

Termoregulacja organizmu człowieka i obciążenie termiczne

prof. dr hab. med. Mieczysław Krause

(artykuł z pakietu edukacyjnego „Nauka o pracy - bezpieczeństwo, higiena, ergonomia” CIOP)

1. Termodynamika organizmu człowieka

1.1. Człowiek jako samoporuszające się źródło ciepła

Z termodynamicznego punktu widzenia, organizm człowieka jest pewnego rodzaju silnikiem. Wymaga on, podobnie jak w silnikach technicznych, dostarczenia paliwa. Paliwem są w tym przypadku pokarmy, tj. węglowodany, białka i tłuszcze. Po wprowadzeniu do organizmu, substancje pokarmowe zostają wciągnięte w tryby metabolizmu (przemiany materii) i spalane do prostych związków, głównie CO_2 i H_2O . W procesie tym jest wyzwolana energia. W mięśniach może ona zostać częściowo przekształcona w energię mechaniczną, ujawniając się w postaci skurczów izometrycznych lub izotonicznych. Znaczną większość (ponad 80%) stanowi, podobnie jak w silniku, ciepło. Nazywamy je ciepłem własnym albo ciepłem endogennym. Jest ono fizycznie identyczne z ciepłem otrzymywanym ze źródeł pozaustrojowych, np. ze Słońca, żarówki, pieca, grzałki itp., które określamy jako ciepło egzogenne. Nazwy endogenne i egzogenne wprowadzono celem ułatwienia dalszej dyskusji.

Wyzwalanie ciepła nie jest jednakowe w całym organizmie. Jedne narządy wyzwalają go mniej, inne więcej. Zależy to m.in. od sytuacji, w jakiej znajduje się człowiek. U człowieka w spoczynku głównym źródłem ciepła są narządy jamy brzusznej, przede wszystkim wątroba, z której pochodzi około 50% ciepła wyzwalanego w tych warunkach. Podczas wysiłku fizycznego metabolizm się nasila, a wyzwalanie ciepła wzrasta. Wtedy ponad 75% ciepła pochodzi z kurczących się mięśni szkieletowych.

Wracając do analogii organizmu ludzkiego z silnikiem, warto podkreślić, że w przeciwieństwie do silnika, organizm nie może zostać całkowicie zatrzymany, a potem znów uruchomiony. W żywym organizmie funkcja jest do tego stopnia sprzężona ze strukturą, że zatrzymanie go powoduje natychmiast rozpad struktury. Istnieje dolna granica, poniżej której nie może być spowolniona przemiana materii. Tę granicę nazywamy podstawową przemianą materii PPM. Obniżenie metabolizmu poza tę granicę powoduje zgon.

Wyzwalanie ciepła przez dorosłego, zdrowego człowieka, przebywającego w spoczynku w strefie komfortu cieplnego, wynosi $4,184 \text{ kJ} \cdot \text{kg masy ciała}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. Jak łatwo obliczyć, człowiek o masie ciała 70 kg, przebywający w pozycji leżącej, w całkowitym bezruchu, uwalnia w ciągu godziny około 293 kJ ciepła, tj. mniej więcej tyle ile 80 W żarówka.

W momencie przejścia w stan czynny, tzn. rozpoczęcia wysiłku fizycznego, przemiana materii wzrasta i w krańcowych przypadkach dochodzi do $50 \text{ kJ} \cdot \text{min}^{-1}$.

1.2. Człowiek jako urządzenie stałocielne

Przemiana materii wymaga udziału specyficznych katalizatorów, zwanych enzymami. Aktywność enzymów jest w znacznym stopniu funkcją temperatury tkanek. Jeśli spadnie ona lub wzrośnie poza dopuszczalny zakres (kilka stopni Celsjusza), wtedy enzymy przestają działać prawidłowo, powodując zakłócenia metabolizmu. Z tego powodu temperatura ciała, tzn. równowaga między uwalnianiem ciepła i oddawaniem go do otoczenia, musi być względnie stała. Nie jest ona wszakże jednakowa w całym organizmie. O stałej temperaturze, która mierzona w odbytnicy wynosi $37 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$, można mówić tylko w odniesieniu do wnętrza ciała. Natomiast temperatura zewnętrznych warstw ciała, oddalonych o około 10 mm od powierzchni, jest na ogół niższa i może różnić się od temperatury wnętrza nawet o kilka stopni. Samopoczucie człowieka w sensie termicznym zależy od temperatury wnętrza jego ciała.

