

Wpływ zimnego środowiska na organizm człowieka

dr ANNA MARSZAŁEK
Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

W artykule omówiono reakcje człowieka na zimne środowisko z podziałem na ogólne i lokalne jego oddziaływanie. Zwrócono uwagę na wielkość obciążenia cieplnego w zależności od pory roku, intensywności pracy i miejsca jej wykonywania (otwarta przestrzeń lub pomieszczenie).

The influence of a cold environment on the human body

This article discusses human responses to a cold environment, depending on whether exposure is general or local. The dependence of the level of thermal strain on the season, work intensity and the place where it is done (outdoors or indoors) is stressed.

Środowisko zimne może powodować chłodzenie całego ciała, prowadząc do hipotermii i dlatego w celu zmniejszenia strat ciepła, w tych warunkach należy stosować odzież ciepłochronną. W środowisku tym człowiek może doznawać także miejscowego stresu zimna, np. kończyn i twarzy, czasem prowadzącego do odmrożenia skóry.

W 2007 r. na 5 245,4 tys. osób objętych sprawozdawczością dotyczącą badań warunków pracy, w sektorze publicznym i prywatnym łącznie, stwierdzono 594 tys. przypadków wystąpienia zagrożenia czynnikami związanymi ze środowiskiem pracy – wyrażonego w osobozagrożeniach, w tym zagrożenia środowiskiem zimnym dotyczyły 19,7 tys., tzn. 4,4% osobozagrożeń [3].

Reakcje organizmu człowieka na zimne środowisko

Oddziaływanie zimnego środowiska może dotyczyć całego organizmu lub niektórych jego obszarów. W pierwszym przypadku jest to chłodzenie ciała w wyniku stosowania odzieży o niewystarczającej ciepłochronności. Lokalne działanie określonych partii ciała z zimnymi powierzchniami, a także chłodzenie nieosłoniętych obszarów skóry, głównie twarzy i rąk, wywołane ruchem powietrza. Do lokalnego oddziaływania zimnego środowiska należy także chłodzenie organizmu przez drogi oddechowe oraz chłodzenie kończyn.

Stres zimna może powodować zwiększenie poziomu hormonów stresu i ciśnienia tętniczego krwi oraz zmniejszenie krążenia krwi w obwodowych regionach skóry, co prowadzi do zwiększenia oporności tkanek powierzchniowych.

Reagując na zimne środowisko, człowiek w pierwszej kolejności uruchamia reakcje behawioralne polegające na zastosowaniu odzieży ciepłochronnej lub przemieszcza się do ogrzewanych pomieszczeń. Gdy skuteczność tych działań

jest niewystarczająca, odruchowo uruchamiane są procesy fizjologiczne.

Reakcje termoregulacyjne człowieka na chłodzenie ciała, początkowo obejmują skurcz powierzchniowych naczyń krwionośnych, czego wynikiem jest ograniczenie utraty ciepła.

Fizjologiczne podstawy równowagi cieplnej w zimnie to zdolność organizmu do zatrzymania lub wzmożonego wytwarzania ciepła.

Zachowanie ciepła następuje przez ograniczenie ilości ciepła przenoszonego z wnętrza ciała do kończyn [4]. W rezultacie wnętrze kończyn i ich powierzchnia ochładza się, redukując gradient temperatury dla utraty ciepła. Odczucia cieplne są związane z temperaturą skóry. Zwiększenie powierzchniowych naczyń krwionośnych pozwala na zachowanie ciepła, ale obniżenie temperatury skóry może być odczuwane jako chłód lub zimno.

Drugi proces – produkcja ciepła – zachodzi w tkankach metabolicznie aktywnych, głównie w mięśniach. Wzmożone wytwarzanie ciepła w organizmie w wyniku procesów termoregulacyjnych związane jest z termogenezą drżeniową i bezdrżeniową [5]. Pierwszy z tych procesów to mimowolny skurcz włókien mięśni szkieletowych, powodujący zwiększenie metabolicznej produkcji ciepła. Z kolei termogeneza bezdrżeniowa jest bardziej długotrwałym mechanizmem wytwarzania ciepła, działającym poprzez współczulny układ nerwowy i hormony tarczycy.

Obydwa mechanizmy, czyli produkcji i zachowania ciepła, mają na celu utrzymanie homeostazy termicznej ustroju, a ich działanie powoduje wiele wtórnych zmian czynnościowych ze strony różnych narządów i układów. Należą do nich przede wszystkim zmiany w objętości i rozmieszczeniu płynów ustrojowych, zmiany w czynnościach nerek i inne.

