

TRENING WYTRZYMAŁOŚCIOWY W ZMIENNYCH WARUNKACH KLIMATYCZNYCH

ENDURANCE TRAINING IN DIFFERENT CLIMATE ENVIRONMENT

Krzysztof Mizera¹, Wiesław Pilis^{1,2}

¹ Instytut Kultury Fizycznej Akademii im. J. Długosza w Częstochowie

² Górnośląska Wyższa Szkoła Handlowa w Katowicach

Streszczenie

W pierwszej części pracy opisano wpływ wysokiej i niskiej temperatury na zdolność wysiłkową i zaprezentowano, że wytrzymałość organizmu ulega redukcji w niskiej temperaturze otoczenia a w warunkach gorąca ma miejsce istotne wydalenie ciepła związane z obniżeniem się wytrzymałości.

Ponieważ wielu naukowców, sportowców i trenerów jest zaintrygowanych podobieństwami istniejącymi pomiędzy aklimatyzacją do wysokości i treningiem wytrzymałościowym, zatem w drugiej części artykułu fizjologiczne problemy i korzyści płynące dla organizmu z treningu na wysokościach były zaprezentowane. Sportowcy przebywający na dużych wysokościach muszą dawać sobie radę z hipoksją, zimnem i odwodnieniem i utrzymywać przy tym maksymalną zdolność wysiłkową. Zatem aklimatyzacja jest procesem krytycznym i precyzyjnie może usprawniać zdolność wysiłkową w warunkach znacznych wysokości nad poziom morza lub nasilać przetrenowanie organizmu. W tych ekstremalnych sytuacjach, używając czystego tlenu lub powietrza z podwyższoną jego zawartością podczas oddychania można zredukować te trudności.

Można zawnioskować, że pomimo różnych strategii, sportowcy i trenerzy mogą osiągać najlepszy rozwój wytrzymałości, kiedy proces treningowy jest realizowany w różnych warunkach środowiskowych.

Słowa kluczowe: wytrzymałość, wysoka i niska temperatura, hipoksja wysokościowa, aklimatyzacja

Abstract

In the first part of the paper the influence of higher and lower temperature on physical performance were described and it was presented that organism endurance was reduced in lower ambient temperature but in warm conditions a significant heat excretion, linked with endurance decreasing existed.

Because many scientists, athletes and coaches have been intrigued by the similarities between altitude acclimatization and endurance training, then in the second part of the paper the physiological problems and benefits for organism at altitude training were presented. Athletes at high altitudes must cope with hypoxia, cold and dehydration, yet still maintain maximal performance. Then acclimatization is critical process and clearly may improve physical performance at altitude or increased overtraining. In these extreme situations using of clear oxygen or air with enhanced oxygen concentration during breathing, may reduce these difficulties.

It can be concluded that in spite of different strategies, athletes and coaches may achieve the best endurance improvement, when training process was realized in different environmental conditions.

Key words: endurance, high and low temperature, altitude hypoxia, acclimatization

Wstęp

Wytrzymałość jest jedną z cech sprawności fizycznej, stanowiącą niezbędny element działalności ruchowej, która pozwala na wykonywanie długotrwałych wysiłków fizycznych w różnych warunkach klimatycznych i środowiskowych. Wytrzymałość jest uwarunkowana znaczną liczbą różnorodnych procesów, przebiegających w organizmie na różnych poziomach fizjologicznych, poczynając od komórkowego, a kończąc na poziomie poszczególnych układów i całego ustroju. Zmiany adaptacyjne, występujące pod wpływem treningów wytrzymałościowych, dotyczą całego organizmu, przy czym najwyraźniejsze są w układach najbardziej obciążonych, takich jak: mięśniowy, krążenia, oddychania, czy układ termore-

gulacji. Wytrzymałość odgrywa mniejsze lub większe znaczenie w każdej dyscyplinie i konkurencji sportowej, również technicznej, nawet wówczas, gdy wysiłki fizyczne są krótkotrwałe lub zmienne.

Od 1923 roku stan wytrenowania wytrzymałościowego zawodników określany jest poprzez wyznaczenie maksymalnego poboru tlenu ($\dot{V}O_2\max$), a pojęcie to zostało wprowadzone przez Willa i Luptona (1). W 1955 roku Astrand w opublikowanej w „Nature” (2) pracy wykazał, jak istotnie mogą zmieniać się wartości maksymalnego pobierania tlenu pod wpływem treningu wytrzymałościowego, jednak nie wiedział on wówczas, że różnice w poziomie $\dot{V}O_2\max$ są konsekwencją mniejszej, bądź większej ilości mitochondriów w mięśniach. Obecną wiedzę na ten temat zawdzię-

czamy wybitnemu fizjologowi, J.O. Holloszy'emu, który doświadczenia nad wpływem treningu wytrzymałościowego na metabolizm mięśnia szkieletowego wykonywał na szczurach. Wykazał on bowiem, iż podczas ćwiczeń wytrzymałościowych mięsień wytwarza sygnał, generujący biosyntezę zwiększonej ilości białek mitochondrialnych. Białka te tworzone są z aminokwasów w komórkach mięśniowych, następnie łączą się z fosfolipidami, tworząc dodatkowe mitochondria, które z kolei zwiększają pobór tlenu (3). Obserwacje te potwierdzili w 1980 roku Davies i wsp. (4). Wiedza ta stała się fundamentem do doskonalenia i kreowania nowych form i metod treningowych, podnoszących wytrzymałość sportowców.

Poza wysiłkiem fizycznym na adaptację organizmu do wysiłków wytrzymałościowych wywierają wpływ takie czynniki otoczenia zewnętrznego jak temperatura, czy wysokość położenia nad poziomem morza, determinująca wielkość ciśnienia parcjalnego tlenu w powietrzu oddechowym. Znaczne obniżenie, czy też podwyższenie wewnętrznej temperatury ciała na skutek pobytu, czy też treningu w niskiej oraz wysokiej temperaturze otoczenia, może istotnie ograniczyć możliwości wysiłkowe, a nawet doprowadzić do śmierci. Niezwykle ważny, a jednocześnie często niedoceniany element w dzisiejszym sporcie wyczynowym, stanowi proces aklimatyzacji do warunków otoczenia, w których odbywają się zawody. Umiejętne i szybkie przeprowadzenie adaptacji do owych warunków umożliwi zawodnikowi podniesienie na wyższy poziom swoich możliwości oraz osiąganie coraz lepszych wyników, zmniejszając jednocześnie ryzyko efektów ubocznych w postaci urazów cieplnych, nadmiernego wychłodzenia organizmu itp. Zasygnalizowane powyżej zagadnienia postanowiono w prezentowanej pracy przedstawić w szerszym ujęciu w sposób teoretyczny w oparciu o kierunkowy przegląd piśmiennictwa.

Wpływ niskiej temperatury otoczenia na organizm podczas wysiłków wytrzymałościowych

Wiele konkurencji sportowych odbywa się w warunkach niskich temperatur otoczenia, często nawet poniżej 0°C, co obserwuje się w sportach zimowych. Adaptacja do takich warunków ma szczególne znaczenie w przypadku pływaków długodystansowych, gdyż spędzają oni w zimnej wodzie znacznie więcej czasu, niż zawodnicy pływający krótkie dystanse. Dulac i wsp. wykazali, że podczas pływania na długich dystansach często zdarza się, że zawodnicy są zmuszeni zrezygnować z kontynuowania wysiłku na skutek wychłodzenia ciała (hipotermii) (5). W takich przypadkach temperatura wody wynosi zwykle 18-20°C. Podobne sytuacje obserwuje się również wśród innych dyscyplin, m.in. w triathlonie, w którym dystans pływacki nie przekracza 4 km (6).