1.3. Bilans cieplny

Bilans cieplny jest podstawowym pojęciem, niezbędnym do zrozumienia problemów wymiany ciepła między organizmem człowieka i jego środowiskiem. Oznacza ono wypadkową między ciepłem endogennym i ciepłem egzogennym, działającym na ustrój.

Znaczna zawartość wody w organizmie ludzkim, stanowiącej około 60÷70% masy ciała, powoduje że ciepło właściwe tkanek jest duże i wynosi średnio $3,47 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Skoro człowiek bezustannie uwalnia ciepło, to nawet przebywając w całkowitym spoczynku, pozbawiony możliwości oddawania ciepła endogennego, byłby narażony na wzrost temperatury ciała z prędkością:

$$\frac{293 \text{ kJ} \cdot \text{h}^{-1}}{243 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1}} = 1,2 \text{ K} \cdot \text{h}^{-1}$$

Z przedstawionego wyliczenia wynika, że po 4 godzinach przebywania w takich warunkach, przegrzanie ustroju stałoby się niebezpieczne dla życia. Gdyby rozpatrywany przez nas człowiek ciężko pracował fizycznie, z wydatkiem energetycznym rzędu $50 \text{ kJ} \cdot \text{min}^{-1}$, to uwalniane i gromadzące się w jego organizmie ciepło powodowałoby wzrost temperatury ciała z prędkością $12 \text{ K} \cdot \text{h}^{-1}$. Już po 15 minutach osiągnęłaby ona poziom niebezpieczny dla życia (fol. 1).

1.4. Wymiana ciepła między organizmem człowieka i otoczeniem

Wymiana ciepła między organizmem człowieka i jego środowiskiem odbywa się głównie przez skórę, która u dorosłego człowieka ma powierzchnię około $1,8 \text{ m}^2$ (niewielkie ilości ciepła są oddawane przez płuca - nagrzewanie wdychanego powietrza - oraz przez wydalanie moczu i kału). Jej przewodnictwo cieplne zależy od stopnia ukrwienia. Im bardziej ukrwiona (tzn. im więcej zawiera wody), tym większe przewodnictwo. Zamyka się ono w granicach od 3,14 (skóra zanemizowana) do $14,64 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (skóra maksymalnie ukrwiona). Wymiana ciepła między skórą a otaczającym ją środowiskiem, którym najczęściej jest powietrze, jest zjawiskiem złożonym. Składają się na nią cztery procesy. Trzy spośród nich, zwane wymianą suchą, obejmują przewodzenie, unoszenie i promieniowanie. Czwarty to wydzielanie i odparowanie potu z powierzchni skóry.

Przewodzenie

Polega ono na wymianie ciepła z ciałem stykającym się nieruchomo ze skórą. Jest ono niewielkie, gdy tym ciałem jest, jak to najczęściej bywa, powietrze. W przypadku powietrza wynosi $0,023 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, jest 25 razy większe - gdy skóra styka się z wodą, a ponad 1000 razy większe - gdy skóra przylega do żelaznej płyty. Należy stale mieć na uwadze praktyczny aspekt tego faktu i w zasadzie nie pokrywać metalem powierzchni elementów technicznych stykających się ze skórą człowieka (siedzisk, oparc, podnóżków, podłóg itp.). Powietrze jest doskonałym izolatorem, np. w odzieży - im więcej powietrza w tkaninie, tym mniejsza jest jej przewodność cieplna.

