

Zagrożenia dla zdrowia człowieka w warunkach wysokogórskich - fizjologiczne mechanizmy przystosowawcze

Abstract

Czapla Zbigniew, *The risks of human health in high mountain conditions – physiological mechanism of adaptation*, in: M. Kaczmarek, A. Szwed (ed.) *Combining Anthropology and Medicine: Theoretical Concepts and Practical Implications*, Poznań 2009, pp. 49-77.

According to the World Health Organization about 140 million people live permanently at altitude higher than 2500 meters above sea level. Man who was born and have been growing up on lowlands was able to adapt to height 5400 meters above sea level for a short time. The main reason of bad functioning of man at high altitude is low pressure of oxygen. Additional factors which are risk for health are: cold, dehydration and intense solar radiation. The consequence of these disturbances are symptoms described like as high-altitude illness (sickness), frostbite appear very often too. The people which move quickly to high altitudes such as mountaineers and trekkers are exposed to the risk of high-altitude illness. There are two main forms of this sickness: acute mountain sickness and chronic mountain sickness so-called Monga'e disease. The symptoms of acute mountain sickness are headache, nausea, anorexia, insomnia, fatigue, lassitude, vomiting, dizziness, weakness, rapidly increase tiredness and neurological disturbances of physical coordination, impairment of memory and disorientation. The changeable mood and excitement are observed. The symptoms of acute mountain sickness are largely like Chronic mountain sickness is related with increase of erythrocyte number, hypertension of pulmonary circulation and hypertrophy of right ventricle of the heart. This sickness concern the people which are not able adapt to hypoxia in spite of spending the long time in high mountain. Characteristic features of this sickness are cardiac insufficiency, blueness of lips and nails and club-shaped fingers. This form of high-altitude illness finished death often leads to death. When the mechanisms of adaptation to high mountain conditions are insufficient, the pathophysiological processes will lead to high altitude pulmonary edema and high altitude cerebral edema. Apart from symptoms of mountain sickness in case of high altitude pulmonary edema appeared dyspnoea, cough, cyanosis, fever, a rise of pulse and a rise of breathing rating. The symptoms of high altitude cerebral edema are ataxy, nausea, vomiting, changes of behavior, disorientation, mental retardness, visual and/or auditory hallucinations, impairment of vision, convulsions and coma.

Key words: acute mountain sickness, chronic mountain sickness, high altitude pulmonary edema, high altitude cerebral edema, hypothermia

Address: Zakład Biologii Rozwoju Człowieka, Instytut Antropologii, Wydział Biologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, e-mail: czapla@amu.edu.pl

Człowiek w warunkach wysokogórskich

Obszary wysokogórskie definiowane są zazwyczaj arbitralnie. Biorąc jednak pod uwagę fakt, że większość istotnych zmian fizjologicznych u człowieka zachodzi od wysokości 3000 m n.p.m., przyjmuje się ją jako

wysokość graniczną. W fizjologii wysokości oraz medycynie górskiej i lotniczej, zajmującej się problematyką fizjologicznych adaptacji człowieka do dużych wysokości, tereny powyżej 3000 m n.p.m. uznaje się za „duże wysokości”. Należy zaznaczyć, że przy lekarskim kwalifikowaniu osób do wypraw wysokogórskich czy prac na dużych wysokościach przeprowadza się u takich osób tzw. test tolerancji symulowanej hipoksji wysokościowej dla wysokości 2000 m n.p.m [1]. Międzynarodowe Stowarzyszenie Medycyny Górskiej (<http://www.ismmed.org/>) wyodrębnia podział terenów wysokogórskich jako: a) duża wysokość: 1500–3500 m n.p.m., b) bardzo duża wysokość: 3500–5500 m n.p.m., c) ekstremalna wysokość: powyżej 5500 m n.p.m. Medycyna górska wyodrębnia tzw. strefę śmierci, którą wyznacza wysokość powyżej 7900 m n.p.m.

Światowa Organizacja Zdrowia podaje, że około 140 milionów ludzi żyje na stałe powyżej 2500 m n.p.m. [2]. Z tej liczby około 15 milionów ludzi mieszka powyżej 3000 m n.p.m., a około 10 milionów na obszarach powyżej 3500–4000 m n.p.m. Są to przede wszystkim górskie rejony świata, takie jak Andy, Himalaje czy wyżyny Etiopii. Zdecydowana większość, bo około 80% tych osób to mieszkańcy gór w Tybecie oraz Andach. W Tybecie zamieszkiwane są tereny południowo-wschodnie (od 2700 m n.p.m. do 4000 m n.p.m.), doliny rzek płynących w kierunku Indii, Birmy i Chin. Nomadzi mieszkają powyżej 4900 m n.p.m., gdzie temperatury zimą spadają się do -30°C , a latem nie przekraczają 15°C . Na podobnych wysokościach 3500–4000 m n.p.m. żyją pasterze i rolnicy wyżyn w Andach [3, 4].

Stalą najwyżej położoną siedzibą ludzką jest osada górnicza na wysokości 5340 m n.p.m. Cerro Aucanquilcha w Andach. Kopalnie cyny i srebra w Chile, Boliwii i Peru usytuowane są na poziomie 4900–5200 m n.p.m. Kopalnie siarki znajdują się niekiedy wyżej, na wysokości 5800 m n.p.m. Ludzie, którzy tam pracują, codziennie w drodze do pracy z wysokości 5340 m n.p.m. przemieszczają się na wysokość 5800 m n.p.m., pokonując przewyższenie 460 metrów; wolą odpoczywać i regenerować siły, spędzając noc na niższej wysokości. Inni górnicy andyjscy pracują na zmiany, tzn. 7–10 dni na wysokości, a potem kilka dni odpoczynku na poziomie morza. Uznaje się, że granica 5490 m n.p.m. jest górną granicą wysokości, na jakiej może człowieka przebywać przez wiele miesięcy. Przykładem jest armia indyjska, która na tej wysokości przez wiele miesięcy strzegła granicy państwa z Chinami.

Już Inkowie przywiązywali dużą wagę do przestrzegania reguł, jakie rządzą przebywaniem człowieka na wysokości. Raport inkaski z 1557 roku mówi; „Indianie górscy z chłodnego kraju nie mogą się przenosić na ciepłe wybrzeże, gdyż grozi im to śmiercią; i odwrotnie – Indianie nizin nie mogą się wspinać na chłodne wyżyny” [5]. Inkowie już wtedy rozpoznawali, że

Indianie z gór, wracając na tereny nizinne, tracili niejako swoje naturalne zdolności do życia na wysokości. Inkowie, znając przytoczone tu fakty, konsekwentnie utrzymywali więc dwie armie, jedna służyła do walk na dużych wysokościach, a druga do walki na nizinach. Zdzisław Jan Ryn podaje, że: „Ludność Altiplano mogła kolonizować ziemie o tej samej temperaturze tj. o tej samej wysokości”. Ten zasób informacji czerpali Indianie z tradycji, przekazów i wielowiekowych obserwacji z przeszłości [5]. Również hiszpańscy konkwistadorzy podczas swoich podbojów dokonywali obserwacji, które znalazły odzwierciedlenie w opublikowanych i zachowanych zaleceniach księcia Esquilache (1621) dla swojego następcy, markiza Guadalcazaura. Wspomniany książę nakazywał, aby podbici mieszkańcy nie zmieniali swojego miejsca pobytu i służby u najeźdźców, jeśli wiązałoby się z przemieszczeniem się na inną wysokość w porównaniu z tą, na jakiej się urodzili i wychowali [3].

Uważa się, że człowiek nizin może się zaaklimatyzować – nie tracąc zdolności do podstawowych funkcji życiowych – do wysokości około 5400 m n.p.m., i to tylko na krótko. Alpiniści, przebywając na takiej wysokości, tracą około kilograma masy ciała tygodniowo. Stwierdza się również, że zdolność rozmnażania mieszkańców nizin zanika na ogół powyżej 4000 m n.p.m. Plemniki na tej wysokości stają się „leniwe”, mało aktywne, aby pokonać bariery, jakie stawia przed nimi komórka jajowa [6]. Z drugiej strony, można to wytłumaczyć prawdopodobnym brakiem energii z „akumulatorów”, jakimi są mitochondria w plemniku, wymagające dużych ilości tlenu. Duża wysokość nie ma wpływu na płodność żyjących tam kobiet, natomiast np. w okresie podbojów Inków przez Hiszpanów, w Andach, dzieci kobiet hiszpańskich umierały przy urodzeniu albo w ciągu pierwszych dwóch tygodni życia. Poronienia i porody przedwczesne oraz porody z wadami wrodzonymi częściej występują w terenach wysokogórskich. Pierwsze dziecko hiszpańskiego pochodzenia urodziło się po 53 latach od założenia miasta Patosi na wysokości 4000 m n.p.m. Dziecko to urodziło się w Wigilię Bożego Narodzenia 1598 roku, co zostało uznane za cud, przypisywany św. Mikołajowi Tolentino. Chłopiec skończył później studia na Uniwersytecie św. Marka w Limie [5]. Kobiety, które mieszkały na poziomie 5500 m n.p.m. z rodzinami w Andach, na czas porodu i kilka tygodni po narodzeniu dziecka przebywały na niższej wysokości. Noworodki urodzone przez Indianki zamieszkujące Andy są przeciętnie lżejsze i niższe w stosunku do dzieci urodzonych na poziomie morza. Indianie Keczua z rejonów górskich są również niżsi i lżejsi w porównaniu z Indianami zamieszkującymi obszary na poziomie morza. Problem braku potomstwa w początkach konkwisty rozwiązał się z czasem poprzez mieszanie się ludności tubylczej z Hiszpanami [5].

Przebywanie na dużych wysokościach, powyżej 3000 m n.p.m., przez dłuższy czas jest niezwykle trudne i uciążliwe. Główną przyczyną złego funkcjonowania w tych warunkach jest zmniejszona zawartość tlenu w powietrzu atmosferycznym oraz czynniki wpływające na prawidłowe funkcjonowanie człowieka, takie jak: zimno, odwodnienie i intensywne promieniowanie słoneczne. Dodatkowo przebywanie w środowisku wysokogórskim wiąże się z szeregiem czynników stresowych, do których człowiek chcący funkcjonować w tych warunkach musi się zaadaptować, zaaklimatyzować, czy też przejść proces adiustacji fizjologicznej.

