

WPŁYW WYSIŁKU FIZYCZNEGO DYNAMICZNEGO I TEMPERATURY POWIETRZA NA WYBRANE WSKAŹNIKI FIZJOLOGICZNE – WYNIKI BADAŃ WŁASNYCH

EFFECT OF DYNAMIC PHYSICAL EFFORT AND AIR TEMPERATURE ON SELECTED PHYSIOLOGICAL INDICATORS – OWN RESEARCH

Magdalena Młynarczyk, Marzena Malińska

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Streszczenie

Ilość zakumulowanego ciepła w organizmie jest wyznacznikiem obciążenia cieplnego, które wynika nie tylko z wysiłku fizycznego, lecz również może być związany z otaczającym je środowiskiem. W celu sprawdzenia, czy i w jakim stopniu wysoka temperatura środowiska podczas wysiłku fizycznego (o intensywności stanowiącej 30% i 50% wydolności fizycznej) wpływa na obciążenie funkcji fizjologicznych organizmu, przeprowadzono badania na grupie 10 mężczyzn w wieku 30-33 lat. Wykonano 4 warianty badań uwzględniających dwa poziomy wysiłku fizycznego (pracę średnio-ciężką i ciężką) w środowisku odczuwania komfortu cieplnego oraz gorąca.

Słowa kluczowe: wysiłek fizyczny, temperatura powietrza, obciążenie cieplne, wskaźniki fizjologiczne

Abstract

The amount of accumulated heat in the body determines its thermal load. Thermal load results from physical effort but it can also be associated with the surrounding environment. In order to check whether and to what extent high temperature of the environment affects the load on the body's physiological functions during physical exertion (with the 30% and 50% intensity of physical efficiency), a group of 10 men aged 30-33 was subjected to tests. Four tests variants were carried out, taking into account two levels of physical exertion (simulating medium-heavy and heavy work) in the conditions of thermal comfort and heat.

Key words: physical effort, air temperature, thermal load, physiological indicators

Wstęp

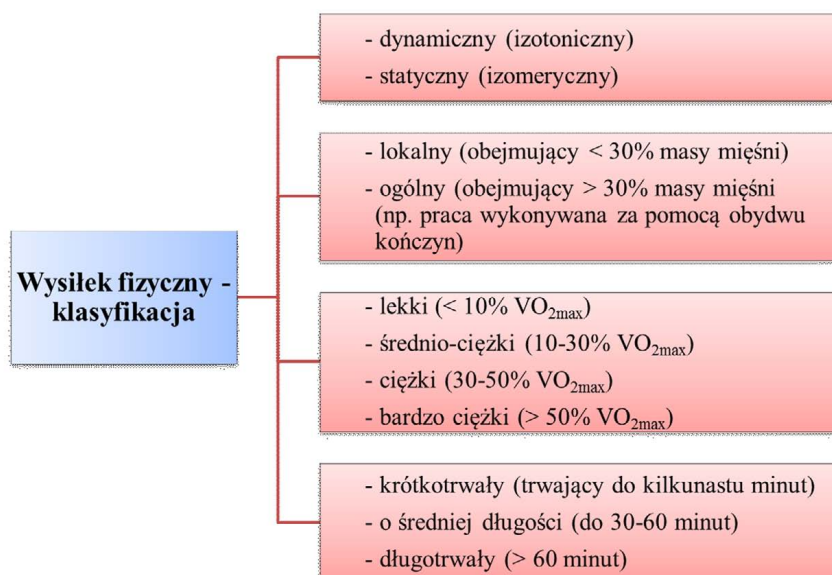
Wysiłek fizyczny jest ważnym elementem aktywności życiowej, jak również profilaktyki zdrowotnej mającym wpływ na szereg zmian w organizmie człowieka. Liczne dane literaturowe wskazują, że regularny wysiłek fizyczny dynamiczny korzystnie wpływa na psychofizyczny stan zdrowia człowieka [1, 2]. Szczególne znaczenie przypisuje się aktywności fizycznej w zapobieganiu chorobom sercowo-naczyniowym [3, 4]. Każdy wysiłek fizyczny powoduje bowiem pobudzenie działania wielu układów, w tym układu krążenia, oddechowego oraz mechanizmów termoregulacji. Związane jest to z pokrywaniem zapotrzebowania na tlen i substraty energetyczne pochodzące ze źródeł pozamięśniowych oraz usuwaniem z mięśni produktów przemiany materii i nadmiarów wyprodukowanej energii, zabezpieczając organizm przed wzrostem temperatury [5].

Reakcja organizmu człowieka na wysiłek fizyczny zależy m.in. od rodzaju wysiłku fizycznego, od jego

intensywności i czasu trwania, a także ilości zaangażowanej w wysiłek masy mięśniowej [6, 7] (Ryc. 1).

Pobudzenie układu krążenia związane z wysiłkiem fizycznym związane jest z szeregiem zmian morfologicznych w sercu i naczyniach krwionośnych, we właściwościach mięśnia sercowego, jego metabolizmu, a także zmianami regulacji czynnościowej układu krążenia [8]. Podczas wysiłku fizycznego dochodzi do nasilenia czynności oddechowej umożliwiając zwiększenie pojemności dyfuzyjnej i pojemności życiowej płuc, zwiększenie przyływu przez szczytowe części płuc oraz nasilenie objętości wydechowej na skutek zwiększenia siły mięśni oddechowych i ruchomości klatki piersiowej [9].

