
WSTĘP

Wysiłek fizyczny jest formą aktywności człowieka, wymagającą istotnych zmian czynności wszystkich niemal narządów, których funkcje dostosowywane są na bieżąco do zmiennych warunków środowiska wewnętrznego ustroju. Adaptacja wysiłkowa poszczególnych układów jest efektem przemian zachodzących w pracujących mięśniach, a podstawowym jej zadaniem jest dostarczanie adekwatnej do zapotrzebowania ilości tlenu i substratów energetycznych oraz eliminacja produktów wysiłkowej przemiany materii. Efektem reakcji zachodzących w miocytach są następujące z pewnym opóźnieniem, zmiany czynności układów oddechowego i krążenia, których funkcje są głównym ogniwem złożonych mechanizmów zaopatrzenia tlenowego ustroju.

Możliwość dokonywania precyzyjnych pomiarów wskaźników oddechowych z zastosowaniem skomputeryzowanej aparatury ergospirometrycznej, umożliwia pośrednią analizę przemian zachodzących w aktywnych mięśniach, co ma szczególne znaczenie podczas eksperymentów z udziałem dzieci, u których metodyczne ograniczenia uniemożliwiają stosowanie bezpośredniego, a więc inwazyjnego badania tkanek. Wiązać by się to bowiem musiało z zastosowaniem biopsji mięśniowej i pobieraniem próbek krwi. Wyniki licznych badań udowodniły jednoznacznie, że zmiany składu powietrza oddechowego są pośrednim odzwierciedleniem komórkowych przemian metabolicznych [26, 33, 137].

Zakres zmian czynności oddechowo-krążeniowych wskaźników fizjologicznych zależy przede wszystkim od intensywności wysiłku, która przekłada się bezpośrednio na wzajemne relacje aerobowych i anaerobowych reakcji dostarczających energii do pracy mięśniowej. Wysiłki długotrwałe o niskiej intensywności oparte są jak wiadomo na przemianach tlenowych, w przeciwieństwie do pracy o maksymalnej mocy, która wymaga uaktywnienia reakcji energetycznych zachodzących w warunkach deficytu tlenowego. Dlatego wielkość zmian parametrów wentylacyjnych i wymiany gazowej, jak również czynności mięśnia sercowego uwarunkowane są przede wszystkim rodzajem przemian energetycznych, dominujących w danej chwili w dostarczaniu energii do pracy mięśniowej. Zdolności do wykonywania wysiłków fizycznych o różnej intensywności zależą zatem w pierwszym rzędzie od możliwości dostarczania tlenu do mięśni i wykorzystania tego gazu w miocytach, jak również od zdolności czerpania energii z przemian anaerobowych.

Wymienione wyżej czynniki, związane z możliwościami czerpania energii z reakcji aerobowych i anaerobowych, ulegają istotnym zmianom w czasie wieku rozwojowego. Wcześniejsze badania własne wykazały ok. 20% wzrost, w okresie dojrzewania, wskaźnika obrazującego relacje maksymalnej mocy anaerobowej do aerobowej mocy wysiłku [24]. Wyniki przeprowadzonych testów wydolnościowych osobników młodocianych wskazują na znaczny wzrost maksymalnej mocy beztlenowej w okresie pokwitania [22, 24, 45, 72, 85]. Dojrzewanie nie wpływa natomiast na zmianę wydolności tlenowej organizmu, wyrażonej relatywnymi wartościami maksymalnego poboru tlenu [22, 76, 77, 82, 84]. Badania Cempli [23] wykazały również, że w wieku popokwitaniowym próg anaerobowy osiągany jest przy niższym poziomie obciążenia względnego, niż ma to miejsce u młodszych dzieci. Efektem tego, w przypadku wysiłków o stopniowo wzrastającej intensywności, jest zwiększenie zakresu obciążeń „ponadprogowych”, co z kolei wpływa na wzrost wykonywanej pracy. Ma to również wpływ na poziom szeregu parametrów biochemicznych krwi [91]. Można zatem stwierdzić, iż osobnicy dojrzały pracują bardziej ekonomicznie, choć osiągnięcie progu przy relatywnie niższym obciążeniu nie jest, jak wiadomo, zjawiskiem korzystnym z punktu widzenia zdolności wysiłkowych.