Biologiczne podstawy adaptacji fizjologicznej człowieka do dużych wysokości

Bez względu na to, gdzie człowiek zamieszkuje, czy to będą wielkie aglomeracje miejskie typu Londyn, Nowy Jork, Meksyk, czy małe wioski Pigmejów, Buszmenów, nomadów czy ludów dalekich obszarów podbiegunowych, wszędzie tam, musi umieć realizować postulat zgodności adaptacyjnych swego organizmu i wymogów środowiska. Tam, gdzie występuje konflikt między wymogami życia i środowiska a możliwościami sprostania im przez organizm, możliwości organizmu muszą zostać zwiększone bądź musi zmienić się środowisko. Jest to absolutny warunek zachowania zdrowia i zdolności do różnych form działalności zawodowej, społecznej i innych. To również, absolutny warunek przetrwania [3]. Nie ulega wątpliwości, że cywilizacja, jaką zbudował człowiek, pozwala przetrwać praktycznie w każdych – nawet bardzo skrajnych – warunkach klimatyczno-geograficznych. Warunkiem jest to, czy poniesione koszty związane z zasiedlaniem danych obszarów, np. podbiegunowych, są zasadne z punktu widzenia ekonomicznego. Zazwyczaj człowiek wychodzi z założenia, że jeśli osiedlenie na tych terenach nie jest uzasadnione z punktu widzenia kosztów i zysków, to nie podejmuje takiego wyzwania. Powstają pytania, jakie są możliwości mechanizmów fizjologicznych, aby człowiek przystosował się do nowych okoliczności oraz jakie są granice takiego przystosowania bez ponoszenia kosztów związanych z zaburzeniami homeostazy fizjologicznej, z którymi wiążą się w tych warunkach zaburzenia zdrowia człowieka. Homeostaza jest niezbędną w organizmie, błędy w regulacji homeostatycznej prowadzą do chorób, a nawet śmierci organizmu w stosunkowo krótkim czasie. Zrozumienie mechanizmów regulacji homeostatycznej pozwala nam przewidzieć odpowiedź organizmu zarówno na normalne, jak i nienormalne warunki środowiska, w którym funkcjonuje.

Chcąc sprostać wymogom środowiska, w których człowiek egzystuje, muszą dokonać się zmiany w jego organizmie, albo przekształcić to środowisko, dostosowując je do swoich możliwości adaptacji fizjologicznej. Potencjał adaptacji człowieka do różnych warunków środowiska jest wynikiem jego fizjologii, a ta zaś jest efektem zmian na płaszczyźnie ontogenetycznej oraz filogenetycznej. Zakres możliwości adaptacji fizjologicznej do ekstremalnie różnych warunków środowiska przyrodniczo-geograficznego człowieka wynika z jego osiągnięć filogenetycznych, mechanizmu doboru naturalnego, który ukształtował dla populacji normę adaptacyjną. Wyznacza ona minimalną i maksymalną możliwą zmienność biologiczną populacji, a tym samym odzwierciedla minimalne i maksymalne możliwości fizjologicznych reakcji, jakimi charakteryzuje się dana populacja. Tak więc możliwości przystosowawcze poszczególnych osobników do skrajnych warunków środowiska (ciśnienia atmosferycznego, ciśnienia parcjalnego tlenu, wysokiej czy niskiej temperatury) są ograniczone pułką genetyczną. Populacje ludzkie pomimo setek lat przebywania na dużych wysokościach (Andy, Tybet) „nie wypracowały” stałych – będących wynikiem działania doboru naturalnego – cech genetycznych, świadczących o trwałym przystosowaniu się do warunków wysokogórskich. Potwierdzają to wyniki badań możliwości wysiłkowych różnych populacji, które mierzone były wartością pułapu tlenowego. Okazuje się, że nawet populacje na bardzo niskim poziomie cywilizacyjnym, jak np. prymitywne grupy afrykańskich Joruba, jeśli prowadziły nieaktywny tryb życia, to ich zdolności wysiłkowe, mierzone pułapem tlenowym, były podobne do populacji europejskich [3]. Mieszkańcy wysokich gór charakteryzują się z reguły dużą wydolnością tlenową. Świadczą o tym między innymi wyższe parametry kwasu mlekowego we krwi u mieszkańców nizin w porównaniu z Indianami andyjskimi w wysiłku maksymalnym [7]. Jednak u urodzonych na nizinach Tybetańczyków, którzy nie wychowywali się w warunkach wysokogórskich, ale ich rodzice pochodzili z terenów powyżej 3500 m n.p.m., wykazano takie samo stężenia kwasu mlekowego po wysiłku jak u mieszkańców nizin. Powyższe przykłady świadczą o tym, że możliwości adaptacyjne i wysiłkowe człowieka nie są uwarunkowane wyłącznie genetycznie [8]. Zwiększone możliwości adaptacji do tych skrajnych warunków oraz większa wydolność są w dużej mierze wynikiem uwarunkowań środowiskowych.

W biologii człowieka pojęcie adaptacji w powyższym ujęciu zostało doprecyzowane i określono je jako adaptabilność, czyli zjawisko morfofunkcjonalnych zmian organizmu człowieka w czasie trwania jego ontogenezy. Organizm w toku swojego rozwoju biologicznego dostosowuje się do środowiska, w którym żyje. Wszelkie potencjalnie lepsze fizjologiczne zmiany dostosowawcze u ludzi mieszkających w warunkach wysokogórskich są

wynikiem tego, że układy fizjologiczne (układ oddechowy, układ sercowo-naczyniowy) odpowiedzialne za sprawne działanie w warunkach wysokogórskich działają zdecydowanie lepiej niż u ludzi nizin, którzy rozwijając się na poziomie morza, dostosowywali się w toku swojej ontogenezy do zupełnie innych warunków środowiskowych (klimatycznych, geograficznych i przyrodniczych). W zależności od obszaru geograficznego, w którym rozwija się organizm, obserwujemy inną wielkość i kształt klatki piersiowej osób z terenów wysokogórskich (cylindryczne i beczkowate) niż z terenów nizinnych. Wiąże się z tym również szereg innych zmian morfologicznych i fizjologicznych, takich jak: liczba pęcherzyków płucnych, włókien mięśniowych, erytrocytów, wielkość i fizjologia serca i szereg innych zmian związanych z funkcjonowaniem układu krwionośnego, oddechowego i systemu mięśni oddechowych. Możemy powiedzieć, że ludzie nizin dostosowywali się w trakcie swojego życia do „środowiska mniej wymagającego” w porównaniu ze środowiskiem wysokogórskim. Potwierdzeniem tego zjawiska fizjologicznego jest fakt, że wraz z procesem biologicznego starzenia obserwuje się np. wśród starych Indian andyjskich objawy braku przystosowania do warunków, w których żyli całe swoje dotychczasowe życia. Jest to efekt zmian inwolucyjnych wszystkich układów fizjologicznych w związku z biologicznymi procesami starzenia. Ludzie ci zaczynają borykać się z podobnymi problemami adaptacyjnymi, z jakim spotykają się ludzie urodzeni i wychowani na nizinach.

Zjawisko biologicznej adaptacji oraz adaptabilności wyznacza możliwy zakres fizjologicznych reakcji dla osobnika. Możliwy zakres odwracalnych fizjologicznych reakcji związanych z adaptacją pojedynczego osobnika do warunków wysokogórskich nazywamy zmianami adiustacyjnymi lub aklimatyzacyjnymi. Znane wszystkim w potocznym znaczeniu pojęcie adaptacji oznacza proces dostosowywania się osobnika czy populacji do środowiska, sprzyjający jego przetrwaniu. Natomiast w fizjologii człowieka, w szczególności w fizjologii wysokogórskiej, pod pojęciem adaptacji rozumie się reakcję przystosowawczą (adiustację) organizmu czy jego układów, narządów, tkanek, jako odpowiedź na zmiany zachodzące w środowisku i wewnątrz organizmu. Zadaniem adaptacji fizjologicznej – adiustacji – jest więc przeciwdziałanie i lepsze znoszenie efektów zakłócających homeostazę [9]. Wszelkie zaburzenia homeostazy spowodowane czynnikami zewnętrznymi otaczającego środowiska mogą powodować dysfunkcję poszczególnych komórek, tkanek organów czy układów w organizmie człowieka. Jeśli mechanizmy odpowiedzialne w konkretnych warunkach środowiska wysokogórskiego nie spełniają prawidłowo swoich funkcji doprowadzają organizm do stanu z pogranicza zaburzeń homeostazy i nieprawidłowego jego funkcjonowania. Dalszą konsekwencją takiego zaburzonego stanu fi-

zjologicznego może być załamanie tychże układów fizjologicznych, a nie-
możliwość wyrównania zmian spowodowanych szkodliwymi czynnikami
środowiska doprowadza do choroby. Jeśli więc zjawisko adiustacji fizjolo-
gicznej nie przebiega prawidłowo, a odchylenia od normy spowodowane
przez działania skrajnych warunków środowiskowych nie są wyrównywa-
ne przez mechanizmy homeostatyczne, to z punktu widzenia patologii ta-
kiego zjawiska stan ten może doprowadzić do trwałego uszkodzenia - cho-
roby, a nawet śmierci.

Środowisko wysokogórskie, w zależności od warunków geograficzno-
-topograficznych, stanowi odrębny zespół czynników uszkadzających or-
ganizm ludzki. Urazowe czynniki środowiska wysokogórskiego to takie
czynniki, które prowadzą do zaburzenia homeostazy fizjologicznej, czyli
braku możliwości adiustacyjnych (aklimatyzacyjnych) w organizmie czło-
wieka. Są to również czynniki, na które w zależności od możliwości adiu-
stacyjnych, osobnik lepiej lub gorzej odpowiada swoimi reakcjami fizjolo-
gicznymi, dokonując wyrównania zmian homeostazy fizjologicznej. Do
takich czynników środowiska wysokogórskiego zalicza się:

- 1) warunki klimatyczno-geograficzne,
- 2) warunki atmosferyczne: temperatura, ciśnienie powietrza i ciśnienie
parcjalne tlenu, wilgotność atmosfery, wiatr, nasłonecznienie,
- 3) warunki mikrobiologiczne,
- 4) promieniowanie słoneczne i kosmiczne.

Czynniki socjologiczne i psychologiczne:

- 1) izolacja uczestników wypraw alpinistycznych od środowiska, w któ-
rym naturalnie przebywają,
- 2) przebywanie w odmiennej kulturze i tradycjach, odmiennym języku,
- 3) swoista atmosfera w zespole wyprawowym: osobowość poszczegól-
nych jego uczestników, motywacja do wspinaczki i inne [10].

W zespole wymienionych czynników urazowych dla zdrowia człowie-
ka, najistotniejsze dla zdrowia i możliwości adaptacyjnych są niskie ciśnie-
nie atmosferyczne oraz obniżona temperatura otoczenia.

Zagrożenia dla zdrowia człowieka wynikające ze zjawiska hipoksji wysokościowej w wysokich górach

Jednym z istotnych zagrożeń dla zdrowia człowieka w warunkach
wysokogórskich są te wynikające bezpośrednio z obniżonego ciśnienia at-
mosferycznego, a tym samym obniżonego ciśnienia parcjalnego tlenu na
organizm ludzki. Zjawisko obniżonego ciśnienia parcjalnego tlenu związa-
ne z obniżonym ciśnieniem atmosferycznym to zjawisko, które występuje

nie tylko w wysokich górach, ale również w warunkach tzw. niedotlenienia wysokościowego, będącego skutkiem przebywania na dużych wysokościach, niekoniecznie w wysokich górach. Mogą ujawniać się w wyniku gwałtownego przemieszczenia się człowieka samolotem na dużą wysokość, np. dekompresji, czyli obniżenia ciśnienia w kabinie pilotów czy na pokładzie samolotu pasażerskiego w wyniku awarii. Jeśli możliwe byłoby przeniesienia nas w chwili, kiedy czytamy ten tekst na poziom Mount Everest (8848 m n.p.m.), to w ciągu kilku sekund stracilibyśmy przytomność i zapadli w śpiączkę, po czym zmarli. Byłby to oczywiście efekt braku dostępności w tych warunkach tlenu, niezbędnego do życia. Gdybyśmy poddali się takiemu eksperymentowi, siedząc w wygodnym fotelu, to śmierć nastąpiłaby nieznacznie później niż np. podczas spaceru, kiedy poszczególne tkanki organizmu potrzebują zdecydowanie więcej tlenu niż w spoczynku organizmu.