Podczas wysiłku fizycznego zwiększa się ilość ciepła, która powstaje w organizmie, a ok. 75% całej uwalnianej energii cieplnej przekształca się w energię cieplną [15]. Ważne są również środowisko, w którym człowiek się znajduje. Parametry m.in. takie jak: temperatura powietrza, wilgotność względna czy prędkość



Ryc. 1 Klasyfikacja wysiłku fizycznego* (opracowanie własne na podstawie [6])

przepływu powietrza, mogą ułatwiać wymianę ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem, bądź wpływać negatywnie upośledzając lub wręcz uniemożliwiając w/w wymianę, powodując akumulację ciepła w organizmie. Należy również zaznaczyć, iż wszelkie wahania temperatury wewnętrznej decydują o pobudzeniu bądź hamowaniu obwodowych mechanizmów odpowiedzialnych za utratę lub zatrzymanie ciepła w organizmie [6]. Tolerancja organizmu człowieka na podwyższenie wewnętrznej temperatury ciała jest bardzo mała i wynosi 1-1,3°C [10]. Przyrost temperatury ciała o 1-1,5°C powoduje obciążenie narządów wewnętrznych, głównie układu krążenia [16]. Przekroczenie wartości 38,6°C może doprowadzać do stanów będących efektem przegrzania organizmu [10].

Celem artykułu jest odpowiedź na pytania, czy i w jakim stopniu wysoka temperatura środowiska podczas wysiłku fizycznego wpływa na obciążenie funkcji fizjologicznych organizmu, w grupie mężczyzn w wieku 30-33 lat. Badania przeprowadzono za zgodą Komisji Etyki i Nadzoru nad badaniami na ludziach i zwierzętach przy Centralnym Szpitalu Klinicznym MSWiA nr 107/2017.

Metodologia

Zastosowana aparatura badawcza

Ergospirometr CORTEX Biophysik Meta-Soft (Ryc. 2): pomiar ergospirometrem polega na ciągłym próbkowaniu powietrza oddechowego przy stałej objętości próbki gazu. Otrzymuje się pomiary chwilowych stężeń O_2 i CO_2 po każdym oddechu. Zaletą ergospirometrów typu „breath-by-breath” jest wysoka dokładność pomiaru niezależnie od zmieniających się warunków otoczenia, gdyż mierzona jest koncentracja O_2 i CO_2 zarówno podczas fazy wdechu i wydechu. Ergospirometr wyposażony jest w monitorowanie tętna i EKG.

System VitalSense: system telemetryczny pozwalający na pomiar temperatury wewnętrznej mierzonej w przewodzie pokarmowym (Ryc. 3).



Ryc. 2. Ergospirometr CORTEX Biophysik Meta-Soft



Ryc. 3. System VitalSense®

*) VO_{2max} (maximal oxygen uptake) – maksymalny pobór tlenu



Ryc. 4. Czujnik i-button DS1923-F5

I-button DS1923-F5: bezprzewodowe czujniki (termohigrometry) do pomiaru temperatury umieszczane na skórze ochotnika (Ryc. 4).

Komora klimatyczna WEISS: komora klimatyczna, pozwalająca na symulowanie warunków temperatury powietrza w zakresie $-40 - +70^{\circ}\text{C}$. Konstrukcja komory pozwala również na kontrolowanie prędkości przepływu powietrza w zakresie $0,3 - 3,0 \text{ m/s}$ oraz wilgotności względnej $30-90\%$.

Bieżnia elektryczna H/P/Cosmos: bieżnia elektryczna pozwalająca kontrolę prędkości podnoszenia, odpowiednio w zakresie $0 - 40 \text{ km/h}$ i $0-25\%$.

Charakterystyka grupy badawczej

Badania wpływu wysiłku i temperatury na wybrane wskaźniki fizjologiczne, przeprowadzono w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym, z udziałem grupy 10 ochotników – zdrowych i aktywnie fizycznych mężczyzn.

Badania te poprzedziły testy kwalifikacyjne, mające na celu sprawdzenie ogólnego stanu zdrowia i wydolności fizycznej ochotników oraz wybór jednorodnej grupy mężczyzn do badań zasadniczych.

Badania kwalifikacyjne polegały na wykonaniu ergospirometrycznego testu wysiłkowego na cykloergometrze ze wzrastającym obciążeniem. Zostały

wykonane zgodnie z wytycznymi American Heart Association (AHA) [11].

Badania wpływu wysiłku dynamicznego i temperatury powietrza, wykonano z udziałem 10 mężczyzn, wytypowanych wg poniższych kryteriów:

- wiek: $30 - 35$ lat,
- wysokość ciała powyżej 170 cm ,
- BMI mieszczące się w przedziale $18,5-24,99$
- aktywny tryb życia (podejmowanie aktywności fizycznej np. bieganie, jazda na rowerze, minimum 2 razy w tygodniu),
- wydolność fizyczna $\text{VO}_{2\text{max}} > 39 \text{ ml/kg/min}$.

Szczegółowe dane ochotników zakwalifikowanych do badań zamieszczono w tabeli 1.