Unoszenie (konwekcja)

Zasada tego zjawiska polega na tym, że cząsteczki powietrza (lub innego ośrodka, np. wody) stykając się ze skórą, ulegają ogrzaniu i po chwili unoszą się ku górze. Mogą one również ulec ochłodzeniu, jeśli skóra jest chłodna, i wtedy opadają w dół. Ich miejsce zajmują nowe cząsteczki, które po chwili spotykają los poprzedniczek. Przyczyną ruchu cząsteczek powietrza jest zmiana jego gęstości po zmianie temperatury. Tak więc, jeśli skóra ma wyższą temperaturę niż przylegające do niej powietrze, wtedy powstaje w jej pobliżu prąd konwekcyjny z dołu do góry. Jeśli gradient temperatury jest odwrotny, to wspomniany prąd skierowany jest z góry do dołu. Te prądy powietrza, zwane konwekcją naturalną, można przyspieszyć i uczynić ją bardziej skuteczną za pomocą wachlarza, wentylatora lub dmuchawy. Jest to wtedy konwekcja wymuszona. Konwekcja jest najbardziej racjonalnym sposobem ogrzewania albo chłodzenia organizmu, a to dlatego, że poza dużą skutecznością ma jeszcze tę zaletę, iż odbywa się w zasadzie kosztem energii spoza ustroju. Wymaga ona jednak umiejętnego stosowania.

Prędkość powietrza powinna być dostosowana do sytuacji termicznej, w jakiej znajduje się człowiek, najlepiej regulowana przez niego samego (fol. 2). Nadmierne chłodzenie może bowiem spowodować

przechłodzenie organizmu i zagraża zdrowiu. Rozwiązaniem technicznym zbliżonym do ideału jest na przykład system chłodzenia w kabinach współczesnych samolotów pasażerskich w postaci oddzielnego nawiewu dla każdego pasażera, z możliwością regulacji.

Promieniowanie

Polega ono na emisji przez skórę promieniowania elektromagnetycznego w pasmie $2 \div 20 \mu\text{m}$, z maksimum przypadającym na $9 \mu\text{m}$. Wzrost temperatury o 1 K zwiększa oddawanie ciepła przez promieniowanie o około 63 kJ. Na zdjęciach w podczerwieni widoczna jest wokół ciała ludzkiego świecąca aureola spowodowana tym promieniowaniem. Wymiana ciepła przez promieniowanie zależy głównie od różnicy czwartych potęg temperatur bezwzględnych powierzchni zwróconych do siebie. Prostoliniowe rozchodzenie się promieniowania powoduje powstawanie cieni, co należy wykorzystać w postępowaniu chroniącym. W przemyśle, ludzie są niejednokrotnie narażeni na intensywne promieniowanie z palenisk, otworów wsadowych, kotłów, Słońca itp. W takiej sytuacji człowiek może otrzymywać spore ilości ciepła na powierzchni ciała zwróconej do promiennika, tracąc jednocześnie ciepło z drugiej strony, znajdującej się w cieniu. Przykładem jest też wczasowicz wygrzewający się w zimowy, słoneczny dzień na leżaku. Z góry pobiera on ciepło słoneczne, oddając je śniegowi dolną powierzchnią ciała. Mimo że człowiek może w takiej sytuacji utrzymać wyrównany bilans cieplny, to jednak nasuwają się tu zastrzeżenia. Po pierwsze dlatego, że skóra wystawiona na silne promieniowanie może zostać poparzona, a strona ciała znajdująca się w cieniu może ulec niebezpiecznemu ochłodzeniu. Po drugie, przenoszenie ciepła w obrębie ciała, z jednej strony na drugą, wymaga wzmożonego przepływu krwi i obciąża krążenie.

Omówione dotąd sposoby wymiany ciepła między człowiekiem a jego termicznym otoczeniem mają to do siebie, że w zależności od gradientu temperatury ciepło przepływa w jedną lub w drugą stronę. Inaczej mówiąc, człowiek może w ten sposób tracić nadmiar ciepła albo uzupełniać jego niedobór. Na przykład poduszka elektryczna dostarcza ciepła przez przewodnictwo, dmuchawa przez konwekcję, a promiennik przez promieniowanie.