Przystosowanie organizmu do niskich temperatur związane jest ze stopniowym wzmożeniem produkcji ciepła oraz wolniejszym jego oddawaniem. Pomimo tego obserwuje się w tych warunkach intensywny przepływ krwi w tkankach obwodowych, co obniża prawdopodobieństwo uszkodzenia ciała. Okazuje się, iż następujące na skutek długiego przebywania w warunkach zimna obniżenie temperatury wewnętrznej ciała oraz temperatury mięśni poniżej „poziomu optymalnego”, powoduje znaczne obniżenie $\dot{V}O_2\text{max}$, objętości wyrzutowej serca, częstości skurczów serca i ekonomizacji pracy, co znacząco obniża zdolności wysiłkowe sportowców. Jest to również zauważalne wtedy, gdy zawodnicy wykonują wysiłki średnio-intensywne, przy poborze tlenu na poziomie 13-15 ml/kg/min. Bergh i wsp. wykazali (7), że dobrze wytrenowani mężczyźni, u których obniżono temperaturę wewnętrzną o 1°C, charakteryzują się zmniejszeniem $\dot{V}O_2\text{max}$ o 5-6%, częstości skurczów serca – o 8 uderzeń/min, i spadkiem zdolności do wysiłku podczas długotrwałej pracy o charakterze tlenowym o 20%. Ponadto znaczne obniżenie temperatury mięśni poniżej „poziomu optymalnego” prowadzi do obniżenia szybkości ich skurczu, poziomu siły mięśniowej i zdolności do efektywnego kierowania działaniami zamierzonymi.

Pływacy uprawiający długodystansowe formy pływania, czy też nurkowie, powinni obowiązkowo poddać się procesowi adaptacji do niskich temperatur, inaczej starty, czy też treningi, mogą doprowadzić do urazów hipotermicznych, podczas których wewnętrzna temperatura ciała spada poniżej 35°C (8). Powszechnie wiadomo, że utrata ciepła w wodzie zachodzi znacznie szybciej, niż na lądzie o takiej samej temperaturze, a tempo tej utraty zależy od temperatury wody oraz zawartości tłuszczu w organizmie człowieka. Jeśli w takich warunkach wewnętrzna temperatura ciała obniży się poniżej 34,5°C podwzgorze stopniowo traci zdolności termoregulacyjne, a pełna utrata tych kompensacyjnych zdolności następuje przy temperaturze wewnętrznej około 30°C (9). Według Pugh'a i Edholma duże znaczenie dla ograniczenia oddawania ciepła ma tłuszcz podskórny. Pływacy, u których zawartość tkanki tłuszczowej wynosi ok. 30%, są w stanie przebywać w wodzie mającej 11,8°C przez kilka godzin bez obniżenia temperatury rektalnej, podczas gdy u zawodników charakteryzujących się zawartością tłuszczu na poziomie 10% w takich samych warunkach, temperatura rektalna obniża się do 33,7°C w ciągu 30 min (10).

Trwała adaptacja do niskich temperatur jest ściśle powiązana z aktywacją procesów produkcji ciepła w tkance tłuszczowej, narządach wewnętrznych, mitochondriach mięśni oraz z poprawą transportu tlenu. Wszystko to znacznie ogranicza oddawanie ciepła przez organizm. Do szybkiego zwiększenia

produkcji ciepła w warunkach niskich temperatur prowadzi intensyfikacja wyrzutu katecholamin do krwi, co w okresie przystosowawczym do niskich temperatur rozprzega fosforylację oksydacyjną i powoduje deficyt ATP. Pod wpływem niskich temperatur centralny układ nerwowy m.in. intensyfikuje funkcję gruczołu tarczycowego, co powoduje zwiększone pochłanianie tyroksyny przez tkanki. W efekcie dzięki zwiększeniu masy mitochondriów na jednostkę masy ciała możliwa jest długotrwała adaptacja do warunków zimna. Adaptację do niskich temperatur umożliwiają takie organy i mechanizmy jak: podskórna tkanka tłuszczowa, termoadaptacja układu adrenergicznego, tarczycy i układu mitochondriów w mięśniach oraz ogniwo transportu tlenu (11). Jednak, aby długotrwała adaptacja do niskich temperatur nie obniżyła efektywności pracy mięśniowej, powinna być łączona z intensywnymi treningami fizycznymi, gdyż treningi wytrzymałościowe zwiększają efektywnie aktywność termoregulacji, jak i pracy mięśni. Efektywna adaptacja organizmu w tych warunkach odbywa się jedynie przy jednoczesnym oddziaływaniu na ustrój niskiej temperatury i pracy mięśniowej.

Aklimatyzację do niskiej temperatury otoczenia powinni przejść zwłaszcza przedstawiciele dyscyplin sportowych, których starty odbywają się w takich warunkach. Należą do nich przede wszystkim: narciarze, pływacy, triathloniści, nurkowie. W innym przypadku start w danej konkurencji nie tylko przyniesie marne efekty, ale odbić się może na zdrowiu, a nawet życiu sportowca.

Wpływ wysokiej temperatury otoczenia na organizm podczas konkurencji wytrzymałościowych

Przemieszczanie się sportowców, czasem z tygodnia na tydzień, po różnych szerokościach geograficznych powoduje, że zawodnicy zmagają się ze zmianą otoczenia, klimatu i temperatur, co często rzutuje na osiągniętych rezultatach lub też może poważnie odbić się na ich zdrowiu, a nawet na życiu. Towarzyszące narastającemu zmęczeniu w warunkach gorąca zasłabnięcia i zapaści, w konkurencjach wytrzymałościowych są jednym z najpoważniejszych problemów medycyny sportowej (12). Jest to szczególnie istotne w dyscyplinach sportu mających charakter wytrzymałościowy. W związku z tym wiedza dotycząca wpływu gorąca i zimna na organizm sportowca oraz mechanizmy i sposoby zapewnienia efektywnej indywidualnej adaptacji do różnych temperatur nie powinny być lekceważone.

Przystosowanie organizmu do zmian temperatury otoczenia sprowadza się do oddawania, bądź do zatrzymywania ciepła przez organizm. Informacje o zmianach temperatury otoczenia organizm odbiera za pomocą termoreceptorów skóry. Receptory zimna znajdują się na głębokości 0,17 mm, ciepła zaś – 0,30

mm od powierzchni skóry. Bodźce termiczne ze skóry docierają do ośrodka termoregulacji, który znajduje się w podwzgórze. Pobudzenie jego przedniej części aktywizuje proces oddawania, a tylnej – stymuluje produkcję ciepła.

Podczas treningów w wysokiej temperaturze w organizmie zachodzą zmiany przepływu krwi, mianowicie obniża się on w narządach wewnętrznych, a zwiększa w skórze, co powoduje, że przewodnictwo ciepła skóry może wzrosnąć 6-7 razy, a przepływ krwi osiągać wartości 2.0-2.5 l/min w temperaturze otoczenia 40-50°C (13). Jednak trening w temperaturze sięgającej ponad 40°C powoduje, że przepływ krwi w narządach wewnętrznych, takich jak nerki, czy wątroba, znacząco obniża się i wynosi odpowiednio 40-50% i 40% rejestrowanego w warunkach komfortu cieplnego (14). Zdolność do tolerowania wysokich i niskich temperatur determinowana jest w dużej mierze przez budowę ciała i proporcje tkanki mięśniowej oraz tłuszczowej. Okazuje się, iż sportowcy charakteryzujący się ektomorficzną budową ciała, tj. wysocy i szczupli, z długimi kończynami i niewielką zawartością tkanki tłuszczowej, dobrze oddają ciepło i łatwiej znoszą wysokie temperatury, będąc jednocześnie bardziej wrażliwymi na zimno (15). Duże znaczenie ma również wiek i płeć. Badania Bar-Or'a dowodzą, iż dzieci i młodzież szczególnie ciężko znoszą obciążenia wysiłkiem fizycznym w czasie gorąca. Wynika to w dużej mierze z małej odporności na te warunki kształtującego się jeszcze układu sercowo-naczyniowego (16). Okazuje się też, że mężczyźni lepiej znoszą pogodę suchą i gorącą, niż kobiety, które lepiej i szybciej adaptują się do warunków gorąca i wilgotności, co związane jest z faktem, że kobiety mają wyższy stosunek powierzchni ciała do jego masy (17).