Organizm człowieka, podporządkowany prawu zachowania stałej temperatury wewnętrznej, nie może oczywiście sprostać każdemu obciążeniu ze strony środowiska. Skutki działania środo-

Wstęp

Poniżej strefy komfortu cieplnego, w zakresie obszaru niskiej temperatury powietrza oraz promieniowania (przewidywana ocena średnia, PMV < -2 [1]), znajduje się strefa warunków klimatycznych, w odniesieniu do których równanie bilansu cieplnego, obliczone wyłącznie na podstawie wymiany konwekcyjnej i przez promieniowanie, ma wartość ujemną. Warunki te są określane jako środowisko zimne, warunki stresu termicznego lub, biorąc pod uwagę obciążenie organizmu człowieka w tych warunkach, dyskomfort zimny ogólny.

Uwzględniając wymianę ciepła z otoczeniem, można powiedzieć, że stres zimna związany jest z występowaniem warunków klimatycznych, w których wymiana ciepła między organizmem człowieka a otoczeniem jest taka sama lub za duża, aby utrzymać równowagę cieplną na wystarczającym poziomie, co może uniemożliwiać skompensowanie obciążenia fizjologicznego, prowadząc do niedoboru cieplnego [2].

wiska zimnego należy ściśle wiązać z czasem jego oddziaływania.

Efektywność termoregulacji w zimnym środowisku jest taka, że warunki, które wywołują obniżenie temperatury wewnętrznej poniżej 36 °C można uznać za surowe, a poniżej 35 °C określane są jako hipotermia, która stwarza sytuację potencjalnie niebezpieczną [6]. Tu również istnieją duże rozbieżności międzyosobnicze. Drżenie mięśniowe o dużym nasileniu zachodzi jako próba utrzymania temperatury wewnętrznej na stałym poziomie. Przy obniżaniu się temperatury wewnętrznej mięśnie stają się sztywne, lepkość krwi zwiększa się, co powoduje, że porusza się ona dość wolno. Z tego powodu może nastąpić utrata informacji czuciowych i zaburzenia świadomości.

Zimne środowisko oddziałuje na ciśnienie tętnicze krwi. Jest ono funkcją pojemności minutowej serca i ogólnego oporu obwodowego dla przepływu krwi przez naczynia krwionośne. Organizm dysponuje mechanizmem kontroli ciśnienia krwi, który reaguje na zmiany spowodowane dystrybucją krwi, jednakże szybkie zmiany pozycji ciała, wysiłek lub warunki termiczne mogą wpłynąć na gwałtowne zmiany ciśnienia krwi, co może mieć dramatyczne konsekwencje dla organizmu, nawet powodując śmierć. Istnieją dane literaturowe wskazujące, że szybkie zmiany warunków ekspozycji mogą być szczególnie niebezpieczne.

Gwałtowne zmiany wskaźników funkcjonalnych krwi dotyczą też skórno-przepływu krwi. Skórne naczynia krwionośne są pod kontrolą nerwową, która jest zależna od temperatury skóry i wnętrza ciała, a także od baroreceptorów. Ekspozycja na zimno powoduje skurcz naczyń krwionośnych skóry i redystrybucję krwi we wnętrzu ciała. Jeśli ekspozycja na zimno jest gwałtowna, pojemność minutowa serca, objętość wyrzutowa i ciśnienie tętnicze krwi mogą się zwiększyć.

Gdy ciało osoby narażonej na zimne środowisko zaczyna się wychładzać, w szczególności jego lokalne obszary, takie jak ręce, stopy, twarz, wówczas mogą nastąpić uszkodzenia skóry. Ze względu na naturę ekspozycji na zimne środowisko, ważny jest czas jej trwania. Uszkodzenia zimnem są dzielone na dwa rodzaje:

- odmrożenia, które zachodzą wówczas, gdy chłodzenie osiąga poziom powodujący zamrażanie płynów tkankowych,
- uszkodzenia chłodem, powodujące zmniejszenie przepływu krwi, zachodzące w wyniku zanurzenia stóp w wodzie lub w warunkach działania powietrza o temperaturze 1-15 °C.

Do mniej poważnych skutków wychłodzenia zaliczane są pęknięcia skóry, odmrożenia palców, paluchów lub uszu.

Kontakt skóry z zimną powierzchnią może powodować przyklejenie się jej i w związku z tym zamrożenie tkanki oraz jej uszkodzenie. Informację o zależnościach między czasem kontaktu z różnymi rodzajami powierzchni a ich temperaturą zawiera PN-EN ISO 13732-3:2006 [7].