Metoda prowadzenia badań

W pomieszczeniu, w którym odbywały się badania cały czas były obecne osoby nadzorujące przebieg badań, w tym lekarz. W ramach badań analizowano wybrane wskaźniki fizjologiczne takie jak:

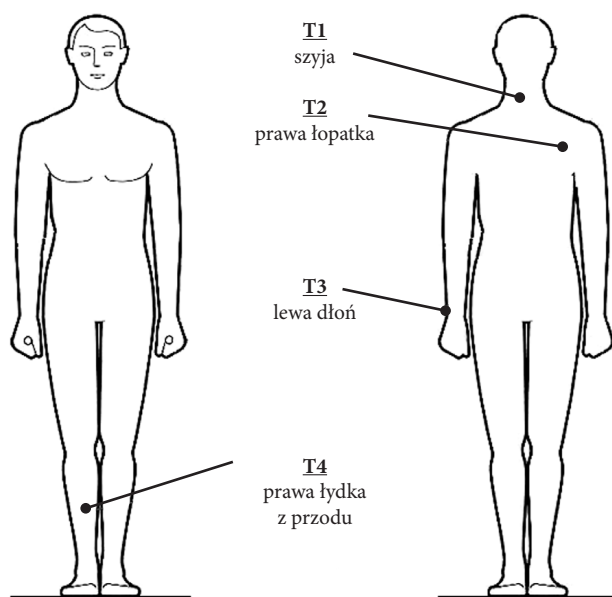
- częstość skurczów serca (HR) mierzone za pomocą pulsometru firmy Polar,
- wentylacja minutowa płuc (VE) i pobór tlenu na kilogram masy ciała ($\text{VO}_{2/\text{kg}}$), mierzone za pomocą ergospirometru (Ryc. 2),
- temperatura wewnętrzna mierzona w przewodzie pokarmowym (t_{ab}) za pomocą telemetrycznego systemu VitalSense (Ryc. 3),
- średnia ważona temperatura skóry (t_{sk}) mierzona w 4 punktach pomiarowych (Ryc. 5) za pomocą bezprzewodowych czujników i-button DS1923-F5 (Ryc. 4).

Czujniki i-button rozmieszczono w 4 punktach pomiarowych w sposób przedstawiony na rycinie 5.

Tabela 1. Charakterystyka badanej grupy ochotników

Nr badanego	Wiek [lata]	Masa ciała [kg]	Wysokość ciała [cm]	BMI [Body Mass Index]	$\text{VO}_{2\text{max}}$ · [ml/min/kg]	HRmax*
1	33	69	177	22	54	196
2	33	75	180	23	59	179
3	30	86	179	27	49	181
4	30	96	185	28	39	164
5	30	53	177	17	51	186
6	31	64	185	19	45	196
7	32	85	187	24	49	190
8	30	66	171	23	58	177
9	32	86	184	25	40	181
10	30	83	181	25	47	170
Średnia	31	76	181	23	49	182
SD	1	13	5	3	7	10

* Maksymalna wartość częstości skurczów serca odnotowana u ochotnika podczas badania wydolności fizycznej $\text{VO}_{2\text{max}}$



Ryc. 5. Schematyczne rozmieszczenie czujników do pomiaru temperatury skóry

Zgodnie z normą PN-EN 9886:2005 [14] wartość średniej ważonej temperatury skóry t_{sk} obliczano wg równania:

$$t_{sk} = 0,28 \cdot t_{szyja} + 0,28 \cdot t_{prawa_łopatka} + 0,16 \cdot t_{lewa_dłoń} + 0,28 \cdot t_{prawa_łydka}$$

Każda z osób wzięła udział w 4 wariantach badań (w komorze klimatycznej) uwzględniających dwa poziomy wysiłku fizycznego (ustalone indywidualnie dla każdego badanego) w środowisku odczuwania komfortu cieplnego (K) oraz gorąca (G) (Tab. 1). Osoby badane wykonywały wysiłek na bieżni elektrycznej o intensywności stanowiącej 30% i 50% wydolności fizycznej (VO_{2max}) wykonując odpowiednio pracę średnio-ciężką i ciężką.

Badania podzielono na 3 części:

- 1) przygotowanie ochotnika do badań,
- 2) badanie zasadnicze,
- 3) zakończenie badań.

W ramach przygotowania ochotnik wypijał około 500 ml ciepłej wody, niezbędnej do połknięcia czujnika do pomiaru temperatury wewnętrznej. W następnej kolejności dokonywano pomiaru ciśnienia tętniczego oraz sprawdzenia masy ciała ochotnika w bokserkach. Na skórze badanego umieszczano elektrody EKG oraz



Ryc. 6. Ochotnik z naklejonymi czujnikami

sport tester do pomiaru częstości skurczów serca oraz czujniki do pomiaru temperatury skóry (Ryc. 6).

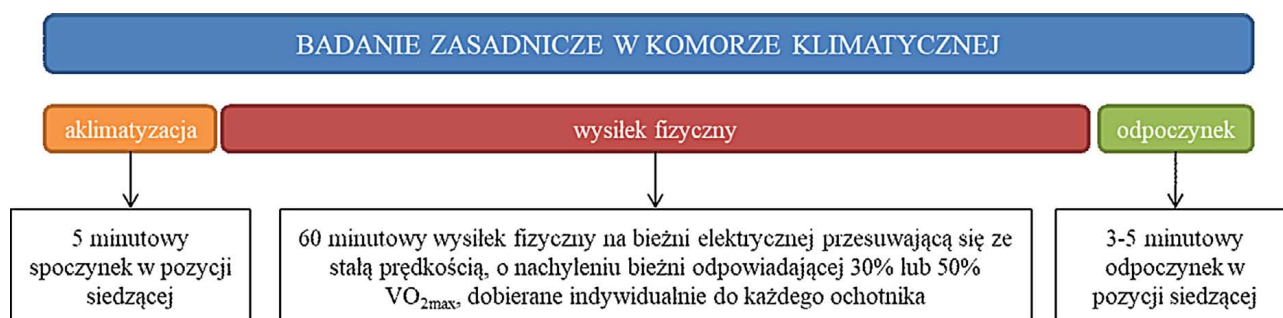
Następnie ochotnik przechodził do komory klimatycznej, gdzie odbywało się badanie zasadnicze (Ryc. 7).

