

dr ANNA MARSZAŁEK  
Centralny Instytut Ochrony Pracy  
– Państwowy Instytut Badawczy

# Czynniki kształtujące tolerancję zimnego środowiska

W artykule omówiono niektóre czynniki mające wpływ na tolerancję zimnego środowiska, do których należą wiek, wydolność fizyczna i poziom aklimatyzacji osoby ekspozowanej, ale też odzież ochronna, jako czynnik zewnętrzny. Oddziaływanie niektórych z wymienionych czynników nie jest jeszcze jednoznacznie określone.

## Factors in withstanding a cold environment

This article discusses some factors which influence human tolerance of a cold environment. Among them are age, physical fitness, acclimatization of the exposed person but also protective clothing as an external factor. The interaction of some of those parameters has not been unambiguously defined yet.



Fot. Olexandr Martinyuk

## Wstęp

Działanie zimnego środowiska pracy na organizm człowieka może powodować skutki ogólne i lokalne [1], obejmujące mechanizmy fizjologiczne przeciwdziałające nadmiernemu wychładzaniu organizmu. Tolerancja zimnego środowiska może być modyfikowana przez takie czynniki, jak: aklimatyzacja, wiek osoby ekspozowanej, jej wydolność fizyczna, a także zastosowana odzież ochronna. Możliwości przystosowawcze organizmu człowieka nie są nieograniczone i w pewnych warunkach jego reakcje stają się niewystarczające.

## Aklimatyzacja do zimnego środowiska

Ekspozycja na zimne środowisko zwykle powoduje kompensacyjne zwiększanie produkcji ciepła i obniżanie temperatury skóry w celu utrzymania stałej temperatury wewnątrz ciała. Wiele obserwacji naukowych wskazuje, że fizjologiczne przystosowania do zimnego środowiska nie zachodzą tak łatwo, jak ma to miejsce w przypadku środowiska gorącego.

Poziom aklimatyzacji do zimnego środowiska zależy od natury ekspozycji na zimno, czyli od tego, czy zachodzi ona w warunkach naturalnych – na otwartej przestrzeni, czy sztucznych – w pomieszczeniach, gdzie utrzymywana jest niska temperatura otoczenia (komory klimatyczne, mroźnie, chłodnie). Wiedza na ten temat pochodzi z badań laboratoryjnych i badań osób ekspozowanych na zimno w powtarzany sposób (codzienna ekspozycja), w warunkach naturalnych związanych z trybem życia [2].

W literaturze naukowej opisano trzy podstawowe rodzaje aklimatyzacji do zimna: hipotermiczną, izolacyjną i metaboliczną [3]. Są to procesy rzadko występujące, znane z jednostkowych opisów. Pierwsza polega na zmniejszeniu wytwarzania ciepła i utrzymywaniu niższej temperatury wewnętrznej bez odczuwania dyskomfortu (pierwotne plemiona australijskie). Druga jest wynikiem zwiększenia grubości podskórnej tkanki tłuszczowej, występuje u pływaków długodystansowych. Trzecia wiąże się z przetrwaniem lub powtórным pojawieniem się brunatnej tkanki tłuszczowej

u ludzi dorosłych ekspozowanych w sposób ciągły na zimne środowisko, np. koreańskich poławiaczy perł.

Dobrze udokumentowane jest zjawisko zachodzące u osób długotrwale ekspozowanych na zimne środowisko na otwartej przestrzeni, wykonujących prace ręczne [2, 3, 4]. Wykształca się wówczas zdolność okresowego, zwiększonego dopływu krwi do skóry rąk, co utrzymuje sprawność palców. Gdy skóra rąk jest ochłodzona do temperatury poniżej 15 °C, przepływ krwi w jej obszarze zaczyna się nieco zwiększać [2]. Zachodzi zjawisko nazywane rozkurczem naczyń indukowane chłodem (*cold induced vasodilatation*, CIVD). Ta reakcja jest łatwo wywoływana u osób będących w stanie komfortu cieplnego, w obszarach skóry bogatych w połączenia tętniczo-żylnie (w obrębie dłoni i stóp). W przypadku powtarzanej ekspozycji na zimne środowisko reakcja ta zaczyna się wcześniej, wywołuje zwiększony przepływ krwi i przyjmuje rytmiczny charakter – na zmianę rozszerzania i skurczu skórnych naczyń krwionośnych. Dzięki temu ciepło jest systematycznie dostarczane do dłoni.