Wiadomo jednak, że człowiek może przez jakiś czas przebywać w warunkach, gdy gradienty temperatury w każdym z wymienionych trzech przypadków są skierowane w jego stronę, a mimo to nie dochodzi do przegrzania organizmu. Jest to możliwe dzięki czwartemu sposobowi oddawania ciepła przez organizm, tzn. przez pocenie i parowanie potu.

Wydzielanie potu i jego parowanie

Skóra musi się stale adaptować do zmieniających się kształtów ciała. Wymaga to jej znacznej elastyczności, którą zapewnia zawarta w niej woda. Tymczasem skóra jest narażona na bezustanne wysychanie. Utratę wody zmniejsza zbudowana w 60% z keratyny, zrogowaciała warstwa naskórka, pokrytego niewielką ilością łoju. Mimo tej ochrony skóra traci drogą dyfuzji około 300 ml wody na dzień. Woda parując odbiera skórze pewne ilości ciepła, równoważne ciepłu parowania wody, tj. $2,26 \text{ kJ} \cdot \text{ml}^{-1}$. Gdy temperatura wzrośnie powyżej $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (rozumowanie dotyczy człowieka przebywającego w pełnym spoczynku), ilość wydzielanej wody zwiększa się dodatkowo o wydzielanie gruczołów potowych skóry. Pot jest hipotonicznym (0,3%) roztworem NaCl; znaczenie termoregulacyjne ma tylko woda. W krańcowych przypadkach wydzielanie potu przez człowieka dochodzi do $4 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$. Intensywne pocenie pociąga oczywiście za sobą znaczną utratę wody, niebezpieczną dla zdrowia, a nawet życia. Odwodnieniu można i trzeba przeciwdziałać, dostarczając człowiekowi odpowiedniej ilości wody do picia. Należy jednak pamiętać o tym, że wodę wprowadza się do przewodu pokarmowego, skąd dla spełnienia swej funkcji musi ona przez układ krążenia zostać przeniesiona do skóry. To dodatkowe zadanie obciąża serce, którego częstość skurczów u człowieka pracującego ciężko w wysokiej temperaturze otoczenia dochodzi do 170 min^{-1} .

W przeciwieństwie do suchych sposobów wymiany ciepła omówionych wcześniej, wymiana ciepła przez wydzielanie potu jest jednokierunkowa, tzn. umożliwia tylko oddawanie nadmiaru ciepła do otoczenia. Możliwe jest jednak przyjmowanie przez organizm ciepła, np. z promiennika, i oddawanie go równocześnie do otoczenia przez pocenie. Parowanie wody, które jest warunkiem niezbędnym dla tego sposobu oddawania ciepła, zależy od dwóch parametrów otaczającego powietrza, tzn. od zawartej w nim pary wodnej, czyli wilgotności, i ciśnienia. W zwykłych warunkach - na powierzchni Ziemi -

główną rolę odgrywa pierwszy z tych czynników. W miarę jak wzrasta wilgotność otaczającego powietrza, tzn. jak zwiększa się w nim ilość pary wodnej, w coraz większym stopniu parowaniu potu towarzyszy jego skraplanie. Wskutek tego człowiek przebywający w gorącym i wilgotnym środowisku traci ostatnią możliwość oddawania nadmiaru ciepła.

W takiej sytuacji temperatura ciała wzrasta i jeśli dojdzie do letalnej, spowoduje porażenie cieplne (dla człowieka przebywającego w temp. 15 - 20 °C najkorzystniejsza jest wilgotność względna w zakresie 40 ÷ 75%). Jeśli chodzi o ciśnienie powietrza, to ma ono znaczenie tylko w wyjątkowych przypadkach, np. w czasie nurkowania w habitatach podwodnych i komorach dekompresyjnych. Włacza się tam mieszaniny gazów pod zwiększonym ciśnieniem (rzędu MPa) celem zrównoważenia parcia otaczającej wody. Zwiększone ciśnienie powietrza ma na parowanie potu podobny wpływ jak zwiększona wilgotność.