U sportowców uprawiających dyscypliny wytrzymałościowe w warunkach wysokiej temperatury otoczenia, intensywność oddawania ciepła przez pocenie może generować do 2,5 l/godz. potu, zaś maksymalna intensywność pocenia w ciągu dnia może przekroczyć 10 l (9). Taka utrata wody powiązana z nadmierną produkcją ciepła znacząco wpływa na utratę elektrolitów, enzymów i powoduje hiponatremię (niedobór sodu we krwi). Przy długotrwałych obciążeniach treningowych stężenie sodu może obniżyć się ze 140 do 112 mmol/l, co podobnie jak hipoglikemia, zaburza funkcje centralnego układu nerwowego (18). Hiponatremia może pojawiać się już przy stężeniu 126-130 mmol/l (19). Ponadto dochodzić może do pogorszenia ukrwienia pracujących mięśni i nagromadzenia mleczanu, co wyraźnie obniży wydolność zawodnika.

Aby trening w warunkach wysokich temperatur mógł przynieść korzystne efekty i odbywać się bez zaburzeń zdrowotnych, zawodnicy muszą przejść pro-

ces adaptacyjny, podczas którego kształtuje się układ funkcjonalny, odpowiedzialny właśnie za adaptację do opisywanych warunków klimatycznych. Wśród zawodników, którzy nie przeszli odpowiedniego procesu aklimatyzacji do warunków gorąca, niezwykle groźny może okazać się udar cieplny, który jest następstwem naruszenia procesu termoregulacji. Charakteryzuje się on częściową lub całkowitą utratą świadomości, gorącą i suchą skórą oraz wzrostem ciśnienia krwi i temperatury wewnętrznej ciała powyżej 40°C, co może doprowadzić nawet do śmierci (9).

W rozwoju adaptacji do wysokich temperatur otoczenia decydujące znaczenie ma zrównoważenie wytwarzania ciepła, jak i jego oddawania. W związku z powyższym zmiany przystosowawcze przebiegają na czterech płaszczyznach, takich jak: rozwój mechanizmów oddawania ciepła, ekonomizacja wytwarzania ciepła, podwyższenia odporności na hipertermię (14). Zawodnicy dobrze przystosowani do treningów w warunkach gorąca są zdolni w ciągu godziny intensywnych zajęć wytwarzać 5-7 l potu, podczas gdy słabo przygotowani 2-3 litry. Z kolei podczas ćwiczeń ciągłych o intensywności na poziomie progu przemian beztlenowych ilość wydzielanego potu u zawodników najwyższej klasy przekraczać może 3 l/godz. Nadto zawodnicy dobrze przygotowani i zaadaptowani do treningów w takich warunkach są w stanie znosić znaczny wzrost temperatury wewnętrznej, sięgającej nawet 40,5-41°C (20). Dla określenia optymalnej temperatury do kształtowania wytrzymałości należy wyznaczyć średnią jej wysokość indywidualnie dla każdego zawodnika, nie zaś opierać się na wzorcowych danych, dotyczących temperatury i wilgotności, gdyż każdy zawodnik ma inne predyspozycje i inaczej reaguje na zmiany temperatury ciała (21).

U człowieka mającego po raz pierwszy kontakt z wysiłkiem wytrzymałościowym w wysokiej temperaturze obserwuje się znaczny spadek wydolności fizycznej. Okres adaptacji cieplnej prowadzącej do pokaźnego wzrostu ilości wydzielanego ciepła przez parowanie i pot jest zróżnicowany osobniczo. U osób niezaadaptowanych do wysokich temperatur może trwać on 3-4 tygodnie, mimo że indywidualna adaptacja rozwija się zwykle po 7-9 dniach (22). U zawodników wytrenowanych i zaadaptowanych okres adaptacji, umożliwiający podjęcie obciążeń treningowych, wynosić może 10-15, a niekiedy nawet 5-7 dni. Samo przebywanie w warunkach gorąca, czy też korzystanie z kąpieli suchych i parowych, wywołujących intensywne pocenie, stanowią ważne czynniki podwyższające odporność organizmu na wysokie temperatury. Jednakże najskuteczniejszym sposobem adaptacji jest kompleksowe oddziaływanie gorąca i długotrwałych obciążeń treningowych, co w pełni angażuje układy termoregulacji, a w tym oddawania ciepła. Racjonalne uzupełnianie płynów stanowi rów-

niez istotny czynnik stymulujący długotrwałe reakcje adaptacyjne. Uprzednie ich przyjmowanie, często w dość dużych objętościach (do 2 l), prowadzi do bardziej intensywnego wydzielania potu podczas treningu oraz wpływa na większą ekonomizację reakcji układu krążenia (23). Długotrwała i stabilna adaptacja do gorąca charakteryzuje się podwyższeniem progu wrażliwości termoreceptorów, skróceniem czasu oddawania ciepła przez parowanie pojawiającego się na skórze potu, mniejszym wydalaniem noradrenaliny z moczem, czemu towarzyszy obniżenie temperatury ciała, zmniejszeniem się ukrwienia skóry. Istotnym elementem procesu adaptacji jest też obniżenie koncentracji wydalanego z potem sodu. Wszystkie te czynniki można traktować jako stan podwyższenia wytrenowania (24). Należy jednak wiedzieć, że stopień adaptacji do gorąca jest silnie uzależniony od specyfiki dyscypliny sportu. Np. dobrze wytrenowani pływacy wysokiej klasy reagują na pobyt i obciążenia w wysokiej temperaturze, jak osoby niezaadaptowane do gorąca, podczas gdy biegacze długodystansowi, czy też kolarze szosowi, bądź piłkarze nożni trenujący w wysokich temperaturach, reagują jak zawodnicy dobrze zaadaptowani do takich warunków. Dzieje się tak dlatego, że utrata ciepła podczas jazdy na rowerze, czy też biegu odbywa się przez parowanie, natomiast w pływaniu odbywa się to bez udziału gruczołów potowych.

Jednak nawet u dobrze wytrenowanych i zaadaptowanych do takich warunków zawodników, dochodzi podczas ważnych startów, czy też treningów w konkurencjach wytrzymałościowych do zapaści w wyniku nadmiernego obciążenia cieplnego (25), kiedy to temperatura wewnętrzna osiąga u nich 40-41°C (26). 85% zasłabnięć dotyka atletów po przebiegnięciu linii mety (27). Przyczyn tegoż stanu może być wiele, ale do najczęstszych należą: wyczerpanie glikogenu mięśniowego i wątrobowego (6), odwodnienie (28), nadmierny spadek zawartości sodu w surowicy krwi (29), czy zmniejszenie dostaw tlenu w wyniku rozszerzenia obwodowych naczyń krwionośnych oraz zmniejszenie krążenia powrotnego krwi do prawej części serca (12).

Planowanie treningów wytrzymałościowych w warunkach podwyższonej temperatury musi być rzetelne i bardzo dokładne. Okazuje się np., że przystosowanie organizmu do suchego i gorącego powietrza nie gwarantuje efektywnej adaptacji do otoczenia gorącego, lecz wilgotnego. Nadto treningi o intensywności 25% $\dot{V}O_2\text{max}$ w warunkach wysokich temperatur nie gwarantują adaptacji do pracy w wyższej intensywności (przekraczającej 50% $\dot{V}O_2\text{max}$) w tych samych warunkach temperaturowych (26).

