

Wpływ treningu hipoksycznego na wydolność aerobową zawodnika klasy mistrzowskiej międzynarodowej w chodzie sportowym

Influence of hypoxia training on aerobic capacity in elite race walker

Marcin Maciejczyk*, Grzegorz Sudół**

*AWF Kraków, Instytut Fizjologii Człowieka, Zakład Fizjologii i Biochemii

**AWF Kraków, Katedra Teorii i Metodyki Lekkiej Atletyki

Wpływ treningu hipoksycznego na wydolność aerobową zawodnika klasy **mistrzowskiej międzynarodowej w chodzie sportowym**

Influence of hypoxia training on aerobic capacity in elite race walker

Wstęp

Zdolność organizmu do wykonywania wysiłków długotrwałych (wydolność aerobowa) jest determinowana przez szereg czynników, określanych najczęściej jako mechanizmy zaopatrzenia tlenowego. Wśród nich należy wymienić między innymi maksymalną wentylację minutową płuc ($V_{E\max}$), sprawność dyfuzji gazów oddechowych w płucach i w tkankach, maksymalną pojemność minutową serca, pojemność tlenową krwi czy ukrwienie mięśni. Spośród wymienionych czynników, wydaje się, że najbardziej ograniczającym czynnikiem jest pojemność tlenowa krwi, która głównie determinowana jest przez ilość erytrocytów i poziom hemoglobiny we krwi. Jeden gram hemoglobiny może bowiem przetransportować około 1,34 ml tlenu, zatem prawidłowy poziom hemoglobiny we krwi (około 16 g/dl u mężczyzny) pozwala przenosić maksymalnie około 20-21 ml tlenu przez 100 ml utlenowanej krwi. Natomiast układ oddechowy zasadniczo spełnia swoją rolę dostarczając ogromną ilość powietrza – u wysoce wytrenowanych zawodników nawet 180 – 200 l/min – zawierającego blisko 21 % tlenu, co daje 37,8 – 42 litry tlenu. Tymczasem maksymalny minutowy pobór tlenu ($VO_{2\max}$), parametr, który jest wyznacznikiem poziomu wydolności tlenowej, osiąga maksymalny poziom 6-7 litrów tlenu na minutę. Również pracujące mięśnie są w stanie zużyć każdą dostarczoną ilość tlenu. Z tego też względu współczesny trening (ale również doping) ukierunkowany jest przede wszystkim na poprawienie parametrów hematologicznych krwi, zwiększając pojemność tlenową krwi. Najpopularniejszą metodą wykorzystywaną w sporcie jest trening w warunkach obniżonego ciśnienia parcjalnego tlenu w powietrzu atmosferycznym (hipoksji). W tym celu wykorzystuje

się naturalne warunki środowiska (klimatu) trenując na dużych wysokościach nad poziomem morza, gdzie panuje obniżone ciśnienie tlenu wywołując hipoksję hipobaryczną organizmu. Innym sposobem, coraz częściej stosowanym w wyczynowym sporcie, jest korzystanie z namiotów hipoksycznych, które sztucznie zmieniają warunki otoczenia w namiocie, obniżając w nim ciśnienie tlenu, symulując warunki wysokogórskie (hipoksja normobaryczna). Hipoksja organizmu powoduje uwolnienie przez nerki erytropoetyny, która stymulując erytropoezę, prowadzi do zwiększenia we krwi poziomu erytrocytów oraz hemoglobiny, tym samym zwiększając pojemność tlenową krwi.

Celem pracy jest przedstawienie wpływu kombinacji dwóch modeli treningu hipoksycznego na wydolność aerobową organizmu wysoko wytrenowanego zawodnika uprawiającego chód sportowy. Grzegorz Sudoł jest wielokrotnym reprezentantem Polski w chodzie sportowym, **siódmym zawodnikiem Igrzysk Olimpijskich w Atenach (2004)**, dziewiątym zawodnikiem Igrzysk olimpijskich w Pekinie (2008), czwartym zawodnikiem w Mistrzostwach Świata w Lekkiej Atletyce w Berlinie (2009), wicemistrzem Europy (2010) oraz wielokrotnym Mistrzem Polski w chodzie sportowym.

