

Akademia Wychowania Fizycznego i Sportu im. Jędrzeja Śniadeckiego w Gdańsku
Zakład Fizjologii
Jędrzej Śniadecki Academy of Physical Education and Sport in Gdańsk.
Department of Physiology

ANNA SZCZĘSNA-KACZMAREK

Physiological characteristic of transition from an oxygen deficit to steady state during submaximal exercise: Comparison children and young adults

Charakterystyka fizjologiczna przejścia z deficytu tlenu w stan steady-state podczas wysiłku fizycznego submaksymalnego: Porównanie dzieci i młodych dorosłych

Wysiłek fizyczny może być kontynuowany, jeżeli procesy zużycia energii i procesy uwalniania energii potrzebnej organizmowi w stanie pracy fizycznej są zrównoważone.

Wysiłki fizyczne submaksymalne o intensywności poniżej progu przemian anaerobowych (AT) mogą być kontynuowane kosztem energii z przemian tlenowych, natomiast o intensywności powyżej AT wymagają włączenia procesów beztlenowych do pokrycia zapotrzebowania energetycznego (Katz and Sahlin, 1990). Metabolizm tlenowy jest uzależniony od odpowiedniej podaży tlenu. W spoczynku zużycie tlenu wynosi 250 – 350 ml na minutę, natomiast w warunkach pracy fizycznej zapotrzebowanie na tlen rośnie proporcjonalnie do obciążenia.

Z chwilą rozpoczęcia pracy fizycznej układy oddechowy i krążenia odpowiedzialne za transport tlenu nie są w stanie pokryć zapotrzebowania organizmu w tlen, ponieważ zmiany przystosowawcze, które muszą zajść w tych układach wymagają odpowiedniego czasu. Czas potrzebny do przebiegu zmian w czynności układu krążenia i oddechowego jest tym dłuższy im intensywność wysiłku fizycznego wyższa. Ponieważ zapotrzebowanie na tlen oraz jego zużycie są różne podczas przejścia z spoczynku w stan wysiłku fizycznego, to organizm zaciąga deficyt tlenu nawet wtedy, gdy wysiłek fizyczny jest bardzo lekki. (Scott C.B., et al. 1991) Deficyt tlenu jest określany jako różnica między zapotrzebowaniem na tlen (steady-state) podczas danej pracy a jego zużyciem.

Zjawisko to stwierdza się w ciągu 2 – 6 pierwszych minut każdej pracy fizycznej zarówno w organizmie dziecka jak i dorosłego człowieka. Biorąc pod uwagę różnice w przygotowaniu organizmu dziecka, w stosunku do dorosłego człowieka, do przyjęcia tlenu tak na poziomie subkomórkowym (procesy biochemiczne) jak i na poziomie 990). Czynności układów odpowiedzialnych za transport tlenu z powietrza do tkanek, można się spodziewać różnic w parametrach charakteryzujących deficyt tlenu między dziećmi i dorosłymi ludźmi.

Z badań opartych o próbki biopsyjne – 6 mięśni dzieci w wieku 6 – 16 lat przeprowadzonych przez Ekmana (Erikson i inni, 1974) wiadomo, że mięśnie szkieletowe dzieci zawierają w swoim składzie do 65 % włókien wolno-kurczliwych (ST), czerwonych, których metabolizm energetyczny oparty jest o procesy tlenowe. Tak wysoki procent włókien ST w mięśniach dorosłego człowieka stwierdza się w grupach długodystansowców wysokiego wyczynu. Natomiast niski procent włókien szybko-kurczliwych (FT), białych oraz niska aktywność kluczowego enzymu glikolizy – fosfofrukto-kinazy jest czynnikiem ograniczającym metabolizm beztlenowy dzieci. Jest to także przyczyna niewielkiej ilości kwasu mlekowego w mięśniach dzieci po wysiłku fizycznym maksymalnym lub supramaksymalnym (4) Erikson i inni, 1974). Dzieci na poziomie subkomórkowym przystosowane są do przyjęcia dużej ilości tlenu, jednak procesy odpowiedzialne za transport tlenu mogą stanowić ograniczenie poboru tlenu (Williams i inni, 2000) Jak wiadomo dzieci charakteryzuje proces ciągłego wzra-

stania morfologicznego oraz rozwoju czynności układów i narządów (w tym układu krążenia i oddechowego) jak również dojrzewania procesów regulacyjnych.