Długotrwały wysiłek w gorącym otoczeniu, jak to ma często miejsce m.in. w maratonach, czy półmaratonach, kolarstwie, chodzie sportowym oraz np.

piłce nożnej może być przyczyną zgonu, szczególnie, gdy temperatura otoczenia oscyluje między 18-28°C (28). Jest to istotny czynnik nie tylko w treningu sportowców, ale też arbitrów, którzy jak wskazują badania, zwykle pokonują podczas meczu 9-13 km przy intensywności 85-90% HRmax (70-80% $\dot{V}O_2$ max) (30). W związku z powyższym proces aklimatyzacyjny jest u nich również bardzo istotny. Profesjonalni sportowcy oraz sztaby szkoleniowe powinny równie dobrze jak procesem treningowym, interesować się procesem aklimatyzacji termicznej zwłaszcza, gdy często przemieszczają się po różnych strefach klimatycznych celem startów w zawodach.

Trening wytrzymałościowy w warunkach hipoksji

Niezwykle skuteczną metodą treningu wytrzymałościowego jest trening w wysokich górach. Wpływ niedoboru tlenu na organizm, na wysokości do 1000 m n.p.m. jest nieznaczny, a zauważalne zmiany występują jedynie przy bardzo dużych obciążeniach treningowych. Na wysokości do 2500 m n.p.m. zmiany funkcjonalne pojawiają się już przy obciążeniach umiarkowanych, jednak w spoczynku człowiek ich nie odczuwa. Znaczący wpływ hipoksji na ustrój w spoczynku daje się zauważyć już na wysokości przekraczającej 2500 m n.p.m.

Wpływ tego właśnie klimatu na organizm uwarunkowany jest takimi czynnikami, jak m.in.: obniżone ciśnienie atmosferyczne i parcjalne ciśnienie tlenu, duże wahania temperatury powietrza oraz wilgotności, wysoka jonizacja powietrza, a także zwiększone promieniowanie słoneczne oraz towarzyszące wysiłkowi fizycznemu, szczególnie w tych warunkach, odwodnienie. Na poziomie morza, na szerokości 45° przy temperaturze 0°C ciśnienie atmosferyczne wynosi 760 mmHg (1013 hPa). Na wysokości 1000 metrów n.p.m. ciśnienie spada o 12%, na 2000 m – o 22%, na 3000 m – o 31%, na 5000 m – o 50% (24). Do najważniejszych czynników powodujących wzrost wydolności i maksymalnego pobierania tlenu w wyniku przebywania i trenowania w górach należy zwiększenie kapilarnego krążenia w mięśniach szkieletowych i innych narządach, np. mięśniu sercowym (31). Nieco inaczej adaptacja ta wygląda u rdzennych mieszkańców Andów i Himalajów. Charakteryzują się oni wyższym średnim maksymalnym poborem tlenu ($\dot{V}O_2$ max) w warunkach hipoksji i małym spadkiem $\dot{V}O_2$ max podczas zwiększania się niedotlenienia. Ponadto u stałych mieszkańców wysokich gór obserwuje się wyraźną tendencję do bradykardii. Średnie częstości skurczów serca (HR) wynoszą u nich 64-66 ud./min, a często zdarzają się przypadki, w których HR wynosi 40-60 ud./min (32). Średnica erytrocytów u mieszkańców rejonów wysokogórskich (3500-4000 m n.p.m.) jest o 5-6% większa, niż u mieszkańców nizin, a liczba erytrocytów z dużą średnicą u „górali”

może osiągać 35-50%, podczas gdy u mieszkańców nizin takich erytrocytów jest nie więcej, niż 10-15% (33). Podczas ćwiczeń fizycznych u mieszkańców Andów i Himalajów obserwuje się mniejszą wentylację płucną, może też występować wyższe wysycenie krwi tętniczej tlenem. Nie zauważa się natomiast u nich różnicy (w porównaniu z mieszkańcami nizin) w proporcjach włókien mięśniowych, gęstości ich unaczynienia, aktywności enzymów utleniających, czy też reakcji mięśni na trening fizyczny (34).

Występująca w górach obniżona gęstość powietrza (niższe ciśnienie atmosferyczne) powoduje zmniejszenie oporu aerodynamicznego, co wpływa na poprawę wyników sportowych, szczególnie w takich dyscyplinach jak kolarstwo, biegi sprinterskie, łyżwiarstwo szybkie, skok w dal itp. W związku z tym warunki średnio i wysokogórskie przyczyniają się do uzyskiwania lepszych, niż na poziomie morza wyników w tych konkurencjach, np.: na wysokości 2400 m n.p.m. długość lotu młota lekkoatletycznego wzrasta o 53 cm, kuli o 5 cm, oszczepu o 69 cm, a dysku o 162 cm. Ponadto zdolność wysiłkowa sprinterska, tj. biegowa na dystansie 100m, 200m, i 400m poprawia się dlatego, że energia niezbędna do tego rodzaju pracy pochodzi w znaczącej części z procesu glikolitycznego. Ponadto mniejszy opór powietrza na tych wysokościach pozwala na szybszy bieg (35). W biegach na dystansie 5 km na poziomie morza na pokonanie oporu powietrza traci się ok. 11% energii, zaś w wyścigach kolarskich nawet 90%. Pomimo, że treningi wytrzymałościowe uprawiane na wysokości 3000 m n.p.m. prowadzą do wzrostu ekonomizacji wydatku energetycznego u biegaczy długodystansowych o ok. 3-4%, natomiast u kolarzy do 28% (36), to na skutek mniejszych oporów aerodynamicznych, wytrzymałość sportowców przebywających na znacznych wysokościach pogarsza się dlatego, że hipoksja redukuje moc aerobową (zmniejszenie $\dot{V}O_2$ max). Praktycznym obrazem tych zmian były Igrzyska Olimpijskie w Meksyku, podczas których w biegach krótkich osiągnęto lepsze rezultaty, a w biegach powyżej 1500 m gorsze wyniki, niż na poziomie morza.

W warunkach hipoksji obniża się również wydolność zawodników uprawiających sporty walki i gry zespołowe. Niższe ciśnienie parcjalne tlenu we wdychanym powietrzu nie tylko ujemnie wpływa na wydolność podczas wykonywania ćwiczeń, ale także utrudnia przebieg procesów regeneracji w czasie mało intensywnej pracy lub licznych przerw, które występują podczas meczów drużynowych, czy np. walk bokserskich (37). Warunki te częściej prowadzą do powstawania ostrej choroby górskiej objawiającej się: bólami głowy, nudnościami, brakiem łaknienia, zmęczeniem, trudnościami sennymi. Istnieje wtedy większe prawdopodobieństwo powstania przetrenowania u sportowców.