Metodyka badań

Obserwacje i wszystkie badania przeprowadzono w okresie przygotowawczym do sezonu, w którym docelową imprezą sportową były Mistrzostwa Świata w Lekkiej Atletyce w Berlinie (2009). Badania zostały przeprowadzone w trzech etapach: badanie wstępne, przeprowadzone po czterotygodniowym treningu bez wpływu hipoksji (etap I), trening z wykorzystaniem namiotu hipoksycznego (etap II) oraz trening w warunkach wysokogórskich (etap III). Podczas etapu I i II, zawodnik trenował w Krakowie (Polska) na wysokości około 230 m n.p.m. Etap drugi trwał 28 dni i jego trakcie trening uzupełniany był przebywaniem (sen) w namiocie hipoksycznym Wallace Altitude Tent System llc Model: WAT 14000 produkcji USA który symulował warunki atmosferyczne panujące na wysokości 7000 ft (2133m) n.p.m. Po przebudzeniu badany dokonywał pomiaru saturacji krwi tlenem przy użyciu pulsoksymetru oraz zapisywał czas przebywania (snu) w namiocie. Przeciętny czas przebywania w namiocie hipoksycznym wynosił około **9h,20min** godzin na dobę. Następnie, po przeprowadzeniu badań wydolnościowych rozpoczął treningi w Republice Południowej Afryki przebywając 26 dni na wysokości około 1800 m n.p.m. Po powrocie do Krakowa przeprowadzono ponownie badania wysiłkowe. Na każdym etapie wykonano oznaczenia

podstawowych wskaźników krwi: hematokrytu, stężenia hemoglobiny oraz poziomu erytrocytów i retikulocytów.

Pomiary somatyczne

Przystępując do pierwszej serii badań dokonano pomiarów wysokości ciała (BH), wykorzystując antropometr. W każdej serii badań dokonywano pomiarów masy ciała (BM) przy użyciu wagi Tanita TBF-300, która szacowała również skład ciała w oparciu o metodę bioelektrycznej impedancji (BIA). W pomiarze określono: wskaźnik masy ciała (BMI), procentowy poziom tłuszczu w organizmie (%FAT), masę tłuszczu (FM), beztłuszczową masę ciała (FFM).

Badania wydolnościowe

Parametrami służącymi do oceny wydolności aerobowej są maksymalny minutowy pobór tlenu (VO_{2max}) oraz próg anaerobowy, definiowany jako intensywność pracy po przekroczeniu której w organizmie dominują beztlenowe przemiany energetyczne, których produktem jest mleczan, powodujący szybkie narastanie uczucia zmęczenia. Do oceny wydolności tlenowej zastosowano test o stopniowo wzrastającym obciążeniu wykonywanym aż do odmowy, który pozwala wyznaczyć zarówno wielkość VO_{2max} oraz intensywność pracy odpowiadającą progowi anaerobowemu. Test wykonywany był na bieżni mechanicznej hp Cosmos- Saturn produkcji niemieckiej. Zadaniem badanego zawodnika był chód sportowy z coraz większą prędkością przesuwu taśmy. Po oznaczeniu poziomu wyjściowego analizowanych parametrów zawodnik rozpoczynał rozgrzewkę (4 min) z prędkością $3,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($11,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) przy kącie nachylenia bieżni 1° , a następnie zwiększono prędkość taśmy nośnej do $3,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Po 2 minutach wysiłku systematycznie (co 2 minuty) zwiększano prędkość taśmy o $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Po osiągnięciu prędkości chodu $4,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, by formą wysiłku pozostawał chód, intensywność pracy zwiększano podnosząc co 1 minutę kąt nachylenia bieżni o 1° . Analizę przemiany oddechowej dokonywano za pomocą ergospiromeru Medikro 919 produkcji fińskiej. Oznaczano w sposób ciągły: częstość oddychania (FR), objętość oddechową (TV), wentylację minutową płuc (VE), pobór tlenu (VO_2), frakcję tlenu i dwutlenku węgla w powietrzu wydychanym oraz równoważnik oddechowy (RQ). Próba ta pozwoliła na wyznaczenie wielkości VO_{2max} oraz na podstawie analizy zmian parametrów oddechowych w trakcie badania wielkości progów wentylacyjnych – zgodnie z koncepcją Reinharda i wsp. [1] oraz Bhambhani’go i Singha [2], usytuowanie drugiego progów wentylacyjnego odpowiada progowi anaerobowemu (AnT) (próg niekompensowanej kwasicy metabolicznej – TDMA).

