

WPŁYW TRENINGU FIZYCZNEGO O INTENSYWNOŚCI PODPROGOWEJ W DWÓCH RÓŻNYCH TEMPERATURACH OTOCZENIA NA SPRAWNOŚĆ WYSIŁKOWYCH MECHANIZMÓW TERMOREGULACYJNYCH U MĘŻCZYZN

EFFECT OF PHYSICAL TRAINING IN TWO DIFFERENT TEMPERATURES ON EXERCISE THERMOREGULATION IN MEN

Tomasz Pałka^{1,2}, Aleksander Tyka^{1,2}, Marcin Maciejczyk¹, Marek Bawelski¹, Tomasz Cisoń^{1,2}, Wanda Pilch¹, Magdalena Żmuda³

¹Instytut Fizjologii Człowieka, AWF, Kraków

²Instytut Pedagogiczny, PWSZ, Nowy Sącz

³Studium doktoranckie, AWF, Kraków

Streszczenie

Celem eksperymentu było określenie wpływu dwumiesięcznego treningu fizycznego w pokojowej i podwyższonej temperaturze otoczenia o intensywności podprogowej na sprawność wysiłkowych mechanizmów termoregulacyjnych oraz stopień subiektywnego odczuwania uciążliwości pracy. Trening fizyczny w dwóch różnych temperaturach otoczenia wpłynął istotnie na poprawę sprawności wysiłkowych mechanizmów termoregulacyjnych, czego wyrazem było istotne wydłużenie się czasu przyrostu T_{re} o 1,2°C. W efekcie treningu zmniejszyło się subiektywne odczucie uciążliwości pracy przy takiej samej intensywności.

Słowa kluczowe: termoregulacja, trening termiczny, trening fizyczny, temperatura rektalna

Abstract

The aim of the study was to determinate influence of two month lasting physical training performed with below anaerobic threshold intensity in 21°C and 31°C on exercise function of thermoregulatory system and subjectively feeling of work intensity in men.

The physical training performed in two different temperatures significantly improved exercise function of thermoregulatory system ($DE_{T_{re}}$ 1,2°C was prolonged after the training). Subjectively feeling of work intensity was also decreased after the training.

Key words: thermoregulatory, thermal training, physical training, rectal temperature

Wstęp

Jak powszechnie wiadomo w trakcie przedłużonej pracy fizycznej wzrasta temperatura wewnętrzna i zwiększa się sekrecja potu oraz wzrasta stopień uciążliwości pracy. Reakcje te mogą mieć wpływ na zdolność do wykonywania długotrwałej pracy fizycznej, oraz ograniczać zdolność do zwiększania jej intensywności w ostatnich minutach pracy (1,2). Tak więc ciągła analiza możliwości usprawniania wysiłkowych mechanizmów termoregulacyjnych wydaje się być uzasadniona i może odgrywać istotną rolę w konstruowaniu precyzyjnych programów treningowych w dyscyplinach sportowych wymagających długotrwałej aktywacji wysiłkowej ustroju, zwłaszcza

kiedy zawody sportowe odbywają się w środowisku o podwyższonej temperaturze.

Korzystne fizjologiczne zmiany, podobne do tych, które występują po systematycznym treningu fizycznym, można również uzyskać poprzez aklimację organizmu człowieka do wysokiej temperatury otoczenia (3,4). Jest to proces prowadzący głównie do czynnościowych zmian w organizmie, a tempo aklimacji do otoczenia o wysokiej temperaturze jest większe, gdy powtarzanej ekspozycji cieplnej dodatkowo towarzyszy wysiłek fizyczny (5,6). Zmiany te, charakteryzują się zwiększeniem wydzielanego potu (7) i obniżeniem progu temperatury, przy którym występuje reakcja pocenia i termoregulacyjny

wzrost skórny przepływu krwi (8). Tym zmianom adaptacyjnym towarzyszą mniejsze przyrosty temperatury wewnętrznej ciała tak, aby utrzymać optymalne warunki pracy narządów i tkanek, na co zwrócił już wcześniej uwagę Sciaraffa i wsp. (9).

Celem eksperymentu było określenie wpływu dwumiesięcznego treningu fizycznego w pokojowej i podwyższonej temperaturze otoczenia o intensywności podprogowej na sprawność wysiłkowych mechanizmów termoregulacyjnych oraz stopień subiektywnego odczuwania uciążliwości pracy.