Czas treningu sportowego w górach może wahać się w przedziale 2-5 tygodni, jednak najczęściej są to 3 tygodnie, z których pierwszy tydzień stanowi okres aklimatyzacji. Określenie optymalnej wysokości do podjęcia treningu nie jest jednoznacznie rozstrzygnięte, ma natomiast ogromne znaczenie w planowaniu treningu. Nieracjonalne zaplanowanie procesu treningowego może bowiem doprowadzić do zmarnowania pozytywnego efektu treningowego, a nawet obniżyć możliwości funkcjonalne organizmu (38). Doświadczenia zawodników i trenerów preferujących owe metody treningowe wskazują, że optymalną jest wysokość 1550-2400 m n.p.m. Według Stray-Gundersena i wsp. (39) skuteczny, pod kątem treningu wytrzymałości tlenowej, wydaje się być także trening na średniej, a nawet niskiej wysokości, łączony z pobytem w górach wysokich w okresach pomiędzy treningami. Badania przeprowadzone na światowej klasy biegaczach szwajcarskich wykazały, że przebywanie przez 28 dni na wysokości 2456m n.p.m. oraz trenowanie na wysokości 1800 m n.p.m. doprowadziło u nich do zwiększenia masy hemoglobiny nawet o 7,6%, a stężenia erytrocytów o 6,3% (40, 41). Według Płatonowa biegacze długodystansowi, czy maratończycy mogą okresowo trenować na wysokościach 3500-4000 m n.p.m., jednak okazuje się, iż uprawianie treningów na tej wysokości przez wioślarzy, czy pływaków wysokiej klasy, zaadoptowanych do warunków wysokogórskich powodować może ostre zaburzenia dynamicznej i przestrzenno-czasowej struktury ruchu, a nadto doprowadzać może do poważnego zaburzenia techniki i koordynacji struktury ruchu. W związku z tym wioślarze, pływacy, biegacze średniodystansowi, czy łyżwiarze szybcy powinni trenować na wysokościach 1600-2200 m n.p.m., zaś zawodnicy uprawiający gry zespołowe, czy sporty walki, na wysokości 1200-1600 m n.p.m. (37). Należy zdawać sobie sprawę z faktu, że na dużych wysokościach wyraźnie mniejsze są możliwości do efektywnej regulacji pracy układów sercowo-naczyniowego i oddechowego, co jest widoczne m.in. w częstoci skurczów serca podczas obciążeń treningowych. Fuch i Reiss wykazali, że podczas ćwiczeń ze stopniowo wzrastającą mocą, na wysokości 2500 m n.p.m. częstość skurczów serca u zawodników niskiej klasy dochodzi do 175 ud./min, zaś u zawodników klasy wysokiej do 185 ud./min. Na wysokości 4000 m n.p.m. częstość ta u zawodników niskiej klasy wzrasta już nieznacznie, zaś u sportowców wysokiej klasy przekracza 190 ud./min. (42). Ponadto badania przeprowadzone na francuskich lekkoatletach wykazały, że nawet 10-cio minutowe przebywanie na wysokości 4800 m n.p.m. przyczynia się do znacznego zmniejszenia stężenia antyoksydantów (alfa-tokoferolu, beta-karotenu i likopenu) w organizmie (43). Należy wiedzieć też, że zwiększanie wysokości nie-

uchronnie prowadzi do wzrostu udziału mechanizmów energetycznych beztlenowych podczas wykonywania pracy ze standardowymi obciążeniami (42). Na wysokości 2500 m n.p.m. stężenie mleczanu podczas 60-minutowej pracy na poziomie progu beztlenowego wzrasta o ok. 150%, a przy tej samej pracy na wysokości 4000 m n.p.m. wzrasta o ok. 350%. Koncentracja w mięśniach innych substratów energetycznych (ADP, PCr, glikogen, tracyloglicerole) nie ulega znacznym zmianom. Przy powstawaniu drastycznych zmian w organizmie w warunkach hipoksji wysokościowej Międzynarodowa Federacja Medycyny Sportowej zakazała przeprowadzania zawodów w dyscyplinach wytrzymałościowych na wysokości przekraczającej 3050 m n.p.m. (36).

Podczas planowania treningu w warunkach hipoksji sztaby szkoleniowe powinny wziąć pod uwagę przede wszystkim rodzaj konkurencji, w jakiej startować będzie zawodnik, wszak nie zawsze trening na dużej wysokości skutecznie podniesie możliwości wysiłkowe sportowca. Trening w wysokich górach nie powinien być oparty na ogólnych zaleceniach, lecz przemyślany i opracowany z uwzględnieniem wielu czynników, takich jak np. czas najbliższych oraz kolejnych startów oraz warunków klimatycznych, w których będą one rozgrywane.

Oddychanie mieszkami gazowymi i czystym tlenem

Coraz bardziej powszechny staje się trening wytrzymałościowy w warunkach sztucznie wywołanej hipoksji, w postaci ćwiczeń w komorach ciśnieniowych i klimatycznych, czy też stosowania masek, przez które podaje się oddechową mieszkankę hipoksychną i inne gazy oddechowe. Te formy treningu nie mogą zastąpić pobytu i ćwiczeń w naturalnych warunkach górskich, jednak są niezwykle skuteczne jako dopełnienie naturalnego treningu wysokogórskiego. Stosowanie sztucznej hipoksji może z powodzeniem być wykorzystywane do wstępnej adaptacji do warunków hipoksji górskiej, której stosowanie 5-10 dni przed wyjazdem w góry przyspiesza proces aklimatyzacji 2-3-krotnie (42). Metody sztucznego niedotlenienia sprawdzają się też jako środek utrzymania wcześniej osiągniętego poziomu adaptacji wysokogórskiej.

Jeśli zgrupowanie planowane jest na poziomie powyżej 2000 m n.p.m., zasadne jest stosowanie treningu w warunkach sztucznej hipoksji odpowiadającej tej samej lub wyższej (o około 500 m) wysokości. Czas pomiędzy ostatnim treningiem w warunkach sztucznego niedotlenienia, a pierwszym treningiem w górach nie powinien być dłuższy, niż 3 dni (42). W dyscyplinach wytrzymałościowych, w okresie między zakończeniem treningów górskich i startami w okresie głównych zawodów, zaleca się włączenie krótkich mikrocykli (2-6 dni) sztucznej hipoksji, co

znacząco wpłynie na utrzymanie poziomu adaptacji, osiągniętej podczas pobytu w górach.

Problemy niedotlenienia organizmu podczas treningu, czy zawodów w klasycznych dyscyplinach sportu nie wiążą się bezpośrednio ze wspomaganie procesu oddychania czystym tlenem. We wspinaczce wysokogórskiej sytuacja taka może zaistnieć i wówczas ciśnienie parcjalne tlenu jest prawie tak duże, jak ciśnienie atmosferyczne. Odpowiednio do tych zmian wzrasta też ciśnienie parcjalne tlenu w pęcherzykach płucnych. W tych warunkach bez nasilonego oddychania krytyczny próg (pojawiają się zaburzenia funkcji mózgu wskutek hipoksji) obniżonego ciśnienia parcjalnego tlenu w pęcherzykach płucnych osiągany jest powyżej 12 km n.p.m., a przy zwiększonej wentylacji płucnej dopiero powyżej 14 km n.p.m. Przy oddychaniu powietrzem atmosferycznym próg ten pojawia się, gdy ciśnienie parcjalne tlenu w pęcherzykach płucnych spadnie poniżej wartości krytycznej, tj. 35 mmHg, co odpowiada wysokości 4 000 m n.p.m. Ukazuje to istotną przydatność oddychania czystym tlenem w pokonywaniu wysokości i jego ważną rolę w medycynie lotniczej, czy kosmicznej, kiedy to w razie awarii w kabinach systemu regulacji ciśnienia oddychanie czystym tlenem może ratować życie.

Jednak zbyt wysokie ciśnienie parcjalne tlenu, powyżej 165 mmHg, jak to ma miejsce przy oddychaniu mieszkankami wzbogaconymi w tlen, albo przy nurkowaniu, wywołuje zjawisko hiperoksji, powodujące zanik czynnika powierzchniowego płuc. Zakres tego oddziaływania objawia się kaszlem oraz bólami podczas oddychania i zależy od długości trwania hiperoksji. Występuje ono wyraźnie, gdy przez wiele dni ciśnienie parcjalne tlenu w mieszaninie oddechowej przekracza 525 mmHg. Istotnym zatem wydaje się tak skoordynować proces treningu wytrzymałościowego, aklimatyzacji i wspomaganie oddychania mieszkankami gazowymi o różnym ciśnieniu parcjalnym tlenu, aby działania te prowadziły do zwiększenia wydolności fizycznej organizmu sportowca.