Rozwojowe zmiany reakcji ustroju na wysiłek fizyczny przebiegają z odmienną intensywnością u obojga płci. Jest to wynikiem różnic dymorficznych w zakresie wieku rozpoczęcia okresu dojrzewania, jak też, różnej u chłopców i dziewcząt, dynamiki zmian szeregu wskaźników morfologicznych, fizjologicznych, biochemicznych i wielu innych, które są przyczyną pogłębiających się z wiekiem różnic między przedstawicielami obojga płci. Przed wejściem w fazę pokwitania nie obserwuje się znaczącego zróżnicowania dymorficznego w zakresie wymienionych wyżej wskaźników, dlatego zdolności do wykonywania wysiłków fizycznych w różnych zakresach intensywności są u dzieci bardzo zbliżone [12, 22]. Poziom wydolności aerobowej, wyrażonej relatywnymi do masy ciała wielkościami $VO_2\max$, nie ulega w okresie rozwoju chłopców istotnym zmianom, natomiast często obserwuje się regres tego wskaźnika wśród dziewcząt, przeciętnie od 9 roku życia, co jest wynikiem przyrostu odsetkowego udziału tkanki tłuszczowej [12, 22, 128, 129]. Badania Cempli [22] wykazały, że wielkość maksymalnego poboru tlenu obniża się u dziewcząt w największym stopniu po osiągnięciu szczytu skoku pokwitaniowego wysokości ciała. Wydolność anaerobowa zwiększa się natomiast u dzieci w okresie rozwoju, jednak u dziewcząt od 13 roku życia obserwuje się stabilizację relatywnego poziomu maksymalnej mocy beztlenowej. U chłopców wielkość tego wskaźnika ulega stopniowej progresji aż do osiągnięcia wieku dojrzałego [97].

Wyniki badań Zanconato i wsp. [155] dowodzą, że koszt energetyczny wysiłku dzieci jest relatywnie większy w porównaniu z osobami dorosłymi, co jest wynikiem różnic w zakresie zachodzących w mięśniach przemian energetycznych. Mniejsze u dzieci możliwości wykorzystania anaerobowych źródeł energetycznych, w połączeniu z podobnymi predyspozycjami do czerpania energii z przemian tlenowych,

powodują większe przyrosty ilości wydatkowanej energii przy relatywnie tej samej intensywności pracy. Dotyczy to wysiłków zarówno o umiarkowanej, jak również maksymalnej i supramaksymalnej mocy [36, 155]. Hebestreit i wsp. [65] wykazali ponadto, że dzieci osiągają niższe stężenia mleczanów we krwi, co z kolei powoduje szybszą spłatę długu tlenowego w fazie wypoczynku, a więc krótszy czas potrzebny na regenerację sił. Wskazane wyżej różnice mogą mieć zatem znamienny wpływ na intensywność przebiegu procesów odnowy po zakończeniu wysiłku.

Różnice dymorficzne w zakresie wydolności fizycznej osób dorosłych wynikają przede wszystkim z odmiennej u przedstawicieli obojga płci, pojemności tlenowej krwi, będącej efektem mniejszej u kobiet ilości erytrocytów i hemoglobiny. Wyniki badań świadczą o tym, że globalne wielkości maksymalnego poboru tlenu, będącego miernikiem wydolności tlenowej, są wyższe u mężczyzn średnio o ok. 30-35% [22, 146]. Podobne zróżnicowanie dotyczy globalnego poziomu maksymalnej mocy beztlenowej [30, 74, 150, 156]. Relatywizacja wymienionych wskaźników do masy ciała zmniejsza wielkość różnic dymorficznych do ok. 15-25%.

Najczęściej podejmowanym tematem badań z zakresu fizjologii wysiłku jest analiza reakcji na pracę fizyczną w przeważającej części opartą na tlenowych źródłach energetycznych, prowadzącą do stanu równowagi czynnościowej. Bardzo często badania te dotyczą również określenia wydolności aerobowej poprzez wyznaczenie wielkości maksymalnego poboru tlenu [19, 22, 76, 77, 82, 138]. Stosowane są w nich wysiłki o stopniowo wzrastającym obciążeniu. Wyniki prac badawczych dotyczących wydolności aerobowej często wzbogacane są o analizę zmian występujących podczas intensywności wysiłku odpowiadającej progom metabolicznym [10, 23, 31, 56, 120, 140, 158]. Inne eksperymenty przeprowadzono w celu wyznaczenia maksymalnej mocy anaerobowej, określającej różnymi metodami [11, 59, 110, 139] możliwości wykonywania pracy o krótkim czasie trwania i bardzo wysokiej intensywności [22, 43, 72, 154]. Badania Chmury [28] pozwoliły z kolei na dokonanie oceny sprawności psychomotorycznej po wykonaniu serii przerywanych wysiłków fizycznych. Brak natomiast w literaturze opracowań dotyczących dynamiki zmian parametrów fizjologicznych w wielokrotnie powtarzanych, krótkotrwałych wysiłkach, choć często podkreśla się korzystny wpływ ich stosowania na poprawę wydolności organizmu [1, 2, 62, 101, 116, 122].

