n.s.	F=57,1 p<0,001	F=10,2 p<0,001
	Kontr.	21,000 (3,000)	23,545 *** ± 3,003	25,636 *** ± 3,416	26,364 ± 2,629	27,000 (2,000)	27,500 (2,000)			
Skok w dal z miejsca – siła kończyn dolnych (m)	Eksper.	1,451 ± 0,180	1,660 *** (a) (0,210)	1,743 ** (aaa) ± 0,129	1,799 (a) ± 0,171	1,861 (a) ± 0,158	1,906 (aa) ± 0,138	F=11,8 p<0,01	F=82,0 p<0,001	F=8,9 p<0,001
	Kontr.	1,445 ±0,193	1,471 ± 0,210	1,486 ± 0,259	1,620 *** ± 0,219	1,665 ± 0,210	1,760 (0,210)			
Nożyce poprzeczne - siła mięśni brzucha (s)	Eksper.	40,700 ± 18,255	40,945 ± 17,266	37,812 ± 16,319	43,265 (a) ± 14,434	48,127 (aa) ± 16,713	52,043 (aaa) ± 15,719	F=13,4 p<0,001	n.s.	F=7,0 p<0,001
	Kontr.	31,214 ± 17,761	29,880 ± 12,411	29,527 ± 12,231	28,517 ± 14,283	24,945 (17,810)	27,647 ±13,015			

* - porównanie z wynikiem z pomiaru poprzedzającego (* - p<0,05; ** - p<0,01; *** - p<0,001)

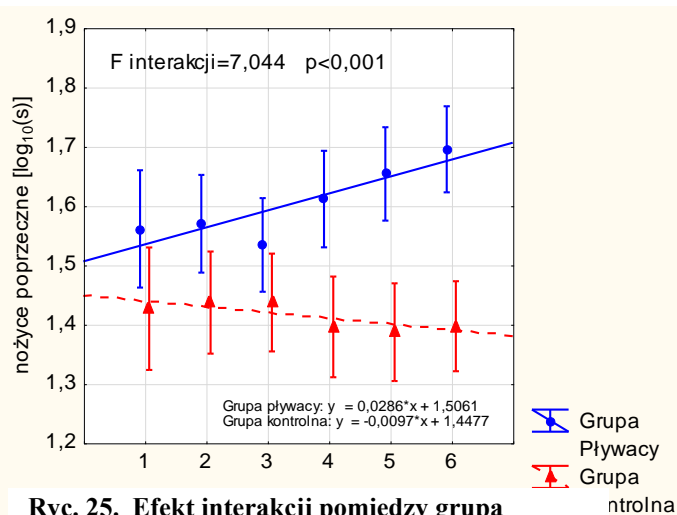
^a - porównanie z wynikiem grupy kontrolnej w obrębie tego samego pomiaru (^a - p<0,05; ^{aa} - p<0,01; ^{aaa} - p<0,001)



Ryc. 23. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników pomiaru testu szybkości i koordynacji – bieg w miejscu z klaskaniem [\log_{10} (liczba kłaśnień)].



Ryc. 24. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników pomiaru testu siły eksplozywnej kończyn dolnych – skok w dal z miejsca [\log_{10} (m)].



Ryc. 25. Efekt interakcji pomiędzy grupą kontrolną i grupą eksperymentalną dla wyników pomiaru testu siły mięśni brzucha – nożyce poprzeczne [\log_{10} (s)].

4.6. Wyniki sportowe w pływaniu a wybrane zmienne somatyczne, motoryczne i fizjologiczne grupy eksperymentalnej

W okresie 3 lat badań rezultaty uzyskiwane przez grupę eksperymentalną we wszystkich czterech testach pływackich uległy istotnej poprawie – efekt główny czynnika „czas” ($p < 0,001$) (Tab.6). Zgodnie z wynikami testów post-hoc na dystansach sprinterskich nie odnotowano istotnej statystycznie poprawy uzyskiwanych czasów między 5 i 6 pomiarem w obu stylach oraz na dystansie 50 m stylem klasycznym między 2 i 3. Na dystansie 400 m kraulem na piersiach istotna poprawa wyników sportowych występowała tylko w początkowej fazie badań (pomiar 2 i 3 – $p < 0,001$). W odniesieniu do 12-minutowego testu pływania, istotna poprawa wyników występowała począwszy od 3 pomiaru (pomiar 2 vs 3 – $p < 0,05$, pomiar 3 vs 4 – $p < 0,05$, pomiar 4 vs 5 – $p < 0,001$, pomiar 5 vs 6 – $p < 0,05$).

Tabela 6. Zestawienie wyników sprawdzianów pływackich grupy eksperymentalnej (n=24). $\bar{x} \pm SD$ - w przypadku rozkładu normalnego, M (IQR) - w przypadku braku normalności rozkładu danej zmiennej.

Zmienna	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Pomiar 4	Pomiar 5	Pomiar 6	Efekt główny CZAS
50 m styl klasyczny (s)	69,212 ± 13,853	63,988 ** ± 11,036	61,173 ± 12,110	56,780 ** ± 8,231	52,731 * ± 6,143	50,985 ± 4,922	F=35,74 p<0,001
50 m kraul na piersiach (s)	56,980 (18,100)	51,587 *** ± 10,774	48,655 * ± 9,498	44,965 ** ± 7,027	39,085 *** (7,590)	38,715 (8,910)	F=57,07 p<0,001
400 m kraul na piersiach (s)	664,720 (251,370)	557,220 *** (199,160)	483,585 *** 195,115)	522,162 ± 103,372	510,373 ± 90,711	496,023 ± 84,170	F=33,79 p<0,001
12-min test pływania (m)	495,333 ± 104,889	513,917 ± 104,783	536,958 * ± 111,754	561,042 * ± 123,076	609,042 *** ± 106,856	633,125 * ± 95,937	F=51,55 p<0,001

* - porównanie z wynikiem z pomiaru poprzedzającego (* - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$)

Wyniki analizy korelacji Pearsona pomiędzy rezultatami uzyskanymi w testach pływackich a zmiennymi somatycznymi, motorycznymi i fizjologicznymi w czasie 3-letniego okresu badań przedstawiono w Tabelach 7–11.

Tabela 7. Zestawienie wyników analizy korelacji Pearsona pomiędzy wynikami sprawdzianów pływackich a zmiennymi somatycznymi (n=144).

Zmienna	50 m. styl klasyczny	50 m. kraul na piersiach	400 m. kraul na piersiach	12-min test pływania
Wiek biologiczny	r= -0,437 p<0,001	r= -0,544 p<0,001	r= -0,422 p<0,001	r= 0,423 p<0,001
Masa ciała	r= 0,266 n.s.	r= -0,393 p<0,001	r= -0,329 p<0,001	r= 0,316 p<0,001
Wysokość ciała	r= -0,453 p<0,001	r= -0,498 p<0,001	r= -0,417 p<0,001	r= 0,459 p<0,001
Długość głowy	r= -0,236 n.s.	r= -0,219 n.s.	r= -0,317 p<0,001	r= 0,295 p<0,001
Szerokość głowy	r= 0,107 n.s.	r= 0,130 n.s.	r= 0,196 n.s.	r= -0,086 n.s.
Szerokość barków	r= -0,262 n.s.	r= -0,303 p<0,001	r= -0,299 p<0,001	r= 0,304 p<0,001
Szerokość klatki piersiowej	r= -0,315 p<0,001	r= -0,406 p<0,001	r= -0,377 p<0,001	r= 0,357 p<0,001
Głębokość klatki piersiowej	r= -0,239 n.s.	r= -0,363 p<0,001	r= -0,322 p<0,001	r= 0,308 p<0,001
Szerokość bioder	r= -0,253 n.s.	r= -0,307 p<0,001	r= -0,277 n.s.	r= 0,270 n.s.
Długość kończyny górnej	r= -0,338 p<0,001	r= -0,407 p<0,001	r= -0,395 p<0,001	r= 0,444 p<0,001
Długość ramienia	r= -0,016 n.s.	r= -0,031 n.s.	r= -0,084 n.s.	r= 0,145 n.s.
Długość przedramienia	r= -0,374 p<0,001	r= -0,531 p<0,001	r= -0,343 p<0,001	r= 0,433 p<0,001
Długość ręki	r= -0,524 p<0,001	r= -0,558 p<0,001	r= -0,568 p<0,001	r= 0,520 p<0,001
Szerokość ręki	r= -0,310 p<0,001	r= -0,297 p<0,001	r= -0,308 p<0,001	r= 0,394 p<0,001
Szerokość łokcia	r= -0,441 p<0,001	r= -0,342 p<0,001	r= -0,473 p<0,001	r= 0,411 p<0,001
Długość kończyny dolnej	r= -0,462 p<0,001	r= -0,485 p<0,001	r= -0,416 p<0,001	r= 0,445 p<0,001
Długość uda	r= -0,497 p<0,001	r= -0,467 p<0,001	r= -0,474 p<0,001	r= 0,527 p<0,001
Długość podudzia	r= -0,280 n.s.	r= -0,320 p<0,001	r= -0,199 n.s.	r= 0,187 n.s.
Długość stopy	r= -0,360 p<0,001	r= -0,357 p<0,001	r= -0,297 p<0,001	r= 0,346 p<0,001
Szerokość stopy	r= -0,328 p<0,001	r= -0,373 p<0,001	r= -0,347 p<0,001	r= 0,416 p<0,001
Szerokość kolana	r= -0,259 n.s.	r= -0,203 n.s.	r= -0,264 n.s.	r= 0,230 n.s.
Obwód głowy	r= -0,102 n.s.	r= -0,066 n.s.	r= -0,051 n.s.	r= 0,065 n.s.

cd. Tabeli 7. Zestawienie wyników analizy korelacji Pearsona pomiędzy wynikami sprawdzianów pływackich a zmiennymi somatycznymi (n=144).