W trakcie badania w sposób ciągły dokonywano zapisu częstości skurczów serca (HR) przy użyciu sporttestera Polar S610i. Przed testem oraz po zakończeniu testu - w 3 i 20 minucie - pobierano próbkę krwi, w której oznaczano stężenie mleczanu (La) metodą kolorymetryczną z zastosowaniem testu enzymatycznego Lactat PAP firmy Biomerieux.

Analiza zrealizowanych obciążeń treningowych pomiędzy badaniami

Na podstawie prowadzonego dziennika treningowego przez zawodnika określono wielkość wykonanej pracy w poszczególnych strefach metabolicznych: poniżej progu anaerobowego (strefa podprogowa), powyżej tego progu (strefa nadprogowa), w strefie okołoproęgowej ($HR_{AnT} \pm 3 \text{ sk} \cdot \text{min}^{-1}$) oraz strefa regeneracyjna (przy częstości skurczów poniżej 140 sk/min). Intensywność treningu była monitorowana przy użyciu sporttestera RS 800 i monitorowana też w programie POLAR.

Charakterystyka badanego.

Grzegorz Sudoł jest dwukrotnym olimpijczykiem (Ateny 2004, Pekin 2008) w chodzie sportowym na 50km. Reprezentuje poziom klasy mistrzowskiej międzynarodowej. W momencie przeprowadzenia badań był w wieku około 30,5 lat, a jego staż treningowy to 16 lat uprawiania chodu sportowego. Wysokość badanego zawodnika wynosiła 175 cm, natomiast w trakcie obserwacji masa ciała systematycznie zmniejszała się z poziomu 61,9 kg w pierwszym badaniu do 59,9 kg w trzeciej serii badań (startowa masa ciała). Zmiana ta wynikała głównie ze zmniejszającego się stopnia otluszczenia ciała – masa tkanki tłuszczowej zmniejszyła się z 3,7 kg w pierwszym badaniu do poziomu 2,0 kg w ostatnim. Poziom tkanki tłuszczowej w organizmie badanego zawodnika był bardzo niski w każdym badaniu i systematycznie w kolejnych badaniach zmniejszał się osiągając poziom 3,4 % masy ciała w trzecim badaniu. Beztłuszczowa masa ciała była w każdym badaniu na względnie stałym poziomie i wynosiła około 58 kg.

Tab.1. Poziom parametrów somatycznych badanego zawodnika

| Parametr | Badania wstępne (I) | Badanie II | Badanie III |
|----------|---------------------|------------|-------------|
| BH (cm) | 175 | | |
| BM (kg) | 61,9 | 60,7 | 59,9 |
| BMI | 20,2 | 19,8 | 19,3 |
| FFM (kg) | 58,2 | 58,4 | 57,9 |

| | | | |
|---------|-----|-----|-----|
| FAT (%) | 6 | 3,8 | 3,4 |
| FM (kg) | 3,7 | 2,3 | 2,0 |

Wyniki badań

Analiza zrealizowanych obciążeń treningowych w poszczególnych etapach badań.

W analizowanym okresie czasu struktura treningu była zbliżona do siebie w każdym etapie badań: blisko 80-90 % treningu odbywała się z intensywności podprogowej, 7-17 % z intensywnością okołoprogową i tylko 3-5 % objętości treningu realizowano z intensywnością powyżej progu anaerobowego. Na uwagę zasługuje fakt, że w drugim etapie badań zrealizowano najmniejszą objętość treningu (o około 15 – 16 h) niż w pozostałych etapach badań.