Ponieważ w okresie deficytu tlenu energia do pracy fizycznej jest czerpana z procesów beztlenowych, to w tej sytuacji wydaje się ciekawy problem (w piśmiennictwie rzadko poruszany) oceny parametrów charakteryzujących przejście w organizmie dziecka z okresu deficytu tlenu w okres równowagi między zapotrzebowaniem na tlen i jego zużyciem oraz porównanie z dorosłymi młodymi ludźmi.

MATERIAŁ I METODY

Badaniami objęto trzy grupy osób : chłopców w wieku 13 – 14 lat trenujących piłkę nożną (n = 12), studentki AWFIS w wieku 20 -22 lat (n = 14), studentów AWFIS w wieku 21 – 25 lat (n = 19). Badani zostali poddani wymiernej pracy na cykloergometrze. Był to test wysiłkowy tzw. do odmowy . czyli praca fizyczna o wzrastającym obciążeniu aż do odmowy jej kontynuacji. Przed rozpoczęciem pracy badani byli „zaprzyjaźniani” z aparaturą i sytuacją. tzn. znajdowali się w pozycji siedzącej na cykloergometrze oraz byli podłączeni do analizatora gazów wydechowych firmy Jaeger. Oddychali powietrzem. w którym mierzony był ubytek tlenu oraz wzrost ilości dwutlenku węgla.. Po kilku minutach fazy wstępnej badani byli obciążeni pracą o intensywności około 1,5 W/kg masy ciała. co stanowiło 37 – 41 % VO_{2max} . Wszyscy badani wykonywali pracę o zadanym obciążeniu przez około 10 minut. Po tym czasie podnoszono obciążenie co 1 minutę o 25 watów. aż do odmowy kontynuowania pracy. Podczas całego testu wysiłkowego mierzono co 30 s : obciążenie, częstość skurczów serca (HR), częstość oddechów, wentylację minutową (V_E), objętość tlenu pobieranego przez organizm (VO_2), objętość dwutlenku węgla wydalanego (VCO_2), współczynnik oddechowy (RER), współczynnik metaboliczny (MET).

W oparciu o mierzone parametry wyliczono: próg przemian anaerobowych (AT) metodą wentylacyjną, stosunek VO_2/HR oraz V_E/VO_2 .

WYNIKI I OMÓWIENIE

Uzyskane wyniki przedstawiono w 1 tabeli n i na rysunkach. Tabela 1 zawiera charakterystykę morfologiczną oraz fizjologiczną badanych grup.

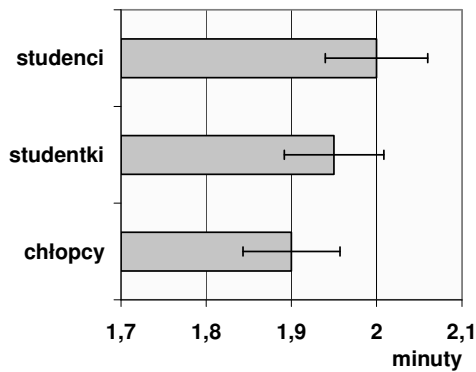
Tabela 1. Charakterystyka antropometryczno-fizjologiczna badanych grup

	Chłopcy	Studentki	Studenti
Wiek (lata)	13,7*# ± 0,49	21,0 *± 1,18	22,9# ± 2,02
Masa ciała (kg)	55,45* ± 9,01	57,21# ± 4,69	75,5*# ± 6,8
Wzrost (cm)	169,75* ± 7,12	167,79# ± 3,26	180,9*# ± 5,8
VO_{2max} (L/min)	3,17* ± 0,62	2,41*# ± 0,35	4,0# ± 0,42
VO_{2max} (ml/min/kg)	55,46* ± 5,22	42,11*# ± 4,72	52,0# ± 4,42
AT % VO_{2max}	79,8*# ± 6,8	58,69* ± 8,8	60,0# ± 6,61
Moc tlenowa (W)	234,92* ± 25,3	223,29# ± 28,33	324,30*# ± 34,22

