

REAKCJE TERMOREGULACYJNE PODCZAS KONCENTRYCZNEGO, EKSCENTRYCZNEGO I MIESZANEGO WYSIŁKU BIEGOWEGO

DYNAMICS OF THERMOREGULATORY RESPONSES TO CONCENTRIC, ECCENTRIC AND MIXED RUNNING EXERCISE

Ilona Pokora¹, Ryszard Grucza^{2,3}

¹ Katedra Nauk Fizjologiczno-Medycznych, Zakład Fizjologii, AWF Katowice

² Instytut Sportu, Warszawa

³ Zakład Fizjologii Wysiłku, Akademia Medyczna, Bydgoszcz

Streszczenie

Pokora I., Grucza R. Reakcje termoregulacyjne podczas koncentrycznego, ekscentrycznego i mieszanego wysiłku biegowego. *Med. Sport Practica* 2007 (8)4: 107-110. W pracy określano zmiany temperatur ciała i charakterystyki reakcji termoregulacyjnych w testach biegowych: koncentrycznym, ekscentrycznym i mieszanym. Temperatura ciała oraz średnia temperatura skóry były różne w analizowanych formach ćwiczeń przy zbliżonym obciążeniu organizmu pracą. Próg temperatury wewnętrznej, przy którym uruchamiana była reakcja wydzielania potu był zbliżony we wszystkich rodzajach pracy, jakkolwiek stała czasu tej reakcji była istotnie dłuższa dla pracy ujemnej.

Słowa kluczowe: wysiłek fizyczny, termoregulacja, praca ekscentryczna i koncentryczna

Abstract

Pokora I., Grucza R. Dynamics of thermoregulatory responses to concentric, eccentric and mixed running exercise. *Med. Sport Practica* 2007 (8)4: 107-110. In this study we determined changes in body temperatures and dynamics of thermoregulatory responses during a positive-concentric, a negative-eccentric and a mixed-horizontal running test. During experiments body as well as local and mean skin temperature were different, a specially in concentric and eccentric work at the same level of the work rate. Sweating reaction was initiated at similar body temperature however it was characterised by lower time constant in eccentric test.

Key words: physical exercise, thermoregulation, eccentric and concentric work

Wstęp

Powszechnie znany wzorzec temperatur ciała podczas wysiłku fizycznego opisywany jest dla pracy dodatniej, w której mięśnie kurczą się koncentrycznie. Mniej znana jest ocena wskaźników termicznych podczas wysiłków, w których mięśnie są rozciągane przez siły zewnętrzne (skurcz ekscentryczny), a praca wykonana jest na mięśniu = praca ujemna. W tej formie pracy część energii potencjalnej może być magazynowana w elementach elastycznych mięśnia, a następnie, energia ta może być ponownie wykorzystana dla zwiększenia energii mechanicznej wytwarzanej podczas aktywnego skurczu i/lub może być przekształcana w ciepło (1). Autorzy podejmujący problem oceny zmian termicznych podczas pracy ujemnej i dodatniej obserwowali istotne różnicowanie przebiegu reakcji termoregulacyjnych oraz dystrybucji temperatur ciała przy zbliżonym natężeniu procesów metabolicznych w obu formach pracy. W literaturze

przedmiotu opinie dotyczące oceny przebiegu reakcji termoregulacyjnych podczas pracy ujemnej w porównaniu do pracy dodatniej nie są jednoznaczne. Wielu autorów obserwowało wolniejszą aktywację reakcji pocenia w pracy ujemnej (2), podczas gdy inni nie stwierdzili, aby przebieg reakcji termoregulacyjnych różnił się istotnie w obu typach pracy (3).

Celem niniejszej pracy była ocena zmian wskaźników termicznych podczas testów biegowych, w których istotnie różnicowano charakter skurczów dominujących w czasie ich wykonywania.