Zmienna	50 m. styl klasyczny	50 m. kraul na piersiach	400 m. kraul na piersiach	12-min test pływania
Obwód klatki piersiowej	r= -0,200 n.s.	r= -0,344 p<0,001	r= -0,315 p<0,001	r= 0,257 n.s.
Obwód ramienia	r= -0,163 n.s.	r= -0,298 p<0,001	r= -0,324 p<0,001	r= 0,276 n.s.
Obwód talii	r= -0,034 n.s.	r= -0,107 n.s.	r= -0,064 n.s.	r= 0,126 n.s.
Obwód uda	r= -0,107 n.s.	r= -0,021 n.s.	r= -0,154 n.s.	r= 0,126 n.s.
Obwód podudzia	r= 0,156 n.s.	r= -0,1994 n.s.	r= -0,201 n.s.	r= 0,091 n.s.
Fałd skórno- tłuszcz. - łopatka	r= 0,106 n.s.	r= -0,022 n.s.	r= -0,090 n.s.	r= 0,017 n.s.
Fałd skórno- tłuszcz. - kolec biodrowy	r= 0,141 n.s.	r= -0,12 n.s.	r= 0,018 n.s.	r= -0,096 n.s.
Fałd skórno- tłuszcz. - m. dwugłowy ramienia	r= 0,174 n.s.	r= 0,082 n.s.	r= 0,030 n.s.	r= -0,095 n.s.
Fałd skórno- tłuszcz. - m. trójglowy ramienia	r= 0,149 n.s.	r= 0,033 p<0,05	r= 0,027 n.s.	r= -0,068 n.s.
Procentowa zawartość tkanki tłuszczowej	r= 0,138 n.s.	r= 0,018 n.s.	r= -0,006 n.s.	r= -0,047 n.s.

Wyniki analizy wykazały, że wszystkie istotne statystycznie korelacje zmiennych somatycznych na dystansach 50 m i 400 m miały charakter ujemny. W odniesieniu do 12-minutowego testu pływania – wszystkie istotne korelacje miały charakter dodatni. Siedem zmiennych odnoszących się do budowy somatycznej ciała tj.: szerokość głowy, długość ramienia, szerokość kolana oraz obwody: głowy, talii, uda i podudzia nie wykazały istotnej statystycznie korelacji z żadnym wynikiem pływackim uzyskiwanym przez chłopców w wieku 10–12 lat (Tab.7).

Grubość fałdów skórno-tłuszczowych mierzona w czterech różnych punktach anatomicznych nie korelowała istotnie statystycznie z otrzymywanymi wynikami sportowymi na żadnym dystansie. Również procentowa zawartość tkanki tłuszczowej nie wykazała istotnej statystycznie korelacji z uzyskiwanymi przez grupę eksperymentalną rezultatami testów pływackich (Tab.7).

Tabela 8. Zestawienie wyników analizy korelacji Pearsona pomiędzy wynikami sprawdzianów pływackich a wskaźnikami wydolności (n=144).

Zmienna	50 m. styl klasyczny	50 m. kraul na piersiach	400 m. kraul na piersiach	12-min test pływania
$\dot{V}O_2\max$	r= -0,529 p<0,001	r= -0,443 p<0,001	r= -0,514 p<0,001	r=0,590 p<0,001
MPA	r= -0,542 p<0,001	r= -0,525 p<0,001	r= -0,504 p<0,001	r=0,500 p<0,001

Wyniki przeprowadzonej analizy wskazują na występowanie istotnej statystycznie korelacji o charakterze dodatnim pomiędzy maksymalną pracą anaerobową i maksymalnym poborem tlenu tylko w 12-min teście pływania. W pozostałych przeprowadzonych testach pływackich wystąpiła istotna statystycznie korelacja o charakterze ujemnym (Tab.8).

Tabela 9. Zestawienie wyników analizy korelacji Pearsona pomiędzy wynikami sprawdzianów pływackich a testami oddechowymi (n=144).

Zmienna	50 m. styl klasyczny	50 m. kraul na piersiach	400 m. kraul na piersiach	12-min test pływania
Pojemność życiowa puc – VC	r= -0,499 p<0,001	r= -0,443 p<0,001	r= -0,430 p<0,001	r=0,491 p<0,001
Natężona objętość wydechowa pierwszosekundowa płuc – FEV1	r= -0,373 p<0,001	r= -0,323 p<0,001	r= -0,407 p<0,001	r=0,366 p<0,001
Wskaźnik Tiffeneau	r=0,024 n.s.	r=0,018 n.s.	r= -0,036 n.s.	r= -0,004 n.s.
Czas dowolnego bezdechu – po hiperwentylacji	r= -0,353 p<0,001	r= -0,444 p<0,001	r= -0,316 p<0,001	r=0,367 p<0,001

Pojemność życiowa płuc oraz objętość wydechowa pierwszosekundowa korelowała istotnie statystycznie ujemnie podczas testów: 50 m stylem klasycznym, 50 m kraulem na piersiach oraz 400 m kraulem na piersiach. Również wraz ze wzrostem czasu dowolnego bezdechu po hiperwentylacji u chłopców trenujących pływanie polepszały się rezultaty w każdym z przeprowadzanych testów w wodzie. Wskaźnik obturacji dróg oddechowych nie wykazywał korelacji istotnie statystycznej z wynikami przeprowadzonych testów pływackich (Tab. 9).

Tabela 10. Zestawienie wyników analizy korelacji Pearsona pomiędzy wynikami sprawdzianów pływackich a testami sprawnościowymi (n=144).

Zmienna	50 m. styl klasyczny	50 m. kraul na piersiach	400 m. kraul na piersiach	12-min test pływania
Bieg w miejscu – szybkość i koordynacja	r= -0,344 p<0,001	r= -0,194 n.s.	r= -0,190 n.s.	r=0,182 n.s.
Skok w dal z miejsca – siła eksploz. kończyn dolnych	r= -0,611 p<0,001	r= -0,622 p<0,001	r= -0,473 p<0,001	r=0,476 p<0,001
Nożyce poprzeczne – siła mięśni brzucha	r= -0,490 p<0,001	r= -0,370 p<0,001	r= -0,417 p<0,001	r=0,381 p<0,001

Poprawa wyników testów siły eksplozywnej kończyn dolnych oraz siły mięśni brzucha u grupy eksperymentalnej oznaczała równoczesną poprawę wyników we wszystkich sprawdzianach pływackich. Wyjątek stanowi test szybkości i koordynacji, gdzie wykazano istotną korelację tylko z wynikami na dystansie 50 m stylem klasycznym (Tab.10).

Do analizy regresji wielorakiej użyto zmiennych silnie skorelowanych ze zmienną zależną i jednocześnie jak najmniej skorelowanych ze sobą, w celu otrzymania jak najbardziej wiarygodnego modelu regresji wielorakiej. Obliczono współczynnik korelacji Pearsona pomiędzy długością kończyny górnej (Tab.11), oraz długość kończyny dolnej (Tab.12) a ich elementami składowymi. Długość ramienia, przedramienia oraz ręki nie zostały ujęte w dalszej analizie regresji wielorakiej, ze względu na występowanie istotnej korelacji pomiędzy nimi a długością całej kończyny górnej. Analogicznie postąpiono w odniesieniu do długości uda i podudzia, których współczynnik korelacji z długością całej kończyny dolnej również okazał się istotny statystycznie. W Tabeli 13. przedstawiono obliczony współczynnik korelacji pomiędzy siłą eksplozywną kończyn dolnych (skok w dal z miejsca) a wskaźnikiem MPA. Wskaźnik ten został użyty ze względu na zbliżony charakter pracy nóg między techniką wykonywania skoku dosiężnego a odbiciem podczas nawrotu od ściany pływalni oraz podczas skoku startowego.

Tabela 11. Zestawienie wyników analizy korelacji Pearsona pomiędzy długością całej kończyny górnej a jej odcinkami (n=144).

Zmienna	Długość ramienia	Długość przedramienia	Długość ręki
Długość kończyny górnej	r= 0,814 p<0,001	r= 0,730 p<0,001	r= 0,765 p<0,001

Tabela 12. Zestawienie wyników analizy korelacji Pearsona pomiędzy długością całej kończyny dolnej a jej odcinkami (n=144).

Zmienna	Długość uda	Długość Podudzia
Długość kończyny dolnej	r= 0,885 p<0,001	r= 0,855 p<0,001

Tabela 13. Zestawienie wyników analizy korelacji Pearsona pomiędzy siłą eksplozywną kończyn dolnych a wskaźnikiem MPA (n=144).

Zmienna	Skok w dal z miejsca – siła eksploz. k. dolnych
MPA	r= 0,395 p<0,001

Tabela 14. Wyniki analizy regresji wielorakiej dla zmiennej zależnej – 50 m stylem klasycznym (n=144).

Zmienna zależna	R ²	SEE	Zmienna niezależna	$\beta \pm SE$	B \pm SE	p
50 m - styl klasyczny	0,533	0,056	MPA	-0,442	-0,241	p<0,001
			$\dot{V}O_2\max$	-0,343	-0,522	p<0,001
			Nożyce poprzeczne – siła mięśni brzucha	-0,227	-0,096	p<0,01

W modelu otrzymanym za pomocą metody regresji krokowej postępującej, który wyjaśnia 53% zmienności wyniku testu pływackiego na dystansie 50 m stylem klasycznym, znalazły się ostatecznie 3 zmienne (Tab.14). Najważniejszym czynnikiem determinującym wynik (szeregując względem współczynnika β) jest maksymalna praca anaerobowa, gdzie wzrost MPA o jeden dział poprawiał wynik sportowy o 0,24 sek. W dalszej kolejności wskazano na maksymalny pobór tlenu - poprawa rezultatu o 0,52 sek. na każdą jednostkę $\dot{V}O_2\max$ ($ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$) oraz siłę mięśni brzucha – poprawa wyniku pływackiego o 0,1 sek. z każdą kolejną sekundą uzyskiwaną w próbie wykonywania nożyc poprzecznych.

Tabela 15. Wyniki analizy regresji wielorakiej dla zmiennej zależnej – 50 m kraulem na piersiach (n=144).