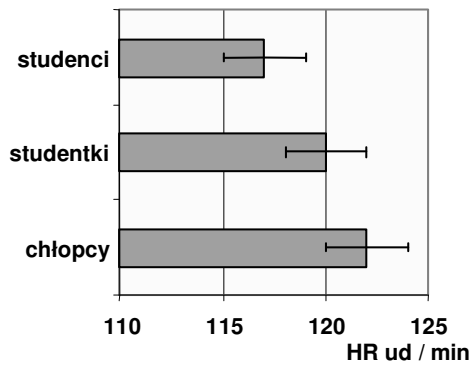
P Podano wartości średnie ± odchylenie standardowe.

* różnice istotne statystycznie ($p \leq 0,05$), # różnice istotne statystycznie ($p \leq 0,05$)

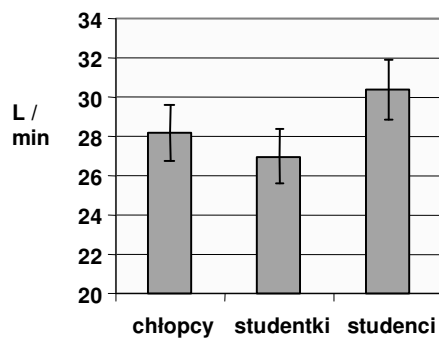
Przedstawione w tabeli 1 wyniki pomiarów antropometrycznych wskazują, że grupy badanych chłopców i studentek charakteryzują się zbliżoną masą ciała oraz wzrostem. Natomiast parametry fizjologiczne pokazały jak wyraźnie chłopcy trenujący piłkę nożną wyróżniają się maksymalnym poborem tlenu oraz wartością progu przemian anaerobowych AT w stosunku do ludzi dorosłych.. Wybrane parametry przedstawione na rys. 1 – 3 charakteryzują zmiany przystosowawcze w układzie krążenia i oddechowym jakie musiały zająć, ażeby organizm mógł otrzymać tyle tlenu, ile w warunkach pracy fizycznej o intensywności około 40 % VO_2 potrzebował. Rysunek 1 przedstawia czas trwania deficytu tlenu na początku pracy w każdej badanej grupie osób. Widzimy, że w organizmie chłopców w najkrótszym czasie ($t = 1,9 \pm 0,5$) zaszły zmiany przystosowawcze. umożliwiające odpowiedni transport i pobór tlenu. pokrywający zapotrzebowanie energetyczne. Najdłuższy czas trwania deficytu tlenu ($t = 2,2 \pm 0,5$) stwierdzono w grupie studentów.