Proces aklimatyzacyjny

Pierwszym ogniwem aklimatyzacji do wysokości jest zwiększona wentylacja płucna i zmniejszona zawartość tlenu w mieszanej krwi żyłnej, które są warunkami limitującymi maksymalną zdolność wysiłkową (44). W warunkach hipoksycznych na dużych wysokościach spoczynkowa wentylacja płuc wzrasta się około 3-krotnie (hiperwentylacja). Oczywiście wzrost wentylacji płucnej spowodowany wysiłkiem fizycznym nawet na poziomie morza jest znacznie wyższy, ale za to mniej uciążliwy dla organizmu. Hiperwentylacja hipoksyczna wiąże się z obniżeniem ciśnienia parcjalnego dwutlenku węgla we krwi i pojawianiem się już po kilku dniach zasadowicy, która poprzez ośrodkowe chemoreceptory ogranicza napęd oddychania. W pierw-

szym tygodniu hipoksji zasadowica kompensowana jest poprzez wzmożone wydalanie HCO_3^- w nerkach i przez to obniża się pH krwi do normy oraz wzrasta napęd oddechowy, spowodowany deficytem tlenu. Pobudzenie układu chemoreceptorów wrażliwych na niedobór tlenu na dużych wysokościach powoduje przyspieszenie częstości skurczów serca, co zwiększa skutecznie jego pojemność minutową. Przy ograniczonym dostępie do tlenu jego zapotrzebowanie dla organizmu jest w ten sposób zapewnione. Wrażliwość chemoreceptorów objawiająca się zmianą wentylacji płucnej w warunkach hipoksji wysokościowej jest jednym z ważnych czynników determinujących wielkość wykonanej pracy (45), której ekonomizacja ulega zwiększeniu. Już po 5-8 godzinach aktywnego treningu, w ciągu pierwszych 72 godz. pobytu na wysokości 2500 m n.p.m. dochodzi w organizmie do wzrostu pojemności tlenowej oraz zwiększonej dyfuzji tlenu do tkanki mięśniowej.

Zwiększenie pojemności tlenowej krwi spowodowane jest przyrostem stężenia hemoglobiny i hematokrytu, przez co podwyższa się moc aerobowa (46). Pobór tlenu przez mięśnie jest ułatwiony na skutek zwiększenia w nich kapilaryzacji, przyrostu masy mitochondrialnej oraz zwiększenia stężenia mioglobiny tkankowej (47), jak również stężenia 2,3-DPG (48). Wzrasta też pojemność buforowa mięśni szkieletowych, co podwyższa wydolność anaerobową i wytrzymałość (49). Zwiększa się utlenianie wolnych kwasów tłuszczowych i glukozy, co powoduje oszczędzanie zapasów glikogenu mięśniowego. Te zmiany metaboliczne prowadzą do obniżonego stężenia mleczanu i amoniaku (50) przy wykonywaniu ćwiczeń o submaksymalnej intensywności. Na dużych wysokościach, np. 3670 m n.p.m. stężenia mleczanu we krwi nie były tak wysokie, jak podczas podobnego wysiłku maksymalnego wykonywanego na poziomie morza. Na każdej następnej wysokości mierzone przez pracowników Harvardzkiego Laboratorium Zmęczenia stężenia mleczanu były już coraz niższe, a po intensywnej wspinaczce do obozu położonego na wysokości 6159 m n.p.m. u dwóch uczestników tej wyprawy były tylko nieco wyższe, niż rejestrowane w warunkach spoczynku na poziomie morza. Badania cykloergometryczne wykazały, iż stężenie mleczanu we krwi w wysiłku maksymalnym było niższe i nie osiągało wartości rejestrowanych przy tym samym obciążeniu na poziomie morza. To nietypowe zjawisko nazwano „lactate paradox”. Dane te są niezgodne z wynikami cytowanymi powyżej, uzyskanymi przez Sheparda, (36) sugerującymi intensywniejszy przyrost stężenia mleczanu we krwi podczas pracy wykonywanej na znaczącej wysokości n.p.m. w porównaniu do niższych stężeń, osiąganych przy podobnej pracy na poziomie morza. To interesujące zagadnienie wymaga więc dalszych badań.

W miarę postępu aklimatyzacji na wysokościach powyżej 4000 m zwiększa się zdolność organizmu

do wykonywania ćwiczeń o submaksymalnej intensywności, ale nie powraca wielkość $\dot{V}O_2\max$ do poziomu rejestrowanego na wysokości morza (51). Przy wysokościach poniżej 2500 m $\dot{V}O_2\max$ wraca po okresie 1-2 tygodni do wcześniejszego poziomu (48). Badania przeprowadzone na kobietach trenujących dyscypliny wytrzymałościowe, u których na poziomie morza $\dot{V}O_2\max$ wynosiło 56.3 ± 4.7 ml/kg/min wykazały, że na skutek mniejszego ciśnienia parcjalnego tlenu podczas treningu na wysokości 1000 m n.p.m. obserwowano zmniejszenie $\dot{V}O_2\max$ o $3.6 \pm 2.1\%$. Na wysokości 2500 m n.p.m. spadek ten wynosił już $14 \pm 2.5\%$, a na wysokości 4500 m n.p.m. $27.4 \pm 3.6\%$ (52). Obserwuje się, że $\dot{V}O_2\max$ obniża się ok. 1% przy wzroście wysokości o kolejne 100 m powyżej 1500 m n.p.m. (53,54), podczas gdy u dobrze wytrenowanych sportowców następuje to już powyżej 500 m n.p.m.

W hipoksji we krwi wraz ze stymulacją sympatycznego układu nerwowego pojawia się większe stężenie adrenaliny (55). Zwiększa się przez to częstość skurczów i pojemność minutowa serca, przez co zaopatrzenie tkanek w tlen jest nieomal na tym samym poziomie, jak na wysokości morza (56). Fuchs i Reiss wykazali (42), że właśnie w ciągu pierwszych 3-4 dni pobytu w górach, częstość skurczów serca zliczana w warunkach spoczynkowych wzrasta o 3-8% w porównaniu z warunkami nizinnymi, jednak już po tygodniu na skutek zakończenia procesu aklimatyzacji zmienna ta stabilizuje się na poziomie podobnym do warunków nizinnych. Po 2-3 tygodniach następuje normalizacja przepływu krwi z usprawnieniem dostarczania tlenu. Jak wspomniano powyżej zamieszkiwanie przez rdzennych mieszkańców Andów, czy Himalajów na wysokościach około 4 000 m n.p.m. prowadzi do wystąpienia bradykarii (32). Nie ma dowodów na to, czy długotrwałe przebywanie przez osoby pochodzące z nizin na dużych wysokościach doprowadzi również do wystąpienia tego zjawiska.

Na skutek malejącego wraz z rosnącą wysokością n.p.m. ciśnienia parcjalnego tlenu w powietrzu, już po kilku godzinach pobytu w górach u człowieka z nizin pojawia się policytomia (czerwienica – nadmierna produkcja czerwonych krwinek). Poza zwiększeniem liczby erytrocytów obserwuje się wówczas wzrost stężenia hemoglobiny we krwi (57). Zwiększona koncentracja erytrocytów oraz podwyższona zdolność transportu tlenu przez krew wynika z obniżenia się objętości osocza na skutek zwiększenia utraty płynów, wywołanych niską wilgotnością powietrza (41). Wzmoczone wytwarzanie erytrocytów i hemoglobiny jest stymulowane przez coraz większe wydzielanie erytropoetyny na skutek niedoboru tlenu już w 3 godziny po przybyciu w góry. Maksymalne wytwarzanie tego hormonu przez nerki następuje po 24-48 godzinach (58) i utrzymuje się tylko przez 7-8 dni,

pomimo trwania dalszej ekspozycji organizmu na hipoksję, a ilość erytrocytów nadal powoli wzrasta (59). Po 1-2 latach ekspozycji na hipoksję wysokościową w organizmach ludzi z nizin następują takie zmiany adaptacyjne, jakie występują u ludzi stale zamieszkujących wysokie góry. Pojemność tlenowa krwi wzrasta wraz ze zwiększaniem się wysokości (60). Kiedy ogólna liczba erytrocytów wzrośnie i ustabilizuje się na nowym poziomie, wówczas proces ten zanika (61). Na bardzo dużych wysokościach znaczny wzrost masy erytrocytów może istotnie zwiększyć lepkość krwi, co doprowadzić może do ograniczenia objętości wyrzutowej serca (62). Morfologiczna adaptacja trwa ok. 1 tygodnia, metaboliczna natomiast 2-3 tygodnie. Proces aklimatyzacji jest sprawą indywidualną, a czas jego trwania jest różny. Najczęściej do osiągnięcia dobrych rezultatów na zawodach wystarczą 2-3 tygodnie adaptacji, lecz po tym czasie może pojawić się roztrenowanie organizmu. Część zawodników i trenerów uważa, że okres aklimatyzacji do wysokości można pominąć i najlepiej wystartować na zawodach w warunkach hipoksji bezpośrednio po przyjeździe z nizin. Nie ma jednak dostatecznych danych popierających tę tezę.