Zmienna zależna	R ²	SEE	Zmienna niezależna	$\beta \pm SE$	B $\pm SE$	p
50 m – kraul na piersiach	0,536	0,068	Wiek biologiczny	-0,954	-1,751	p<0,001
			$\dot{V}O_2\max$	-0,497	-0,916	p<0,001
			Długość kończyny górnej	0,497	1,602	p<0,001

Jako najważniejsze determinanty osiągniętego wyniku na dystansie 50 m kraulem na piersiach uznano wiek biologiczny (poprawa rezultatu pływackiego o 1,75 sek. z każdym kolejnym rokiem) oraz maksymalny pobór tlenu (poprawa czasu pływania o 0,92 sek. wraz ze wzrostem $\dot{V}O_2\max$ o 1 ml*min⁻¹*kg⁻¹). Wynik pływacki ulegał natomiast pogorszeniu o 1,6 sek. wraz ze wzrostem długości kończyny górnej o 1 cm. (Tab.15).

Tabela 16. Wyniki analizy regresji wielorakiej dla zmiennej zależnej – 400 m kraulem na piersiach (n=144).

Zmienna zależna	R ²	SEE	Zmienna niezależna	$\beta \pm SE$	B $\pm SE$	p
400 m – kraul na piersiach	0,483	0,075	$\dot{V}O_2\max$	-0,530	-1,032	p<0,001
			Obwód ramienia	-0,273	-0,499	p<0,01
			MPA	-0,243	-0,170	p<0,01

W odniesieniu do 400 metrów kraulem na piersiach do najważniejszych czynników wpływających na wynik pływacki zaliczono 3 zmienne: maksymalny pobór tlenu (wzrost wskaźnika $\dot{V}O_2\max$ o 1 ml*min⁻¹*kg⁻¹ poprawia wynik pływacki o 1,03 sek.), obwód ramienia (czas lepszy o 0,50 sek. na każdy 1 cm obwodu ramienia) maksymalna praca anaerobowa (wzrost MPA o jeden dzuł determinował poprawę wyniku o 0,17 sek.) (Tab.16). Stopień dopasowania modelu wyniósł 48%.

Tabela 17. Wyniki analizy regresji wielorakiej dla zmiennej zależnej – 12-minutowy test pływania (n=144).

Zmienna zależna	R ²	SEE	Zmienna niezależna	$\beta \pm SE$	B $\pm SE$	p
12-minutowy test pływania	0,551	0,065	$\dot{V}O_2\text{max}$	0,550	0,984	p<0,001
			Wiek biologiczny	0,292	0,521	p<0,01
			MPA	0,187	0,121	p<0,05

W modelu opisującym 55% zmienności wyniku pływackiego w teście pokonania jak najdłuższego odcinka w czasie 12 minut znalazły się trzy zmienne determinujące wynik: wydolność tlenowa (wzrost wartości $\dot{V}O_2\text{max}$ o 1 ml*min⁻¹*kg⁻¹ poprawia wynik pływacki o 0,98 m), wiek biologiczny (z każdym kolejnym rokiem życia następuje poprawa wyniku o 0,52 m) oraz wydolność beztlenowa (wzrost wartości wzrost MPA o jeden dzuł poprawia wynik o 0,12 m) (Tab.17).

5. DYSKUSJA

5.1. Porównanie grupy eksperymentalnej i grupy kontrolnej pod względem badanych zmiennych

Budowa somatyczna wyczynowych, dorosłych pływaków odbiega znacząco od osób nie uprawiających pływania. Pływacy charakteryzują się większymi rozmiarami klatki piersiowej oraz barków, a także węższą miednicą w stosunku do osób nie uprawiających tego sportu (Johnson i wsp. 1993). Wiele opracowań odnosi się do biomechaniki pływania, techniki, elementów startów, nawrotów, a także dokładnej analizy wyścigu pływackiego, natomiast w literaturze mało miejsca poświęca się wpływowi treningu pływackiego na różnego rodzaju zmienne u dzieci szczególnie w okresie przedpokwitaniowym (Blanksby 2003, Aguado-Henches i wsp. 2018). Gdy zwrócimy uwagę na publikacje dotyczące dzieci uprawiających pływanie, możemy

zaobserwować wiele badań krótkotrwałych, gdzie zazwyczaj badana populacja wcześniej poddawana była selekcji wstępnej do sportu pływackiego (Johnson 1999; Stanula i wsp. 2005; Bawelski i wsp. 2006).

Zgodnie z aktualnie opracowanymi siatkami centylowymi dla populacji polskiej w wieku 3–18 lat (Kułaga i wsp. 2015) masa ciała grupy kontrolnej oraz grupy eksperymentalnej przez 3 lata trwania badań utrzymywała się w wąskiej normie. Wysokość ciała grupy pływaków i grupy nie uprawiającej pływania znajdowała się również w wąskiej normie, przy czym grupa kontrolna w pierwszym i trzecim roku była na poziomie normy szerokiej. Wskaźnik BMI obu badanych grup również oscylował w granicach wąskiej normy przez cały okres prowadzenia badań. Można zatem stwierdzić, że wysokość oraz masa ciała zarówno grupy systematycznie trenującej pływanie, jak i grupy nie trenującej nie odbiegała od średnich norm przyjętych dla polskiej populacji dzieci dla wieku 10–12 lat. Biorąc pod uwagę wskaźnik stanu dojrzałości biologicznej obu badanych grup można zaobserwować, że przez cały okres trwania badań utrzymywał się on w granicach zakresu prawidłowego, określanego jako „norma” (Cieślik 2012). Wskaźnik ten nie uległ żadnej istotnej zmianie pod wpływem 3-letniego treningu pływackiego w grupie eksperymentalnej, zatem można przypuszczać, że ten rodzaj aktywności fizycznej nie wpłynął na przyspieszenie bądź opóźnienie rozwoju biologicznego u chłopców w wieku 10–12 lat. Doniesienia naukowe dotyczące rozwoju biologicznego u dzieci uprawiających pływanie w porównaniu z rówieśnikami, którzy nie wykonywali żadnej dodatkowej aktywności fizycznej, są niejednoznaczne (Benefice i Malina 1996; Wawrzyniak 2001; Nowacka-Chiari 2005). W badaniach Wawrzyniaka (2001) wykazano wyższy stopień rozwoju biologicznego dzieci uprawiających pływanie w porównaniu z rówieśnikami, którzy pływania nie uprawiali. Należy jednak podkreślić, iż mogło być to spowodowane wcześniejszą selekcją do sportu pływackiego. Również Wieczorek i Witkowski (1992), podkreślają, że wyższy stopień rozwoju biologicznego chłopców 3 klasy szkoły podstawowej uprawiających pływanie w porównaniu z rówieśnikami, którzy pływania nie uprawiali świadczą o prawidłowo prowadzonej selekcji do sportu pływackiego. W pracy Nowackiej-Chiari (2005) autorka w badaniach przekrojowych badając dziewczęta w wieku 11–12 lat nie wykazali istotnych różnic w rozwoju biologicznym w porównaniu z rówieśniczkami, które nie wykonywały żadnej dodatkowej aktywności ruchowej.

Wyniki niniejszej pracy wskazują, że trening pływacki nie miał znaczącego wpływu na rozwój wysokości ciała badanych osób. Brak tej zależności potwierdzają

autorzy w swoich badaniach (Glinkowski 1980; Lewandowska i wsp. 1989; Jagiełło 2000). W innych pracach odnotowano większe wartości wysokości ciała u chłopców trenujących pływanie w odniesieniu do osób nie uprawiających sportu pływackiego (Stanula i wsp. 2005; Knechtle 2014), jednakże w badaniach tych grupa pływaków była dobrana poprzez wcześniejszą selekcję wstępną do sportu pływackiego. Również inne doniesienia naukowe potwierdzają, że w przyjętym przedziale wiekowym (10–12 lat) wysokość ciała u chłopców uprawiających pływanie nie jest istotnie większa w porównaniu do rówieśników nie trenujących pływania (Jagiełło 2000). Podobnie sytuacja przedstawia się w odniesieniu do masy ciała, gdzie nie wykazano istotnych różnic pomiędzy badanymi grupami (Jagiełło 2000; Gołąb i wsp. 2003; Cieślik i Mrowicka 2006; Dassanayake i wsp. 2016). W pracy Wieczorka i Witkowskiego z kolei, w trakcie trzyletniej obserwacji dostrzeżono zmiany w masie ciała u pływaków pod wpływem treningu pływackiego, jednak tylko na początku pomiarów (Wieczorek i Witkowski 2001). Autorzy zauważają, że dodatkowa aktywność fizyczna, taka jak pływanie, ma istotne znaczenie na zahamowanie nadmiernego wzrostu masy ciała, co jest pożądane w sporcie pływackim, gdyż mniejsza masa ciała powoduje mniejszy opór w wodzie (Wieczorek i Witkowski 2001; Stanula i wsp. 2005; Cochrane i wsp. 2015). Płatonow twierdzi, że uprawianie pływania prowadzi do zahamowania procesu odkładania tkanki tłuszczowej u zawodników, co może zapobiegać występowaniu nadwagi i wczesnej otyłości u dzieci (Płatonow 1997). Zastosowany w niniejszej pracy trzyletni trening pływacki spowodował zahamowanie przyrostu tkanki tłuszczowej u pływaków wraz z wiekiem, gdzie jednocześnie u osób nie trenujących następował systematyczny wzrost otłuszczenia ciała. Obecnie dochodzi bardzo często do nadwagi dzieci już w okresie przedpokwitaniowym, z tego też względu pływanie może odgrywać bardzo ważną rolę w zapobieganiu nadmiernemu otłuszczeniu ciała (Górecka 2009; Roelofs i wsp. 2017).