Materiał i metody

W badaniach uczestniczyło 11 zdrowych, nietreningujących mężczyzn (wiek 21.54 ± 1.36 lat, wysokość ciała 178.04 ± 5.24 cm, masa ciała 75.54 ± 6.2 kg, zawartość tkanki tłuszczowej $12.81 \pm 2.98\%$). Każdy badany uczestniczył w trzech testach wysiłkowych. Testy wykonywano na bieżni ruchomej (Jaeger,

Cosmos, Niemcy). W czasie wysiłku obciążenie zwiększano, co 3 minuty o 50W. W każdym teście obciążenia obliczano indywidualnie dla każdego badanego (3). Mężczyźni wykonywali test wysiłkowy przy nachyleniu bieżni do podłoża $+1\%$ = *praca mieszana*, $+10\%$ *praca koncentryczna* = *dodatnia*, -10% *praca ekscentryczna* = *ujemna*. Udział badanych w testach wysiłkowych podlegał randomizacji (zachowując, co najmniej 3 tygodniową przerwę po teście -10%).

Podczas wysiłków przy każdej wielkości stosowanego obciążenia mierzono: temperaturę wewnętrzną (T_{ty}) (Ellab, Dania), temperaturę skóry na klatce piersiowej, udzie i ramieniu (teletermometr Cannon, UK), oraz oporność elektryczną skóry (ESR) (miliwoltomierz cyfrowy), oraz wielkość pobieranego tlenu (VO_2) (analizator gazowy Oxycon, Yaeger, Niemcy). Z pomiarów temperatur powłok skórnych wyliczano (4) średnią ważoną temperaturę skóry (T_{sk}). Na podstawie analizy ESR oszacowano: czas opóźnienia uruchamiania reakcji wydzielania potu $-t_d$, stałą czasu tej reakcji $-\tau$, czas inercji reakcji wydzielania potu $-t_i$ (5). W oparciu o wielkości T_{ty} i T_{sk} wyliczano średnią temperaturę ciała (T_b) (6). Z oznaczeń wielkości poboru tlenu i wskazań RQ wyliczano koszt energetyczny pracy ujemnej i dodatniej. Wszystkie testy wysiłkowe przeprowadzano w godzinach dopołudniowych w warunkach termoneutralnych.

Uzyskane wyniki poddano standardowej analizie statystycznej, w której wyliczano zależności pomiędzy temperaturą wewnętrzną, natężeniem procesów metabolicznych a aktywacją reakcji termoregulacyjnych podczas stosowanych testów wysiłkowych. Weryfikację istotności różnic między obliczonymi charakterystykami opisującymi przebieg reakcji wydzielania potu oraz pozostałymi wskaźnikami termicznymi

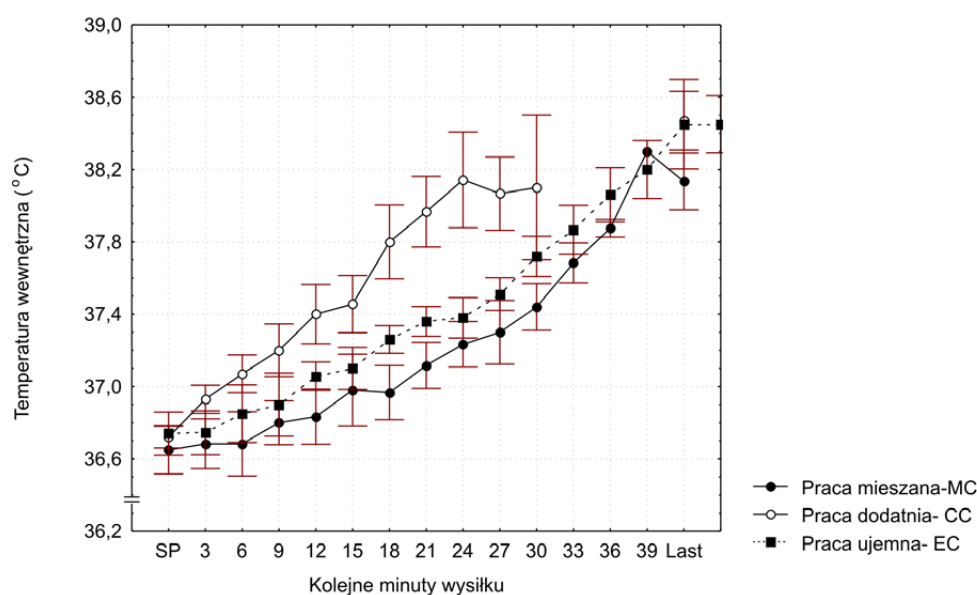
dokonywano za pomocą analizy wariancji i testu post hoc Newmana Keulsa (Statistica, ANOVA).