Ostatnim etapem adaptacji jest wyraźne zwiększenie ekonomizacji pracy układów oddychania zewnętrznego i krążenia. Nadto obserwuje się zwiększenie masy serca i pojemności układu wieńcowego, wzrost koncentracji hemoglobiny i liczby mitochondriów w mięśniu sercowym, zwiększenie mocy mechanizmów energetycznych oraz wzrost oddechowej powierzchni płuc, mocy mięśni oddechowych, a także współczynnika wykorzystania tlenu z wydychanego powietrza (63).

Zawodnicy przebywający na wysokości 2000-2500 m n.p.m. nie muszą przechodzić procesu aklimatyzacyjnego, gdyż zmiany adaptacyjne następujące w ich organizmach zachodzić będą bez odczuwalnych przez nich skutków. Przebywanie, czy też treningi na tych wysokościach nie powinny odbić się na zdrowiu sportowców. Dopiero po przekroczeniu 3000-3500 m n.p.m. wskazany jest proces aklimatyzacyjny, wszak nagłe przemieszczenie się z nizin na te wysokości, może spowodować wiele skutków ubocznych szczególnie, jeśli organizm będzie obciążony treningiem fizycznym.

Zakończenie

Celem dalszego polepszania wyników sportowych w konkurencjach opartych o wysoko rozwiniętą cechę wytrzymałości, trenerzy poszukują nowych rozwiązań w metodyce treningu. By działania te były bardziej skuteczne specjaliści zajmujący się medycyną lotniczą, kosmiczną oraz adaptacją organizmu do warunków wysokogórskich i zmiennych warunków termicznych, poczynili szereg obserwacji w tym

zakresie. Połączenie tych działań może skuteczniej rozwijać możliwości wysiłkowe organizmu.

Sportowcy mieszkają i trenują w różnych szerokościach geograficznych, w związku z czym zmagają się muszą z nie zawsze korzystnymi dla nich warunkami klimatycznymi. Zupełnie inaczej zachowuje się organizm zawodnika mieszkającego i trenującego w krajach afrykańskich, czy też Ameryki Środkowej, niż zawodników żyjących np. w Islandii, Kanadzie, czy w krajach Kaukazu Południowego. Sportowcy, którzy często startują w warunkach podwyższonej temperatury, zaniedbując proces aklimatyzacyjny, narażają się na drastyczne obniżenie wydolności, co odbija się na ich formie, a ponadto mogą oni stać się ofiarami powikłań zdrowotnych związanych z przegrzaniem. Istotne jest w tych warunkach zapewnienie dostatecznej ilości napojów. Niewłaściwy trening w obniżonej temperaturze otoczenia poważnie obniża zdolności wysiłkowe, zwiększa ryzyko urazów, jak również może doprowadzić do hipotermii i jej następstw. Proces treningowy w warunkach gorąca, czy też zimna musi być zatem dokładnie opracowany i przemyślany, w przeciwnym razie skazuje zawodnika na niepowodzenie sportowe lub może zagrozić jego zdrowiu, a nawet życiu.

Dla sportowców startujących w różnych warunkach środowiskowych i klimatycznych niezwykle istotny jest właściwie przeprowadzony proces adaptacji do różnych warunków klimatycznych, szczególnie, jeśli zawodnicy zmieniają strefę klimatyczną, np. z powodu startu na innym kontynencie.

Równie ważny w kształtowaniu wytrzymałości jest trening wysokogórski. Ma on wiele pozytywnych właściwości, które w znaczny sposób podnoszą wytrzymałość sportowca nawet na wiele tygodni. Jednak specyficzna aklimatyzacja wysokogórska jest trudna do realizacji w przypadku dużych obciążeń sportowych, gdyż organizm dodatkowo narażony jest na obniżone ciśnienie parcjale tlenu, obniżoną temperaturę otoczenia i zwiększoną podatność na zmęczenie. W związku z powyższym warto imitować warunki wysokogórskie w miejscu zamieszkania zawodnika poprzez stosowanie tzw. sztucznej hipoksji, która polega na oddychaniu mieszkankami gazowymi o różnym ciśnieniu parcjale tlenu. Pomocnymi w tym zakresie mogą być też osiągnięcia medycyny lotniczej i ludzi uprawiających niektóre sporty ekstremalne, np. skoki spadochronowe z dużych wysokości, przekraczających granice 30 km.

Piśmiennictwo/References:

1. Popinigi J. O tlenie, mitochondriach i adaptacji do wysiłku wytrzymałościowego, czyli od Holloszy'ego 1967 do Holloszy'ego 2002. *Sport Wyczyn* 2002; 9-10, 6-21.
2. Astrand PO. New Records in human powers. *Nature* 1955; 176, 922-3.
3. Holloszy JO. Biochemical adaptation in muscle. Effects of exercise of mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle. *J Biol Chem* 1967; 242, 2278-82.
4. Davies KJ, Packer L, Brooks GA. Biochemical adaptation of mitochondria, muscle, and whole-animal respiration to endurance training. *Arch Biochem Biophys* 1981; 209(2):539-54.
5. Dulac S, Quirion A, DeCarufel D i wsp. Metabolic and hormonal responses to long-distance swimming in cold water. *Int J Sports Med* 1987; 8(5):352-6.
6. O'Toole ML, Douglas PS, Hiller W. Applied physiology of a triathlon. *Sports Med* 1989; 8, 201-25.
7. Bergh U, Ekblom B. Physical performance and peak aerobic power at different body temperatures. *J Appl Physiol* 1979; 46, 5 885-9.
8. Mills WY, Hackett PH, Schoene RB, Roach R. Treatment of hypothermia: in the field, w: Sutton YR, Houston CS, Coales G. Hypoxia and cold. New York, Praeger Publishers 1987; 271-85.
9. Wilmore JH, Costill DL. Physiology of sport and exercise. Champaign, IL, Human Kinetics Publishers 1994.
10. Pugh LG, Edholm DG. The physiology of channel swimmers. *Lancet* 1955; 2, 761-7.
11. Barbarasz NA, Dwurieczenska G. Ja. Adaptacja k chłodu. Fizjologija adaptacyjnych processow. Moskwa, Nauka 1986; 251-304.
12. O'Conner FG, Pyne S, Brennan FH, Adirim T. Exercise associated collapse: An algorithmic approach to race day management. *Am J Med Sports* 2003; 5, 229:212-17.
13. De Vries HA, Housh TJ. Physiology of exercise – 5th edition. Brown and Benchmark 1994; 636.
14. Karlyjew KM. Adaptacja k wysokiej temperaturie. Moskwa, Nauka 1986.
15. Haymes EM, McCormick RJ, Buskirk ER. Heat tolerance of exercising lean and obese prepubertal boys. *J Appl Physiol* 1975; 39(3):457-61.
16. Bar-Or O, Dotan R, Inbar O, Rotshtein A i wsp. Voluntary hypohydration in 10- to 12-year-old boys. *J Appl Physiol* 1980; 48(1):104-8.
17. Haymes EM. Physiological response of female athletes of heart stress. (A review). *Physician and Sportmed* 1984; 12, 45-59.
18. Robertson YW. Medical Problems in mass participation runs. Recommendations. *Sports Med* 1988; 6, 261-70.
19. Speedy DB, Noakes TD, Rodgers IR i wsp. Hyponatremia in ultradistance triathletes. *Med. Sci Sports Exerc* 1999; 31:809-15.
20. Wyndham CH. The physiology of exercise under heat stress. *Ann Rev Physiol* 1973; 35, 193-220.
21. Cochrane DJ, Sleivert GG. Do changing patterns of heat and humidity influence thermoregulation and endurance performance? *J Sci Med Sport* 1999; 2(4):322-32.
22. Leithhead CS, Lind AR. Heat – stress and heat disorders. Leningrad, Cassel 1964.
23. Moroff SV, Bass DE. Effects of over hydration on man's physiological responses to work in the heat. *J Appl Physiol* 1965; 20:267-70.
24. Bułatowa MM, Płatanow WN. Trening w różnych warunkach geoklimatycznych i pogodowych. Biblioteka Trenera, Warszawa 1996.
25. Płatanov VN. Podgotowka kwalificiowanych sportsmiennow. Moskwa, Fizkultura i sport 1986; 288.
26. Koc Ja. M. Sportiwnaja fizjologija. Moskwa, Fizkultura i sport 1986; 145-65.
27. Holtzhaus LM, Noakes TD. Collapsed ultra-endurance athlete: proposed mechanisms and an approach to management. *Clin J Sport Med* 1997; 7:409-20.
28. American College of Sports Medicine. Position stand on exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc* 1996; 28(1):i-vii.
29. Miles MP, Clarkson PM. Exercise-induced muscle pain, soreness and cramps. *J Sports Med Phys Fit* 1994; 34:203-16.
30. Castagna C, Abt G, D'Ottavio S. Physiological aspects of soccer refereeing performance and training. *Sports Med* 2007; 37(7):625-46.
31. Terrados N, Melichna J, Sylven J i wsp. Effects of training at simulated altitude on performance and muscle metabolic capacity in competitive road cyclists. *Eur J Appl Physiol* 1988; 57, 203-9.