Fot. Ben VanderVeen

## Wpływ wieku na tolerancję zimnego środowiska

Badania obejmujące duże grupy ludzi wskazują, że starsze osoby bardziej niż młode, są podatne na hipotermię – nadmierne wychłodzenie ciała. Przykładowe dane dotyczące populacji amerykańskiej są następujące: wśród osób powyżej 65. roku życia 50% przypadków hipotermii doprowadziło do śmierci, a w grupie osób w wieku 20-30 lat – tylko 12%. Badania przekrojowe potwierdzają, że osoby starsze mają mniejszą zdolność do utrzymania stałej temperatury wewnętrznej podczas działania zimna niż osoby młode [4].

Czynnikami, które mogą powodować trudności w interpretacji wyników badań są różnice dotyczące wymiarów ciała (wysokość, masa i powierzchnia ciała) i udziału komponentów morfologicznych (np. masy mięśni, grubość tkanki tłuszczowej) między badanymi osobami.

DeGroot, Havenith i Kenney [5] przeprowadzili badania w celu określenia względnego wpływu charakterystyki osobniczej na poziom temperatury wewnętrznej i izolacyjność tkanek podczas działania umiarkowanego zimna. W badaniu wzięły udział 42 młode osoby, w wieku 18-30 lat oraz 46 osób starszych, w wieku 65-69 lat, które pozostawały bez ruchu w komorze klimatycznej, w której zmniejszana była temperatura powietrza do czasu wystąpienia dreszczy. Wykazano, że u osób młodych takie parametry, jak grubość tkanki tłuszczowej i poziom trójiodotyroniny ( $T_3$ ) głównie wpływały na zmienność temperatury wewnętrznej w reakcji na umiarkowanie zimne środowisko. U osób starszych zarówno grubość tkanki tłuszczowej, jak i masy mięśniowej kończyn (ASMM – masa mięśni szkieletowych kończyn) oraz stosunek powierzchni ciała do jego masy, głównie warunkowały tę zmien-

ność. ASMM wyjaśniał znaczącą część zmienności temperatury wewnętrznej u starszych osób, w reakcji na zimne środowisko chociaż, niespodziewanie, była to zależność negatywna, to znaczy – im większa masa mięśniowa kończyn, tym mniejsze zmiany temperatury wewnętrznej. Według autorów wynikało to prawdopodobnie z większego przepływu krwi w tkankach, a więc i większych możliwości przenoszenia ciepła u osób z większą masą mięśniową. Inne parametry, jak masa ciała, wskaźnik masy ciała (BMI) i powierzchnia ciała nie były znaczącymi wyznacznikami zmienności temperatury wewnętrznej.

Podobnie Young i Lee [6] wskazują, że pewne cechy organizmu, np. sprawność fizyczna i elementy morfologiczne ciała (masa mięśni, grubość tkanki tłuszczowej), mogą bardziej odpowiadać za słabsze reakcje termoregulacyjne osób starszych niż sam wiek. Generalnie można powiedzieć, że przeciętne starsze osoby wydają się być mniej zdolne, niż osoby młode, do utrzymania stałej temperatury wewnętrznej w eksperymentalnych warunkach zimnego środowiska.

Ekspozycja na zimne środowisko może wywołać nieco mniejszy wzrost metabolicznej produkcji ciepła i mniejszą reakcję naczyńioruchową skóry u osób starszych, niż u młodych.