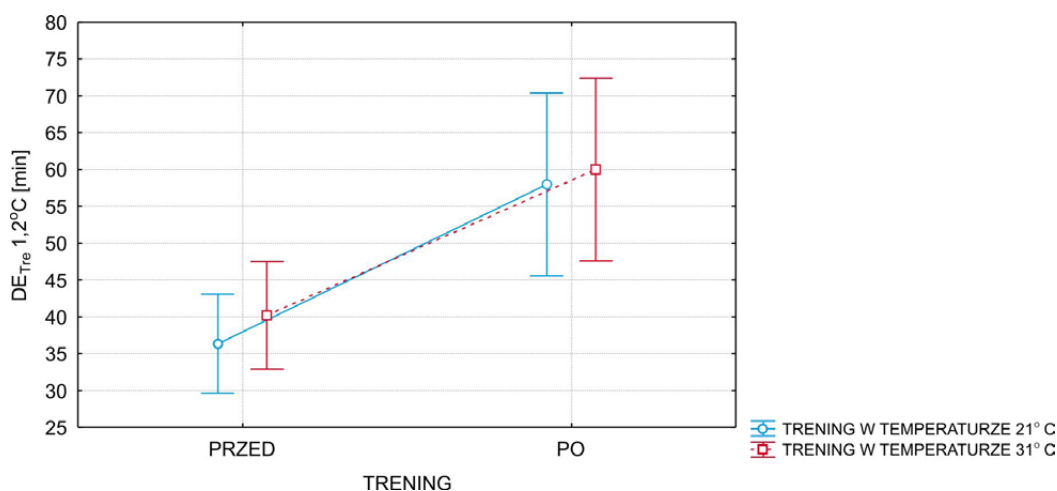
Materiał i metody

Przebadano 10 mężczyzn w wieku 22.3 ± 1.76 lat o przeciętnym poziomie BH $180,1 \pm 5,2$ cm i BM $77,66 \pm 0,10$ kg, LBM $66,28 \pm 5,66$ kg i BSA $\cdot BM^{-1}$ $0,024$ $cm^2 \cdot kg^{-1}$ oraz $\dot{V}O_2max$ $40,09 \pm 7,81$ $ml \cdot kg^{-1}$. Program eksperymentu obejmował 2-serie badań fizjologicznych na początku i po zakończeniu treningów fizycznych. Polegały one na określeniu sprawności wysiłkowych mechanizmów termoregulacyjnych mężczyzn za pomocą praktycznego testu Kubicy i wsp. (10). Polegał on na pomiarze czasu przyrostu temperatury rektalnej (T_{re}) o $1,2^\circ C$ podczas wysiłku na cykloergometrze, o względnej mocy $53 \pm 2\%$ $\dot{V}O_2max$ i RPM 60 obr. $\cdot min^{-1}$, w temperaturze otoczenia $33 \pm 0,5^\circ C$ i wilgotności względnej $70 \pm 2\%$, przy ruchu powietrza

około $0,5 m \cdot s^{-1}$. W trakcie testu co 5 min. oceniano stopień uciążliwości pracy wg skali Borga (11). Osoby uczestniczące w eksperymencie przez dwa miesiące 3 razy w tygodniu trenowały po 70 minut na cykloergometrze z intensywnością $53 \pm 2\%$ $\dot{V}O_2max$. Grupa pierwsza ($n=5$) trenowała w pokojowej temperaturze otoczenia $21^\circ C$, a grupa druga ($n=5$) w temperaturze $31^\circ C$. Pół roku po zakończeniu eksperymentu i wygaśnięciu efektów treningu dokonano zamiany grup. Osoby z I grupy wykonywały trening w $31^\circ C$, a z grupy II w temperaturze $21^\circ C$.