Praca fizyczna w zimnym środowisku

Na stanowiskach pracy spotykamy dwa rodzaje oddziaływania zimnego środowiska. Jedno z nich to sezonowe oddziaływanie warunków zimowych podczas prac **na otwartej przestrzeni**, drugie jest związane ze sztucznym środowiskiem zimnym **w pomieszczeniach**, zgodnie z wymaganiami procesu lub produktu, którego dotyczy. Praca na zewnątrz budynków jest wykonywana zwykle, gdy pracownicy są zaadaptowani do tych warunków, bo oddziaływanie jest ciągłe, w pracy i poza pracą, w czasie wolnym. Inne problemy stwarza praca wykonywana w zimnych pomieszczeniach. Taka praca jest wykonywana cały rok, niezależnie od warunków zewnętrznych, czyli od pory roku. Tak więc, ekspozycja zawodowa w zimnych pomieszczeniach, poza okresem zimy, może powodować większy stres cieplny [8].

W warunkach chłodu, poniżej strefy komfortu cieplnego (17-21 °C) podczas pracy fizycznej na otwartej przestrzeni bądź w pomieszczeniach, gdzie występują temperatury powietrza poniżej zera, przy stosunkowo dużym przepływie powietrza 3-4 ms⁻¹ zachodzi duża utrata ciepła i wychłodzenie organizmu [9]. W warunkach spoczynku, w temperaturze powietrza +10 °C

i prędkości ruchu powietrza 4 ms⁻¹ może nastąpić obniżenie temperatury skóry nawet o 4-6 °C, a temperatury wewnętrznej o 1 do 1,5 °C.

W zależności od ilości utraconego ciepła i obniżenia temperatury wewnętrznej, zmniejsza się zdolność do wykonywania wysiłku, wydłuża się czas reakcji, a siła skurczu mięśni zmniejsza się o ponad 50%.

Obniżenie temperatury mięśni średnio o 10 °C zmniejsza aktywność wrzecionek mięśniowych, upośledza precyzję ruchu i utrudnia utrzymanie równowagi ciała. W takich warunkach osoby pracujące mogą popaść w stan apatii, zaburzeniu ulegają mechanizmy instynktu samozachowawczego, co zagraża bezpieczeństwu.

Zimne środowisko wpływa na możliwość wykonywania wysiłku, bowiem może dojść do obniżenia temperatury mięśni. Skutkiem tego będzie zarówno zmniejszenie maksymalnej siły mięśniowej, jak i zwiększenie czasu szczytowego napięcia i czasu relaksacji. Wówczas, więcej włókien mięśniowych musi być zaangażowanych do wykonania zadanej pracy. Oksa i in. opisują, że w założonych warunkach eksperymentalnych, bliskich warunkom rzeczywistym na stanowi-



Fot. Archiwum CiOP-PIB



For: Debbie Schiel

skach pracy, wykonywana była cykliczna praca, na zmianę, w warunkach termoneutralnych (25 °C) i w zimnym środowisku, przy temperaturze powietrza 5 °C [10]. W takich warunkach stwierdzono wyższą aktywność mięśniową (EMG) i większe zmęczenie niż w warunkach termoneutralnych.

Poza występowaniem zimnego środowiska w warunkach naturalnych, pracownicy często są eksponowani na niskie temperatury otoczenia podczas pracy w chłodniach i mroźniach, gdzie trzeba wyładować, przenieść, zorganizować i skontrolować przechowywane produkty. W celu określenia obciążenia cieplnego człowieka podczas powtarzanej ekspozycji na zimne środowisko, Kim i in. przeprowadzili badania w warunkach temperatury powietrza -25 °C, gdzie młode osoby wykonywały prace transportowe z następującymi wariantami ładunków: 9 kg, 18 kg i bez obciążenia [11]. Badani trzykrotnie wchodzili do zimnego pomieszczenia i wykonywali ustalone prace związane z przenoszeniem ciężarów. Wyniki badań wykazały, że w końcowej fazie zimnej ekspozycji na niską temperaturę, średnie temperatury skóry i ciała były wyższe w warunkach przenoszenia ładunków niż w warunkach bez obciążenia pracą. Zimny stres zmniejszał się w wyniku zwiększonej produkcji ciepła podczas wykonywania wysiłku. Osoby badane, przenosząc ładunki stwierdziły mniejsze odczucia zimna. Dodatkowo wykazano, że precyzja prac manualnych zmniejszała się, gdy przenoszone masy były większe.

W warunkach nieco cieplejszych, w chłodniach, E. Sormunen i in. przeprowadzili badania wśród kobiet wykonujących prace związane z pakowaniem mięsa w pomieszczeniach o temperaturze powietrza 4-10 °C [12]. Wyniki tych badań wykazały, że praca w chłodnym pomieszczeniu wpływała na obniżenie temperatury skóry w obszarze ramion, palców rąk i kończyn dolnych, jednakże

powiązania między temperaturą skóry i obciążeniem mięśniowym nie były istotne statystycznie. Produkcja ciepła w wyniku aktywności mięśniowej podczas prac ręcznych w odzieży o odpowiedniej izolacyjności cieplnej, zapobiegały wychłodzeniu skóry i kończyn górnych. Autorzy cytowanej pracy wskazują, że obciążenie mięśniowe było głównie związane z intensywnością powtarzanych ruchów.