Wydaje się jednak, że te spostrzeżenia o słabszej tolerancji zimnego środowiska przez osoby starsze dotyczą jedynie mężczyzn. W badaniach przeprowadzonych wśród starszych kobiet stwierdzono, że mogą one tak samo lub nawet skuteczniej, niż młode kobiety, utrzymywać temperaturę wewnętrzną [6].

## Wydolność fizyczna a tolerancja zimnego środowiska

Wpływ treningu fizycznego w zimnym środowisku na aklimatyzację do tego środowiska nie są jednoznacznie określone, gdyż wyniki uzyskane przez różnych autorów nie są spójne. W niektórych badaniach wykazano zwiększenie tolerancji cieplnej w wyniku treningu przeprowadzanego w warunkach zimnego środowiska, w innych, ten wpływ był niewielki lub wcale go nie zaobserwowano. Przykłady tych badań omówiono poniżej.

W badaniach Shvartza i in. [7] porównywano wpływ treningu fizycznego na tolerancję zimnego i gorącego środowiska u tych samych, młodych (18-19 lat) osób. Wyniki wykazały, że poziom temperatury wewnętrznej był regulowany w podobny sposób, niezależnie od temperatury otoczenia. Trening fizyczny, powodował znaczące usprawnienie reakcji termoregulacyjnej na wysiłek w umiarkowanym środowisku, słabszą reakcją (nieistotną statystycznie) w gorącym środowisku i brak zmian w zimnym środowisku, przy czym nie

stwierdzono znaczących zmian w regulacji temperatury wewnętrznej w dwóch ostatnich środowiskach – gorącym i zimnym, ale znaczące zmniejszenie różnicy indywidualnych w reakcji na te warunki.

Z kolei z badań Araki, Inoue i Umeno [8] wynika, że trening fizyczny może mieć pozytywny wpływ na tolerancję zimnego środowiska. W badaniach uczestniczyli młodzi mężczyźni, trenujący i nie trenujący. Poddawani byli naprzemiennie wysiłkowi fizycznemu w warunkach zimnego i gorącego otoczenia. Wpływ treningu fizycznego był bardziej wyraźny w warunkach ekspozycji na gorące środowisko, co skutkowało mniejszą zmiennością temperatury wewnętrznej u osób wytrenowanych. Taki efekt, ale o mniejszym nasileniu występował również u osób eksponowanych na zimne środowisko. Zaobserwowano też tendencję do mniejszych zmian średniej temperatury skóry w zimnym środowisku u osób wytrenowanych.

Wynioskowano, że trening fizyczny pozytywnie wpływa na aklimatyzację oraz zwiększa tolerancję gorącego i zimnego środowiska.

## Odzież ochronna w środowisku zimnym

Stosowanie odzieży o wymaganej ciepłochronności ma zapobiegać hipotermii i obniżeniu temperatury wewnętrznej ciała nie więcej niż o 1,0 °C, czyli do 36,0 °C [9]. Odzież używana w zimnym środowisku, jest stosunkowo gruba, a więc ma duży opór przenikania pary wodnej. Akumulacja wilgoci w odzieży z powodu jej absorpcji i kondensacji potu, pogarsza właściwości izolacyjne odzieży. Należy więc czynić starania zmierzające do utrzymania suchej odzieży i ograniczania do niezbędnego minimum pocenia się użytkownika przez zapewnienie dużego gradientu (różnic) temperatury między powierzchnią skóry a powierzchnią odzieży, w celu umożliwienia konwekcyjnej utraty ciepła z organizmu.