Rozróżniamy kilka rodzajów hipoksji w zależności od mechanizmu jej rozwoju, jednak zawsze mamy do czynienia z obniżoną prężnością tlenu w organizmie. Wyróżnia się:

- 1) hipoksję hipoksyczną wywołaną obniżeniem prężności tlenu we wdychanym powietrzu (hipoksja wysokościowa - wysokogórska),
- 2) hipoksję hipoksemiczną powstającą w wyniku obniżenia prężności tlenu we krwi (niedokrwistość, zmiany wiązania O_2 przez hemoglobinę),
- 3) hipoksję krążeniową lub zastoinową wywołaną zmniejszonym przepływem krwi przez tkanki,
- 4) hipoksję cytotoksyczną powstającą przy dostatecznym dopływie do tkanek, który nie może być wykorzystany na skutek uszkodzenia komórkowych układów enzymatycznych [1].

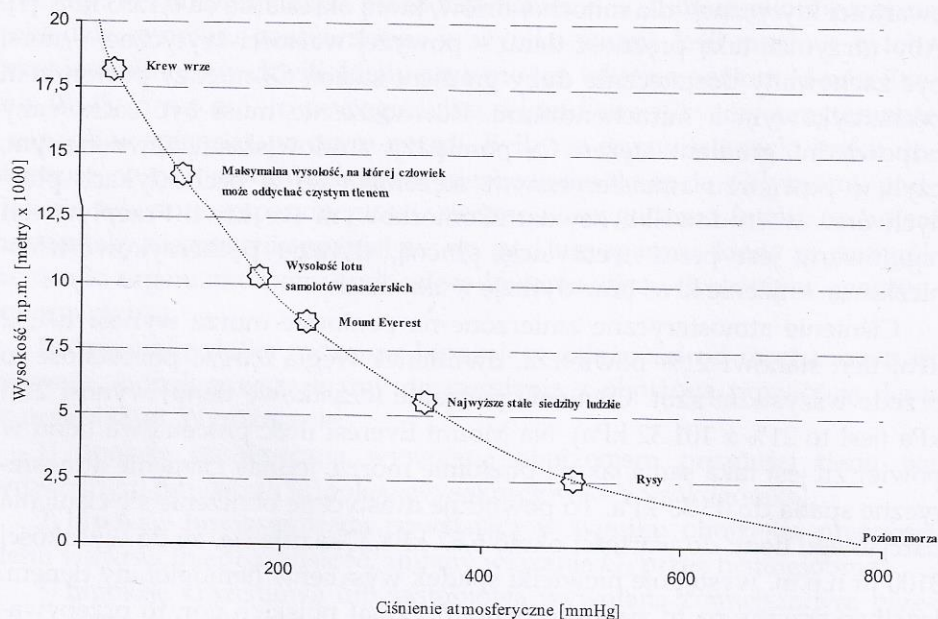
Hipoksja hipoksemiczna jako tzw. brak tlenu we krwi została opisana po raz pierwszy przez lekarza francuskiego Denisa Jourdanet w pierwszej połowie XIX wieku. Skutki braku tlenu we krwi lekarz ów powiązał z niektórymi rodzajami anemii i nazwał to zjawisko anoksemią [3].

Fizjologiczna prężność tlenu we krwi u człowieka utrzymuje się na poziomie 13,3 kPa. Prężność ta zmniejsza się wraz z trwaniem ontogenezy i spada do około 10 kPa w wieku 75 lat. Stwierdzono, że człowiek borykający się z przewlekłymi chorobami układu oddechowego oraz układu krążenia może się przystosować do mniejszego ciśnienia parcjalnego tlenu około 7,3 kPa. Pozwala mu to normalnie funkcjonować. Podobne mechanizmy przystosowawcze w dłuższym czasie występują w wysokich górach, gdzie w skrajnych przypadkach spotykanych wśród alpinistów i himalaistów obserwujemy dostosowanie się organizmów o dużej wydolności fizycznej do 4,67 kPa. Z reguły jednak organizm zachowuje względną zdolność do codziennej aktywności życiowej przy przeciętnej prężności tlenu około

7,3 kPa [1]. Krytyczną wartością w tkankach jest 4 kPa. Poniżej tej wartości tlen traci zdolność przechodzenia do mitochondriów, co powoduje zatrzymanie przemian energetycznych w komórkach. Funkcje życiowe komórek zostają zakłócone, jeżeli prężność tlenu w ich środowisku spadnie poniżej „wartości krytycznej” dla mitochondriów, którą określa się na 0,1333 kPa [1]. Aby utrzymać taką prężność tlenu – powyżej wartości krytycznej – musi być zachowany dostatecznie duży gradient stężeń O_2 między powietrzem pęcherzykowym a mitochondriami. Równocześnie musi być zachowany odpowiedni gradient stężeń O_2 pomiędzy środowiskiem zewnętrznym, czyli w powietrzu atmosferycznym, stężeniem O_2 w pęcherzykach płucnych oraz w środowisku zewnątrzkomórkowym we krwi. Przepływ ten regulowany jest przez wentylację płucną, dyfuzję pęcherzykowo-włośniczkową, krążenie krwi oraz dyfuzję w tkankach.

Ciśnienie atmosferyczne zmierzone na poziomie morza wynosi 101,32 kPa, tlen stanowi 21% powietrza, dwutlenek węgla 0,04%, pozostałość to przede wszystkim azot. Ciśnienie parcjalne (cząstkowe tlenu) wynosi 21,3 kPa (jest to 21% z 101,32 kPa). Na Mount Everest ilość procentowa tlenu w powietrzu jest taka sama jak na poziomie morza, jednak ciśnienie atmosferyczne spada do 33,33 kPa. To powoduje drastyczne obniżenie się ciśnienia parcjalnego tlenu do wartości około 6,67 kPa. Okazuje się, że do wysokości 3100 m n.p.m. występuje niewielki spadek wysycenia hemoglobiny tlenem. Jeżeli spojrzymy na to zjawisko przez pryzmat polskich gór, to przebywanie na wysokości Giewontu, czyli około 2000 m n.p.m. spowoduje, że pęcherzykowe ciśnienie parcjalne tlenu wynosi około 10,40 kPa, a wysycenie hemoglobiny nadal wynosi około 90%. W sytuacji spoczynku organizm nie powinien w tych warunkach odczuwać jakiegось dyskomfortu, jednak w warunkach umiarkowanej pracy będzie się to już objawiać problemami natury wydolnościowej [11]. Okazało się, że zależność zmian pomiędzy ciśnieniem atmosferycznym a ciśnieniem parcjalnym tlenu i dwutlenku węgla w płucach ludzi zaaklimatyzowanych wraz ze wzrostem wysokości jest liniowa do wysokości około 5500 m n.p.m. Powyżej tej wysokości zależność ta nie jest liniowa, gdyż zwiększona drastycznie wentylacja płuc w tych warunkach wydmuchuje większą niż normalnie ilość CO_2 , zwiększając możliwości pobierania tlenu w organizmie. Pamiętać należy, że w czasie oddychania, powietrze w jamie nosowej i ustnej jest wysycane parą wodną. Ciśnienie pary wodnej wynosi 6,27 kPa i nie zmienia się z wysokością, to powoduje, że para przyczynia się jeszcze bardziej do zmniejszenia ciśnienia parcjalnego tlenu w tkankach. Najniższe ciśnienie atmosferyczne, przy którym można utrzymać normalne stężenia tlenu w płucach to 13,33 kPa, można to osiągnąć oddychając czystym tlenem. Odpowiada to wysokości

10 400 m n.p.m. Możliwe jest przeżycie na wyższych wysokościach, jednak powyżej 12 200–13 700 m n.p.m. następuje utrata przytomności, a powyżej 18 900 m n.p.m. dochodzi do wrzenia krwi (rys.).



Zmiany ciśnienia atmosferycznego wraz z wysokością

Charakterystyka chorób, na które narażony jest człowiek przebywający w warunkach wysokogórskich

Choroba wysokogórska (wysokościowa)

Znana powszechnie choroba wysokogórska, to choroba związana z przebywaniem człowieka na dużych wysokościach. Objawy choroby wysokogórskiej są bezpośrednim wynikiem reakcji na zjawisko hipoksji wysokościowej. W związku z tym w dalszej części naszych rozważań będziemy traktować chorobę wysokogórską na równi z chorobą wysokościową, na którą narażeni są piloci samolotów wojskowych i pasażerskich, kosmonauci, piloci balonów czy pasażerowie samolotów pasażerskich. Nie zapomnijmy jednak, że wszyscy alpinści, himalaiści, czy też turyści amatorsko wspinający się na szczyty powyżej 3000 m n.p.m. są również bezpośrednio narażeni na skutki i objawy choroby wysokogórskiej (wysokościowej).

Choroba wysokogórska występuje przeciętnie u około 25% osób wchodzących na wysokość powyżej 2500 m n.p.m. i u 75% na wysokości 4500 m n.p.m. Około 40% ludzi zajmujących się trekkingiem i wspinaczką wysokogórską doświadcza choroby wysokogórskiej powyżej 4000 m n.p.m. [4, 12, 13]. Pierwsze objawy: bóle i zawroty głowy, drażliwość, osłabienie, uczucie zmęczenia, zaburzenie snu, zaburzenia łaknienia, rozpoczynają się w ciągu 8–48 godzin od szybkiego przemieszczenia się na dużą wysokość. Zwykle pierwsze objawy choroby wysokogórskiej trwają od 1 do 3 dni. Pierwsze wzmianki o wpływie dużych wysokości na człowieka podają Chińczycy z lat 37–32 p.n.e. w klasycznym tekście Ch'ien Han Shu z opisem podróży z Chin na tereny najprawdopodobniej obecnego Afganistanu. „I znowu przy przejściu przez Wielką Górę Bólu Głowy, Małą Górę Bólu Głowy, Czerwony Kraj oraz Zbocze Gorączki ludzie gorączkowali, ich ciała straciły barwę, gnębił ich ból głowy i wymioty. Wszystkie osły i bydło były w podobnym stanie” [4]. Sinolog Joseph Needham zasugerował, że to przekonało Chińczyków, aby nie ruszali się poza granice swojego kraju. Grecy uważali podobnie, zaburzenia w oddychaniu i brak tchu na szczycie Olimpu 2900 m n.p.m. traktowali jako wiadomość, że góra nie jest przeznaczona dla zwykłych śmiertelników.