Rys.1. Czas trwania deficytu tlenu



Rys. 2. Wartości częstości skurczów serca w stanie steady-state

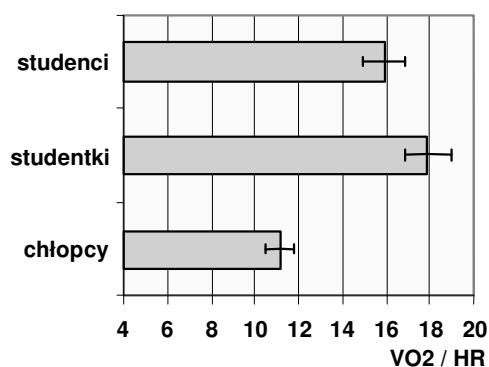


Rys. 3. Wartości wentylacji minutowej płuc w stanie steady-state

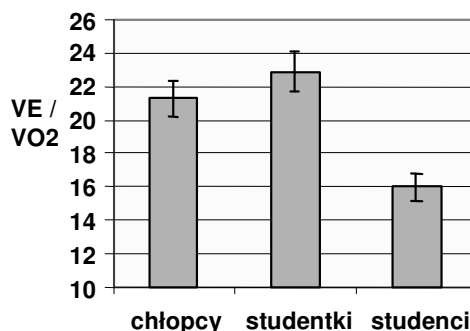
Mierzone w tej pracy parametry charakteryzujące czynność układu krążenia i oddechowego w pierwszej minucie dojścia do stanu równowagi między zapotrzebowaniem na tlen i jego zużyciem (rys. 2 i 3) wskazują na najwyższy wzrost częstości skurczów serca w grupie badanych chłopców ($HR = 122 \pm 15$) a najniższy w grupie studentów ($HR = 117 \pm 5$).

Natomiast największe zmiany przystosowawcze w układzie oddechowym (rys. 3) stwierdzono w grupie studentów ($V_E = 30,4 \pm 4,5$ l/min) U dzieci wentylacja minutowa wzrosła od wartości spoczynkowych równych $10,5 \pm 2,3$ l/min do $28,7 \pm 3,5$ l/min.

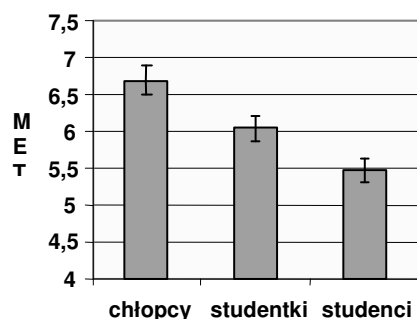
Wyliczone wartości: tętna tlenowego (VO_2 /HR). V_E / VO_2 . wskaźnika MET oraz współczynnika oddechowego RER (rys. 4 – 7) pozwalają ocenić koszt fizjologiczny i energetyczny wysiłku fizycznego w 1-szej minucie przełomu od warunków deficytu tlenu do stanu steade-state.



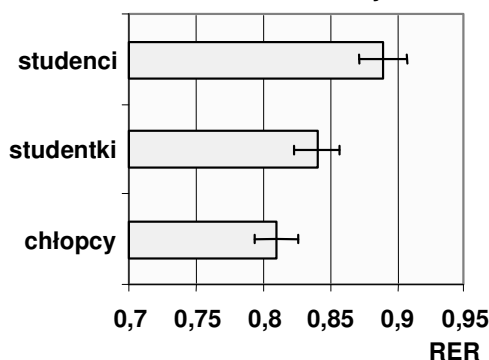
Rys. 4. Wartości VO₂ / HR w 1-szej minucie stanu steady state



Rys.5. Wartości VE / VO₂ w 1-szej minucie stanu steady-state



Rys. 7. Wartości MET w 1-szej minucie stanu steady-state



Rys.6. Wartości współczynnika oddechowego (RER)

DYSKUSJA

Przejęcie od stanu niedoboru tlenu w organizmie podczas pracy fizycznej do stanu równowagi między zapotrzebowaniem na tlen i jego zużyciem jest wynikiem zakończenia zmian zarówno przystosowawczych w czynności układów krążenia i oddechowego - odpowiedzialnych za transport tlenu jak i zmian w metabolizmie komórek mięśni szkieletowych. Zmiany na poziomie komórki polegają na aktywacji procesów utleniania zabezpieczających odpowiednią podaż energii do pracy fizycznej (Grassi i inni, 1996, Phillis et al. 1995). Biorąc pod uwagę aktywny proces „dojrzwania” morfologicznego oraz czynnościowego układów odpowiedzialnych za transport tlenu w organizmie chłopców w wieku 13-14 lat . jak również różnice w aktywności metabolizmu tlenowego między dziećmi i ludźmi dorosłymi (Erikson i inni, 1974), w tej pracy postanowiliśmy scharakteryzować procesy czynnościowe i metaboliczne w okresie przejścia od deficytu tlenu do stanu steady-state. Uzyskane wyniki wykazały wysoki koszt fizjologiczny procesów tlenowych w organizmie dzieci, o czym świadczą niskie wartości VO₂/HR i wysokie wartości V_E/VO₂. Wysoka wartość V_E/VO₂ wskazuje na mniej skuteczną dyfuzję pęcherzykową, natomiast niska wartość VO₂/HR sugeruje małą zawartość tlenu oferowaną w objętości krwi równej wyrzutowi serca. Procesem kompensującym u dzieci „niedojrzałość” opisanych wyżej mechanizmów jest wysoka wartość AV_d, czyli duża ilość tlenu dyfundująca z krwi tętniczej do tkanek. Podsumowując można stwierdzić, że dzieci mimo niedojrzałości morfologicznej i czynnościowej układów krążenia i oddechowego pobierają dużą ilość tlenu dzięki aktywnej dyfuzji tkankowej i pozyskują podobnie jak kobiety energię do pracy o intensywności poniżej AT głównie ze spalania tłuszczów. Dzieci podczas pracy fizycznej szybciej niż dorośli dochodzą do stanu równowagi między zapotrzebowaniem na tlen i jego zużyciem.