Zostało ono podzielone na 3 części: aklimatyzacja, wysiłek fizyczny oraz odpoczynek. Wysiłek fizyczny prowadzony był przez 60 minut lub do momentu osiągnięcia granicznych wartości wskaźników fizjologicznych takich jak: częstość skurczów serca $>85\% HR_{max}$, temperatura wewnętrzna $>38,5^{\circ}C$, lub subiektywnych oznak badanego świadczących o złym samopoczuciu i chęci przerwania badania.

Po zakończeniu badań, dokonywano pomiaru ciśnienia tętniczego oraz ponownego sprawdzenia masy ciała ochotnika w bokserkach. Różnica masy przed

Tabela 2. Opis wariantów badań

	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
	K-30	K-50	G-30	G-50
Temperatura powietrza t_a , $^{\circ}C$	17,5 $\pm$ 0,1	14,0 $\pm$ 0,1	28,0 $\pm$ 0,1	25,0 $\pm$ 0,1
Wilgotność względna RH, %	45 $\pm$ 1			
Prędkość przepływu powietrza V_a , m/s	0,40 $\pm$ 0,05			
Obciążenie fizyczne, % VO_{2max}	30%	50%	30%	50%



Ryc. 7. Schemat badania zasadniczego w komorze klimatycznej

i po badaniu, pozwoliła na określenie intensywności pocenia podczas badania.

Wyniki badań

Poniżej przedstawiono przebieg zmian wybranych wskaźników fizjologicznych podczas wszystkich wariantów badań (Tab. 2).

Częstość skurczów serca (HR)

Średnia wartości częstości skurczów serca dla badanych podczas aklimatyzacji bez względu na wariant badania była do siebie zbliżona (ok. 66 skurczów/min). Podczas wysiłku fizycznego wyższe wartości częstości skurczów serca obserwowano w wariancie o intensywności obciążenia fizycznego stanowiącego 50% VO_{2max} , niezależnie od wariantu temperatury powietrza. Taką samą zależność odnotowano w fazie odpoczynku.

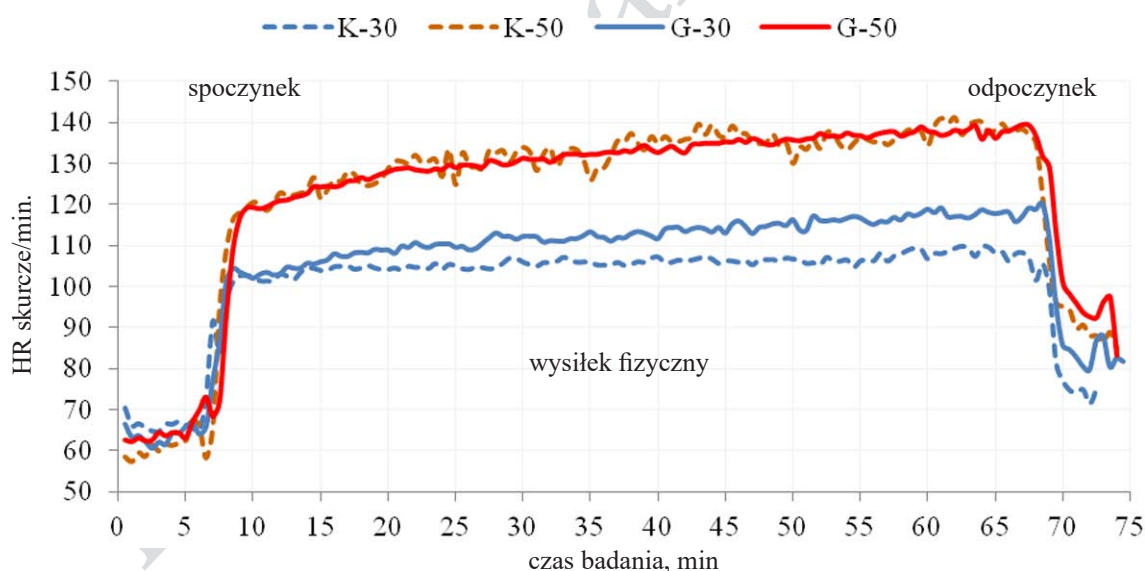
Przebieg zmian średnich wartości częstości skurczów serca HR przedstawiono na rycinie 8.

Analiza wyników wskazuje, że istotnie wyższe wartości częstości skurczów serca zaobserwowano podczas wysiłku fizycznego o intensywności stanowiącej 50% VO_{2max} w porównaniu do wysiłku fizycznego o intensywności stanowiącej 30% VO_{2max} .

Po 3 minutach odpoczynku, średnia wartość częstości skurczów serca HR w grupie ochotników dla wariantów badania K-30, G-30 oraz K-50 i G-50 wynosiły odpowiednio: 75, 81 oraz 90 i 94 skurczów/min.

Obliczono przyrosty średnich wartości częstości skurczów serca ($\Delta HR = HR_{koniec_etapu} - HR_{poczatek_etapu}$) podczas spoczynku, wysiłku fizycznego i odpoczynku we wszystkich wariantach badań i przedstawiono je w tabeli 3.