Rezultaty uzyskane przez wielu autorów podkreślają wpływ treningu pływackiego na budowę somatyczną dzieci uprawiających pływanie (Wieczorek i wsp. 1990; Piechaczek i wsp. 2000; Stanula i wsp. 2005). Wyniki niniejszej pracy wskazują, iż trening pływacki nie wpłynął istotnie na zmianę budowy somatycznej chłopców w wieku 10–12 lat. Budowa ciała zawodników nie różniła się statystycznie od osób nie trenujących pływania, zatem można przypuszczać, że u chłopców uprawiających pływanie przez okres 3 lat, wzrost wartości zmiennych odnoszących się do ich budowy somatycznej uwarunkowany był naturalnym rozwojem organizmu w wieku

przedpokwitaniowym. W innej pracy badawczej, podczas 3-letniej obserwacji, Piechaczek i wsp. (2000), dowiedli przewagę cech długościowych u dzieci trenujących pływanie w porównaniu z osobami nie uprawiającymi pływania – zarówno u dziewcząt jak i chłopców. Należy jednak zwrócić uwagę, że była to młodzież zakwalifikowana do szkolenia centralnego po wcześniejszej selekcji wstępnej.

Wyniki pracy autorów badających wydolność tlenową u dzieci pokazują, iż u chłopców w wieku 12–15 lat, którzy uprawiają sport pływacki, występuje wyższa wydolności tlenowa w porównaniu z rówieśnikami nie trenującymi pływania (Cempla 1990; Paradowski 1991; Kobosko i Bawelski 2003; Czarnota 2010). W badaniach 4-letnich Dobrzyński (1991) wykazał istotny przyrost $\dot{V}O_2\max$ u dziewcząt i chłopców w wieku od 11 do 15 roku życia uprawiających pływanie (wynoszący 1,53 l) w porównaniu z rówieśnikami, którzy nie uprawiali pływania (w grupie kontrolnej wyniósł zaledwie 0,86 l). Czarnota (2010) w 2-letnich badaniach dzieci w wieku 10 lat, porównując trenujących pływaniem i nie trenujących, podkreśla istotne statystycznie różnice w $\dot{V}O_2\max$ na korzyść trenujących sport pływacki. Z analizy niniejszych badań wynika, że systematyczny trening pływacki wykonywany już w okresie przedpokwitaniowym pokrywa się z wyżej wymienionymi doniesieniami naukowymi. Większe wartości $\dot{V}O_2\max$ u młodych pływaków potwierdzają również w swoich pracach inni autorzy (Rowland 1995; Mandigout i wsp. 2002; Osinski 2003; Łubkowska i wsp. 2010). W pracy Wieczorka (2001) autor ten wykazał spadek poziomu wytrzymałości u wyselekcjonowanych do sportu pływackiego dziewcząt i chłopców w porównaniu z grupą kontrolną. Spadek poziomu wskaźnika wydolności tlenowej autor ten tłumaczy ogólnymi przemianami hormonalnymi ustroju, powodującymi przyrost masy ciała i zasobów tkanki tłuszczowej.

W badaniach nad wydolnością beztlenową autorzy innych prac wykazali wzrost wydolności anaerobowej u osób uprawiających pływanie w odniesieniu do grup nie trenujących (Kosmol i wsp. 2004; Weber i wsp. 2006; Ogonowska i wsp. 2009). Należy jednak zaznaczyć, że badania te dotyczyły pływaków w okresie seniorskim. W przypadku młodych pływaków w porównaniu z rówieśnikami nie trenującymi pływania doniesienia naukowe są niejednoznaczne. W pracy Falgairretta i wsp. (1993), wykorzystując 30 sekundowy Test Wingate, autorzy wykazali brak różnic w wydolności beztlenowej u chłopców 11-letnich trenujących sport pływacki w porównaniu z grupą kontrolną. Z kolei Bawelski i wsp. (2006) odnotowali istotnie wyższą wartość tego wskaźnika

wydolności anaerobowej u 12-letnich pływaków w porównaniu do nietreningujących rówieśników (Test Wingate). W niniejszej pracy nie odnotowano istotnych różnic w wynikach pomiaru wydolności beztlenowej pomiędzy grupą systematycznie wykonującą trening pływacki a grupą nie uczęszczającą na zajęcia pływackie. Można zatem przypuszczać, iż u osób w wieku 10–12 lat kształtowanie i podnoszeniu poziomu wydolności beztlenowej może być utrudnione z powodu nie do końca rozwiniętych procesów pozyskiwania energii z przemian anaerobowych. Należy również dodać, że w niniejszej pracy zastosowano jako wskaźnik wydolności beztlenowej maksymalną pracę anaerobową obliczoną na podstawie skoku dosiężnego. Tym samym uzyskane wyniki należy traktować z pewną ostrożnością w odniesieniu do sprawności metabolicznej, gdyż rezultaty badań wskazują na niską bądź nawet brak istotnej współzależności pomiędzy generowaną w skoku dosiężnym mocą a zawartością fosfagenów mięśniowych (Seyers 1999; Zatoń i Jastrzębska 2010).

W większości prac badawczych związanych z oceną parametrów płuc autorzy podkreślają wyższą pojemność życiową płuc i natężoną objętość wydechową w pierwszej sekundzie, a także wyższy poziom siły mięśni oddechowych u dzieci uprawiających pływanie w porównaniu z rówieśnikami, którzy nie uprawiali pływania (Cordain i wsp 1990; Tzelpis 1994; Mazur 1995; Ignasiak 1999; Walla 2000; Doboszyńska i wsp. 2004). Wyżej wymieni autorzy zaznaczają, że lepsze parametry płuc dzieci uprawiających pływanie w porównaniu z rówieśnikami nie uczęszczającymi na zajęcia z pływania spowodowane są środowiskiem w jakim odbywają się zajęcia (utrudniony wydech powietrza do wody), a także poziomą pozycją ciała, które wpływają na zwiększenie elastyczności i ruchomości klatki piersiowej. Wyniki niniejszej pracy wykazały różnicę pomiędzy grupą eksperymentalną a kontrolną tylko w odniesieniu do czasu dowolnego bezdechu, natomiast pozostałe parametry oddechowe nie uległy istotnie statystycznie zmianie pod wpływem 3-letniego treningu pływackiego. Brak różnic w parametrach oddechowych, oprócz czasu dowolnego bezdechu, może być spowodowany brakiem selekcji wstępnej do uprawiania sportu pływackiemu, gdzie jak wiemy preferowane są osoby wysokie (Knechtle 2014). Czas trwania dowolnego bezdechu zależy między innymi od szybkości gromadzenia dwutlenku węgla we krwi tętniczej i w powietrzu pęcherzykowym oraz od sprawności działania układu oddechowego i krążenia. Zwiększenie zawartości dwutlenku węgla we krwi występujące w czasie wzmożonego wysiłku fizycznego prowadzi do bezpośredniego pobudzenia ośrodka oddechowego, a także zwiększenia częstości oddechów (Walla 2000). Można zatem przypuszczać, iż

u osób wykonujących systematyczny wysiłek fizyczny w środowisku wodnym może dochodzić do mniejszej wrażliwości ośrodka oddechowego na zawartość dwutlenku węgla w porównaniu z osobami nie wykonującymi treningu pływackiego.

Rezultaty uzyskane przez wielu autorów podkreślają wpływ uprawiania pływania na zwiększony rozwój cech motorycznych (Osiński 1996; Benefice i wsp. 1996; Maciaszek i wsp. 2002; Sokołowski i wsp. 2012). Większa siła eksplozywna kończyn dolnych oraz większa siła mięśni brzucha u chłopców trenujących pływanie w stosunku do grupy kontrolnej została potwierdzona w niniejszych badaniach. Składowymi siły eksplozywnej jest szybkość oraz siła mięśniowa (Puszczalska-Lizis 2011). Biorąc pod uwagę fakt, iż wyniki niniejszej pracy wskazują na brak wpływu treningu pływackiego na poprawę szybkości w grupie eksperymentalnej, można przypuszczać, iż 3-letni okres treningowy przyczynił się do znacznej poprawy siły mięśniowej kończyn dolnych. Praca kończyn dolnych oraz mięśni pasa biodrowego stanowią kluczowy element napędowy pływaka, co sprawia, że u dzieci trenujących pływanie te partie mięśniowe są bardziej stymulowane do rozwoju (Rowland i wsp. 1995; Roelofs i wsp. 2017). Wiele czasu podczas zajęć treningowych trenerzy poświęcają na pracę nóg do kraula na piersiach i na grzbiecie, która z kolei wpływa na rozwój siły mięśni brzucha, co w pełni potwierdzają wyniki niniejszej pracy. U chłopców, których nie poddano treningowi pływackiemu, zaobserwowano natomiast większą dynamikę rozwoju szybkości i koordynacji wraz z wiekiem. Warto zwrócić uwagę, iż trening pływacki, skierowany na rozbudowanie bazy tlenowej u pływaka w wieku 10–12 lat może jednocześnie wpływać hamująco na tempo rozwoju cech szybkościowych (Sankowski 1992).

5.2. Współzależność badanych zmiennych z wynikiem sportowym

Zastosowany trening pływacki na przestrzeni 3 lat był treningiem efektywnym – spowodował poprawę osiąganych wyników we wszystkich przeprowadzonych testach pływackich (50 m stylem klasycznym, 50 m kraulem na piersiach, 400 m kraulem na piersiach, 12-minutowym teście pokonania jak najdłuższej odległości kraulem na piersiach). W ciągu 3-letniego okresu badań poprawa rezultatów pływackich we wszystkich 4 testach występowała wraz ze zwiększającą się wysokością ciała oraz

wiekem biologicznym co jest zgodne z doniesieniami innych autorów (Oliveira i wsp. 2020).