W pierwszym etapie badań, podczas czterotygodniowego treningu bez wpływu hipoksji, zawodnik zrealizował 39 jednostek treningowych. Łączny czas treningu wynosił 40h 40min i w jego trakcie pokonał 493 km. Praca o intensywności podprogowej zajęła 87% objętości zrealizowanego treningu tj. około 33h44min z czego 19 h to wysiłek w strefie typowo regeneracyjnej (46% całego czasu pracy). Czas pracy z intensywnością okołoprogową wynosiła 4h5min co stanowiło 10% łącznego czasu treningu. Środki treningowe o intensywności nadprogowej stanowiły 3% (49min) zrealizowanego treningu.

W drugim etapie badań, podczas 28 dni treningowych z równoczesnym przebywaniem w namiocie hipoksycznym, zawodnik zrealizował 29 jednostek treningowych. Łączny czas treningu wynosił 24h50min i w jego trakcie pokonał 284 km. Praca o intensywności podprogowej zajęła 90% objętości zrealizowanego treningu tj. około 22h24min, z czego 12h46min to wysiłek w strefie typowo regeneracyjnej (51% całego czasu pracy). Czas pracy z intensywnością okołoprogową wynosiła 1:41h co stanowiło 7% łącznego czasu treningu. Środki treningowe o intensywności nadprogowej stanowiły 3% (40 min) zrealizowanego treningu. W tym etapie badań ponadto badany zawodnik spędził w namiocie hipoksycznym w sumie 261,4 godziny, **przeciętnie 9 godziny i 20min** na dobę (28 dni). Przeciętny poziom saturacji krwi tlenem po przebudzeniu wynosiła 89,5%.

W trzecim etapie badań, podczas 26 dni treningu realizowanego w warunkach wysokogórskich, zawodnik zrealizował 42 jednostki treningowych. Łączny czas treningu wynosił 41,5 h i w jego trakcie pokonał 510 km. Praca o intensywności podprogowej zajęła

78% objętości zrealizowanego treningu tj. około 32h34min, z czego 14h to wysiłek w strefie typowo regeneracyjnej (33% całego czasu pracy). Czas pracy z intensywnością okołoprogową wynosiła 7h co stanowiło 17% łącznego czasu treningu. Środki treningowe o intensywności nadprogowej stanowiły 5% (2h12min) zrealizowanego treningu. Dużo większy pokonany kilometrąż wykonany w I i III etapie obserwacji był efektem przebywania w tym czasie na zgrupowaniu i zrealizowaniu większej liczby jednostek treningowych.

Tab.2. Analiza zrealizowanych obciążeń treningowych w poszczególnych etapach badań

| Etap | Liczba jednostek treningowych | Łączny czas treningu (h:min) | Łączny pokonany dystans (km) | Intensywność podprogowa (%) | Intensywność okołoprogową (%) | Intensywność nadprogowa (%) |
|----------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Etap I | 39 | 40:40 | 493 | 87% | 10% | 3% |
| Etap II | 29 | 24:50 | 284 | 90% | 7% | 3% |
| Etap III | 42 | 41:48 | 510 | 78% | 17% | 5% |

Wyniki badań wydolnościowych

Badany zawodnik charakteryzuje się wysokim poziomem wydolności aerobowej, potwierdzają to wysokie rezultaty pomiaru maksymalnego zużycia tlenu, które w każdym badaniu kształtowały się na poziomie około $70 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$. Najwyższy poziom tego parametru ($75,3 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$) odnotowano po powrocie z treningu wysokogórskiego (wzrost o około 8,7%), w pozostałych dwóch badaniach kształtował się na zbliżonym poziomie 68-69 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zwiększenie poziomu relatywnych wielkości VO_2max wynika częściowo ze zmniejszenia masy ciała badanego zawodnika. Podobnie zmiany odnotowano w poziomie całkowitych wielkości maksymalnego zużycia tlenu: najwyższe wielkości tego parametru notowano w trzecim badaniu ($4,51 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$) i były one o blisko 5% większe od poziomu notowanego w pierwszym badaniu. Nieznaczny spadek (w porównaniu do pierwszego badania) globalnych wielkości VO_2max (o $0,17 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$) stwierdzono po okresie przebywania