2. Termoregulacja

Jak wynika z dotychczasowych rozważań, utrzymanie prawidłowej temperatury ciała wymaga nieustannej wymiany ciepła z otoczeniem. Jeśli człowiek przebywa w niskiej temperaturze, gdy jego własne (endogenne) ciepło nie wystarczy do zapewnienia mu odpowiedniej temperatury ciała, to trzeba go dogrzewać, doprowadzając ciepło z zewnątrz. Jednocześnie należy zmniejszać utratę ciepła endogennego, stosując odpowiednią izolację, np. odzieży. Jeśli natomiast człowiek przebywa w gorącym otoczeniu, to ciepło egzogenne wnika do organizmu, dodaje się do ciepła endogennego, co grozi przegrzaniem. W takiej sytuacji zachodzi potrzeba ochrony pracującego przed naporem ciepła z zewnątrz.

Wiadomo jednak, że organizm człowieka posiada pewną autonomię, jeśli chodzi o przetrwanie niekorzystnych warunków termicznych. Inaczej mówiąc, jest on wyposażony w fizjologiczne urządzenia termoregulacyjne, dzięki którym może przez pewien czas bronić się skutecznie przed nadmiarem albo niedoborem ciepła. Dzieje się tak za sprawą tzw. ośrodka termoregulacji, kontrolującego temperaturę ciała i sterującego mechanizmami uwalniania i oddawania ciepła. Wspomniany ośrodek jest zlokalizowany w niewielkiej części mózgowia zwanej podwzgórzem. Ośrodek ten składa się z komórek nerwowych, tworzących serwomechanizm, który na zasadzie sprzężenia zwrotnego przeciwdziała zmianom mogącym spowodować wzrost lub spadek temperatury ciała poza dopuszczalny zakres. Podstawową wielkością regulowaną i regulującą jest temperatura wnętrza ciała. Regulacja może odbywać się na różnym poziomie. W spoczynku jest to temperatura około 37 °C, podczas intensywnej pracy i ćwiczeń sportowych poziom może wzrosnąć do 39 °C, a podczas gorączki utrzymywać się powyżej 40 °C.

Informacje o temperaturze ciała docierają do ośrodka termoregulacji dwoma rodzajami kanałów. Jeden to kanał nerwowy. Zaczyna się od termoreceptorów (czujników temperatury) umiejscowionych w skórze i śluzówkach, które w zależności od temperatury otaczającej tkanki, wysyłają po nerwach zakodowaną w postaci impulsów nerwowych, odpowiednią informację do ośrodka.

Drugi kanał to strumień krwi, która przepływając przez tkankę może się dogrzać lub ochłodzić, i która wyrównując różnice temperatur podobnie jak woda w centralnym ogrzewaniu, jednocześnie informuje ośrodek o tych różnicach.

Na podstawie otrzymanych informacji ośrodek, również w postaci impulsów nerwowych, wysyła rozkazy do termoregulacyjnych narządów wykonawczych. W sytuacji, gdy organizmowi grozi oziębienie, naczynia skóry silnie się kurczą, w następstwie czego przepływ krwi znacznie się zmniejsza. Krew, przepływając wolno przez skórę ulega znacznemu odtlenowaniu, hemoglobina staje się błękitnawa, a skóra sinieje. Temperatura skóry obniża się, co zmniejsza oddawanie przez nią ciepła. Kurczą się mięśnie przywłosne. Powoduje to chropowatość skóry („gęsia skórka”) oraz jeżenie się włosów na skórze. Palisada z włosów zwalnia przyskórny prąd konwekcyjny. Jednocześnie wzrasta wyzwalanie ciepła endogennego, szczególnie w mięśniach szkieletowych. Występuje w nich zjawisko zwane dreszczami, polegające na asynchronicznych skurczach włókien mięśniowych. Mięśnie wyzwalają ciepło, ale nie kurczą się jako całość. Zmienia się również zachowanie człowieka - kuli się, szuka schronienia przed zimnem, zakłada ciepłą odzież, rozpala ognisko itp.