Wyniki

Praktycznym wskaźnikiem sprawności wysiłkowych mechanizmów termoregulacyjnych organizmu jest czas przyrostu temperatury rektalnej o $1,2^\circ C$ ($DE_{Tre} 1,2^\circ C$) podczas wysiłku fizycznego (53% $\dot{V}O_2max$) na cykloergometrze w temperaturze $33^\circ C$ i wilgotności względnej 70% (10). W obu temperaturach otoczenia efekt zastosowanego treningu przejawiał się istotnym ($p < 0,001$) spowolnieniem przyrostu temperatury rektalnej (DE_{Tre}) u badanych mężczyzn, co świadczyło o poprawie sprawności wysiłkowych mechanizmów termoregulacyjnych mężczyzn. Po treningu w temperaturze $21^\circ C$ $DE_{Tre} 1,2^\circ C$ wydłużył się o 59% , a po treningu w wyższej temperaturze o 49% (tab.1, ryc.1).



Ryc.1. Charakterystyka przeciętnych wielkości zmiany czasu przyrostu temperatury rektalnej o $1,2^\circ$ (DE_{Tre}) testie Kubicy i wsp. (10) przed i po serii treningów w dwóch różnych temperaturach otoczenia

Tabela 1. Charakterystyka statystyczna przeciętnych wyników czasu przyrostu temperatury rektalnej o $1,2^\circ$ (DE_{Tre}) testie Kubicy i wsp. (10) przed i po serii treningów w dwóch różnych temperaturach otoczenia

PARAMETR JEDNOSTKA	$\bar{x}$ SD	MINIMUM	MAKSIMUM	P<
DE_{Tre} przed $21^\circ C$ [min]	$36,40 \pm 9,41$	30,00	60,00	0,001
DE_{Tre} po $21^\circ C$ [min]	$58,00 \pm 17,35$	35,00	90,00	
DE_{Tre} przed $31^\circ C$ [min]	$40,20 \pm 10,23$	30,00	60,00	0,001
DE_{Tre} po $31^\circ C$ [min]	$60,00 \pm 17,32$	35,00	90,00	

Tabela 2. Charakterystyka statystyczna wyników (pkt) subiektywnej oceny uciążliwości pracy według skali Borga w ostatniej minucie testu Kubicy i wsp. (10) przed i po serii treningów w dwóch różnych temperaturach otoczenia

PARAMETR JEDNOSTKA	$\bar{x}$ SD	MINIMUM	MAKSIMUM	P<
Skala Borga przed 21°C [pkt]	13,5 ± 3,100	8,0	19,0	N.S.
Skala Borga po 21°C [pkt]	10,3 ± 3,335	7,0	18,0	
Skala Borga przed 31°C [pkt]	13,1 ± 2,766	9,0	19,0	N.S.
Skala Borga po 31°C [pkt]	11,6 ± 2,065	9,0	15,0	

Subiektywne odczucie uciążliwości pracy, oceniane w tym teście skalą Borga w chwili osiągnięcia przyrostu T_{re} o 1,2°C nie wykazało istotnych różnic statystycznych. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że zmiany punktowe miały tendencję malejącą mimo wyraźnego wydłużenia po treningu DE_{Tre} 1,2°C. Po treningu w temperaturze otoczenia 21°C stwierdzono ich spadek o 23,7%, a po treningu w temperaturze 31°C o 11,5% (tab.2).

Dyskusja

Aklimatyzacja i aklimacja człowieka do wysokiej temperatury otoczenia obejmują procesy prowadzące do czynnościowych, a nawet morfologicznych zmian organizmu, w efekcie których wzrasta tolerancja fizjologiczna na działanie bodźców termicznych. Przejawem wzrostu tej tolerancji jest mniejsze angażowanie narządów i układów fizjologicznych odpowiedzialnych za utrzymanie bilansu cieplnego. Tempo aklimacji do wysokiej temperatury na ogół rozwija się szybciej, a sam proces jest silniejszy, jeżeli powtarzanym zabiegom termicznym towarzyszy wykonywanie wysiłków fizycznych (1,3,12,13)

Wśród czynników środowiskowych, które mają wpływ na uruchomienie termoregulacji można wyróżnić temperaturę, wilgotność powietrza i promieniowanie fizyczne (14).

Liczba krajowych i zagranicznych publikacji dotyczących wpływu powtarzanych bodźców fizycznych o określonej intensywności, różnym czasie trwania i odmiennym zakresie na organizm dorosłego człowieka jest dość bogata, w przeciwieństwie do nielicznych opracowań dotyczących stosowania takich zabiegów wysiłkowych w różnych warunkach środowiskowych. Dotyczy to przede wszystkim badań nad oceną sprawności wysiłkowych mechanizmów termoregulacyjnych podczas pracy w podwyższonej i wysokiej temperaturze otoczenia (15-18).