Podczas etapu spoczynku obserwowano stabilizację HR. Podczas 60 minutowego wysiłku fizycznego stanowiącego 30% VO_{2max} w warunkach odczuwania komfortu cieplnego i gorąca odnotowano odpowiednio przyrost HR o 42 i 53 skurczów/min. W wyższej temperaturze przyrost HR był większy o ok. 10 skurczów/min. W przypadku 60 minutowego wysiłku fizycznego stanowiącego 50% VO_{2max} w warunkach odczuwania komfortu cieplnego i gorąca odnotowano zbliżone wartości przyrostu HR, odpowiednio o 74 i 73 skurczów/min. Po 3 minutach odpoczynku po wysiłku 30% VO_{2max} w warunkach odczuwania komfortu cieplnego i gorąca odnotowano zbliżoną wartość spadku HR odpowiednio o 32 i 39 skurczów/min. W przypadku 3 minutowego odpoczynku po wysiłku 50% VO_{2max} w warunkach odczuwania komfortu cieplnego i gorąca odnotowano



Ryc. 8. Przebieg zmian średnich wartości częstości skurczów serca HR [skurcze/min] w grupie ochotników (legenda – Tab. 2)

Tabela 3. Przyrosty średnich wartości częstości skurczów serca (ΔHR) podczas etapu spoczynku, wysiłku fizycznego i odpoczynku (legenda – Tab. 2)

Etap badania	Czas trwania etapu	ΔHR (skurcze/min)			
		K-30	K-50	G-30	G-50
Spoczynek	5 minut	-1	3	0	4
Wysiłek fizyczny	60 minut	42	74	53	73
Odpoczynek	po 3 minutach	-32	-48	-39	-45
	po 1 minucie	-25	-42	-23	-26
	po 2 minucie	-7	-2	-11	-15
	po 3 minucie	0	-4	-4	-4

również zbliżoną wartość spadku HR odpowiednio o 48 i 45 skurczów/min. W warunkach odczuwania komfortu największy procent (80-88%) spadku HR odnotowano w pierwszej minucie odpoczynku, natomiast podczas warunków odczuwania gorąca, w pierwszej minucie odpoczynku obserwowano ok. 60% spadku HR.

Pobór tlenu na kilogram masy ciała (VO_2/kg)

Średnia wartości zużycie tlenu na kilogram masy ciała podczas aklimatyzacji bez względu na wariant badania była do siebie zbliżona (ok. 5,4 ml/kg/min). Podczas wysiłku fizycznego wyższe wartości zużycie tlenu na kilogram masy ciała obserwowano w wariacie o intensywności obciążenia fizycznego stanowiącego 50% VO_{2max} , niezależnie od wariantu temperatury powietrza.

Przebieg zmian średnich wartości zużycie tlenu na kilogram masy ciała w grupie ochotników przedstawiono na rycinie 9.

Analiza wyników wskazuje, że istotnie wyższe wartości zużycia tlenu zaobserwowano podczas wysiłku fizycznego o intensywności stanowiącej 50% VO_{2max} , w porównaniu do wysiłku fizycznego o intensywności stanowiącej 30% VO_{2max} .

Wentylacja minutowa płuc (VE)

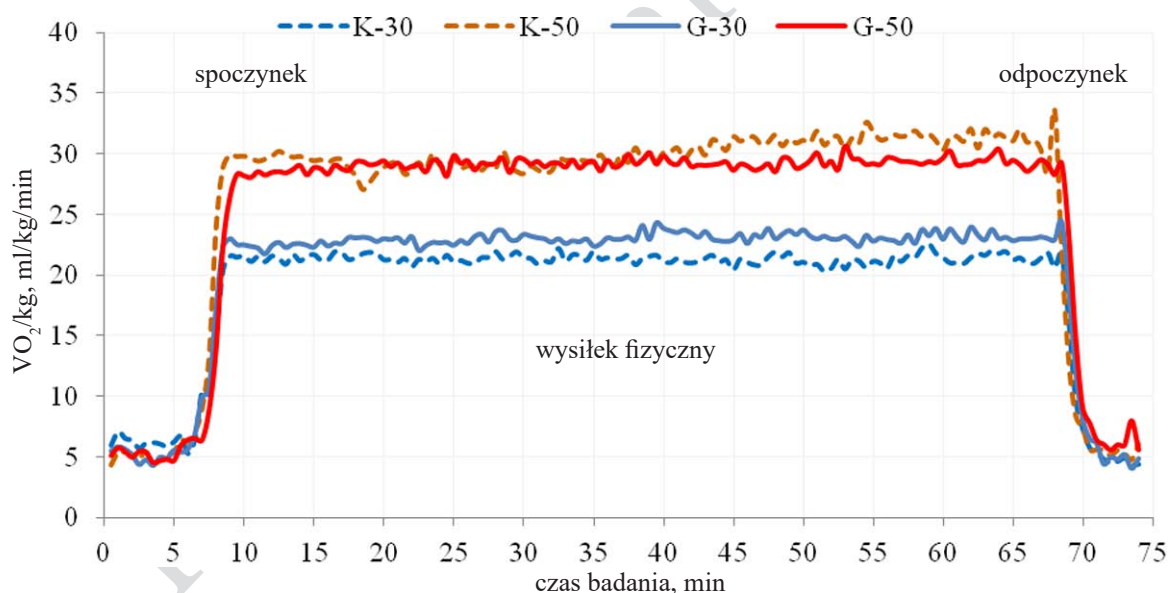
Średnia wartość wentylacji minutowej płuc podczas aklimatyzacji bez względu na wariant badania była do siebie zbliżona (ok. 14,9 l/min). Podczas wysiłku fizycznego wyższe wartości zużycie tlenu na kilogram masy ciała obserwowano w wariacie o intensywności obciążenia fizycznego stanowiącego 50% VO_{2max} , niezależnie od wariantu temperatury powietrza.

Przebieg zmian średnich wartości wentylacji minutowej płuc w grupie ochotników przedstawiono na rycinie 10.