Należy zwrócić uwagę na pewien paradoks, który zaobserwujemy, gdy podczas oceny środowiska termicznego będziemy kierować się tylko określeniem temperatury powietrza otoczenia [4]. Jeśli w środowisku o niskiej temperaturze powietrza np. 5 °C człowiek wykonuje pracę fizyczną, wtedy może okazać się, że jego odzież jest zbyt „gruba”. Wówczas będzie on odczuwał warunki otoczenia jako „ciepło” lub „gorąco” i może nawet wystąpić u niego pocenie, co spowoduje, że odzież stanie się wilgotna. Z kolei w przypadku, gdy w tych samych warunkach temperatury otoczenia, w następnej kolejności, pracownik będzie wykonywał lekką pracę w pozycji siedzącej, wówczas może dojść do utraty ciepła i dyskomfortu, który będzie wywołany zawilgoconą uprzednio odzieżą, dającą odczucie chłodu w wilgotnych obszarach odzieży.



Fot. Saso Skalic

Przy ocenie środowiska termicznego można więc zastać sytuację, gdy osoba „przechodzi” z gorącego do zimnego środowiska pod odzieżą, bez zmiany temperatury otoczenia. Dla zapewnienia komfortu cieplnego osoby ekspozowanej na zimne środowisko nie wystarczy określić warunków środowiska fizycznego, ważne jest, czy odzież została dobrana do intensywności wykonywanej pracy. Czynniki te powinny być odpowiednio dopasowane.

Zjawisko gromadzenia ciepła w organizmie w zimnym środowisku jest dość powszechne, wiąże się ze stosowaniem odzieży niedopasowanej do intensywności wysiłku – „za grubej”. W takich warunkach występuje pocenie i zawilgocenie odzieży. Z kolei wilgotna odzież ma mniejszą ciepłochronność niż sucha i nie zapewni już wystarczającej ochrony przed stratami ciepła.

Innym przykładem są wyniki pomiarów terenowych i laboratoryjnych [10], które przeprowadzono przy zastosowaniu odzieży chroniącej przed chemikaliami. Niska przepuszczalność materiału dla pary wodnej i zwiększona izolacyjność cieplna są charakterystyczne dla większości tego rodzaju odzieży. Odzież chroniąca przed chemikaliami wraz z gumowymi rękawicami i obuwem znacznie zaburza mechanizmy rozpraszania ciepła zachodzące na powierzchni skóry. Stwierdzono, że w zimnym środowisku ważne jest zapewnienie izolacyjności cieplnej odzieży, odpowiedniej do intensywności pracy oraz właściwości ochronnych tej odzieży, czyli odpowiedniej przepuszczalności materiału dla pary wodnej, tak aby umożliwiło to utratę ciepła z organizmu. Zatem, ciągle potrzebne są prace nad doskonaleniem zasad doboru odzieży, pozwalającego na łatwe dostosowanie izolacyjności cieplnej odzieży do zmian aktywności fizycznej.

Najbardziej korzystną sytuacją dla osoby przebywającej w zimnym środowisku byłoby zastosowanie takich ochron indywidualnych,

które zapewniłyby komfort cieplny, mimo występowania niskich temperatur w otoczeniu. Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom użytkowników Holmer [11] zaproponował modyfikację kryteriów komfortu, zarówno dla wskaźnika PMV (przewidywana ocena średnia) – dla środowiska umiarkowanego, jak i dla wskaźnika IREQ (wymagana izolacyjność cieplna odzieży) – dla środowiska zimnego, aby można było je zastosować również do umiarkowanie chłodnych środowisk. Metoda ta dostarcza bardziej realnego i wiarygodnego sposobu przewidywania warunków równowagi cieplnej oraz warunków komfortu w chłodnym i zimnym środowisku.

Jak zostało wcześniej podkreślone, odpowiedni dobór odzieży istotnie wpływa na równowagę cieplną w zimnym środowisku.