Wyniki tych obserwacji obejmowały najczęściej ocenę dynamiki zmian tylko wybranych parametrów, w efekcie oddziaływania na organizm ograniczonej liczby czynników jak choćby temperatury otoczenia lub wysiłku fizycznego. Tylko nieliczni badacze analizowali równocześnie wpływ na organizm dwóch stresorów ciepła pochodzenia egzogenne i endogenne (1,6,19,20).

Gdy na organizm równocześnie działają dwa stresory termiczny i wysiłkowy to tempo zmian adaptacyjnych jest w tych warunkach większe (21). Wyniki badań Żuchowicza i wsp. (6) wskazują, że każdy z tych czynników z osobna (ciepło endogenne i egzogenne) może modelować proces aklimacji. Wyżej przedstawione opinie badaczy skłoniły autora do zweryfikowania ich zasadności na drodze empirycznej. Podjęto próbę skonfrontowania efektów dwóch odmiennych typów aklimacji organizmu do pracy, wysiłkowej i wysiłkowo-termicznej. W pierwszym przypadku podczas pracy w temperaturze 21°C nadmiar ciepła pochodzenia endogenne mógł być sprawnie odprowadzany do otoczenia, i w drugim gdy był on utrudniony, gdyż temperatura otoczenia była bliska średniej ważonej temperatury skóry (T).

Na usprawnienie termoregulacji organizmu mężczyzn po treningach miały również wpływ zmiany w intensywności pocenia.

Czas przyrostu temperatury w rectum o 1,2°C w standardowym teście w komorze termoklimatycznej, uważany przez Kubicę i współpracowników (10) za wykładnik sprawności wysiłkowych mechanizmów termoregulacyjnych wydłużył się istotnie po obu sesjach treningowych, co świadczy o dobrej aklimacji organizmu mężczyzn do pracy w podwyższonej temperaturze otoczenia i w wilgotnym środowisku.

Nie potwierdziło się przypuszczenie, że trening o identycznym fizjologicznym koszcie realizowany w podwyższonej temperaturze otoczenia w większym stopniu wpłynie na poprawę sprawności termoregulacyjnej organizmu, niż ćwiczenia fizyczne wykonywane w pokojowej temperaturze. Warto jednak podkreślić, że choć efekt obu typów treningu był podobny, o identycznym fizjologicznym koszcie, to bezwzględna objętość pracy wykonywana przez mężczyzn trenujących w temperaturze otoczenia 31°C była istotnie niższa, niż osób trenujących w temperaturze pokojowej.

Ocena uciążliwości pracy człowieka według skali Borga (11) jest często stosowana przez fizjologów (szczególnie podczas długotrwałych bądź stopniowanych wysiłków fizycznych) do monitorowania subiektywnego odczucia zmęczenia organizmu.

Tego typu kontrolę obciążenia organizmu pracą fizyczną stosowano u mężczyzn na początku i na

końcu eksperymentu w teście Kubicy i wsp. (10). Po 8 tygodniowym treningu w ostatnich minutach pracy w komorze termoklimatycznej istotnie statystycznie wydłużeniu się czasu trwania testu, nie towarzyszyły znaczące zmiany w odczuciu uciążliwości pracy. Po zakończeniu treningów w obu grupach mężczyzn istotnie wydłużył się on, głównie dzięki zmniejszeniu się tempa przyrostu temperatury w rectum i temperatury skórnej. Tym zmianom towarzyszył istotny spadek przeciętnych wartości punktowych o 23.7% i 11.5% w porównaniu z wyjściowymi wielkościami tego wskaźnika. Taki układ wyników świadczy, że zarówno powtarzane bodźce fizyczne w pokojowej temperaturze otoczenia, jak i te same obciążenia w ciepłym środowisku modelują podobnie psychiczny stan odczucia uciążliwości wysiłku przez organizm człowieka.

Wnioski

Trening fizyczny w dwóch różnych temperaturach otoczenia wpłynął istotnie na poprawę sprawności wysiłkowych mechanizmów termoregulacyjnych, czego wyrazem było istotne wydłużenie się czasu przyrostu T_{re} o $1,2^{\circ}\text{C}$. W efekcie treningu zmniejszyło się subiektywne odczucie uciążliwości pracy przy takiej samej intensywności.