W niniejszej pracy większość badanych pomiarów długościowych (długość kończyny górnej, przedramienia, ręki, kończyny dolnej, uda, stopy oraz wysokość ciała), korelowała z poprawą wyników wszystkich testów pływackich. Górecka (2009) podkreśla wpływ długości kończyny górnej, a także dolnej na wyniki we wszystkich stylach pływackich. Również inne doniesienia naukowe zwracają uwagę, że pływacy o dłuższych kończynach górnych oraz kończynach dolnych osiągają lepsze wyniki w pływaniu już w wieku 11–12 lat (Stanula i wsp. 2005; Ostrowska i wsp. 2006; Galadas i wsp. 2005). Warto zwrócić uwagę na fakt, iż długość ramienia nie wykazywała korelacji z żadnym wykonywanym testem pływackim, gdzie równocześnie długość całej kończyny górnej, długość przedramienia i długość ręki korelują w sposób istotny ze wszystkimi wynikami pływackimi. Może być to związane z wypracowaniem u badanych chłopców prawidłowej techniki pływania, gdzie specjaliści podkreślają, iż kluczową rolę w sile napędowej generowanej przez kończyny górne odgrywa praca przedramienia oraz ręki (Grange i wsp. 2004). Poprawa wyników w każdym przeprowadzonym teście pływackim korelowała ze wzrostem pomiarów szerokościowych klatki piersiowej, ręki, łokcia i stopy. W pracy Wieczorka i Witkowskiego (1992) zwrócono uwagę, iż trening pływacki w okresie przedpokwitaniowym powoduje zwiększenie parametrów szerokościowych co powoduje tworzenie się sylwetki ciała „typowej dla pływaków“. Brak korelacji z wynikiem sportowym wszystkich przeprowadzonych testów pływackich wykazano dla pomiarów obwodu głowy, obwodu talii, uda oraz podudzia. Może to sugerować, iż w wieku 10–12 lat u chłopców parametry mierzonych obwodów nie są czynnikami, które w sposób istotny wpływają na poprawę wyniku sportowego. Elementy techniczne w poszczególnych stylach odgrywają według badaczy ważną rolę w poprawie wyników pływackich w młodym wieku (Maglischo 2003; Karpiński i wsp. 2005). U zawodników w okresie seniorskim z kolei, kiedy to technika pływania jest prawidłowa, zbyt obszernie rozbudowane obwody (w szczególności obwód talii, uda i podudzia) będą zwiększały opór w wodzie a tym samym wpływały negatywnie na osiągnięte wyniki (Krawczyk i wsp. 1993; Galadas i wsp. 2005; Burdukiewicz i wsp. 2007).

Autorzy podkreślają, iż do sportu pływackiego pożądana jest szczupła sylwetka zawodnika i taką budową ciała należy sugerować się podczas doboru dzieci przy selekcji wstępnej. Szczupła sylwetka pomaga zmniejszyć opór występujący podczas pływania (Benefice i wsp. 1996; Piechaczek i wsp. 2000; Górecka 2009). Wyniki niniejszej pracy

wskazują, iż zarówno procentowa zawartość tkanki tłuszczowej jak i otluszczenie ciała w poszczególnych punktach antropometrycznych u chłopców w wieku 10–12 lat nie miała istotnego wpływu na otrzymywane wyniki pływackie. Można zatem przypuszczać, iż w okresie przedpokwitaniowym, kiedy zawodnik dopiero rozpoczyna specjalistyczny trening pływacki, to głównie elementy techniczne oraz motoryczne, ulegające istotnej poprawie w efekcie treningu pływackiego, będą miały kluczowe znaczenie w poprawie wyników sportowych. W przypadku sprawdzianów oddechowych zarówno pojemność życiowa płuc, natężona objętość wydechu pierwszosekundowa, jak i czas dowolnego bezdechu po hiperwentylacji korelowały z poprawą wyników we wszystkich przeprowadzonych testach pływackich. Jest to zgodne z doniesieniami innych autorów i podkreśla fakt, iż podczas treningu pływackiego rozwój wskaźników oddechowych powoduje poprawę wyników zarówno na krótkich jak i długich dystansach pływackich (Courteix 1997; Doherty i Dimitriou 1997; Silvestri i wsp. 2012).

Analiza regresji wielorakiej wykazała, że na dystansie 50 m stylem klasycznym najważniejszym czynnikiem determinującym wynik była maksymalna praca anaerobowa. Jak wiadomo z doniesień naukowych, podczas wysiłków krótkotrwałych pozyskiwanie energii z procesów beztlenowych jest kilkakrotnie większe aniżeli z procesów tlenowych (Hannula 2003; Vaz i wsp. 2016). Pomimo faktu, iż procesy beztlenowe u dzieci w wieku 10–12 lat nie są jeszcze bardzo dobrze rozwinięte, z wyników tej pracy a także prac innych autorów (Sawicki i wsp. 2008; Ratel, Blazevich 2017) można wnioskować, że wpływ maksymalnej pracy anaerobowej na wynik sportowy – w tym przypadku na sprinterskim dystansie pływackim, jest jednak znaczący. Drugim w kolejności determinantem wpływającym na wynik na dystansie 50 m stylem klasycznym był maksymalny pobór tlenu ($\dot{V}O_2\max$). Traup (1990) ujawnił, że chociaż większość energii zużywana podczas wyścigu pływackiego na 50 m stylem klasycznym pochodzi ze źródeł anaerobowych, to ok. 22% energii pozyskiwana jest z procesów tlenowych. Dlatego też możemy przypuszczać, że w sprawdzianie na dystansie 50 m stylem klasycznym maksymalny pobór tlenu będzie odgrywał istotną rolę tym bardziej, że technika pływania stylem klasycznym w tym wieku podlega ciągłemu doskonaleniu. Trzecim najważniejszym czynnikiem wpływającym na wynik (50 m styl klasyczny) była siła mięśni brzucha. Potwierdzają to doniesienia innych autorów zajmujących się tą tematyką którzy dowodzą, że podczas pływania na krótkich odcinkach dynamiczna praca nóg wymaga silnych mięśni brzucha, które również są kształtowane podczas zajęć „na

ładzie” (Johnson i wsp.1993; Grange i wsp. 2004). Specjaliści zajmujący się efektywnością pływania podkreślają, że podczas pływania stylem klasycznym angażowana jest w znacznym stopniu praca kończyn dolnych (ok. 70% napędu generowana jest przez kończyny dolne), co wymaga silnych mięśni brzucha (Vitor, Bohme 2010; Silvestri i wsp.2012).

W przypadku sprawdzianu na dystansie 50 m kraulem na piersiach najważniejszym czynnikiem determinującym wynik był wiek biologiczny. Jest to zgodne z doniesieniami innych autorów, którzy podkreślają, że prędkość pływania wzrasta wraz z wiekiem (Geladas i wsp. 2005; Czarnota 2010). Drugim w kolejności determinantem okazał się maksymalny pobór tlenowy. Również i tutaj, podobnie jak w przypadku wyniku na dystansie 50 m stylem klasycznym, pozyskiwanie energii odbywać się będzie nie tylko z procesów anaerobowych, ale również z tlenowych (Traup 1990). Trzecim determinantem okazała się długość kończyny górnej. W tym przypadku wzrost długości kończyny górnej powodował pogorszenie wyniku na dystansie 50 m kraulem na piersiach. Może mieć to związek z brakiem wypracowania odpowiedniej techniki, a także z zaburzeń koordynacji ruchowej w pracy ramienia występującej u zawodników w tym wieku. Dodatkowo trenerzy podkreślają, że podczas startów na krótkich odcinkach, zawodnicy w młodym wieku nie zwracają jeszcze odpowiedniej uwagi na technikę pracy kończyny górnej. Aby wykorzystać efektywnie pracę kończyny górnej trzeba odpowiednio dokonać chwytu wody poprzez utrzymanie „wysokiego łokcia” w fazie podwodnej ramienia (Chatard i wsp. 1990; Rakowski 2010). Analizując wyniki niniejszej pracy można również przypuszczać, że u dzieci rozpoczynających trening pływacki, nieefektywna praca ramion pływaków z dłuższą kończyną górną będzie generować większy opór, a także bardziej zaburzać cykl pracy kończyny górnej zarówno nad wodą jak i pod powierzchnią wody, aniżeli u osób posiadających krótszą kończynę górną (Courteix i wsp. 1997; Cochrane i wsp. 2015).

W odniesieniu do pływania kraulem na piersiach na dystansie 400 m oraz przepłynięcia tym stylem najdłuższej odległości przez okres 12 minut najważniejszym czynnikiem był wskaźnik maksymalnego poboru tlenu. Wyniki te potwierdzają również doniesienia innych autorów, którzy zajmują się wpływem wydolności tlenowej na wynik sportowy (Ichikawa i wsp. 2002; Kobosko i wsp. 2003; Lätt i wsp. 2009). Pozyskiwanie energii na dystansie 400 metrów (lub dłuższym) kraulem na piersiach odbywa się w głównej mierze ze źródeł aerobowych (w 80–90%) (Tanaka 2009), co jest zgodne z wynikami niniejszej pracy. Powtarzającym się determinantem wpływającym na wynik,

zarówno na dystansie 400 m, jak i również w teście pokonania jak najdłuższej odległości w ciągu 12 minut kraulem na piersiach, była maksymalna praca anaerobowa. Przejawy mocy i jej użyteczności w pływaniu możemy odnaleźć w odbiciu podczas skoku startowego i nawrotów. Cecha ta odgrywa szczególnie ważną rolę podczas startów na pływalni 25-metrowej, gdzie liczba nawrotów w stosunku do pływalni 50-metrowej ulega podwojeniu (Geladas i wsp. 2005; Czarnota 2010). Można zaobserwować, że podczas sprawdzianu na dystansie 400 metrów kraulem na piersiach jako drugim determinantem był obwód ramienia. Wielkość mięśnia będzie jednym z czynników wpływających na generowanie rozwijanej siły. Podczas fazy podwodnej ramienia w pierwszej części następuje zgięcia ramienia w stawie łokciowym w celu prawidłowego chwytu wody, natomiast w ostatniej części wyprostowanie ramienia – wiążące się z mocnym odepchnięciem. Efektywność wykonania tych elementów uzależniona będzie od wielkości siły ramienia co łączy się również z ujemnym wpływem MPA, który jest trzecim czynnikiem istotnym w sprawdzianie na dystansie 400 m kraulem na piersiach. Jednakże należy do tego podchodzić z pewną ostrożnością, gdyż nie tylko wielkość mięśnia ma wpływ na rozwijanie siły (Strzała i wsp. 2019).