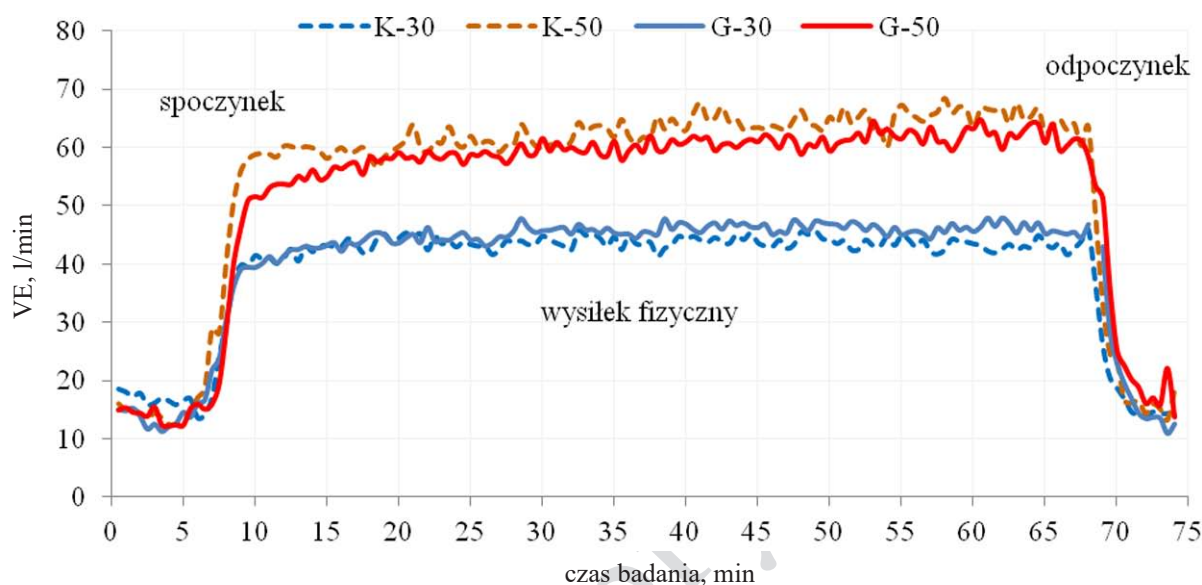
Jak wskazują wyniki, temperatura powietrza nie różnicowała w sposób istotny statystycznie wentylacji minutowej badanych w czasie spoczynku i wysiłku fizycznego. Wzrost wartości wentylacji płuc zaobserwowano zarówno w warunkach komfortu cieplnego, jak i środowiska gorącego podczas wysiłku fizycznego o intensywności stanowiącej 50% VO_{2max} (K-50, G-50).

Średnia ważona temperatura skóry (t_{sk})

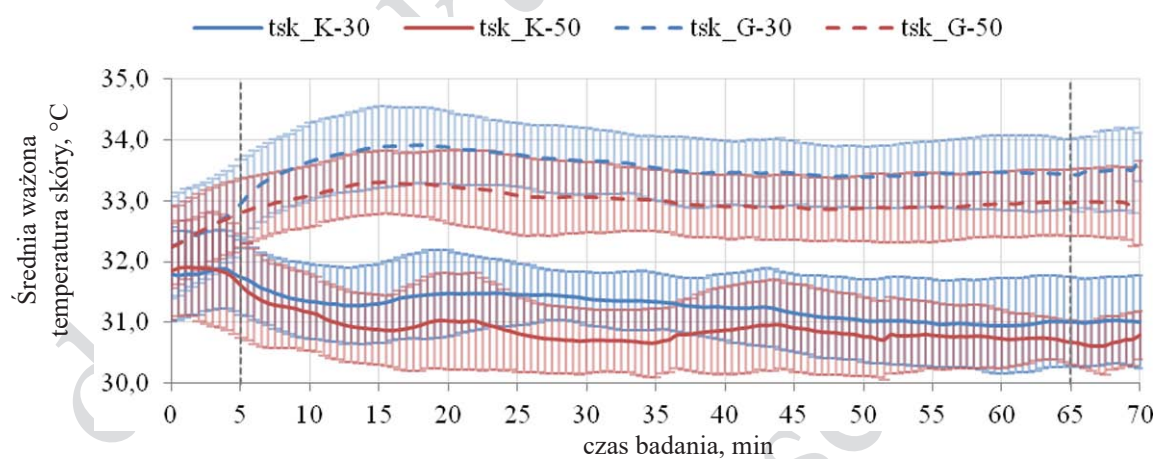
Na rycinie 11 przedstawiono wartości średnie ważonej temperatury skóry ochotników dla poszczególnych wariantów badania.



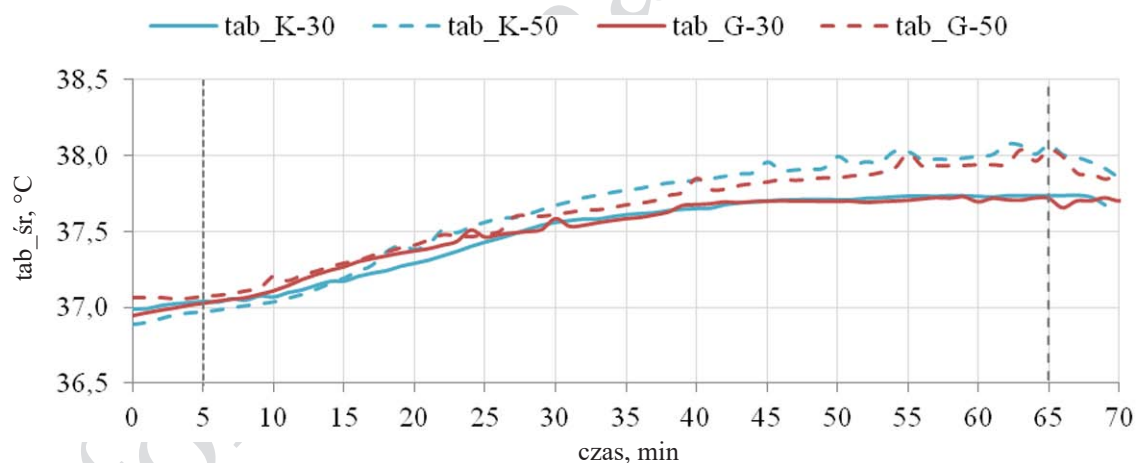
Ryc. 9. Średnie zmiany poboru tlenu [ml/kg/min] w grupie ochotników podczas trwania wysiłku