Wyniki

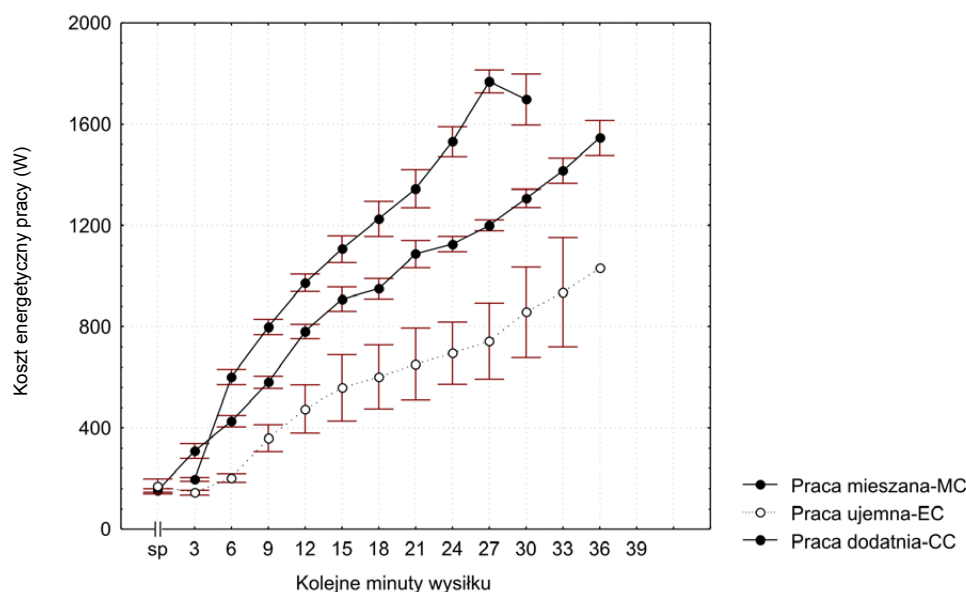
We wszystkich testach wraz ze wzrostem obciążenia organizmu pracą obserwowano wzrost temperatury wewnętrznej ciała, a przebieg zmian T_{ty} był zależny od charakteru wykonywanej pracy (Ryc. 1). Temperatura ciała (T_b) wyliczana podczas pracy ujemnej i dodatniej nie różniła się istotnie dla obu tych form pracy, pomimo, że T_{ty} i T_{sk} były różne dla pracy ujemnej i dodatniej. Z chwilą, gdy T_b przekroczyła wartości 36.4°C w pracy ujemnej i dodatniej, obserwowano aktywację reakcji wydzielania potu. Czas opóźnienia uruchamiania reakcji wydzielania potu był zbliżony we wszystkich analizowanych testach. Stała czasu i czas inercji tej reakcji były istotnie dłuższe dla pracy ujemnej niż dodatniej (Tab. 1). W pracy ujemnej natężenie procesów metabolicznych było istotnie niższe

Tabela 1. Parametry charakteryzujące dynamikę reakcji wydzielania potu podczas stosowanych testów wysiłkowych t_d -czas opóźnienia uruchamiania reakcji wydzielania potu (min), τ -stała reakcji wydzielania potu (min), t_i -czas inercji reakcji wydzielania potu (min) (Grucza 1983); $p < 0.05$