Pierwszego dokładniejszego opisu choroby górskiej dokonał hiszpański jezuita i misjonarz Jose de Acosta, który przebywał w Peru w latach 1569–1589. Choroba opisana przez niego to *soroche*, nazwa rozpowszechniona w języku Indian Keczua – potomków Inków. Jest to najbardziej znana nazwa choroby górskiej w górskich rejonach Ameryki Południowej. W Andach spotkać można również nazwę *puna* (Boliwia i Chile) oraz *paramos* (Kolumbia). W rejonach azjatyckich nazywana jest *tuna*, *bis* lub *mundara*, w Himalajach *biszka-chaba*, co dokładnie znaczy choroba górska i jadowite powietrze. Góry Hindukusz mają nazwę od hindi – Hindus i kusz ten – zabijając, czyli góry, które zabijają tego, kto ośmieli się do nich wkraczać [4–6]. Jose de Acosta opisuje swoją przeprawę przez wysoki łańcuch górski zwany Pariacaca: „...kiedy wspiałem się na Escaleras, jak nazywają najwyższe miejsce tych gór, nadeszła mnie udręka tak śmiertelna, że byłem o krok od rzucenia się na ziemię z mego wierzchowca [...] miałem nudności i wymioty, że wydawało mi się, iż ducha wyzionę, ponieważ w ślad za jedzeniem i flegmą pojawiła się żółć, jedna żółta a druga zielona, aż zacząłem wymiotować krwią z powodu gwałtownych skurczów, jakie odczuwał żołądek. Myślę teraz, że gdyby to trwało dłużej, oznaczałoby śmierć, lecz nie trwało to więcej jak trzy lub cztery godziny, póki nie obniżyliśmy się i nie przybyliśmy do świątyni” [5].

Powyższe objawy przebywania w warunkach wysokogórskich związanych z obniżonym ciśnieniem parcjalnemu tlenu oraz brak możliwości fizjo-

logicznego wyrównania zmian spowodowanych w warunkach dużych wysokości prowadzą do niedotlenienia wysokościowego. Objawy tych zaburzeń mogą przybrać dwa główne rodzaje choroby wysokościowej: ostrą chorobę wysokościową i przewlekłą chorobę wysokościową tzw. chorobę Monge'a [2, 10]. W ostrej chorobie wysokościowej wyróżnia się: postać zamroczeniową oraz omdleniową. Inne postaci choroby wysokościowej to: a) choroba wysokościowa z obrzękiem płuc, b) choroba wysokościowa z obrzękiem mózgu, c) choroba wysokościowa z zaburzeniami wzroku, d) choroba wysokościowa z oddechem Cheyne'a-Stokesa, e) choroba wysokościowa z zaburzeniami równowagi wodno-elektrolitowej [14]. Z chorobą wysokościową związanych jest szereg dolegliwości i objawów, na które składają się: ból głowy, bezsenność, apatia, utrata koordynacji, opuchlizna wokół oczu i twarzy, kaszel, skrócenie oddechu, uczucie nacisku na piersi, nieregularny oddech, utrata apetytu, nudności, wymioty, zmniejszenie ilości wydalanego moczu, słabość, uczucie „ciężkich” nóg. Ciekawym objawem ze strony układu nerwowego jest niekiedy nadmierna egzaltacja i „wesołkowatość”.

Ostra choroba górską, jako konsekwencja przebywania człowieka na dużych wysokościach

Ostra choroba górską występuje już od wysokości 3000–4000 m n.p.m. i dotyczy osób nieprzystosowanych do warunków wysokogórskich oraz osób gwałtownie przeniesionych na dużą wysokość. Choroba ta trwa krótko, od kilku do kilkunastu dni. Objawia się spadkiem siły fizycznej, nagłym wzrostem męczliwości, niechęcią do wysiłków fizycznych i umysłowych. Objawom towarzyszą bóle i zawroty głowy, nudności, wymioty, zaburzenia oddechu, krwawienie z nosa, szum w głowie, rzadziej notuje się zaburzenia ostrości widzenia i wydzielania moczu. Ze strony układu nerwowego obserwujemy zaburzenia nastroju lub apatii, może występować podniecenie psychiczne, nadmierna senność, zaburzenie koordynacji ruchowej, osłabienie pamięci, czasami dezorientacja [10, 15–18]. Ludzie starsi są mniej podatni na objawy ostrej choroby wysokościowej [13, 19]. W zasadzie nie ma różnic w podatności na ostrą chorobę wysokogórską w zależności od płci, jednak niektóre prace świadczą o większej podatności na tę chorobę wśród kobiet [20–22].

Organizm ludzki narażony na wpływ nagłej dekompresji odczuwa ostre niedotlenienie wysokościowe. Interesującym zjawiskiem towarzyszącym temu jest tzw. czas rezerwowy, różny dla różnych osób, inaczej zwany również czasem efektywnej sprawności [23, 24]. W ostrym niedotlenieniu wysokościowym rozróżnia się czas w ciągu, którego zostaje zachowana

pełna sprawność czynności psychoruchowych i czas po upływie, którego występuje zupełna utrata świadomości (tab. 1).

Tabela 1
Czas rezerwy w zależności od wysokości i aktywności fizycznej [23]

Wysokość [m]	Czas rezerwy [s]	
	Umiarkowany wysiłek fizyczny	Pozycja siedząca spokojna
6700	300	600
7600	120	180
8500	60	90
9100	45	75
10700	30	45
12200	18	30
19900	12	12

Znane są przypadki, kiedy w kabinie pilotów dochodziło do jej rozhermetyzowania i piloci, którzy nie zakładali natychmiast masek tlenowych, tracili przytomność. Inne zjawisko związane z ostrym niedotlenieniem to „paradoks tlenowy” - okazuje się, że podczas podawania tlenu ludziom w stanie ostrej hipoksji może dochodzić przejściowo, do trwającego kilkanaście do kilkudziesięciu sekund, pogorszenia samopoczucia, a często i przejściowej utraty świadomości. Osoby wybierające się w podróż samolotem lub na wyprawy wysokogórskie, lub np. wjazd kolejką linową na wysokość powyżej 3000 m n.p.m. powinny liczyć się z innym zjawiskiem, niegroźnym dla zdrowia, jednak niemiłym w odczuciach - meteoryzmem. Gwałtowny spadek ciśnienia atmosferycznego może powodować gwałtowne rozprężania gazów w jamach ciała (jamie brzusznej, zatokach czołowych i zatokach obocznych nosa i innych), może to grozić ostrymi dolegliwościami bólowymi lub uszkodzeniem tkanki. W klimatyzowanych kabinach samolotów pasażerskich urządzenia pokładowe ze względów ekonomicznych utrzymują ciśnienie atmosferyczne odpowiadające wysokości około 1500 m n.p.m., dlatego też pewne niemiłe uczucia (ucisk i ból w uszach) pojawiające się podczas startu i lądowania samolotu są wynikiem zaburzeń w wyrównywaniu ciśnienia w organizmie w stosunku do ciśnienia atmosferycznego panującego na zewnątrz samolotu. Zdarza się również, że niektórzy pasażerowie linii lotniczych czy turyści korzystający z kolejek wysokogórskich doświadczają gwałtownego bólu chorego zęba. Przyczyną tych dolegliwości może być niewielkie obniżenie ciśnienia powietrza powodujące rozprężanie gazu w zamkniętej np. torbIELI zęba i ucisk na jego bogato unerwioną miążgę. Meteoryzm może objawiać się również jako ból wywołany rozprężaniem się powietrza i uciskiem na podrażnione tkanki w przypadku zapalenia ucha środkowego [3].

Ostra choroba wysokościowa poza opisanymi wcześniej objawami może przejawiać formę zamroczeniową, gdzie głównym objawem jest ból głowy. Ta postać choroby nie prowadzi do śmierci, jednak w razie braku odpowiednich działań, tzn. przeniesienia chorej osoby na niższą wysokość, może mieć bardzo ciężki przebieg. Inna postać – omdleniowa forma ostrej choroby wysokościowej charakteryzuje się często brakiem dodatkowych nieprzyjemnych odczuć. W tej postaci choroby mogą być zgłaszane uczucia gorąca, mroczki przed oczyma, szum w uszach. Postać ta jest o tyle groźna, że bez skonkretyzowanych nieprzyjemnych odczuć może skończyć się nawet śmiercią. Etiologia omawianego zaburzenia zdrowia ma swoje podłoże głównie w patofizjologii układu nerwowego [15, 25].

Przewlekła choroba wysokogórska, jako konsekwencja przebywania człowieka na dużych wysokościach

Przewlekła choroba górską została opisana po raz pierwszy przez Carlosa Monge'a w roku 1925, polega na niemożliwości aklimatyzacji w warunkach na wysokości powyżej 3600 m.n.p.m. Choroba związana jest ze wzrostem liczby krwinek czerwonych, nadciśnieniem w krążeniu płucnym i przerostem prawej komory serca. Objawy najczęściej odnotowywane to ból głowy, szum w uszach, mrowienie rąk, kaszel, ogólne zmęczenie, bezsenność, zaburzenia oddechu, krwioplucie, sinica wysiłkowa, spadek łaknienia oraz zaburzenia żołądkowo-jelitowe. Wyodrębnia się formę mózgową, neuroplegiczną, sercową, pokarmową oddechową i psychiczną. Choroba ta często kończy się śmiercią [6]. Monge zaobserwował, że u pewnych ludzi z obszarów wysokogórskich, którzy spędzili całe życie na dużej wysokości, rozwinęły się objawy charakterystyczne dla tej postaci choroby wysokościowej. Jednym z głównych objawów jest wysoki poziom hematokrytu, sięgający 80%, czego efektem są bóle i zawroty głowy, senność, chroniczne zmęczenie oraz niewydolność sercowa i podatność na udary. Charakterystyczna jest również siność warg i paznokci oraz maczugowate palce. Jest to efekt dużej ilości erytrocytów w naczyniach włosowatych, co zmniejsza przepływ krwi i dostarczania tlenu do dystalnych paliczek palców, zmieniając ich kształt. Objawy takie tłumaczy się brakiem aklimatyzacji, pomimo że ludzie ci urodzili się i wychowywali w tych wysokogórskich warunkach. Niektórzy badacze uważają, że krępa, beczkowata klatka piersiowa u Indian andyjskich to efekt adaptacji genetycznej, być może brak adaptacji to też pewnego rodzaju obciążenie genetyczne, które u tych ludzi ujawnia się pomimo ich stosunkowo młodego wieku. Jak wiemy, pewne objawy braku aklimatyzacji wysokogórskiej obserwujemy u mieszkańców wysokogórskich

terenów w okresie starczym. Choroba Monge'a to objaw braku możliwości adaptacyjnych u tych ludzi i jedynym rozwiązaniem dla jest zamieszkanie na nizinach.

Wysokościowy obrzęk płuc u człowieka, jako powikłanie choroby wysokościowej

W sytuacjach skrajnych może dochodzić w warunkach wysokogórskich do wysokościowego obrzęku płuc oraz do wysokościowego obrzęku mózgu. Są to skrajne powikłania ostrej choroby wysokogórskiej.