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wyniki niniejszej pracy wskazują, iż systematyczne uprawianie pływania w wieku przedpokwitaniowym nie wpływa na budowę ciała trenujących chłopców, natomiast w znacznym stopniu poprawia funkcjonalność ich układu oddechowego, zwiększa także wydolność tlenową oraz poprawia niektóre zdolności motoryczne. Trenowanie sportu pływackiego w tak młodym wieku sprzyja zatem lepszemu rozwojowi organizmu w aspekcie fizjologicznym i motorycznym, co w dzisiejszych czasach – kiedy to dzieci spędzają długie godziny w szkolnej ławce czy też przed ekranem komputera – jest bardzo pożądane. Zwiększony potencjał układu oddechowego, lepsza wydolność i sprawność motoryczna będą również doskonałą bazą wyjściową dla wielu innych aktywności ruchowych czy też dyscyplin sportowych, które w późniejszym okresie podejmie dziecko. Dodatkowo, biorąc pod uwagę fakt, iż podczas pływania odciążony zostaje kręgosłup oraz stawy – przy jednoczesnym angażowaniu całego ciała do wysiłku

fizycznego – jest to doskonała forma aktywności wpływająca na wszechstronny rozwój młodego organizmu.

Wykonana analiza skłania do przedstawienia następujących wniosków:

1. Uprawianie sportu pływackiego przez chłopców w wieku 10–12 lat nie wpływa znacząco na rozwój zmiennych antropometrycznych, a budowa ciała pływaków, w tym masa ciała oraz wymiary długościowe, nie różnią się istotnie od osób nie trenujących pływania.
2. Zawartość tkanki tłuszczowej nie zmniejsza się u osób uprawiających pływanie w porównaniu z grupą nie uprawiającą sportu pływackiego, jednak wpływa hamująco na jej dalszy przyrost, co z kolei może sprzyjać zapobieganiu wystąpienia wczesnej otyłości.
3. Trening pływacki u chłopców w wieku 10–12 lat spowodował poprawę wydolności tlenowej na przestrzeni 3 lat w porównaniu z rówieśnikami, którzy nie uprawiali sportu pływackiego, natomiast wydolność beztlenowa zwiększyła się wraz z zaawansowaniem rozwoju biologicznego i nie była uwarunkowana treningiem pływackim.
4. Trening pływacki nie wpłynął istotnie statystycznie na badane parametry oddechowe, z kolei czas dowolnego bezdechu uległ poprawie na korzyść grupy eksperymentalnej, co może być efektem zwiększonej wydolności tlenowej.
5. Zastosowany trzyletni trening pływacki spowodował poprawę siły mięśni brzucha a tempo rozwoju szybkości uległo spowolnieniu.
6. Do najważniejszych determinantów wyników sportowych we wszystkich przeprowadzonych testach pływackich u chłopców (10–12 lat) zalicza się wydolność tlenową.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Aguado-Henches S., Slocker de Arce A., Carrascosa-Sanchez J., Bosch-Martin A. Cristobal-Aquado S.: Isokinetic assessment of shoulder complex strength in adolescent elite synchronized swimmers. *J. Bodyw. Mov. Ther.* 22 (4): s. 968–971, 2018.
2. Baquet G., Van Praagh E., Berthoin S.: Endurance training and aerobic fitness in young people. *Sports Med.* 33 (15): s. 1127–1143, 2003.
3. Bawelski M., Cempla J., Maciejczyk M., Pałka T., Więcek M., Szymura J., Gradek J.: Dynamika zmian wydolności anaerobowej u 12–15 letnich dzieci trenujących pływanie. *Med. Sportiva.* 10 (4): s. 541–552, 2006.
4. Benefice E., Malina R.: Body size, body composition and motor performances of mild-to-moderately undernourished Senegalese children. *Ann. Hum. Biol.* 23 (4): s. 307–321, 1996.
5. Bishop JC., Pangelinan M.: Motor skills interventions research of children with disabilities. *Res. Dev. Disabil.* 74: s. 14–30, 2018.
6. Blanksby B.A.: Biomechanika pływania – wejście do wody, starty i nawroty. *Sport Wycz.* 5–6: s. 5–22, 2003.
7. Bloomfield J., Blanksby B.A., Beard D.F., Ackland T.R., Elliott B.C.: Biological characteristics of young swimmers, tennis players and non-competitors. *Br. J. Sports. Med.* 18 (2): s. 97–103, 1984.
8. Burdukiewicz A, Pietraszewska J: Skład tkankowy ciała młodych pływaków; [w:] Jopkiewicz A. (red.): *Auksologia a promocja zdrowia 4*: s. 127–134, PAN o. Kraków, Kielce 2007.
9. Cempla J.: Dynamika rozwojowych zmian wydolności aerobowej, maksymalnej mocy anaerobowej oraz wybranych reakcji fizjologicznych podczas wysiłków o różnej intensywności u dziewcząt i chłopców w wieku 8 do 15 lat. *AWF Kraków*, 1990.
10. Chatard J.C., Collomp C., Maglischo E., Maglischo C.: Swimming Skill and stroking characteristics of front crawl swimmers. *Int. J. Sports Med.* 11 (2): s. 156–161, 1990.
11. Cholewa J.: Sterowanie procesem treningowym młodych pływaków. *AWF Katowice*, 2009.

12. Chromiński Z.: Aktywność ruchowa dzieci i młodzieży. IWZZ Warszawa, 1987.
13. Cieślik J.: Wielopoziomowy rozwój fenotypowy populacji i osobnika w ontogenezie. UAM Poznań, 2012.
14. Cieślik J., Mrowicka B.: Struktura zmienności fenotypowej względnej masy ciała w fazie ontogenezy progresywnej – wyodrębniona metoda Coela. [w:] Bergman P., Charzewska J., Kaczanowski K., Piechaczek H.: Otyłość – epidemią XXI wieku. Dziewiąte Warsztaty Antropologiczne im. Profesora Janusza Charzewskiego. AWF Warszawa, 2006.
15. Cochrane KC., Housh TJ., Smith CM., Hill EC., Jenkins ND., Johnson GO., Housh DJ., Schmidt RJ., Cramer JT.: Relative contributions of strength, anthropometric, and body composition characteristics to estimated propulsive force in young male swimmers. *J. Strength Cond. Res.* 29 (6): s. 1473–1479, 2015.
16. Cordain L., Tucker A., Moon D. et al.: Lung volumes and maximal respiratory pressures in collegiate swimmers and runners. *Res. Q. Exerc. Sport.* 61 (1): s. 70–74, 1990.
17. Courteix D., Obert P., Lecoq A.M., Guenon P., Koch G.: Effect of intensive swimming training on lung volumes, airway resistance and on the maximal expiratory flow–volume relationship in prepubertal girls. *Eur. J. App. Physiol. Occup. Physiol.* 76 (3): s. 264–269, 1997.
18. Czarnota B.: Ocena stopnia i kierunku odchyień reakcji fenotypowych organizmu dziecka na obciążenie pływackim treningiem sportowym. Wyd. UR, Rzeszów, 2010.
19. Dassanayake T. Rajarathna A., Rajarathna S.: Comparison of BMI and body fat percentages between national level teenage swimmers and controls. Department of Physiology. University of Peradeniya. Sri Lanka, 2016.
20. Doboszyńska A., Wrotek K.: Badania czynnościowe układu oddechowego. PZWL Warszawa, 2004.
21. Doherty M, Dimitriou L.: Comparison of lung volume in Greek swimmers, land based athletes, and sedentary controls using allometric scaling. *Br. J. Sports Med.* 31 (4): s. 337–341, 1997.
22. Dobrzyński B.: Wydolność fizyczna dzieci i młodzieży. Wyd. Instytut Sportu, Warszawa 1991.
23. Drabik J., Harsanyi L.: Problem z wyznaczeniem okresów sensytywnych w rozwoju sprawności motorycznej. *Sport Wycz.* 7–8: s. 55–59, 1990.

24. Drabik J.: Problem okresów sensytywnych w rozwoju wytrzymałości tlenowej na tle uwarunkowań somatycznych. *Antropomotoryka 2*: s. 73–88, 1989.
25. Drozdowski Z.: *Antropologia dla nauczycieli wychowania fizycznego*. AWF Poznań, 2002.
26. Duché, P., Falgairette, G., Bedu, M., Lac, G., Robert, A., & Coudert, J.: Analysis of performance of prepubertal swimmers assessed from anthropometric and bioenergetic characteristics. *Eur. J. App. Physiol. Occup. Physiol.* 66 (5): s. 467–471, 1993.
27. Dziedziczek K., Witkowski M.: Rozwój fizyczny i sprawność fizyczna dzieci uprawiających pływanie. *Wychow. Fiz. Sport 4*: s. 13–20, 1998.
28. Eider P.: Research analysis of selection criteria at the initial stage of swimming training of primary school junior students. *Cent. Eur. J. Sport Sci. Med.* 11 (3): s. 55–62, 2015.
29. Erlandson M, Sherar L, Mirwald R, Maffulli N, Baxter-Jones A.: Growth and Maturation of Adolescent female Gymnasts, Swimmers, and Tennis Players. *Med. Sci. Sports Exerc.* 40: s. 34–42, 2008.
30. Falgairette G., Duché P., Bedu M., Fellmann N., Coudert J.: Bioenergetic characteristics in prepubertal swimmers. Comparison with active and non-active boys. *Int. J. Sports Med.* 14 (8): s. 444–448, 1993.
31. Geladas N.D., Nassis G.P., Pavlicevic S.: Somatic and physical traits affecting sprint swimming performance in young swimmers. *Int. J. Sports Med.* 26 (2): s. 139–44, 2005.
32. Glinkowski T.: Rozwój fizyczny oraz poziom wytrenowania specjalnego młodych pływaków. *Sport Wycz.* 10: s. 37–40, 1980.
33. Gołąb S., Chrzanowska M., Sobiecki J., Żarow R., Kościuk T., Brudecki J., Matusik S., Pałosz J., Gwardiak T., Suder A., Cadel K.: *Dziecko Krakowskie 2000 – sprawność fizyczna i postawa ciała dzieci i młodzieży miasta Krakowa*. Studia i monografie nr 22. AWF Kraków, 2003.
34. Górecka K.: Porównanie poziomu rozwoju fizycznego dzieci kieleckich trenujących i nietrenujących pływanie. *Stud. Med.* 15: s. 33–40, 2009.
35. Górski J.: *Fizjologiczne podstawy wysiłku fizycznego*. PZWL Warszawa, 2008.
36. Grange J., Gordon R.: Success is long term. Longterm athlete development related to the journey through swimming. ASA Technical Swimming Committee. Loughborough, 2004.