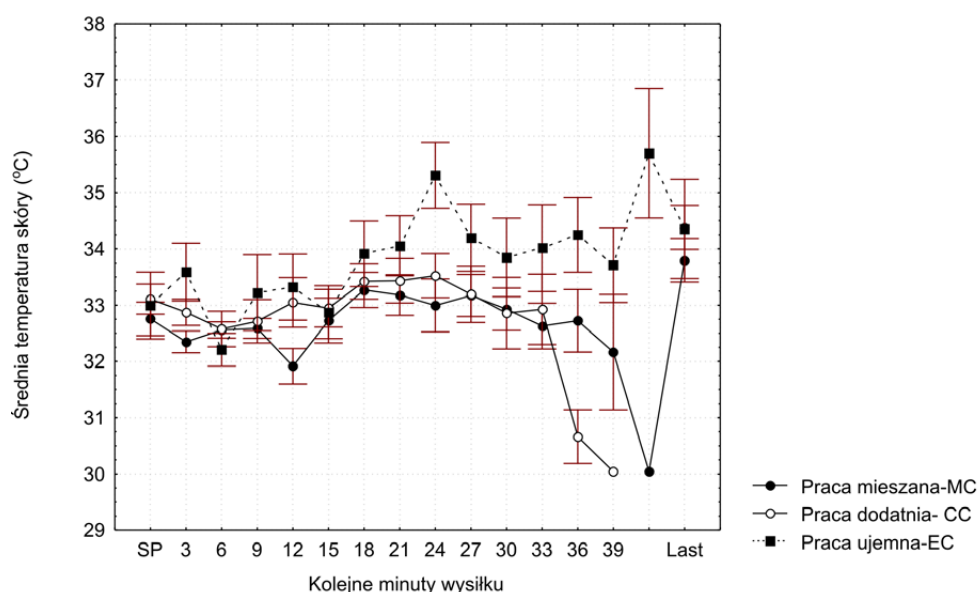
	Praca dodatnia koncentryczna CC	Praca ujemna ekscentryczna EC	Praca mieszana MC
t_d (min)	2.53 ± 1.76	4.01 ± 2.69	4.07 ± 2.58
τ (min)	4.85 ± 1.68 CC vs EC*	10.76 ± 4.61	6.35 ± 2.36 MC vs EC*
t_i (min)	7.38 ± 2.22 CC vs EC*	14.70 ± 5.12	10.62 ± 1.72 MC vs CC*



Ryc. 1. Przebieg zmian temperatury wewnętrznej ciała podczas wysiłku biegowego: praca koncentryczna-dodatnia (CC), praca ekscentryczna-ujemna (EC), i mieszana (MC)



Ryc. 2. Przebieg zmian wydatku energetycznego podczas pracy koncentrycznej-dodatniej (CC), pracy ekscentrycznej-ujemnej (EC), i mieszanej (MC)



Ryc. 3. Zmiany temperatury skóry podczas wysiłku biegowego: praca koncentryczna-dodatnia (CC), praca ekscentryczna-ujemna (EC), i mieszana (MC)

niż w pracy mieszanej (Ryc. 2). Obserwowano istotne różnice w wartościach temperatury skóry podczas testów wysiłkowych. W pracy ujemnej temperatura skóry wzrastała aż do zakończenia testu, podczas gdy w pozostałych typach pracy T_{sk} obniżała się szczególnie w ostatnich obciążeniach wysiłkowych (Ryc. 3).

Dyskusja

Zastosowane testy wysiłkowe znacząco różniły się charakterem skurczów występujących w pracy. We wszystkich formach wysiłku ze wzrostem obciążenia organizmu pracą obserwowano zwiększone pobieranie tlenu i towarzyszący mu wzrost przemian

metabolicznych. W każdym momencie wykonywanej pracy natężenie przemian metabolicznych było większe, gdy mięśnie kurczyły się koncentrycznie niż ekscentrycznie. Wyniki naszych badań pozostają w zgodzie z obserwacjami autorów, którzy dokonywali oceny wielkości przemiany materii w pracy ujemnej i dodatniej (1,2,7). Koszt energetyczny pracy ujemnej i dodatniej różnił się istotnie statystycznie, podczas gdy średnia temperatura ciała (T_b) była zbliżona dla obu form pracy. Temperatura wewnętrzna zmienia się proporcjonalnie do obciążenia względnego w szerokim zakresie zmian temperatury otoczenia (2) i zależnie od natężenia procesów metabolicznych.

Zależność opisująca zmiany temperatury wewnętrznej od natężenia procesów metabolicznych była różna dla pracy ujemnej i dodatniej. Margaria (1) uważa, że podczas schodzenia w dół znacząca część pracy jest wykonywana na mięśniach czworogłowych, który jest rozciągany przez siły zewnętrzne. Mięsień ten kurcząc się może wykorzystywać część zmagazynowanej energii elastycznej, co znacząco obniża koszt energetyczny tej formy pracy (7-9).