Wysokościowy obrzęk płuc jest jedną z najczęstszych przyczyn śmierci w wysokich górach, częściej chorują młodzi mężczyźni. Poza objawami ostrej choroby górskiej obserwuje się: duszność początkowo po wysiłku, potem nawet w spoczynku, kaszel (początkowo uporczywy i suchy, potem z wodnistą lub podbarwioną krwią wydzieliną), sinica świadcząca o problemach z dostarczeniem tlenu do tych tkanek (sine płytki paznokciowe, wargi), gorączka, wzrost tętna powyżej 100 uderzeń na minutę, wzrost liczby oddechów powyżej 20 na minutę w spoczynku. Stan chorego pogarsza się w miarę wysokości. Obrzęk płuc opisał po raz pierwszy Mosso w roku 1898, dotyczył lekarza Jacotte'a w 1891, który po zdobyciu Mont Blanc (4710 m n.p.m.) przebywał w schronisku Vallote'a (4362 m n.p.m.), gdzie w wyniku obrzęku płuc zmarł [10]. Obrzęk płuc jest najczęstszą przyczyną śmierci w wysokich górach. Mechanizm powstawania obrzęku płuc nie jest dokładnie poznany. Najprawdopodobniej jest wynikiem reakcji płucnych naczyń krwionośnych na niskie stężenia tlenu na dużej wysokości. Obniżenie ciśnienia parcjalnego tlenu powoduje skurcz naczyń krwionośnych płuc, a to powoduje wzrost ciśnienia krwi w krążeniu płucnym. Jest to dobry mechanizm w początkowym okresie narażenia organizmu na hipoksję, ponieważ globalnie zwiększa się ilość tlenu dopływającego do płuc. Dłużej trwająca taka sytuacja powoduje jednak przeciążenia prawej komory serca (tłoczącej krew do płuc). Obkurczanie naczyń krwionośnych nie jest równomierne i pojawiają się rejony, gdzie krew włośniczkowa dopływa do pęcherzyków płucnych oraz są miejsca, do których krew nie dopływa (zamknięte naczynia włosowate jako reakcja na brak tlenu, kierując krew w miejsca lepiej wentylowane). Taka sytuacja powoduje, że w miejscach zwężenia naczyń włosowatych w płucach następuje przesącz i gromadzenie się płynu w pęcherzykach płucnych albo między nimi. Płyn zalegający w pęcherzykach płucnych utrudnia wymianę gazową. Jeśli osobnik z objawami obrzęku płuc nie przemieści się na niższą wysokość i nie podda się odpowiedniemu leczeniu, to „tonie” we własnych płynach gromadzących się w płucach [3, 4, 14, 23].

Wysokościowy obrzęk mózgu u człowieka, jako powikłanie choroby wysokościowej

Wysokościowy obrzęk mózgu występuje u osób chorych na ostrą chorobę górską lub obrzęk płuc. Pogorszenie stanu zdrowia chorych może wskazywać na rozwijający się obrzęk mózgu. Objawy tej z reguły śmiertelnej choroby to ataksja, czyli beład i brak koordynacji ruchów, nudności i wymioty, zmiany zachowania, dezorientacja, halucynacje, drgawki, śpiączka [26, 27]. W razie wystąpienia śpiączki ryzyko utraty życia jest wysokie, około 60% osób umiera [23]. Postępujący obrzęk mózgu powoduje często upośledzenie procesów myślowych oraz problemy neurologiczne. Poza ataksją i halucynacjami mogą pojawić się porażenia mięśni po jednej stronie ciała. Obrzęk mózgu powstaje na skutek gromadzenie się płynów w tkance mózgowej. Mechanizm powstawania obrzęku mózgu jest podobny do opisanego wcześniej mechanizmu obrzęku płuc. W rezultacie mózg puchnie wewnątrz sztywnej puszkii mózgowej [28]. Doprowadza to niekiedy nawet do silnego wypchnięcia gałek ocznych poza oczodoły.

Innymi zaburzeniami związanymi z ostrą chorobą wysokościową są wspomniane wcześniej zaburzenia wzroku, objawiające się zmianami w subiektywnych odbiorze wrażeń wzrokowych oraz choroba wysokościowa z oddechem Cheyne'a-Stokesa. Bezpośrednią przyczyną tej drugiej dolegliwości jest zjawisko hiperwentylacji zachodzące w warunkach hipoksji i związane z tym zjawisko hipokapnii. Powoduje to zaburzenie w procesie regulacji procesów oddechowych, prowadząc początkowo do głębokich ruchów oddechowych, które stopniowo stają się płytsze i wreszcie dochodzi do bezdechu, trwającego od 6-10 sekund. W warunkach hipoksji dochodzi również do zaburzenia regulacji równowagi bilansu wodnego oraz bilansu sodowego, potasowego i wapniowego, co powoduje odmianę choroby wysokościowej z zaburzeniami gospodarki wodno-elektrolitowej.

Reakcje fizjologiczne u człowieka w warunkach hipoksji wysokościowej

Nawiązując do biologicznych podstaw adaptacji fizjologicznej człowieka do dużych wysokości, przypomnijmy, że odwracalne reakcje fizjologiczne - adiustacje - u człowieka oraz zakres tychże zmian są wynikiem procesów adaptacyjnych w ujęciu filogenetycznym i procesów adaptabilnych w ujęciu ontogenetycznym. Omawiając choroby, na jakie narażony jest człowiek przebywający w wysokich górach, wskazano, że choroby te to

efekt braku trwałych zdolności przystosowawczych organizmu człowieka do przebywania przez dłuższy czas w warunkach hipoksji wysokościowej. Organizm człowieka poprzez uruchamianie swoich mechanizmów homeostatycznych stara się wszelkie niekorzystne wpływy środowiska niwelować. Ogólnie wyodrębnia się trzy podstawowe, wynikające z czasu oddziaływania hipoksji reakcje fizjologiczne przystosowujące organizm człowieka do warunków hipoksji wysokościowej. Wyróżnia się:

1) doraźne (ostre) przystosowanie do hipoksji, które odnosi się do reakcji organizmu zachodzących tuż po przeniesieniu się na dużą wysokość;

2) aklimatyzacja wysokościowa, czyli stopniowe reakcje organizmu związane z coraz dłuższym czasem przebywania na dużych wysokościach; pełna aklimatyzacja do wysokości 2300 m n.p.m. następuje po około 2 tygodniach pobytu na tej wysokości, natomiast wspinanie się na wyższe wysokości to tydzień na każde 610 metrów [24]. Wśród amatorskich uczestników wypraw trekkingowych sądzi się, że dobra aklimatyzacja, to pokonywanie w ciągu doby przewyższenia maksymalnie 300 m, przy czym po osiągnięciu takiej wysokości w ciągu dnia na spoczynek należy udać się na niższą wysokość;

3) trwała adaptacja do środowiska wysokogórskiego, która – jak wiemy – w wypadku człowieka nie zachodzi, natomiast wiadomo, że występuje u niektórych gatunków zwierząt.

Fizjologiczna reakcja adaptacyjna organizmu w warunkach hipoksji jest wysoce zróżnicowana indywidualnie. Ogólnie uważa się, że adaptacja do hipoksji hipoksycznej zależy od wieku, wyposażenia genetycznego oraz stanu wytrenowania. Okazuje się, że łatwiej aklimatyzują się osoby, które w przeszłości przebywały na dużych wysokościach. Jest to najprawdopodobniej wynik obniżenia się wrażliwości ich chemoreceptorów na niedotlenienie. Również osoby starsze łatwiej się aklimatyzują na dużych wysokościach niż osoby młodsze [13, 19–22]. Podczas pracy w warunkach hipoksji kobiety cechuje większa efektywność procesów beztlenowych oraz ich wytrzymałość jest wyższa w porównaniu z mężczyznami [24].

Zakres reakcji fizjologicznych związanych z adaptacją do hipoksji wysokościowej oraz możliwości kompensacyjne organizmu przebywającego w warunkach wysokogórskich zależą poza takimi czynnikami, jak: wiek, uwarunkowania genetyczne, stopień wytrenowania oraz płeć, a przede wszystkim od czasu trwania ekspozycji organizmu na niedotlenienie. Wszelkie zmiany zachodzące w organizmie człowieka będące bezpośrednim skutkiem braku tlenu w organizmie obejmują głównie zmiany w fizjologii układu oddechowego, układu krwionośnego, krążącej krwi oraz układu nerwowego. W mniejszym stopniu dotyczą zmian w układzie mięśniowym oraz endokrynologicznym.

Szybkie przemieszczenie z poziomu morza na poziom 3000 m n.p.m. bez niezbędnego okresu adaptacji u większości osób powoduje silne objawy ostrej choroby wysokogórskiej. Przy gwałtownej zmianie ciśnienia parcjalnego tlenu dochodzi do wzrostu ciśnienia śródczaszkowego, ucisku nadmiaru płynu na struktury mózgu. Prowadzi to również do wzrostu ciśnienia w naczyniach tętniczych płuc, zmian w krążeniu krwi, objawiających się przede wszystkim nierównomiernym, nieprawidłowym, rozdziałem krwi w układzie krwionośnym. Doprowadza to do zatrzymywania płynów w organizmie i pojawiają się obrzęki, szczególnie widoczne na twarzy [24, 29–30]. Stopniowa aklimatyzacja do warunków wysokogórskich jest najlepszym sposobem na uniknięcie objawów choroby wysokogórskiej. Dlatego też, wspinając się w wysokie góry, kolejne przewyższenia należy osiągać stopniowo, rozkładając je w czasie. Niezależnie od indywidualnej podatności na chorobę wysokogórską, po osiągnięciu 3000 m n.p.m. powinno się pokonywać przewyższenie 300 m, z jednodniowych odpoczynkiem co 2–3 dni lub pokonaniu 1000 m [17, 31]. Osoby chcące wspinać się szybciej nie powinny przekraczać 600 m przewyższenia na dzień [30–32].

Zwiększenie czynności oddechowej – hiperwentylacja (zarówno zwiększenie częstości oddechów, jak i ich głębokości) jest jednym z pierwszych reakcji organizmu na obniżenie ciśnienia parcjalnego tlenu w warunkach hipoksji. Wzmoczona wentylacja prowadzi do zwiększenia ciśnienia parcjalnego w pęcherzykach płucnych. Zjawisko hiperwentylacji spowodowane jest podrażnieniem chemoreceptorów obwodowych w łuku aorty i kłębkach szyjnych oraz pobudzeniem ośrodka oddechowego w rdzeniu przedłużonym. Hiperwentylacja to wzrost wydalania dwutlenku węgla z płuc, co wywołuje alkalozę oddechową, czyli zaburzenia homeostazy kwasowo-zasadowej w organizmie człowieka. W czasie trwającej hipoksji, pomimo hiperwentylacji z czasem następuje zmniejszenie ciśnienia parcjalnego tlenu w pęcherzykach płucnych oraz we krwi tętniczej i żyłnej.