37. Groot S., van de Westelaken L.H., Noordhof D.A., Levels K., de Koning J.J.: Recovery of Cycling Gross Efficiency After Time-Trial Exercise. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 13 (8): s. 1028–1033, 2017.
38. Hammerberg E.M., Wood K.B.: Sagittal profile of the elderly. *J. Spinal Disord. Tech.* 16 (1): s. 44–50, 2003.
39. Hannula D.: Coaching swimming succesfully. Human Kinetics Publishers. Champaign. Illinois, 2003.
40. Hawley J.A., Williams M.M., Vickovic M.M., Handcock P.J.: Muscle power predicts freestyle swimming performance. *Br. J. Sports Med.* 26 (3): s. 151–155, 1992.
41. Hebisz P., Hebisz R., Zatoń M.: Changes in breathing pattern and cycling efficiency as a result of training with added respiratory dead space volume. *Hum. Mov.* 14 (3): s. 247–253, 2013.
42. Helmuth H.S.: Anthropometric survey of young swimmers. *Anthropol. Anz.* 38 (1): s. 17–34, 1980.
43. Ichikawa H., Ohgi Y., Miyaji C., Nomura T.: Application of a mathematical model of arm motion in front crawl swimming to kinematical analysis using an accelerometer. *Eng. Sport* 4: s. 644–650, 2002.
44. Ignasiak Z.: Functional Parameters of the Respiratory System of Adolescent. Movement and Health, International Conference, Palacky University of Olomouc, s. 239–241, 1999.
45. Jagiełło W.: Przygotowanie fizyczne młodego sportowca. COS Warszawa, 2000.
46. Jaskólski A., Jaskólska A.: Podstawy fizjologii wysiłku fizycznego z zarysem fizjologii człowieka. AWF Wrocław, 2006.
47. Johnson R.R., Sharp R.L., Hedrick C.E.: Relationship of swimming power and dryland power to sprint freestyle performance: A multiple regression approach. *J. Swim. Res.* 9: 10–14, 1993.
48. Jopkiewicz A, Suliga E.: Biologiczne podstawy rozwoju człowieka. WSP Kielce, 1998.
49. Karpiński R., Sachnowski K., Opychał C.: Zmiany w szkoleniu pływaków najwyższej klasy. *Sport Wycz.* 5–6: s. 25–32, 2005.
50. Kielek D., Kosmol A., Perkowski K., Siwko F., Sozański H., Śledziwski D.: Podstawy teorii treningu. COS Warszawa, 1993.

51. Knechtle B.: Relationship of anthropometric and training characteristics with race performance in endurance and ultra-endurance athletes. *Asian J. Sports Med.* 5 (2): s. 73–90, 2014.
52. Kobosko W., Bawelski M.: Poziom i dynamika zmian wydolności aerobowej u 12–15 letnich dzieci uprawiających pływanie. *Med. Sportiva* 7 (2): s. 107–116, 2003.
53. Konturek S.: *Fizjologia człowieka. T.III.* WUJ Kraków, 2001.
54. Kosmol A., Hubner-Woźniak E., Słomiński P., Gromisz W., Białecki R.: Test Wingate oraz test na uwięzi (STS) w ocenie wydolności beztlenowej pływaków. Proces doskonalenia treningu i walki sportowej. AWF Warszawa, 2004.
55. Kozłowski S., Nazar K.: *Wprowadzenie do fizjologii klinicznej.* PZWL Warszawa, 1995.
56. Krawczyk B, Piotrowski J, Skład M i wsp.: Zróżnicowanie morfologiczne młodych zawodników i zawodniczek w wybranych dyscyplinach sportu. *Wychow. Fiz. Sport.* 3: s. 3–15, 1993.
57. Kubiak-Janczaruk E.: Ocena układu oddechowego pływaków w wieku rozwojowym na podstawie badań spirometrycznych. *Rocz. PAM* 51 (2): s. 105–113, 2005.
58. Kułaga Z., Rózdżyńska-Świątkowska A., Grajda A., Gurzkowska B., Wojtyło M., Gózdź M., Świąder-Leśniak A., Litwin M.: Siatki centylowe dla oceny wzrastania i stanu odżywienia polskich dzieci i młodzieży od urodzenia do 18 roku życia, *Standardy Medyczne Pediatria* 12 (1) : s. 119–135, 2015.
59. Łasiński G.: *Wprowadzenie do teorii treningu sportowego.* AWF Wrocław, 1991.
60. Łaska-Mierzejewska T.: Rola wysokości ciała w doborze młodzieży do klas sportowych. *Kult. Fiz.* 9–10: s. 12–14, 1985.
61. Lätte E., Jürimäe J., Haljaste K., Cicchella A., Purge P.: Physical development and swimming performance during biological maturation in young female swimmers. *Coll. Antropol.* 33 (1): s. 117–122, 2009.
62. Lavoie J.M., Montpetit R.R.: Applied physiology of swimming. *Sports Med.* 3 (3): s. 165–189, 1986.
63. Leger L.A., Mercier D., Gadoury C., Lambert J.: The multistage 20–meter Shuttle Run Test for aerobic fitness. *J. Sport Sci.* 6: s. 93–101, 1988.

64. Lewandowska J., Łaska-Mierzejewska T., Piechaczek H., Skibińska A.: Antropologiczna ocena doboru dzieci do szkół sportowych. *Wychow. Fiz. Sport* 33 (1): s. 3–20, 1989.
65. Lindholm C., Hagenfeldt K., Ringertz BM. Pubertal development in elite juvenile gymnasts. Effects of physical training. *Acta Obstet Gynecol Scand.* 73(3): s. 269–73. 1994.
66. Łubkowska W., Troszczyński J.: Sprawność fizyczna 13–15 letnich pływaków i pływaczek na przykładzie kadry wojewódzkiej ZOZP. [w:] Umiastowska D. (red.): *Aktywność ruchowa ludzi w różnym wieku* 24 (4). Albatros Szczecin. s. 25–35, 2014.
67. Łubkowska W., Troszczyński J.: Wskaźnik wydolności tlenowej a poziom sportowy pływaków SMA w Szczecinie. *Zesz. Nauk. U. Szczec. Pr. Inst. Kult. Fiz.* 27 (631): s. 41–29, 2011.
68. Maciaszek J., Osiński W.: Poziom sprawności fizycznej badanych testem Eurofit u chłopców i dziewcząt poznańskich w wieku 10–14 lat. *Rocz. Nauk. AWF Poznań* Z.50: s. 19–33, 2002.
69. Maglischo E.: *Swimming even faster*. Mayfield Publishing Company. Mountain View. California, 1993.
70. Maglischo E.: *Swimming fastest*. Human Kinetics Publishers. Champaign Illinois, 2003.
71. Mahon A.D., Vaccaro P.: Ventilatory threshold and VO_2 max changes in children following endurance training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21 (4): s. 425–431, 1989.
72. Malina R.M., Rogol A.D.: Sport training and the growth and pubertal maturation of young athletes. *Pediatr Endocrinol Rev.* 9 (1): s. 441–55, 2011.
73. Malinowski A., Asienkiewicz R., Tatarczuk J., Stuła A., Wandycz A.: *Dziecko lubuskie*, Oficyna Wyd. UZ, Zielona Góra, 2005.
74. Mandigout S., Melin A., Lecoq A.M., Courteix D., Obert P.: Effect of two aerobic training regimens on the cardiorespiratory response of prepubertal boys and girls. *Acta Paediatr.* 91 (4): s. 403–8, 2002.
75. Martens R.: *Successful Coaching*. Human Kinetics Publishers. Champaign Illinois, 2004.

76. Mazur B.: Przydatność szczytowego przepływu wydechowego (PEF) do oceny sprawności wentylacyjnej płuc u dzieci. (Rozprawa habilitacyjna). Śląska Akademia Medyczna, Katowice, 1995 .
77. McLaine S., Ginn K., Fell J., Bird M. Isometric Shoulder Strength in Young Swimmers. *J Sci Med Sport.*, Jan 21(1): s. 35–39, 2018.
78. Mędraś M (red.): *Medycyna Sportowa*. Medsportpress, Warszawa, 2004.
79. Mrozkowiak M., Posłuszny M.: Fluctuation of dynamics and sexual dimorphism of somatic features, body types and adiposity values in children and adolescents at the ages from 4 to 18 living in the urban areas of Warmia and Mazury. *J Educ. Health Sport* 5 (7): s. 401–428, 2015.
80. Nowacka-Chiari E.: Budowa ciała młodych pływaków. *Słupskie prace biologiczne*. Uniwersytet Zielonogórski. 1:127–133, 2005.
81. Ogonowska A., Hubner-Woźniak E., Kosmol A., Wilhelm G.: Wydolność beztlenowa mięśni kończyn górnych pływaków i pływaków. *Wychow. Fiz. Sport* 53 (4): s. 193–197, 2009.
82. Oliveira M., Quieroz DR., Salvina M., Melo WR., Dos Santos MW.: Anthropometric variables, propulsive force and biological maturation: A mediation analysis in young swimmers. *Eur J Sport Sci*, Apr 8: s.1–25, 2020.
83. Osiński W.: *Antropomotoryka*. AWF Poznań, 2003.
84. Osiński W.: *Zagadnienia motoryczności człowieka*. Skrypt nr 66, AWF Poznań, 1996.
85. Ostrowska B., Domaradzki J., Ignasiak Z.: Factor analysis of anthropometric characteristics in young swimmers aged 11 and 12. *Acta Univ. Palacki. Olomuc., Gymn.* 36 (1): s. 59–68, 2006.
86. Ostrowski P.: *Rozwój fizyczny i sprawność motoryczna dzieci i młodzieży Podkarpacia w latach 2004–2005*. Wyd. UR, Rzeszów, 2010.
87. Ozimek M.: *Sprawność motoryczna zawodników i zawodniczek w wieku 15–19 lat różnych dyscyplin sportowych na tle wybranych populacji w świetle badań testem Eurofit*. Wyd. Podkarpackie Towarzystwo Naukowe Kultury Fizycznej, Rzeszów, 2007.
88. Paradowski A.: *Dwuletnie obserwacje rozwoju morfologicznego i wydolności fizycznej 10–15 letnich pływaków*. *Zdrowie i wydolności fizyczna dzieci uprawiających pływanie*. AWF Warszawa, 1991.