Ryc. 10. Średnie zmiany wentylacji minutowej płuc (VE) w grupie ochotników podczas trwania wysiłku fizycznego we wszystkich wariantach badań [l/min]



Ryc. 11. Przebieg średniej ważonej temperatury skóry w grupie ochotników, dla poszczególnych wariantów badania (legenda - Tab. 2)



Ryc. 12. Przebieg średniej temperatury wewnętrznej mierzonej w przewodzie pokarmowym (t_{ab}) w grupie ochotników, dla poszczególnych wariantów badania (legenda - Tab. 2)

Na podstawie powyższego wykresu stwierdzono, iż wyższe wartości średniej temperatury skóry odnotowano dla środowiska gorącego. W przypadku obciążenia fizycznego 50% VO_2max obserwowano niższe wartości temperatury skóry w stosunku do mniejszego obciążenia fizycznego.

Temperatura wewnętrzna (t_{ab})

Na rycinie 12 przedstawiono przebieg średnich wartości temperatury wewnętrznej mierzonej w przewodzie pokarmowym, w grupie ochotników dla poszczególnych wariantów badania.

Na podstawie powyższego wykresu można stwierdzić, iż wyższe wartości temperatury wewnętrznej odnotowano dla obciążenia fizycznego 50% VO_2max bez względu na środowisko badania. Niewielkie różniczenie w wartościach temperatury wewnętrznej obserwowano po ok. 30 minutach wysiłku. Wówczas odnotowano wyższe wartości dla obciążenia 50% VO_2max (zarówno w warunkach komfortu, jak i w wyższej temperaturze powietrza), niż dla obciążenia 30% VO_2max .

Dla obciążenia fizycznego 50% VO_2max w czasie 60 minut obserwowano przyrost średniej temperatury wewnętrznej (t_{ab}) ok. $1,0^\circ\text{C}$ niezależnie od temperatury powietrza, natomiast dla obciążenia fizycznego 30% VO_2max , również niezależnie od temperatury powietrza, obserwowano przyrost t_{ab} o ok. $0,7^\circ\text{C}$.

Dyskusja

Wraz ze wzrostem intensywności wysiłku fizycznego dynamicznego zwiększały się w sposób istotny wartości wszystkich analizowanych wskaźników fizjologicznych. Zgodnie z literaturą, pod wpływem wysiłku fizycznego dynamicznego dochodzi do wzrost takich wskaźników fizjologicznych jak m.in.: częstość skurczów serca (HR: *heart rate*), objętość wyrzutowa serca (SV: *stroke volume*), pojemność minutowa serca (CO: *cardiac output*), wentylacja płuc (VE: *ventilation*) jak i maksymalne zużycie tlenu (VO_2max : *maximal oxygen uptake*) [8, 12, 13].

W przedstawionych badaniach, wzrost intensywności wysiłku wpływał na częstość skurczów serca badanych osób, natomiast temperatura powietrza (a także interakcje pomiędzy temperaturą i wysiłkiem fizycznym) nie wpływały w sposób istotny na HR w czasie wysiłku fizycznego. Wg Konarska i in. [17], przebieg zmienności HR w fazie odpoczynku pozwala ocenić, czy dany wysiłek fizyczny był dużym obciążeniem dla organizmu. Jeżeli po 3 minutach odpoczynku wartości HR są niższe niż 90 skurczów/min, wówczas wykonany wysiłek fizyczny nie stanowił obciążenia dla organizmu. W przypadku, gdy wartości te są zbliżone do 90 skurczów/min i/lub w tym czasie zaobserwowano obniżenie HR jedynie o ok. 10 skurczów/min, wówczas mówi się o dużym obciążeniu, ale na poziomie akceptowalnym.

Jeżeli po 3 minutach odpoczynku wartości HR są wyższe niż 90 skurczów/min i/lub w tym czasie zaobserwowano spadek HR jedynie o mniej niż 10 skurczów/min, wówczas wykonany wysiłek fizyczny i obciążenie organizmu są nieakceptowalne [17]. Uzyskane wyniki z badań wskazują, iż wysiłek fizyczny stanowiący 30% VO_2max nie stanowił obciążenia dla badanej grupy. Również wysiłek fizyczny stanowiący 50% VO_2max stanowił obciążenie na akceptowalnym poziomie.

W przypadku poboru tlenu na kilogram masy ciała badanych, temperatura powietrza nie różnicowała w sposób istotny statystycznie wartości VO_2/kg podczas wysiłku fizycznego. Jak pokazują wyniki temperatura powietrza wpływała w sposób istotny na pobór tlenu podczas odpoczynku.

Niższe wartości średniej ważonej temperatury skóry obserwowano w warunkach odczuwania komfortu cieplnego niż w warunkach odczuwania gorąca. Po ok. 15-20 minutach wysiłku obserwowano stabilizację średniej ważonej temperatury skóry. Analiza uzyskanych wyników wskazała, iż temperatura powietrza wpływa na wartość temperatury skóry. Niższe wartości uzyskane dla większego wysiłku fizycznego są wynikiem działania układu termoregulacji [15].