Piśmiennictwo

1. Kubica R. i wsp. Problem doskonalenia funkcji mechanizmów termoregulacyjnych. Warsztaty badawcze nt.: Fizjologiczna analiza wybranych wysiłkowych mechanizmów adaptacyjnych. Warszawa: AWF, 1986.
2. Yoshida T, Nagayama K, Nose HT. i wsp. Relationship between aerobic power, blood volume and thermoregulatory responses to exercise-heat stress. *Med Sci Sports Exerc* 1997; 29(7): 867-73.
3. Robergs R, Roberts S. Fundamental Principles of Exercise Physiology for Fitness. Performance and Health. New York: McGraw-Hill Companies, 2000.
4. Takeno Y, Kamijo YI, Nose H. Thermoregulatory and aerobic changes after endurance training in a hypobaric hypoxic and warm environment. *J Appl Physiol* 2001; 91(4): 1520-8.
5. Gleeson M. Temperature Regulation During Exercise. *Int J Sports Med* 1998; 19: 96-9.
6. Żuchowicz A, Kubica R, Tyka A. i wsp. Exercise thermoregulation after physical training in warm and temperate. *J Hum Kinetics* 1999; 1: 57-67.
7. Libert JP, Amoros CD, Nisi J. i wsp. Thermoregulatory adjustments during continuous heat exposure. *Eur J Appl Physiol* 1988; 57: 499-506.
8. Hessemer V, Zeh A, Brück K. Effects of passive heat adaptation and moderate sweatless conditioning on responses to cold and heat. *Eur J Appl Physiol* 1986; 55: 281-9.
9. Sciaraffa D, Fox SC, Stockmann R, Greenleaf JE. Human acclimation and acclimatization to heat. a compendium of research – 1968-1978. NASA TM-81181. 1980: 102.
10. Kubica R, Tyka A, Żuchowicz A, Czubala M. Human acclimation to work in warm and humid environments. *J Physiol Pharmacol* 1996; 47: 515-24.
11. Borg GA. Psychophysical Bases of Perceived Exertion. *Med Sci Sports Exerc* 1982; 5: 377-87.
12. Kozłowski S. Fizjologiczne mechanizmy wpływu odwodnienia na wydolność fizyczną. Warszawa: Wydawnictwo A.M. 1970:32-58.
13. Tyka A, Żuchowicz A, Kubica R, Pałka T. Effect of ambient temperature on mechanical power at anaerobic threshold. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32: 155.
14. Silami Garcia E. Termoregulacja podczas wysiłków sportowych realizowanych w środowisku o podwyższonej temperaturze otoczenia. *Trening* 1995; 1: 29-35.
15. Hänenen O. The sauna – stimulating and relaxing. *News in Physiological Sciences* 1986; 1: 179-81.
16. Åstrand PO, Rodahl K. Textbook of work physiology. Physiological Bases of Exercise. 3rd Edition New York: McGraw-Hill, 1988.
17. Gonzales-Alonzo J, Teller C, Andersen SL. i wsp. Influence of body temperature in the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J Appl Physiol* 1999; 86(3): 1032-9.
18. Gregson WA, Drust B, Batterham A, Cable NT. The effects of pre-warming on the metabolic and thermoregulatory responses to prolonged submaximal exercise in moderate ambient temperatures. *Eur J Appl Physiol* 2002; 86(6).
19. Kozłowski S, Saltin B. Effects of sweat loss on body fluids. *J Appl Physiol* 1964; 19: 1119-24.
20. Wyndham C. The physiology of exercise under heat stress. *Ann Rev Physiol* 1973; 35: 193-220.
21. Senay LC, Kok R. Effects of training and heat acclimatization on blood plasma contents of exercising men. *J Appl Physiol* 1977; 43: 591-9.

Otrzymano: 30 listopad 2006

Zaakceptowano: 30 grudzień 2006

Adres do korespondencji:

dr Tomasz Pałka

Instytut Fizjologii Człowieka, AWF, Kraków

Al. Jana Pawła II 78

31-571 Kraków

tel. 012- 683 11 96 lub 683 10 93

fax. 012 683 14 01

e-mail: wfpalka@cyf-kr.edu.pl