Równocześnie ze zmianami w układzie oddechowym, drugim układem, który stara się skompensować brak tlenu w organizmie jest wzrost przepływu krwi. W początkowym okresie aklimatyzacji wrasta częstość skurczów serca, przy niezmienionej – w początkowym okresie ekspozycji na hipoksję – objętości wyrzutowej. W miarę trwania procesów adaptacyjnych i zwiększającego się czasu przebywania na wysokości częstość uderzeń serca na minutę spada, jednak nigdy do wartości znad poziomu morza czy wartości wyjściowej. Kolejnym etapem związanym z pracą serca w warunkach hipoksji jest zmniejszenie objętości wyrzutowej. Zmiana wielkości objętości wyrzutowej jest bezpośrednim wynikiem braku tlenu w komórkach mięśnia serca. Konsekwencją tego procesu jest spadek objętości minutowej serca, będącej iloczynem liczby uderzeń serca na minutę oraz objęto-

ści wyrzutowej serca. Serce wraz z wysokością zmniejsza więc swoje możliwości jako pompa ssąco-tłocząca. Na średnich wysokościach obserwuje się zmniejszenie maksymalnej częstości skurczów, a na dużych wysokościach, 5000-6000 m n.p.m. obserwujemy spadek maksymalnej częstości serca, np. ze 190 do 130 uderzeń na minutę [24].

Jak już wspomniano, pod wpływem hipoksji obserwuje się zmiany objętości oraz sposobu dostarczania krwi do różnych części organizmu człowieka. Obserwuje się zmniejszenie przepływu krwi przez skórę, przewód pokarmowy i nerki. Jest to spowodowane przemieszczeniem krwi do naczyń krwionośnych zaopatrujących mózg, serce oraz mięśnie szkieletowe. Ciekawostką jest fakt, że pomimo takiej dystrybucji krwi zanotowano (podczas 10-dniowego pobytu na wysokości 3100 m n.p.m) zmniejszenie przepływu wieńcowego w spoczynku o 32%, przy jednoczesnym zwiększeniu poboru tlenu z tętnic wieńcowych [24]. W sercu obserwujemy zmniejszenie wydolności, zwiększenie częstości skurczów, utylizacji glukozy oraz wzrost stężenia mleczanów i przyspieszenie pozbywania się rezerw energetycznych.

Zasadniczym zmianom fizjologicznym – związanym z hipoksją – podlega krew; oceniamy to na podstawie parametrów morfologicznych. Zmiany te prowadzą do zwiększenia tzw. pojemności tlenowej, czyli możliwości związania i przeniesienia tlenu przez każde jej 100 ml. Od wysokości 2000 m n.p.m. hipoksja jest bezpośrednim czynnikiem stymulującym do wydzielania erytropoetyny [33–37]. Efektem jej działalności jest zwiększenie liczby erytrocytów i stężenia hemoglobiny, tym samym wyższy będzie wskaźnik hematokrytowy. W warunkach przewlekłej choroby wysokogórskiej wartość hematokrytu może osiągać nawet 80%. W samych erytrocytach po kilku dniach pobytu na wysokości obserwuje się wzrost stężenia 2,3-difosfoglicerynianu, co w badaniach obrazuje przesunięta krzywa dysocjacji hemoglobiny w prawo, a w organizmie przejawia się to łatwiejszym oddawaniem tlenu w tkankach [38]. Opisane zjawisko nie ma istotnego wpływu na zwiększenie zaopatrzenia w tlen tkanek i mięśni powyżej wysokości 3500 m n.p.m. W krążącej krwi pod wpływem kilkudniowej hipoksji dochodzi również do zwiększenia stężenia fibrynogenu i osoczowych czynników krzepnięcia krwi (VI i VII) oraz czynnika płytkowego. Ponadto wzrasta stężenie immunoglobulin: IgA, IgG i IgM. IgM i IgG agregują płytki, co przy już zwiększonej lepkości krwi (podwyższony hematokryt) może powodować powstawanie zakrzepów w płucach, śledzionie i naczyniach żylnych [24].

Hipoksja wysokogórska (wysokościowa) prowadzi w organizmie do szeregu zmian o charakterze metabolicznym. Wraz ze wzrostem wysokości obserwuje się większy udział procesów beztlenowych w pozyskiwaniu energii przez organizm. Relacje pomiędzy udziałem procesów tlenowych

i beztlenowych są uzależnione od wysokości, ale również od intensywności prowadzonych na dużej wysokości wysiłków, jednak z racji podejmowanego tematu nie będą tutaj szerzej opisane. Warto zaznaczyć, że na dużej wysokości obserwuje się spadek aktywności enzymów przemian tlenowych – syntazy cytrynianowej, dehydrogenazy jabłczanowej, dehydrogenazy 3-hydroksyacylo-CoA, brak natomiast zmian w aktywności głównego enzymu glikolizy, jakim jest fosfofruktokinaza [24, 39].

Istotnymi zmianami natury fizjologicznej występujące podczas uprawiania turystyki wysokogórskiej są zmiany w funkcjonowaniu układu pokarmowego. Wraz z wysokością obserwuje się stopniowy spadek apetytu oraz ilości spożywanych kalorii. Prowadzi to do spadku masy ciała (szczególnie spadku ilości tkanki tłuszczowej) oraz ujemnego bilansu azotowego. Ostra hipoksja, zmniejszając przepływ krwi przez jelita, może powodować przenikanie do krążenia endotoksyn. Toksyny te mogą wywoływać niekorzystne objawy, np. wstrząs. Długotrwałe przybywanie na wysokościach powyżej 5000 m n.p.m powoduje spadek masy ciała, ponieważ niedobór tlenu oraz substancji odżywczych na skutek nieprawidłowego krążenia krwi powoduje obumieranie kosmków jelitowych.

Pod wpływem hipoksji obserwujemy zmiany w wydzielaniu hormonów. Zwiększa się wydzielanie wazopresyny, wzrostu, kortyzolu, tyroksyny oraz insuliny i adrenaliny, spada natomiast sekrecja aldosteronu i noradrenaliny [1, 7, 24].

Zaburzenie zdrowotne ze strony układu nerwowego - zaburzenia psychiczne

Mówiąc o zagrożeniach dla zdrowia człowieka w warunkach wysokogórskich, nie sposób pominąć zmian, jakim podlega układ nerwowy. Jest on najbardziej wrażliwy na brak tlenu. Zmiany, jakie odnotowujemy z reguły po przekroczeniu 3000 m n.p.m., to zakłócenia w resyntezie rodopsyny w siatkówce i upośledzenie widzenia w ciemności, gorsze rozróżnianie wysokich i niskich tonów. Zdecydowanie gorsze wyniki testów psychologicznych i psychomotorycznych osiągane są w ciągu zaledwie kilku minut ekspozycji na warunki hipoksji na wysokości 4500–5000 m n.p.m. [1]. Jednym z istotnych zaburzeń, świadczącym o braku przystosowania do hipoksji są zaburzenia psychiczne.

Zaburzenia psychiczne, na jakie narażeni są alpinieści oraz nieprzygotowani lub niedoświadczeni turyści wysokogórscy, wiąże się z niedotlenieniem mózgu. Osoby przebywające na wyprawach wysokogórskich powyżej 5000 m n.p.m. bardzo często doznawali omamów wzrokowo-słuchowych,

urojeń prześladowczych, popadali w stany głębokich apatii lub depresji psychicznej, a często tracili przytomność na wiele godzin. Bardzo często takie stany przyczyniają się do niepowodzenia wyprawy, śmierci uczestnika lub uczestników wyprawy. Zaburzenia psychiczne są bardzo różnorodne i zależne są od wysokości. W strefie małych wysokości (1500–2500 m n.p.m.) zaobserwowano podniecenie lub zubożenie emocjonalne. Podniecenie emocjonalne objawia się zwiększonym napięciem psychicznym, lekko wzmożonym nastrojem, zwiększonym tempem myślenia, zniecierpliwieniem oraz drażliwością. Natomiast zubożenie emocjonalne charakteryzuje się znużeniem, męczliwością, sennością, zubożeniem i spadkiem kondycji fizycznej. W strefie średniej (2500–5500 m n.p.m.) obserwuje się zaburzenia psychiczne typu: apatyczno-depresyjnego oraz euforyczno-impulsywnego. Objawy apatyczno-depresyjne to apatia i brak chęci do aktywności fizycznej, niemożność poruszania się, ociężałość, obojętność oraz przygnębienie. Inne przejawy tego stanu to: znużenia psychiczne, zwężenie zainteresowań, powolność ruchów, ospałość, zwolnienie tempa myślenia oraz szereg dolegliwości somatycznych charakterystycznych dla choroby wysokogórskiej. Zespół euforyczno-impulsywny może charakteryzować się podwyższonym nastrojem w połączeniu z euforią, uczucie nieumotywowanego szczęścia, wzmożenie napędu psychoruchowego, wykonywanie zbędnych czynności, drażliwość, wzrost napięcia emocjonalnego, wybuchowość, skłonność do popadania w konflikt oraz niekiedy bezprzedmiotowy lęk. W strefie dużych wysokości (5500–7500 m n.p.m.) obserwuje się zjawiska opisywane jako zespół psychoorganiczny bez objawów psychotycznych i zespół psychoorganiczny z powikłaniami psychotycznymi. Objawy, jakie zaobserwowano u osób przebywających na tych wysokościach to: ogólny znaczny spadek aktywności ruchowej, nieporadność w zachowaniu, zaburzenia orientacji w miejscu i sytuacji, obniżenie krytycyzmu, chwiejność nastroju, zaburzenia pamięci i świadomości, zaburzenia koordynacji wzrokowo-ruchowej, równowagi oraz zwężenie i osłabienie percepcji bodźców z otoczenia. Z punktu oceny intelektu zanotowano spadek sprawności i precyzji myślenia oraz trudności poprawnego wnioskowania. W tych stanach zaburzeń opisywano np. przypadki widzenia przez kilka dni śniegu w kolorach czerwonym i pomarańczowym, utratę równowagi oraz wyraźne zaburzenia świadomości [10].

Za opisane zmiany psychopatologiczne odpowiedzialne jest długotrwałe niedotlenienie, jednak różnorodność tych zaburzeń jest olbrzymia i bardzo zróżnicowana osobniczo. Z reguły w obrazie przeważają zaburzenia nastroju, pamięci, orientacji oraz świadomości. Takie objawy przemawiają za zaburzeniami związanymi z działalnością kory mózgowej [5, 6, 10, 40]. Potwierdzeniem tego jest fakt ustępowania bardzo poważnych zaburzeń

natury psychopatologicznej powstałych pod wpływem hipoksji, po zastosowaniu aparatury tlenowej albo sprowadzeniu alpinisty czy turysty na niższą wysokość. Jak różne mogą być zaburzenie zachowania oraz postrzeganie tych zachowań przedstawia poniższy opis relacji z turystycznej wyprawy w góry Kaukazu.