Jeżeli w otoczeniu panuje wysoka temperatura, albo działają tam źródła intensywnego promieniowania cieplnego, naczynia skóry rozszerzają się i przepływ krwi przez nie wzrasta. Zwiększona zawartość wody w skórze zwiększa jej przewodnictwo cieplne, jednocześnie zapewniając korzystne warunki do procesu pocenia.

Rozpoczyna się wydzielanie potu, który parując ze skóry odbiera jej ciepło niezbędne do przekształcenia się w parę wodną. Towarzyszą temu zmiany w zachowaniu - człowiek szuka cienia, zdejmuje odzież, uruchamia urządzenia chłodzące, zwalnia rytm pracy itp.

Krańcowe temperatury ciała, przy jakich człowiek może utrzymać się przy życiu, to: 43 °C - górna i 25 °C - dolna.

3. Ogólne zasady ochrony pracującego przed nadmiarem lub niedoborem ciepła

Od wielu lat podejmowane są wysiłki w celu opracowania norm czasu pracy dla ludzi pracujących w mikroklimacie odbiegającym od strefy komfortu. Do tej pory wysiłki te należy uznać za nieskuteczne, ze względu na duży stopień złożoności procesów termoregulacyjnych w organizmie człowieka i znaczne zróżnicowanie warunków cieplnych, w jakich przychodzi mu pracować. Dlatego też do opracowania norm dla każdego stanowiska roboczego należy podchodzić indywidualnie i rozwiązywać problem na podstawie znanych faktów o fizjologii termoregulacji. Postępowanie takie ułatwią podane niżej ogólne reguły.