PIŚMIENNICTWO

1. Erikson B.O. et al. The effect of physical training on muscle enzyme activities and fiber composition in 11-year-old boys. Acta Paed Belg. 28 (supl.) 245 – 252, 1974..
2. Grassi et al. Muscle O₂ uptake kinetics in humans implications for metabolic control. J. Appl. Physiol. 80: 988-998, 1996
3. Katz A., Sahlin K. Role of oxygen in regulation of glycolysis and lactate production in human skeletal muscle. Exerc. Sport Sci. Rev. 18: 1-28 1990.
4. Phillips S.M. et al. Progressive effect of endurance training on VO₂ kinetics at the onset of sub-maximal exercise. J. Appl. Physiol. 81: 2181-2191, 1996.
5. Scott C.B., et al. The maximally accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity. Med.Sci Sports Exerc. 23: 618-624.. 1991
6. Williams C.A. et al. Oxygen uptake kinetics during treadmill running in boys and men. J. Appl. Physiol. 90: 1700 – 1706, 2001

STRESZCZENIE

Celem tej pracy była ocena kosztu fizjologicznego oraz metabolicznego pracy o niewielkiej intensywności podczas przełomu od deficytu tlenu do stanu steady-state w organizmie chłopców w wieku 13 – 14 lat i ludzi młodych dorosłych (studentek i studentów AWFIS). Badani wykonali około 10 min pracę na cykloergometrze o intensywności $38,5 \pm 3,4$ % VO_{2max}, podczas której mierzono parametry charakteryzujące czynność układu krążenia i oddechowego. Uzyskane wyniki wykazały najkrótszy czas trwania deficytu tlenu w grupie chłopców ($1,9 \pm 0,5$ min), natomiast najdłuższy w grupie studentów ($2,2 \pm 0,5$ min). Biorąc pod uwagę zmiany wartości: HR, V_E, VO₂ /HR, V_E/VO₂ można stwierdzić, że przełom od deficytu tlenu do stanu steady-state zachodzi największym kosztem fizjologicznym w organizmie chłopców. Interesujące jest to, że chłopcy, podobnie jak studentki w 1-szej minucie stanu steady-state uzyskują najwięcej energii do pracy z utlenienia tłuszczów.

SUMMARY

The purpose of this study was to compare the some cardiovascular and respiratory measurements and also metabolic parameters in order to attain the physiological and metabolic cost valuations during transition from deficit oxygen to steady-state in boys (13 – 14-year-old training football) and students. All subjects performed cycloergometric work at intensity $38,5 \pm 3,4$ % VO_{2max} during about 10 min. We shown the shortest time of deficit oxygen in children ($1,9 \pm 0,5$ min) and the longest in young men ($2,2 \pm 0,5$ min). Taking in consideration values : HR, V_E, VO₂ /HR, V_E/VO₂ we can suggest the highest physiological cost of submaximal work below AT in onset of steady-state in boys than in young adults. We also see the same way of yielding energy from fat in boys and female students.