32. Margaria R, Ceretelli P. Physiological aspects of life at extreme altitude. *Biometeorology*, London 1960; s. 3-25.
33. Hurtado A, Merino C, Delgado E. Influence of anoxemia on the hemopoietic activity. *Intern Med* 1945; 41, 284-323.
34. Brutsaert TD. Do high-altitude natives have enhanced exercise performance at altitude? *Appl Physiol Nutr Metab* 2008; 33(3):582-92.
35. Peronnet F, Thibault G, Cousineau DL. A theoretical analysis of the effect of altitude on running performance. *J Appl Physiol* 1991; 70:399-404.
36. Shephard RJ. Altitude training camps. *Br J Sports Med* 1992; 8, 38-45.
37. Platanov VN. La adaptation en deporte. Barcelona, Paidotribo 1991; 294.
38. Jackson CGR., Sharkley BJ. Altitude, training and human performance. *Sport Med* 1988; 6, 279-84.
39. Stray-Gundersen J, Levine BD. Altitude acclimatization/normoxic training (high/low) improves sea-level endurance performance immediately on descent from altitude. *Med Sci Sports Exerc* 1994; 26:S64.
40. Wehrli JP, Marti B. Live high-train low associated with increased haemoglobin mass as preparation for the 2003 World Championships in two native European world class runners. *British J Sports Med* 2006; 40(2):183.
41. Wehrli JP, Zuest P, Hallén J, Marti B. Live high-train low for 24 days increases hemoglobin mass and red cell volume in elite endurance athletes. *J Appl Physiol* 2006; 100: 1938-45.
42. Fuchs U, Reiss M. Hohentraining. Trainer Bibliothek 27. Philippka-Verlag 1990; 127.
43. Pialoux V, Mounier R, Rock E i wsp. Effects of the 'live high-train low' method on prooxidant/antioxidant balance on elite athletes. *Eur J Clin Nutr* advance online publication, 9 April 2008; doi:10.1038/ejcn.2008.30.
44. Sutton JR, Reeves JT, Wagner PD i wsp. Operation Everest II: oxygen transport during exercise at extreme simulated altitude. *J Appl Physiol* 1988; 64:1309-21.
45. Schoene RB, Lahiri S, Hackett PH i wsp. Relationship of hypoxic ventilatory response to exercise performance on Mount Everest. *J Appl Physiol* 1984; 56:1478-83.
46. Kanstrup IL, Ekblom B. Blood volume and haemoglobin concentration as determinants of maximal aerobic power. *Med Sci Sports Exerc* 1984; 16:256-62.
47. Terrados N, Jansson E, Sylven C, Kaijser L. Is hypoxia a stimulus for synthesis of oxidative enzymes and myoglobin? *J Appl Physiol* 1990; 68 (6): 2369-72.
48. Mariburl H, Schobersberger W, Humpeler E i wsp. Beneficial effects of exercising at moderate altitude on red cell oxygen transport and on exercise performance. *Pflug Archiv* 1986; 406:594-9.
49. Mizuno M, Juel C, Bro-Rasmussen T i wsp. Limb skeletal muscle adaptation in athletes after training at altitude. *J Appl Physiol* 1990; 68 (2): 496-502.
50. Young PM, Rock PB, Fulco CS. Altitude acclimatization attenuates plasma ammonia accumulation during submaximal exercise. *J Appl Physiol* 1987; 63:758-64.
51. Saltin B, Grover RF, Blomquist C i wsp. Maximal oxygen uptake and cardiac output after 2 weeks at 4,300m. *J Appl Physiol* 1968; 25: 400-9.
52. Woorons X, Mollard P, Lamberto C i wsp. Effect of acute hypoxia on maximal exercise in trained and sedentary women. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37(1):147-54.
53. Buskirk ER. Physiology and performance of track athletes at various altitudes in the United States and Peru. in: *The Effects of Altitude on Physical Performance*, RF Goddard, ed. Chicago, IL: *Athletic Inst* 1966; 65-72.
54. Terrados N, Mizuno M, Andersen H. Reduction in maximal oxygen uptake at low altitudes; role of training status and lung function. *Clin Physiol* 1985; 5 (Suppl. 3), 75-9.
55. Mazzeo RS, Bender PR, Brooks GA i wsp. Arterial catecholamine responses during exercise with acute and chronic high-altitude exposure. *Am J Physiol* 1991; 261:E419-E424.
56. Wolfer EE. Sympatho-adrenal and cardiovascular adaptation to hypoxia. in: *Hypoxia and Molecular Medicine*, JR Sutton, CS Houston, G Coates ed, Queen City Printers, Inc., Burlington 1993; 62-80.
57. Boutellier U, Derias O, di Prampero P, Cerretelli P. Aerobic performance at altitude: effects of acclimatization and haematocrit with reference to training. *Int J Sports Med* 1990; 11, 21-6.
58. Wolfel EE, Groves BM, Brooks GA i wsp. Oxygen transport during steady-state submaximal exercise in chronic hypoxia. *J Appl Physiol* 1991; 70:1129-36.
59. Berglung B. High-altitude training, aspects of haematological adaptation. *Sports Med* 1992; 14:289-303.
60. Mijerson FZ. Adaptacja k wysotnoj gipoksii, (w:) Fizjologija adaptacyjnych processow. Moskwa, Nauka, *Platanom* 1986; 224-48.
61. Van Liere EJ, Stickney JC. Hypoxia. Chicago and London. *The University of Chicago Press* 1963; 367.
62. Buick FJ, Gledhill N, Froese AB, Spriet LL. Red cell mass and aerobic performance at sea level. Sutton JR, Jones NL, Houston CS Hypoxia: Man at Altitude. *Thieme-Stratton New York* 1982; 43-50.
63. Kołczinska AZ. O fizjologicznych mechanizmach, opriedielajuszczich trienirujuszczij effiekt sriednie i wysokogorja. *Tieorija i Praktika Fiziczeskoj Kultury* 1990; 4, 39-43.

Adres do korespondencji/Address for correspondence:

Krzysztof Mizera
Instytut Kultury Fizycznej
Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie
42-200 Częstochowa
ul. Waszyngtona 4/8.