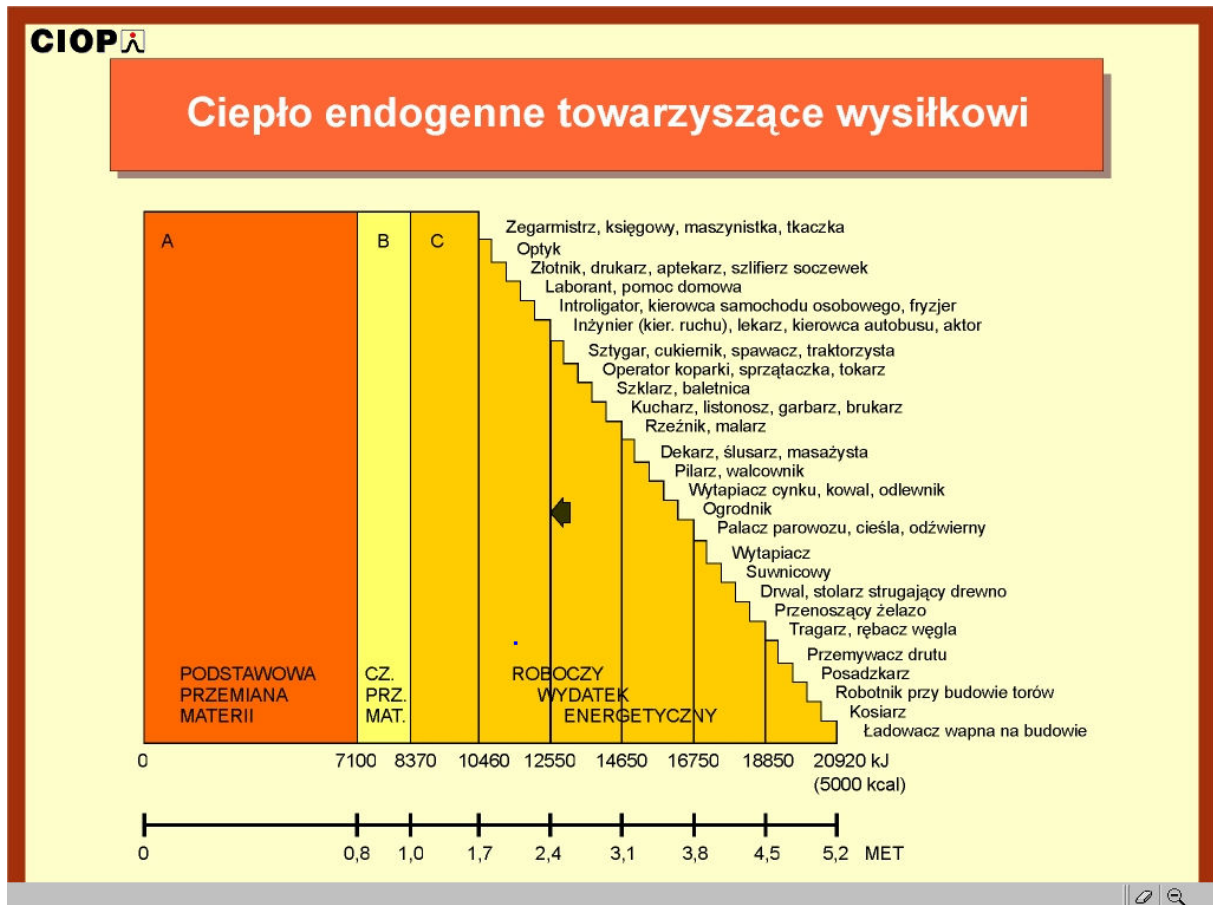
1. Usiłując chronić pracującego człowieka przed nadmiarem lub niedoborem ciepła, nie należy obciążać jego mechanizmów fizjologicznych, lecz koszt tego postępowania przerzucać na urządzenia techniczne.
2. Człowiekowi pracującemu w gorącu należy zapewnić odpowiednią podaż wody celem wyrównania jej utraty z potem. W wyjątkowych przypadkach (przy diecie ubogiej w NaCl) konieczne jest uzupełnianie w formie tabletek soli wydzielanej z potem. Należy zwrócić uwagę na to, że sól wydzielana z potem pozostaje w bieliźnie i usztywnia ją do tego stopnia, że może ona uszkadzać naskórek i usposabiać do infekcji skóry. Konieczna jest zatem częsta wymiana odzieży roboczej. Należy także pamiętać o tym, że transport wody z przewodu pokarmowego, gdzie jest wprowadzana, do gruczołów potowych skóry, przez które jest wydzielana, obciąża dodatkowo układ krążenia, co u ludzi pracujących przez dłuższy czas w wysokiej temperaturze może spowodować wczesną jego niedomogę.
3. Chłodząc człowieka za pomocą konwekcji, należy zwrócić uwagę na to, aby powietrze doprowadzane do skóry miało niższą temperaturę niż skóra. W przypadku ogrzewania obowiązuje odwrotna zasada. Pracujący powinien mieć dostęp do urządzenia regulującego przepływ powietrza.
4. W ochronie pracującego przed ochłodzeniem, szczególną uwagę należy zwrócić na kończyny. Jest to ważne dlatego, że oziębienie stóp wyłącza znajdujące się tam receptory (upośledza „czucie”), co może powodować trudności w utrzymaniu równowagi ciała. Bardziej złożony jest problem dłoni i palców. Wyzwalanie ciepła endogennego w palcach jest niewielkie ze względu na to, że znajdują się tam małe mięśnie. Ponadto w palcach jest niekorzystny stosunek powierzchni do objętości. O ile dla tułowia wynosi on tylko 0,2 cm⁻¹, to dla palców rąk dochodzi do 2,1 cm⁻¹, co sprzyja łatwej utracie ciepła. Tymczasem wiele prac wymaga swobodnych ruchów palców, a użycie rękawic znacznie upośledza sprawność ich działania i stąd biorą się problemy z ich zabezpieczeniem przed obniżeniem temperatury. Jeśli nie można chronić rękawicami całej dłoni, to należy zrobić to przynajmniej za pomocą mitenek, a przy dużym narażeniu dłoni na ochłodzenie wskazane są rękawice ogrzewane elektrycznie.
5. Do prac w wyjątkowych, szczególnie w niebezpiecznych warunkach (np. pożarnictwo albo ratownictwo górnicze), niezbędna jest selekcja kandydatów. Jednym z dość wiarygodnych kryteriów takiej selekcji jest VO_{2max} (tj. maksymalne minutowe zużycie tlenu). Jeśli wskaźnik ten jest niższy niż 2,5 l · min⁻¹, to z badanej grupy kandydatów można wykluczyć aż 65% osób o małej tolerancji na działanie gorąca.
6. Projektując duże obiekty przemysłowe, w których przewiduje się produkcję wymagającą stosowania dużych ilości ciepła (np. hale hutnicze), należy rozważyć możliwość przestrzennego oddzielenia źródeł ciepła od pracujących ludzi. Nadmiar ciepła z promienników przemysłowych należy odprowadzać na zewnątrz. Pracujący mogą być tylko okresowo narażeni na promieniowanie z otworów wsadowych albo ze spuszczonego wytopu. W pozostałym czasie powinni przebywać w klimatyzowanych kabinach.
7. Sporą uwagę należy zwracać na odzież roboczą. Człowiek pracujący w warunkach komfortu cieplnego może sam zadbać o swoją odzież, natomiast robotnikowi pracującemu w ekstremalnych warunkach termicznych (chłodziu lub gorącu) należy zapewnić odzież specjalną, zaprojektowaną przez specjalistów.