Punktem wyjścia, dla rozumowania autora [11], jest zdefiniowanie średniej temperatury skóry i utraty ciepła drogą parowania jako funkcji tempa metabolizmu. Równania dla tych parametrów wyprowadzono z badań odzieży o niewielkiej izolacyjności, przeznaczonej do umiarkowanego klimatu w pomieszczeniach. Odzież wpływa na średnią temperaturę skóry, ale także na warunki dla parowania potu. Zależności między temperaturą skóry i poceniem, z jednej strony, oraz odczuciami cieplnymi i komfortem cieplnym z drugiej strony, są dobrze poznane. Autor publikacji stwierdza, że zależność między warunkami temperatury i wilgotności na powierzchni skóry jest krytycznym wyznacznikiem neutralności termicznej, a zatem komfortu. Obie wielkości są wyraźnie zależne od intensywności pracy (metabolizmu). Porównanie kryteriów komfortu i równań określających przenoszenie ciepła w środowisku umiarkowanym i zimnym ujawnia wyraźne różnice. Przez modyfikację kryteriów pocenia i równań opisujących przenoszenie ciepła, przewidywania komfortu stają się zbliżone dla omawianych środowisk termicz-

nych. Na tej podstawie autor wysunął wniosek, że podstawowe kryteria komfortu mogą być także zastosowane do umiarkowanie chłodnych i zimnych środowisk, ale należy precyzyjniej rozpatrywać skomplikowany transport ciepła przez wielowarstwową odzież, stosowaną w zimnym środowisku.

## Podsumowanie

Wyniki przytoczonych badań wskazują, że tolerancja zimnego środowiska zmniejsza się wraz z wiekiem. Jest to głównie związane z mniejszą zdolnością utrzymywania stałej temperatury wewnętrznej przez osoby starsze, co wynika z mniejszego wytwarzania ciepła i mniejszej sprawności mechanizmów naczynioruchowych, zatrzymujących ciepło, niż u osób młodych. Wiele badań wskazuje na pozytywny wpływ treningu fizycznego na aklimatyzację i tolerancję zimnego środowiska. Istotne jest regulowanie ciepłochronności odzieży i dostosowanie jej do intensywności pracy wykonywanej w warunkach zimnego środowiska, aby nie dopuścić do zawilgocenia ubioru, co spowoduje większą utratę ciepła z organizmu do otoczenia i wychłodzenie ciała.

## PIŚMIENNICTWO

- [1] A. Marszałek *Wpływ zimnego środowiska na organizm człowieka*. „Bezpieczeństwo Pracy” 1(448)2009 s. 10-12
- [2] A. Rhoades, G.A. Tanner 1995. *Medical physiology*. Little, Brown and Company, Boston, New York, London
- [3] H. Kaciuba-Uściłko *Termoregulacja*. W: W. Z. Traczyk, A. Trzebski *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2001
- [4] K. Parsons 2003. *Human thermal environment* Taylor & Francis, London and New York
- [5] D.W. DeGroot, G. Havenith, L. Kenney 2006. *Responses to mild cold stress are predicted by different individual characteristics in young and older subjects*. „J. Appl. Physiol.” 101:1607-1615
- [6] A.J. Young, D.T. Lee 1997. *Aging and human cold tolerance*. *Exp. Aging Research* 23(1): 45-67
- [7] E. Shvartz, Z. Gluck, A. Magazanik 1977. *Responses to temperate, cold and hot environments and the effect of physical training*. *Aviat. Space Environ. Med.* 48(3):254-260
- [8] T. Araki, Y. Inoue, K. Umeno 1980 *Effects of physical training on thermoregulatory responses to alternate stress of heat and cold*. „J. Physical Fitness” Japan 29(2): 75-81
- [9] PN-EN ISO 9886:2005. *Ergonomia. Ocena obciążenia termicznego na podstawie pomiarów fizjologicznych*
- [10] H. Rintamäki, S. Rissanen 2006. *Heat strain in cold*. „Industrial Health” 44, 427-432
- [11] I. Holmer 2004. *Cold but comfortable? Application of comfort criteria to cold environments*. „Indoor Air” 14: 27-31

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.