Wyniki badań Margarii [108, 109] wykazały, że maksymalne uaktywnienie włókien mięśniowych, jakie ma miejsce podczas intensywnych wysiłków o krótkim czasie trwania, prowadząc do wyczerpania źródła fosfagenowego, przyspiesza skojarzoną reakcję utleniania, dzięki której dochodzi do resyntezy adenozynotrójfosforanu i fosfokreatyny. Usprawnianie przebiegu reakcji aerobowych, prowadzących do zwiększenia wykorzystania tlenu w mitochondriach miocytów, wymaga zatem, oprócz wysiłków o umiarkowanej i submaksymalnej intensywności, zastosowania pracy krótkotrwałej o wysokiej mocy.

Trening oparty na pracy interwałowej od lat jest uznawany za jeden z najbardziej skutecznych środków do poprawy sprawności wysiłkowej ustroju. Według Malareckiego [107], zakres zmian parametrów układów oddechowego i krążenia, w wyniku zastosowania wysiłku ciągłego i przerywanego, jest niemal jednakowy, przy założeniu wykonania w obu przypadkach tej samej ilości pracy. Efektem są wówczas podobne zmiany wydolności. Stwierdzono, iż trening interwałowy może być bardziej skuteczny od ciągłego w przypadku zastosowania znacznie większego obciążenia [107], co jest możliwe dzięki okresowo występującym przerwom wypoczynkowym. Znaczniejsza możliwość podniesienia wydolności po zastosowaniu wysiłków interwałowych, a więc większa ich skuteczność, jest wynikiem stosowania wyższej intensywności pracy, co z kolei wpływa na większą, niż w treningu ciągłym, aktywizację narządów wewnętrznych ustroju. Analiza reakcji organizmu na stosowanie przerywanych form wysiłku fizycznego jest bardzo ważna nie tylko z punktu widzenia treningu sportowego, lecz również w odniesieniu do szkolnych lekcji wychowania fizycznego, podczas których, najczęściej w formie zabawowej, stosuje się ten właśnie rodzaj wysiłku. Dzieci wykazują większą aktywność ruchową od osobników dorosłych nie tylko podczas lekcji WF, lecz również w życiu codziennym. Stosunkowo często wykonują powtarzane, krótkotrwałe wysiłki beztlenowe, w wyniku czego nabierają cech osób trenujących, co objawia się większą dynamiką wysiłkowych procesów fizjologicznych [82].

Wysiłki interwałowe o wysokiej intensywności i krótkim czasie trwania wymagają wykorzystania beztlenowych zasobów energetycznych. Według danych z literatury, dzieci wykazują mniejszą zdolność do wykonywania tego typu pracy, a ich organizm nie jest dostatecznie przygotowany do rozwijania maksymalnej mocy [12, 45, 117]. Przyczyn tego zjawiska można się doszukiwać w wielu czynnikach, związanych głównie z przemianami biochemicznymi, zachodzącymi w pracujących mięśniach. Stwierdzono, że zależy to od mniejszej zdolności dzieci do utylizacji kwaśnych metabolitów wysiłkowej przemiany materii i odbudowy ATP [12, 45]. Inne badania wykazały mniejsze zasoby związków wysokoenergetycznych u osób młodszych [46, 103] lub też wolniejsze tempo wykorzystania glikogenu mięśniowego [127]. Czynniki te powinny zatem różnicować dzieci i osoby dorosłe pod względem fizjologicznych reakcji ustroju na wysiłki o supramaksymalnej intensywności.

Powtarzanie tego rodzaju pracy podczas serii wysiłków interwałowych zmienia jednak jej charakter, co rzutuje zapewne na przebieg zmian poszczególnych parametrów. Nie bez znaczenia jest również zjawisko „nakładania się” efektów przemian zachodzących podczas kolejnych okresów pracy. Odmienna jest bowiem reakcja ustroju na pojedynczy, krótkotrwały wysiłek fizyczny, od reakcji występującej po każdym następnym jego powtórzeniu.