8. W miejscach i pomieszczeniach, gdzie praca odbywa się w warunkach odbiegających od strefy komfortu cieplnego (gorące kopalnie, remonty pieców hutniczych, wytopy metali - chłodnie, rzeźnie, wytwórnie mrożonek), należy zakładać urządzenia rejestrujące (termo- i hygrografy), tak aby dozór orientował się, w jakim środowisku termicznym pracują ludzie.

4. Literatura

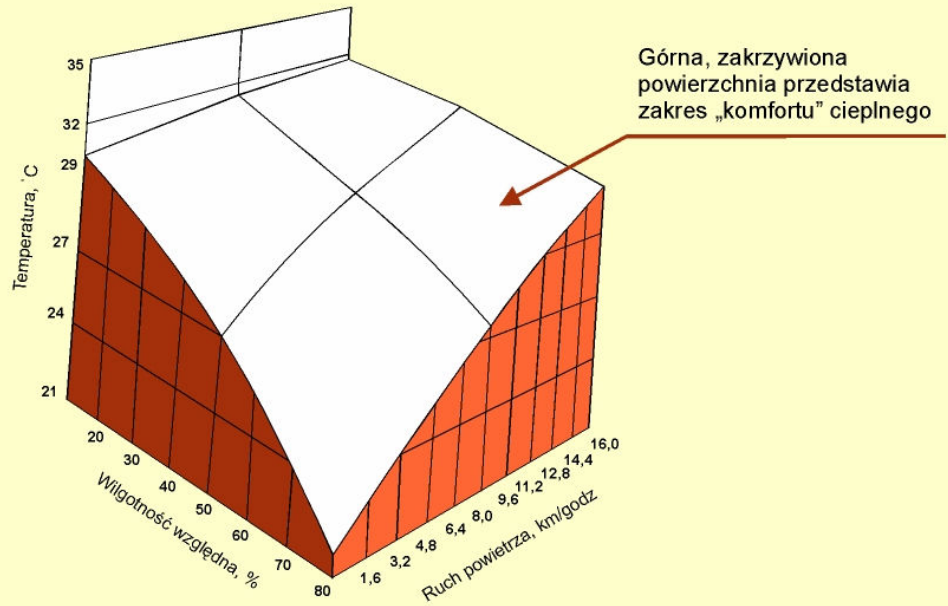
1. Krause M.: Ergonomia - praktyczna wiedza o pracującym człowieku i jego środowisku. Katowice, Śl. Organizacja Techniczna 1992.
2. Missiuro W.: Zarys fizjologii pracy. Warszawa, PZWL 1965.

5. Foliogramy



Foliogram 1.

Wpływ temperatury, wilgotności i ruchu powietrza na odczucie termiczne człowieka oraz ich wzajemne zależności



Foliogram 2.