Średnia temperatura ciała, przy której uruchamiana była reakcja wydzielania potu była zbliżona we wszystkich typach pracy jednak nachylenie prostej opisującej zależność temperatury ciała od zmian ESR wskazuje na zmniejszenie czułości tej reakcji (τ). W pracy dodatniej obserwowano postępujący wzrost temperatury wewnętrznej i spadek temperatury skóry. Powyższe spostrzeżenia wskazują na znaczące przesunięcie krwi do pracujących mięśni szczególnie w maksymalnych obciążeniach wysiłkowych. Temperatura skóry rejestrowana w pracy ujemnej, pomimo narastającego natężenia procesów energetycznych, nie zmieniała się a nawet rosła przewyższając wartości temperatury wewnętrznej. Benzinger (10) analizując zmiany, temperatury skóry podczas wysiłku stwierdził ścisły związek pomiędzy ilością krwi wykorzystywaną dla celów transportowych a jej dostępnością dla usuwania nadmiaru ciepła ze skóry. Biorąc powyższe pod uwagę, wydaje się, że wzrastająca temperatura powłok skórnych w pracy ujemnej świadczy, iż pomimo narastającego obciążenia organizmu pracą, przepływ krwi do skóry w tej formie pracy nie ulega ograniczeniu i znaczne ilości gorącej krwi kierowane są na obwód ciała, co skutecznie kompensuje niższą wydajność reakcji wydzielania potu w tej formie ruchu.

Zbliżony przyrost temperatury wewnętrznej podczas pracy ujemnej i dodatniej może świadczyć o dużej sprawności rozpraszania ciepła podczas pracy ujemnej, pomimo wolniejszego przebiegu reakcji wydzielania potu. Niewykluczone, że wolniejsze pocenia było skutecznie kompensowane zwiększoną konwekcyjną utratą ciepła z powłok skórnych. Wiadomo bowiem, że fizyczne drogi wymiany ciepła pomiędzy organizmem a otoczeniem są w znaczącym

stopniu modyfikowane przez grę naczynioruchową oraz parowanie wody z powłok skóry. Wydaje się, że reakcja naczynioruchowa obserwowana w pracy ujemnej skutecznie wpłynęła na zmianę przewodnictwa cieplnego tkanek i gradient temperatur – powierzchnia ciała–otoczenie.

Reasumując należy stwierdzić, że temperatura wewnętrzna oraz temperatura skóry znacząco różnią się podczas analizowanych form pracy. Różnice w przebiegu reakcji termoregulacyjnych uruchamianych podczas analizowanych wysiłków dotyczą głównie ich natężenia i zależności od temperatury wewnętrznej.

Piśmiennictwo

1. Margaria R. Positive and negative work performances and their efficiencies in human locomotion. *Internationale Zeitschrift für Angewandte Physiologie Einschiesslich Arbeitsphysiologie* 1968; 25: 339-51.
2. Nielsen B. Regulation of body temperature and heat dissipation at different levels of energy and heat production in men. *Acta Physiol Scand* 1966; 68:215-27.
3. Stolwijk A, Hardy JD. Partitional calorimetric studies of responses of man to thermal transients. *J Appl Physiol* 1966; 21: 967-77.
4. Burton A. Human calorimetry: the average temperature of the tissue of the body. *J Nutr* 1935; 9: 261-80.
5. Grucza R. Electrical skin resistance and rectal temperature changes in resting human subjects exposed to heat. *J Therm Biol* 1983; 8: 349-52.
6. Snellen J. Externalwork in level and grade walking on a motor-driven treadmill. *J Appl Physiol* 1960; 15: 759-63.
7. Cavagna G, Dusman B, Margaria R. Positive work done by a previously stretched muscle. *J Appl Physiol* 1968; 24: 21-32.
8. Assmusen E, Petersen F. Storage of elastic energy in skeletal muscle in men. *Acta Physiol Scand* 1974; 91: 385-92.
9. Fenn W. Some elasticity problems in the human body. In: *Tissue elasticity*, Washington D.C. *Am Physiol Soc* 1957; 98-101.
10. Benzinger TH. Heat regulation: homeostasis of central temperature in man. *Physiol Rev* 1969; 49: 671-759.

Otrzymano: 15 październik 2007

Zaakceptowano: 20 grudzień 2007

Opublikowano: 31 grudzień 2007

Adres do korespondencji:

Dr Ilona Pokora

Zakład Fizjologii, AWF Katowice

40-072 Katowice, ul Mikołowska 72a

e-mail: i.pokora@awf.katowice.pl

tel. 032 207 51 62