Pracownicy zatrudnieni w przemyśle przetwórstwa mięsnego są eksponowani na wiele zagrożeń zdrowia, wynikających z ekspozycji na zimne środowisko i powtarzane monotypowe prace wykonywane rękami. Głównie z powodu tych właściwości środowiska pracy, dyskomfort związany z chłodem i zimnem w obszarze ramion i kończyn jest powszechny w przemyśle przetwórstwa mięsnego. Potwierdzeniem tego faktu są badania, w których wykazano, że zmęczenie wyrażone w procentach, ból i dolegliwości mięśniowo-szkieletowe, w nieprzyjemnych, chłodnych warunkach środowiska w przemyśle przetwórstwa mięsnego, były znacząco większe niż w warunkach komfortowej temperatury otoczenia.

Podsumowanie

Środowisko zimne wpływa na wychłodzenie całego ciała lub działa lokalnie na odkryte części skóry (twarz, ręce). W celu zmniejszenia strat ciepła należy stosować odzież ciepłochronną. Przy dużej intensywności oddziaływania zimna mogą wystąpić lokalne uszkodzenia skóry w postaci pęknięć lub odmrożeń. Skutki działania

środowiska zimnego zależą od czasu jego oddziaływania.

Wielkość stresu cieplnego zależy nie tylko od warunków środowiska termicznego, ale też od izolacyjności cieplnej odzieży i ciężkości wykonywanej pracy. Przy takich samych warunkach zewnętrznych różna powinna być ciepłochronność odzieży przy wykonywaniu prac o różnej intensywności.

Zimne środowisko wpływa na możliwość wykonywania wysiłku, co jest spowodowane obniżeniem temperatury mięśni. Skutkiem takiej sytuacji będzie zarówno zmniejszenie maksymalnej siły mięśniowej, jak i siły skurczu mięśni.

Ważną sprawą, jeśli chodzi o narażenie na niekorzystne warunki zimnego środowiska jest pora roku, w której praca jest wykonywana. Większe narażenie występuje w okresie lata, gdy istnieje konieczność wykonywania pracy w chłodniach i mroźniach. Wówczas różnice między warunkami w pomieszczeniach i na otwartej przestrzeni są szczególnie duże, co jest bardziej dokuczliwe dla organizmu niż podczas chłodnych pór roku.

PIŚMIENNICTWO

- [1] PN-EN ISO 7730:2006 *Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczenie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego*
- [2] PN-EN ISO 11079:2008 *Ergonomia środowiska termicznego – Wyznaczanie i interpretacja stresu termicznego wynikającego z ekspozycji na środowisko zimne z uwzględnieniem wymaganej izolacyjności cieplnej odzieży (IREQ) oraz wpływu wychłodzenia miejscowego*
- [3] *Ocena stanu bezpieczeństwa i higieny pracy w 2007 roku*. MPIP, Warszawa, czerwiec 2008
- [4] R. A. Rhoades, G. A. Tanner 1995. *Medical physiology*. Little, Brown and Company, Boston, New York, London
- [5] H. Kaciuba-Uściłko *Termoregulacja*. W: W. Z. Traczyk, A. Trzebski *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2001
- [6] K. Parsons *Human thermal environment*. Taylor & Francis, London and New York. 2003
- [7] PN-EN ISO 13732-3:2006. *Ergonomia środowiska termicznego – Metody oceny reakcji człowieka na dotknięcie powierzchni – Część 3: Powierzchnie zimne*
- [8] Y. Tochihara 1998. *Work in artificially cold environments*. W: Holmer I. Kuklane K. (Wyd.) *Problems with Cold Work*. NIWL, Solna, Sweden, Nr 1998:18, s. 13-15
- [9] B. Gwóźdź *Człowiek w środowisku wielkoprzemysłowym i elementy ergonomii*. W: Traczyk W. Z., Trzebski A. *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2001
- [10] J. Oksa, M. B. Ducharme, H. Rintamäki 2002. *Combined effect of repetitive work and cold on muscle function and fatigue*. "J. Appl. Physiol." 92: 354-361
- [11] T. G. Kim, Y. Tochihara, M. I. Fujita, N. Hashiguchi 2007. *Physiological responses and performance of loading work in a severely cold environment*. "Int. J. Industrial Ergonomics" 37:725-732
- [12] E. Sormunen, J. Oksa, T. Pienimäki, S. Rissanen, H. Rintamäki. 2006 *Muscular and cold strain of female workers in meatpacking work*. "Int. J. Industrial Ergonomics" 36: 713-720

Publikacja przygotowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach I etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowywanego w latach 2008-2010 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.