Trzy osoby, dwaj mężczyźni i jedna kobieta, postanowiły zdobyć najwyższy szczyt Kaukazu Elbrus położony na wysokości 5643 m n.p.m. Po osiągnięciu wysokości 4600 m n.p.m (okolice Skał Pastuchowa), grupa zakłada obóz, z którego postanawiają wczesnym rankiem zaatakować szczyt. Obaj mężczyźni mieli już za sobą pobyt na podobnych wysokościach, ogólnie wszyscy charakteryzowali się dobrym przygotowaniem kondycyjnym. Jeden z mężczyzn skarżył się na lekkie bóle głowy, drugi z nich maratończyk z kilkukrotnym doświadczeniem wysokogórkim powyżej 3000 m n.p.m., nie ujawniał żadnych dotkliwych objawów i czuł się najlepiej z całej grupy. Kobieta bez doświadczenia wysokogórkiego, miała dobrą kondycję fizyczną, jednak wcześniej na niższych wysokościach ujawniły się u niej objawy choroby wysokogórkowej, silne bóle głowy oraz wymioty. Wspinaczka przebiegała bardzo sprawnie do wysokości około 5300 m n.p.m. Na tej wysokości członkowie wyprawy muszą podjąć decyzję, czy iść dalej. Kobieta decyduje się poczekać i rezygnuje z dalszej wspinaczki, obaj mężczyźni decydują, że idą dalej. W tym momencie mężczyzna, który do tej pory nie miał żadnych dolegliwości, zaczyna przejawiać dziwne zachowanie, zdejmuje plecak, zabiera do kieszeni kurtki batony energetyczne, a pod kurtkę wkłada mały termos z herbatą. Drugi mężczyzna czuje się dobrze i dziwi się takiemu zachowaniu, sam zgodnie z ustaleniami podjętymi na niższej wysokości zabiera plecak odpowiednio zaopatrzony w sprzęt potrzebny do przetrwania w warunkach wysokogórkich do 3 dni. Kobieta zostaje, a mężczyźni ruszają do góry, po pewnym jednak czasie mężczyzna bez plecaka wycofuje się i mówi, że wraca do obozu. Mężczyzna, który decyduje się samodzielnie podjąć wspinaczkę, dopiero po powrocie do obozu bazowego dowiaduje się, że jego kolega w chwili wahań i podejmowania decyzji walczył z omamami wzrokowymi i słuchowymi. Widział na „jawie” i „rozmawiał” z koleżanką z pracy oraz swoją matką. Dodatkowo relacjonuje, że sytuacja, w jakiej się znalazł na wysokości 5300 m n.p.m. zupełnie go zaskoczyła, twierdzi, że poza halucynacjami czuł, że nie panuje nad swoimi reakcjami i czynnościami, szczególnie uciążliwe były – dosyć częste w górach – wkładanie i wyjmowanie potrzebnych rzeczy z plecaka, mówił, że „przypominało to jakiś trans”. Walka, jaką toczył we własnej głowie, była znana tylko jemu, postronny obserwator, jakim był drugi mężczyzna, odbierał to tylko jako chwilowe zawahanie w podejmowaniu decyzji. Oceniając tę sytuację, można powiedzieć, że zwyciężył ra-

jonalizm i siła umysłu tego mężczyzny. Można sobie tylko wyobrazić, co mogłoby się wydarzyć na większej wysokości, gdyby zaburzenia związane z omamami wzrokowo-słuchowymi zaczęły postępować.

Zjawisko hipotermii a fizjologiczne mechanizmy adiustacji u człowieka

Ze zjawiskiem hipotermii mamy do czynienia wówczas, gdy temperatura ciała spada poniżej 35°C. Jest ona najczęściej skutkiem działania zimnego powietrza lub wody na organizm ludzki. Ogólnie u człowieka możemy wyodrębnić:

1) hipotermię przypadkową, która występuje przede wszystkim u ludzi w podeszłym wieku, charakteryzujących się zmniejszoną sprawnością układu krążenia i jego kontroli przez współczulną część układu autonomicznego, również osoby starsze mają mniejszą zdolność percepcji zmian temperatury otoczenia;

2) hipotermię spowodowaną przebywaniem w zimnej wodzie (np. w wyniku katastrofy samolotu lub statku), utrata ciepła przez organizm w wodzie jest znaczna, gdyż przewodnictwo cieplne wody jest 25 razy większe niż powietrza, osoby o większej podskórnej tkance tłuszczowej wytracają ciepło znacznie wolniej niż osoby jej pozbawione;

3) hipotermia górską, często nazywana hipotermią z wyczerpania, spowodowana długotrwałą ekspozycją na zimno podczas wędrówek i wspinaczek, na to nakłada się najczęściej głód, odwodnienie, co znacznie przyspiesza wychłodzenie organizmu.

Gdy temperatura ciała spada poniżej 25°C, istnieje ryzyko śmierci, kolejne stadia zmian pod wpływem hipotermii przedstawiono poniżej [1, 11].

Obniżenie temperatury wewnętrznej	Stadia rozwoju hipotermii – objawy
do 36°C	brak stymulacji reakcji metabolicznych (np. sen)
do 35°C	silne drżenie mięśniowe, stwierdza się często hipoglikemię, z czasem następuje zahamowanie drżenia, pogorszenie precyzji ruchów
do 34–33°C	powoduje stopniowe zmniejszenie precyzji ruchów, zaburzenia świadomości, brak czucia, zaburzenia wzroku
do 32–31°C	u niektórych osób utrata świadomości, brak czucia i zaburzenia świadomości

do 31–30°C	częstość skurczów serca oraz ciśnienie tętnicze krwi ulega obniżeniu
do 30°C	spowolnienie rytmu zatokowego, wzrost pobudliwości mięśnia sercowego, różnego rodzaju arytmia serca
poniżej 30°C	brak zdolność wytwarzania i zatrzymywania ciepła człowiek staje się poikilotermiczny
do 28–25°C	migotania komór – bezpośrednia najczęstsza przyczyna śmierci

Wychłodzenie organizmu może prowadzić do odmrożeń oraz odmroźnicy i stopy okopowej. Temperatura powietrza obniża się o 1°C na każde 100 m zwiększania się wysokości nad poziomem morza. Z oczywistych więc powodów wysokie górskie szczyty są zawsze spowite śniegiem i lodem i współzawodniczą z rejonami biegunowymi o miano najzimniejszych zakątków ziemi. Na szczycie Mount Everest temperatura prawie zawsze wynosi poniżej -40°C.

Tabela 2

Prędkość wiatru a odczuwalne temperatury otoczenie oraz zagrożenia dla człowieka [11]

Prędkość wiatru [km/godz.]	Rzeczywisty odczyt termometru [°C]						
	-4	-10	-15	-21	-26	-32	-38
	Równoważnik temperatury [°C]						
Cisza	-4	-10	-15	-21	-26	-32	-38
8	-5	-11	-17	-23	-29	-35	-40
16	-10	-16	-23	-30	-37	-45	-50
24	-12	-20	-27	-35	-42	-50	-57
32	-14	-22	-30	-38	-46	-54	-61
40	-15	-23	-32	-40	-48	-56	-65
48	-16	-25	-33	-42	-50	-59	-67
56	-17	-26	-34	-43	-51	-60	-69
64	-18	-26	-35	-44	-53	-61	-70
Prędkość wiatru większa niż 64 km/godz. ma już mały dodatkowy wpływ	Małe niebezpieczeństwo (dla osób odpowiednio ubranych). Maksymalne niebezpieczeństwo przy zaburzonym odczuwaniu zimna				Wzrastające niebezpieczeństwo. Niebezpieczeństwo odmrożeń odsłoniętych części ciała		

Ekstremalne temperatury wnętrza ciała, przy których możliwe jest przeżycie człowieka, mieszczą się w granicach 24–45,6°C. Śmierć następuje zazwyczaj wówczas, gdy temperatura spadnie poniżej 27°C bądź wzrośnie powyżej 42°C [1, 2]. Dla lekko ubranego człowieka przy wilgotności 50%

temperatura termoneutralna wynosi 25–26°C, dla rozebranego człowieka 28°C. Nagi człowiek marznie, kiedy temperatura otoczenia spadnie poniżej 25°C i jeśli nie podejmie się środków zaradczych, uruchamiany jest szereg reakcji fizjologicznych, które mają zapobiec wychłodzeniu. Wiatr zdecydowanie zaostrza działanie zimna i przyspiesza utratę ciepła, ponieważ usuwa powierzchniową warstwę ciepłego powietrza, zastępując je zimnym. W nieruchomym powietrzu o temperaturze -29°C dobrze ubranemu człowiekowi praktycznie nic nie grozi, jeśli natomiast wieje wiatr o prędkości 16 km/godz., to powoduje to obniżenie się temperatury odczuwalnej do -44°C i skóra zamara w ciągu 1–2 minut. Wzrost prędkości wiatru do 40 km/godz., powoduje spadek temperatury odczuwalnej do -66°C. Zagrożenie dla organizmu jest bardzo poważne, ponieważ w tej temperaturze ciało zamara w ciągu 30 sekund. Wychłodzenie wiatrem więc może spowodować, że już w temperaturze 0°C wystąpią odmrożenia. Odczuwalne temperatury powietrza w zależności od siły wiatru przedstawiono w tabeli 2 [1, 3, 41].

Zagrożenia dla zdrowia człowieka wynikające z niskich temperatur w warunkach wysokogórskich

Ze względu na stopień reakcji fizjologicznych i zmian w organizmie pod wpływem zimna wyodrębnia się następujące rodzaje hipotermii:

1) umiarkowana (32–35°C) – upośledzenie funkcjonowania ośrodkowego układu nerwowego, przyspieszenie przemiany metabolicznej, zwolnienie tętna, uruchomienie termogenezy drżeniowej, dreszcze zwiększają przemianę materii i jednocześnie wzrasta zapotrzebowanie na tlen;

2) średnia (30–32°C) – głębsze upośledzenie funkcji układu nerwowego, zaburzenia rytmu pracy serca, obkurczanie naczyń obwodowych, brak możliwości powrotu organizmu do normalnej temperatury;

3) głęboka (poniżej 30°C) – śpiączka, zanikanie odruchów życiowych, spadek stymulacji oddechowej, sztywność mięśni, migotanie komór [23].

Hipotermia może powodować: (1) odmrożenia, (2) urazy nieodmrożeniowe: odmrozina (pernio), stopa okopowa (zanurzeniowa).

Odmrożenie jest wynikiem oddziaływania niskiej temperatury poniżej 0°C na powierzchnię ciała. Powstałe kryształki lodu uszkodzają strukturę komórek i wywołują mikrozatorowość. Czynniki utrudniające krążenie, z jakimi spotykamy się w wysokich górach (gęsta krew – wysoki hematokryt) przyspieszają ewentualny proces odmrożeń. Proces ulega przyspieszeniu, gdy tkanki kontaktują się z dobrym przewodnikiem ciepła, jak metale, woda i gazy. Duży wpływ mają również silny zimny wiatr. Powoduje

to odmrożenia tkanek narządów oddalonych od tułowia, jak palce, stopy uszy i nos. Stosuje się 4-stopniowy podział odmrożeń:

I° - powierzchniowy: odrętwienie i zaczerwienienie skóry z wyraźnym zbieleństwem lub woskowym obszarem uszkodzonej tkanki,

II° - średni: na powierzchni skóry pojawiają się pęcherze wypełnione treścią surowiczą, otoczone zaczerwienionym obszarem obrzęku,

III° - głęboki: wytworzone na powierzchni skóry pęcherze powiększają się, a ich wnętrze wypełnia krwisty płyn, uszkodzenia sięgają głębokich warstw skóry,

IV° - ciężki: obejmuje tkanki położone pod skórą, mięśnie, kości, doprowadzając do mumifikacji palców lub całej kończyny [23].