Znikoma w latach ubiegłych liczba prac badawczych, dotyczących krótkotrwałych, powtarzanych wysiłków fizycznych, jest zrozumiała ze względu na brak odpowiedniej aparatury, co uniemożliwiało dokładną analizę poszczególnych para-

metrów w krótkich odstępach czasu. Pojawienie się skomputeryzowanych metod pomiarowych, szczególnie metody analizy gazowej „breath by breath”, stworzyło znacznie szersze możliwości ich wykorzystania dla celów naukowych. Większość prac na temat kinetyki poboru tlenu oraz parametrów układów oddechowego i krążenia dotyczy jednak kilkuminutowych wysiłków o stałej submaksymalnej intensywności [5, 20, 34, 106, 143].

Zarysowane wyżej nieco odmienne podłoże energetyczne pracy mięśniowej u dzieci i osób dorosłych, jak również u przedstawicieli obojga płci, pozwala przypuszczać, że różnice te znajdują również swe odzwierciedlenie w reakcjach układów oddechowego i krążenia, będących efektem wykonywania intensywnych, powtarzanych wysiłków fizycznych. Niedostatek opracowań dotyczących tych zagadnień, a przede wszystkim dynamiki zmian fizjologicznych wskaźników oddechowo-krążeniowych podczas krótkotrwałych wysiłków interwałowych o supramaksymalnej mocy, spowodował podjęcie próby poszerzenia zasobu wiedzy na ten temat.

Celem przeprowadzonych badań było stwierdzenie różnic w zakresie wysiłkowych reakcji ustroju dzieci i osób dorosłych, jak też wykazanie zróżnicowania dymorficznego w obu wymienionych grupach, w zakresie:

- poziomu wydolności aerobowej i anaerobowej,
- dynamiki zmian oddechowo-krążeniowych wskaźników fizjologicznych w odpowiedzi na krótkotrwałe, powtarzane wysiłki o supramaksymalnej mocy,
- wpływu czasu pracy i długości przerw wypoczynkowych podczas wysiłków interwałowych, na przebieg analizowanych reakcji fizjologicznych,
- wpływu sumowania efektów powtarzanych kolejno wysiłków na wielkość zmian wybranych parametrów układu oddechowego,
- wielkości długu tlenowego i kosztu energetycznego wysiłków interwałowych o supramaksymalnej intensywności.

Nawiązując do przedstawionego wyżej celu badań, w pracy podjęto próbę odpowiedzi na następujące pytania badawcze:

1. Czy istnieją różnice między dziećmi i osobami dorosłymi w zakresie wydolności aerobowej i anaerobowej, obrazującej zdolności do wykonywania wysiłków o charakterze wytrzymałościowym i szybkościowym?
2. Czy poziom wydolności tlenowej i beztlenowej różnicuje grupy dziewcząt i chłopców oraz kobiet i mężczyzn?
3. Czy istnieją różnice między dziećmi i osobami dorosłymi oraz różnice dymorficzne w poziomie parametrów fizjologicznych, charakteryzujących próg anaerobowy?
4. Jakie są różnice w dynamice zmian poddanych analizie wskaźników układu oddechowego podczas krótkotrwałych, powtarzanych wysiłków o supramaksymalnej mocy?

5. Czy przebieg zmian oraz wysiłkowy poziom oddechowych wskaźników fizjologicznych jest różny u dzieci i osób dorosłych?
6. Czy istnieją różnice dymorficzne wśród dzieci i osób dorosłych w zakresie dynamiki zmian i wysiłkowego poziomu poddanych analizie wskaźników fizjologicznych?
7. Jaki jest wpływ czasu pracy i długości przerw wypoczynkowych podczas wysiłków interwałowych na przebieg analizowanych parametrów?
8. Jaki jest wpływ sumowania reakcji fizjologicznych, będących efektem powtarzanych kolejno wysiłków, na wielkość zmian wybranych wskaźników układu oddechowego?
9. Czy wielkości długu tlenowego i kosztu energetycznego supramaksymalnych wysiłków interwałowych są różne u dzieci i osób dorosłych oraz jak kształtują się różnice dymorficzne w obrębie obu grup wiekowych?