Temperatura wewnętrzna ciała t_{ab} podczas wysiłku fizycznego wzrasta, a po 30-40 minutach stabilizuje się na poziomie odpowiadającym intensywności wysiłku [8, 15]. W trakcie umiarkowanego wysiłku fizycznego temperatura wewnętrzna może wzrosnąć do $38-38,6^\circ\text{C}$, a podczas dużego wysiłku fizycznego może przekroczyć te wartości [12]. Wzrost temperatury wewnętrznej powyżej $38,2^\circ\text{C}$ prowadzi do stopniowego pogarszania się sprawności fizycznej, a praca staje się coraz bardziej uciążliwa i mniej efektywna. Przekroczenie poziomu $39,0-39,5^\circ\text{C}$ powoduje, iż dalsze wykonywanie pracy, będzie stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia [10]. W przedstawianych wynikach badań, temperatura wewnętrzna ciała t_{ab} nie przekroczyła wartości 38°C , więc wykonywany przez 60 minut wysiłek fizyczny nie stanowił dużego obciążenia dla grupy 30-latków. Zgodnie z literaturą, to głównie wysiłek fizyczny, a dokładniej wytwarzane wówczas ciepło w organizmie, jest przyczyną stopniowego podwyższania się temperatury wewnętrznej [15]. Wysiłkowy wzrost temperatury wewnętrznej zależy zatem głównie od intensywności wysiłku. Według Kaciuba-Uściłko [15] warunki środowiska, w zakresie temperatury otoczenia od 5°C do 30°C nie mają znaczącego wpływu na podwyższanie się temperatury wewnętrznej. Przedstawiane w artykule wyniki badań wskazują, iż temperatura powietrza nie wpływała znacząco na obserwowane wartości t_{ab} .

Należy zaznaczyć, iż w badaniach uczestniczyli młodzi, zdrowi i aktywni fizycznie mężczyźni, dla których założony wysiłek fizyczny, jak i temperatura powietrza, nie stanowiły dużego obciążenia dla or-

ganizmu. Planuje się kontynuację badań, które będą prowadzone z udziałem grupy ochotników w wieku 60-64. Badania te wówczas dadzą odpowiedź, czy i jak wiek może różnicować odpowiedź organizmu na temperaturę powietrza oraz wysiłek fizyczny.

Publikacja opracowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach IV etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017-2019 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Piśmiennictwo/References

1. Bauman A, Bull F, Chey Y et al. The international prevalence study on physical activity: results from 20 countries. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2009; 6: 1-11.
2. Malińska M. Skuteczność programów interwencyjnych promujących aktywność fizyczną w miejscu pracy – praca pogładowa. *Medycyna Pracy* 2017; 68(2): 277-301.
3. Makowiec-Dąbrowska T, Bortkiewicz A, Gadzicka E. Wysiłek fizyczny w pracy zawodowej – czynnik ryzyka czy ochrona przed chorobami układu krążenia. *Medycyna Pracy* 2007; 58(5): 423-32.
4. WHO: Global atlas on cardiovascular disease prevention and control. Published by the World Health Organization in collaboration with the World Heart Federation and the World Stroke Organization. France, 2011.
5. Bugajska J. Pracownicy starsi – możliwości i uwarunkowania fizyczne. CIOP-PIB, 2007.
6. Kozłowski S. Wprowadzenie do fizjologii klinicznej. PZWL, 1999.
7. Bromboszcz J, Dylewicz P. Rehabilitacja kardiologiczna – stosowanie ćwiczeń fizycznych. *ELIPSA-JAIM* 2005; 15-30: 186-92.
8. Kozłowski S, Nazar K, Chwalbińska-Moneta J. Trening fizyczny – mechanizmy i efekty fizjologiczne. W: Kozłowski S, Wprowadzenie do fizjologii klinicznej, PZWL, 1999.
9. Nazar K. Czynności układu oddechowego podczas wysiłku. W: Górski J, wyd. PZWL. Fizjologiczne podstawy wysiłku fizycznego, 2008.
10. Medycyna zapobiegawcza i środowiskowa. Higiena – Ekologia kliniczna – Zdrowie. Podręcznik dla studentów, wyd. PZWL, Warszawa, 1997, ISBN 83-200-2130-8.
11. Fletcher GF, Balady GJ, Amsterdam EA et al. A statement for healthcare professionals from the American Heart Association. *Circulation* 2001; 104: 1694-740.
12. Traczyk WZ, Trzebski A. Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej, PZWL, 2004.
13. Braksator W, Mamcarz A, Dłużniewski M. Kardiologia sportowa. Via Medica, Gdańsk 2006; 1-2, 7-17, 117-123, 220-221, 225-237.
14. PN-EN 9886:2005 Ergonomia – – Ocena obciążenia termicznego na podstawie pomiarów fizjologicznych.
15. Kaciuba-Uściłko H. Termoregulacja. W: Traczyk W, Trzebski A, Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej, PZWL, 2009.
16. Gwóźdź B. Człowiek w środowisku wielkoprzemysłowym i elementy ergonomii. W: Traczyk W, Trzebski A, Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej, PZWL, 2009.
17. Konarska M, Kurkus-Rozowska B, Sołtyński K. Assessment of heat strain by monitored physiological response. *Maitriser le Risque au Poste de Travail*, Press Universitaires De Nancy 1992; 234-7.

Adres do korespondencji/Address for correspondence:

Marzena Malińska
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16
00-701 Warszawa
tel.: 22 623 3273
e-mail: mamal@ciop.pl