Do urazów nieodmrożeniowych w warunkach chłodu zaliczamy odmrożyny i stopę okopową. Odmrożyna to zmiany skórne o charakterze wysypki, zaczerwienienia, umiarkowanego obrzęku, przechodzące w złuszczenie, niebieskie guzki i owrzodzenia, wywołujące przeczulicę dotkniętych fragmentów. Odmrożyny powstają na twarzy i grzbiecie rąk u wspinaczy wysokogórskich pod wpływem długotrwałego zimnego i suchego powietrza o temperaturze poniżej 0°C.

Stopa okopowa (zanurzeniowa) powstaje w następstwie wielodniowego narażenia na wilgoć i zimno przy temperaturze powyżej 0°C. Może dotknąć alpinistę, który po przyjeździe na nocleg nie wysuszy skarpetek i nóg, jeśli zostały przemoczone. Swoim wyglądem stopa okopowa przypomina zmiany oparzeniowe: przekrwienia, pęcherze, obrzęk, silny ból oraz brak pulsu. W zaniedbanych przypadkach dochodzić może do martwicy rozplywowej. Pierwszy raz szczegółowo opisano „stopę okopową” podczas I wojny światowej. Dotyczyła żołnierzy obu stron konfliktu, przebywających w okopach w warunkach ciągłej wilgoci.

Inne stany chorobowe człowieka spotykane w warunkach wysokogórskich

Poza omówionymi dotychczas najważniejszymi czynnikami środowiska wysokogórskiego wpływającymi na zdrowie człowieka nie należy zapominać o innych ważnych zagrożeniach dla zdrowia wynikających z pobytu na dużej wysokości, a mianowicie:

1) odwodnienie - niskie ciśnienie oraz temperatura zaburzają gospodarkę wodną organizmu,

2) obwodowe obrzęki wysokościowe - dotyczą twarzy, dłoni i podudzi; ich przyczyną jest retencja płynów w organizmie,

3) udar cieplny – inaczej porażenie słoneczne, kiedy temperatura ciała wzrasta do poziomu 40°C i więcej,

4) oparzenia słoneczne – intensywne promieniowanie ultrafioletowe, a zwłaszcza promienie odbijające się od śniegu, może doprowadzić do oparzenia słonecznego,

5) ślepotą śnieżną – poparzenie promieniami ultrafioletowymi zewnętrznych warstw gałek ocznych,

6) urazy głowy, szyi, grzbietu, porażenia piorunem, zaburzenia jelitowe, panika.

Wśród osób patrzących z boku na wspinaczy wysokogórskich powstają zazwyczaj pytania: po co ryzykować zdrowie? dlaczego to robią? co daje im wspinaczka? i jaka jest ich motywacja? Z różnych relacji alpinistów i ich analizy pod kątem pytań o motywację uprawiania tej niebezpiecznej dyscypliny sportowej, czy też hobby wynika, że relacje i przeżycia dotyczą najbardziej osobistych, intymnych sfer przeżywania i wyjaśniają niektóre mechanizmy psychologiczne, jakimi kierują się alpinści. Wynikają „ze szczególnych potrzeb psychicznych. Podobnie jak u osób uzależnionych od narkotyków lub alkoholu, potrzeby stale wzrastają, popychając do coraz większych wyczynów i wystawiania się na coraz większe ryzyko i niebezpieczeństwo. Wytwarza się swoiste błędne koło: przeżycie ekstatycznego podniecenia na szczycie nie wystarcza na długo – pojawia się głód popychający do ponownej ekspozycji na niebezpieczeństwo” [40]. W tym znaczeniu wspinaczka może być traktowana jako choroba. „Trzeba tylko uważać, by ta choroba nie zakończyła się śmiercią” – mówi Messner [40].

Piśmiennictwo

- [1] K. Kamiński, S. Kozłowski, K. Nazar, *Wpływ zmiennych warunków środowiska gazowego na organizm człowieka*, [w:] S. Kozłowski, K. Nazar (red.) *Wprowadzenie do fizjologii klinicznej*, Warszawa 1999.
- [2] WHO. *World health statistics annual 1995*. World Health Organization, Geneva 1996.
- [3] S. Kozłowski, *Granice przystosowania*, Warszawa 1986.
- [4] F. Ashcroft, *Życie w warunkach ekstremalnych*, Warszawa 2003.
- [5] Z.J. Ryn, *Medycyna indiańska*, Kraków 2007.
- [6] Z.J. Ryn, *Medycyna i góry*, <http://globtroter.onet.pl>
- [7] G. Lutosławska, *Wpływ hipoksji wysokościowej na metabolizm mięśni i możliwości wysiłkowe człowieka*, *Medycyna Sportowa* VII(1999); rok XV, nr 96, 1-7.
- [8] B. Kayser, C. Marconi, T. Amatya i wsp. *The metabolic and ventilatory response to exercise in Tibetans born at low altitude*, *Respir Physiol* 1994; 98, 15-26.
- [9] A. Malinowski, *Antropologiczne aspekty zdrowia*, [w:] J.B. Karski (red.) *Promocja zdrowia*, Warszawa 1999.
- [10] Z. Ryn, *Medycyna i alpinizm*, Warszawa-Kraków 1973.

- [11] A. Jaskólski, *Wpływ środowiska na czynności fizjologiczne*, [w:] A. Jaskólski (red.) *Podstawy fizjologii wysiłku fizycznego z zarysem fizjologii człowieka*, Wrocław 2004.
- [12] B. Basnyat, A.R. Murdoch, *High-altitude illness*, *The Lancet* 2003; 361 (7): 1967-1974.
- [13] B. Honigman, M.K. Theis, J. Koziol-McLain i wsp. *Acute mountain sickness in general tourist population at moderate altitudes*, *Ann Intern Med* 1993; 118: 587-592.
- [14] H. Kuński, *Aktywność ruchowa w zmiennych warunkach klimatycznych, wysokogórskich i podwodnych*, [w:] H. Kuński, J. Janiszewski (red.) *Medycyna aktywności ruchowej dla pedagogów*, Łódź 1999.
- [15] P.H. Hackett, *Mountain Sickness: Prevention, Recognition and Treatment*, New York 1980.
- [16] I. Singh, P.K. Khanna, M.C. Srivastava, M. Lal, S.B. Roy, C.S.V. Subramanyam, *Acute mountain sickness*, *N Engl J Med* 1969; 280, 175-184.
- [17] P.H. Hackett, I.D. Rennie, H.D. Levine, *The incidence, importance and prophylaxis of acute mountain sickness*, *The Lancet* 1976; 2, 1149-1154.
- [18] P.H. Hackett, R.C. Roach, *High-altitude medicine*, [w:] P.A. Auerbach (red.) *Wilderness Medicine*, St Louis 2000.
- [19] R.C. Roach, C.S. Houston, B. Hongiman i wsp., *How well do older person tolerate moderate altitude?* *West J Med* 1995; 162, 32-36.
- [20] D.R. Murdoch, *Altitude illness among tourists flying to 3740 meters elevation in the Nepal Himalayas*. *J Travel Med* 1995; 2: 255-256.
- [21] B. Kayser, *Acute mountain sickness in western tourists around the Thorong pass (5400 m) in Nepal*. *J. Wilderness Med.* 1991; 2: 110-117.
- [22] D.R. Murdoch, C. Curry, *Acute mountain sickness in the Southern Alps of New Zealand*, *N Z Med J* 2002; 9: 105.
- [23] A. Zawadzki, R. Jureczko, *Postępowania ratunkowe w zagrożeniach środowiskowych*, [w:] A. Zawadzki (red.) *Medycyna ratunkowa i katastrof*, Warszawa 2006.
- [24] K. Klukowski, L. Święcicki, *Aktywność ruchowa na dużej wysokości*, [w:] A. Jegier, K. Nazar, A. Dziak (red.) *Medycyna Sportowa*, Warszawa 2005.
- [25] R.C. Roach, P.H. Hackett, *Frontier of hypoxia research: acute mountain sickness*, *J Exp Biol* 2001; 204: 3161-3170.
- [26] P.H. Hackett, *High altitude cerebral edema and acute mountain sickness: a pathophysiology update*, *Adv Exp Med Biol* 1999; 474: 23-25.
- [27] P.H. Hackett, *The cerebral etiology of high-altitude cerebral edema and acute mountain sickness*, *Wild Environ Med* 1999; 10: 97-109.
- [28] Y. Matsuzawa, T. Kobayashi, K. Fujimoto, S. Shinozaki, S. Yoshikawa, *Cerebral edema in acute mountains*, [w:] G. Ueda, J.T. Reeves, M. Sekiguchi (red.) *High Altitude Medicine*, Matsumoto Japan 1992.
- [29] J.A. Kresney, *A neurogenic basis for acute altitude illness*, *Med Sci Sports Exerc* 1994; 26: 195-208.
- [30] C. Schirlo, A. Bub, C. Reize i wsp., *Volume changes in the forearm and lower limbs during 2h of acute hypobaric hypoxia in nonacclimatized subjects*, *Eur J Appl Physiol* 1997; 75: 124-131.
- [31] D.R. Murdoch, *How fast is to fast? Attempts to define a recommended ascent rate to prevent acute mountains sickness*, *New Int Soc Mountain Med* 1999; 9: 3-6.
- [32] P.H. Hackett, R.C. Roach, *High-altitude illness*, *N Engl J Med* 2001; 345: 107-14.
- [33] K. Eckardt, U. Boutellier, A. Kurtz i wsp., *Rate of erythropoietin formation in humans in response to acute hypobaric hypoxia*, *J Appl Physiol* 1989; 66: 1785-1788.

- [34] R.W. Mackenzie, P.W. Watt, N.S. Maxwell, *Acute Normobaric Hypoxia Stimulates Erythropoietin Release*, High Alt Med Biol 2008; 9, 1: 28-37.
- [35] R.L. Ge, S. Witkowski, Y. Zhang, C. Alfrey, M. Sivieri, T. Karlsen, G.K. Resalend, M. Harber, J. Stray-Gundersen, B.D. Levine, *Determinants of erythropoietin release in response to short-term hypobaric hypoxia*, J Appl Physiol 2002; 92: 2361-2367.
- [36] B.D. Levine, J. Stray-Gundersen, *Point: Positive effects of intermitted hypoxia (live high: train low) on exercise performance are mediated primarily by augmented red cell volume*, J Appl Physiol 2002; 99: 2053-2055.
- [37] G.L. Wang, G.L. Semenza, *Molecular basis of hypoxia-induced erythropoietin expression*, Curr Opinions Hematol 2001; 31, 4: 156-162.
- [38] D. Boning, N. Maasen, F. Jochum i wsp., *After-effects of high altitude expedition of blood*, Int J Sports Med 1997; 18: 179-185.
- [39] H. Howald, D. Pette, J.A. Simoneau i wsp., *Effects of chronic hypoxia on muscle enzyme activities*, Int J Sports Med 1990; 11 (Suppl 1): S10-S14.
- [40] Z. Ryn, *Psychologia sportów wspinaczkowych*, [w:] A. Matuszak (red.) *Materiały z teorii i dydaktyki sportów wspinaczkowych*, Kraków 1993.
- [41] H. Kociuba-Uściłko, B. Kruk, *Adaptacja człowieka do zimna*, Medicina Sportiva 1999; 3, 1: 9-20.