89. Perkowski K., Śledzikowski D.: *Metodyczne podstawy treningu sportowego*. COS Warszawa, 1998.
90. Piechaczek H., Lewandowska J., Charzewski J.: Budowa ciała chłopców i dziewcząt uprawiających sport pływacki. *Wychow. Fiz. Sport* 44 (4): s. 17–29, 2000.
91. Pietrusik K.: Kształtowanie się sprawności motorycznej oraz wydolności fizycznej u dzieci uprawiających pływanie sportowe. *Rocz. Nauk. AWF Poznań* Z.30: s. 107–125, 1981.
92. Pilicz S., Przewęda R., Dobosz J., Nowacka-Dobosz S.: *Punktacja sprawności fizycznej młodzieży polskiej wg Międzynarodowego Testu Sprawności Fizycznej*. AWF Warszawa, 2005.
93. Płatonow W.N.: *Trening wyczynowy w pływaniu*. RCMSzKFiS, Warszawa, 1997.
94. Przewęda R.: *Ocena wieku rozwojowego*; [w:] Ulatowski T. (red.): *Teoria i metodyka sportu*. Sport i Turystyka, Warszawa, 1971.
95. Puszczalowska-Lizis E.: Związki pomiędzy cechami plantograficznymi stóp a siłą eksplozywną kończyn dolnych u kobiet w wieku 20–27 lat. *Fizjoterapia* 19 (2): s. 9–15, 2011.
96. Rabej M.: *Statystyka z programem Statistica*. Helion Gliwice, 2012.
97. Raczek J., Młynarski W.: *Koordynacyjne zdolności motoryczne dzieci i młodzieży. Struktura wewnętrzna i zmienność osobnicza*. AWF Katowice, 1992.
98. Rakowski M.: *Sportowy trening pływacki*. Wyd. Maciej Rakowski, Londyn, 2010.
99. Ratel S., Blazevich A.J.: Are Prepubertal Children Metabolically Comparable to Well-Trained Adult Endurance Athletes? *Sports Med.* 47 (8): s. 1477–1485, 2017.
100. Rieger R., Michaelis A., Greek M.: *Słownik terminów genetycznych*. PWRiL, Warszawa, 1974.
101. Roelofs E.J., Smith-Ryan A.E., Trexler E.T., Hirsch K.R.: Seasonal Effects on Body Composition, Muscle Characteristics, and Performance of Collegiate Swimmers and Divers. *J. Athl. Train.* 52 (1): s. 45–50, 2017.
102. Rostkowska E.: *Wpływ uprawiania sportu przez kobiety na ich biologię w wieku dojrzewania*. PTPN Poznań, 2003.

103. Rowland T.W., Boyajian A.: Aerobic response to endurance exercise training in children. *Pediatrics* 96 (4): s. 654–658, 1995.
104. Rowley S.: Psychological effects of intensive training in young athletes. *J. Child. Psychol. Psychiatry* 28: s. 371–377, 1987.
105. Sankowski T.: Zdolności motoryczne i wydolność a reaktywność – ich kształtowanie się u dzieci uprawiających pływanie. *Mon. AWF Poznań*. 305: s. 5–199, 1992.
106. Sawicki P., Dornowski M., Grzywacz T., Kaczor JJ. The effects of gymnastics training on selected parameters of anaerobic capacity in 12-year-old boys. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 58 (5): s. 591–596, 2018.
107. Sayers S.P., Harackiewicz D.V., Harman E.A., Frykman P.N., Rosenstein M.T.: Cross-validation of three jump power equations. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31: s. 575, 1999.
108. Silvestri M., Crimi E., Oliva S., Senarega D., Tosca M.A., Rossi G.A., Brusasco V.: Pulmonary function and airway responsiveness in young competitive swimmers. *Pediatr. Pulmonol.* 48 (1): s. 74–78, 2013.
109. Skibińska A., Łaska-Mierzejewska T., Piechaczek H.: Rozwój wybranych cech budowy ciała młodzieży trenującej pływanie. *Rocz. Nauk. AWF Warszawa* 31: s. 203–227, 1988.
110. Slaughter M.H., Lohman T.G., Boileau R.A., Horswill C.A., Stillman R.J., Van Loan M.D., Bembien D.A.: Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Hum. Biol.* 60 (5): s. 709–723, 1988.
111. Sokołowski B., Chrzanowska M.: Development of Selected Motor Skills in Boys and Girls in Relation to Their Rate of Maturation – A Longitudinal Study, *Hum. Mov.* 13 (2): s. 132–138, 2012.
112. Sozański H.: Podstawy teorii treningu sportowego. COS Warszawa, 1999.
113. Sozański H.: Szkolenie sportowe młodzieży w Polsce – zastrzeżenia uwagi, propozycje. *Sport Wycz.* 5: s. 13–23, 1988.
114. Stanula A., Cholewa J., Zajac A.: Skład ciała oraz wybrane parametry antropometryczne młodych pływaków. *Ann. Univ. Mariae Curie Skłodowska* 60 (16): s. 503–509, 2005.
115. Strzała M., Stanula A., Krężałek P., Ostrowski A., Kaca M., Głab G.: Influence of Morphology and Strength on Front Crawl Swimming Speed in Junior and Youth Age. *J Strength Cond Res*, Oct 33(10): s. 2836–2847, 2019.

116. Szopa J., Mleczko E., Żak S.: Podstawy antropomotoryki. PWN Warszawa–Kraków, 2000.
117. Szopa J.: Nowa koncepcja klasyfikacji i struktury motoryczności człowieka. *Antropomotoryka 2*: s. 3–8, 1989.
118. Talaga J.: Sprawność fizyczna ogólna. Testy. Zys i S-ka, Poznań, 2004.
119. Tanaka H.: Swimming exercise. Impact of aquatic exercise on cardiovascular health. *Sports Med.* 39 (5): s. 377–387, 2009.
120. Traczyk Z., Trzebski A.: Fizjologia człowieka z zarysem fizjologii stosowanej i klinicznej. Tom II. PZWL Warszawa, 1990.
121. Traup J.M. Studies by the International Center for Aquatic Research (ICAR) 1989-1990. United States Swimming Press, Colorado Springs, 1990.
122. Tzelpis G.E., Vega D.L., Cohen M.E.: Lung Volume Specify of Respiratory Muscle Training. *J. App. Ppsychol.* 77 (2): s. 789–794, 1994.
123. Ulatowski T.: Teoria Sportu. Tom II. Interster SA Warszawa, 1992.
124. Van Praagh E.: Anaerobic fitness tests: what are we measuring? *Med. Sport Sci.* 50: s. 26–45, 2007.
125. Vaz J.R., Olstad B.H., Cabri J., Kjendlie P.L., Pezarat–Correia P., Hug F. Muscle coordination during breaststroke swimming: Comparison between elite swimmers and beginners. *J. Sports Sci.* 34 (20): s. 1941–1948, 2016.
126. Vitor F.M., Böhme M.T.: Performance of young male swimmers in the 100 meters front crawl. *Pediatr. Exerc. Sci.* 22: s. 278–287, 2010.
127. Waade B., Przybylski S.: Zmiany poziomu koordynacji ruchowej u dzieci po roku wstępnego szkolenia pływackiego. *Rocz. Nauk. AWF Gdańsk.* 8: s. 53–62, 1999.
128. Walla G.: Wpływ wyczynowego uprawiania sportu na zachowanie się niektórych parametrów spirometrycznych. *Ann. Acad. Siles.* 44–45: s. 83–90, 2000.
129. Waśkiewicz Z.: Wpływ wysiłków anaerobowych na wybrane aspekty koordynacji motorycznej. AWF Katowice, 2002.
130. Wawrzyniak G.: Biological age in Children who practise swimming. *Anthropol. Anz.* 59 (2): s. 149–156, 2001.
131. Weber C.L., Chia M., Inbar O.: Gender differences in anaerobic power of the arms and legs – a scaling issue. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38: s. 129–137, 2006.
132. Wieczorek W, Witkowski M.: Rozwój sprawności fizycznej i zmiany w budowie ciała młodych pływaków. *Wychow. Fiz. Sport 1*: s. 21–34, 1990.

133. Wieczorek W.: Ocena prawidłowości doboru dzieci do sportu pływackiego. Wyd. UŁ, Łódź, 2001.
134. Wojtasik W., Szulc A., Kołodziejczyk M., Szulc A.: Wybrane zagadnienia dotyczące wpływu wysiłku fizycznego na organizm człowieka. *J. Educ. Health Sport* 5 (10): s. 350–372, 2015
135. Wolański N.: Rozwój biologiczny człowieka. PWN Warszawa, 2012.
136. Zampagni M.L., Casino D., Benelli P., Visani A., Marcacci M., De Vito G.: Anthropometric and strength variables to predict freestyle performance times in elite master swimmers. *J. Strength Cond. Res.* 22 (4): s. 1298–1307, 2008.
137. Zatoń M., Jastrzębska A. Testy fizjologiczne w ocenie wydolności fizycznej. PWN Warszawa 2010.
138. Żebrowska M. (red.): Psychologia rozwojowa dzieci i młodzieży. PWN Warszawa, 1977.