w namiocie hipoksycznym. Maksymalna częstość skurczów serca badanego zawodnika kształtowała się w każdym badaniu na poziomie 184 – 189 sk \cdot min $^{-1}$, natomiast maksymalna wentylacja minutowa płuc wynosiła od 138,6 l \cdot min $^{-1}$ (drugie badanie) do 144,6 l \cdot min $^{-1}$ (trzecie badanie). Po okresie treningu odbywającego się w górach notowano, w porównaniu do wcześniejszych badań) najdłuższy czas pracy testowej (14,12 min) oraz w trakcie testu stopniowanego zawodnik pokonywał największy dystans (3055 m). Po drugim etapie badań pokonany dystans oraz czas pracy testowej był nieznacznie krótszy (odpowiednio o 80 m i 15 sekund) w porównaniu do badania wstępnego. Po okresie treningu w warunkach hipoksji (zarówno w namiocie jak i w górach) odnotowano wyższe wielkości stężenia mleczanu we krwi w trzeciej minucie od zakończenia testu niż w badaniu po treningu w warunkach normoksji. Również tempo usuwania mleczanu z krwi wyraźnie uległo poprawie po treningu w warunkach hipoksycznych – o około 150 % po treningu z wykorzystaniem namiotu i około 100 % po treningu odbywającym się w warunkach górskich (tab.3.)

Tab.3. Pokonany dystans, czas pracy testowej, wielkości maksymalne mierzonych parametrów oraz zmiany stężenia mleczanu we krwi po teście stopniowanym

| Parametr | Badanie I | Badanie II | Badanie III |
|--|-----------|------------|-------------|
| dystans (m) | 2902 | 2820 | 3055 |
| t (min) | 13,5 | 13,25 | 14,12 |
| HRmax (sk \cdot min $^{-1}$) | 184 | 188 | 189 |
| VEmax (l \cdot min $^{-1}$) | 143,2 | 138,6 | 144,6 |
| VO $_2$ max (l \cdot min $^{-1}$) | 4,31 | 4,14 | 4,51 |
| VO $_2$ max (ml \cdot min $^{-1}$ \cdot kg $^{-1}$) | 69,3 | 67,9 | 75,3 |
| La $_{sp}$ (mmol \cdot l $^{-1}$) | 1,44 | 1,1 | 0,8 |
| La $_{3'}$ (mmol \cdot l $^{-1}$) | 8,4 | 10,7 | 10,1 |
| La $_{20'}$ (mmol \cdot l $^{-1}$) | 6,14 | 5,0 | 5,4 |
| Δ La | 2,26 | 5,7 | 4,7 |

Obserwowano wyraźnie wpływ hipoksji na wielkość parametrów fizjologicznych notowanych na poziomie progu anaerobowego. Zarówno po treningu połączonym z przebywaniem w namiocie hipoksycznym jak i po treningu odbywającym się w górach

zwiększyła się intensywność pracy odpowiadająca progowi anaerobowemu. W obu przypadkach wydłużył się czas osiągnięcia progu beztlenowego (o 2min) i zwiększyła się prędkość chodu przy której występował próg beztlenowy. Intensywność pracy, wyrażona jako %VO₂max i %HRmax, przy której został osiągnięty próg anaerobowy również uległa zwiększeniu, szczególnie w etapie drugim (namiot hipoksyczny). Świadczy to o poprawie możliwości wysiłkowych badanego zawodnika.

Tab.4. Czas osiągnięcia progu anaerobowego, prędkość progowa oraz poziom określanych parametrów na poziomie progu anaerobowego

| Parametr | Badanie I | Badanie II | Badanie III |
|---|-----------|------------|-------------|
| t (min) | 6 | 8 | 8 |
| v (m·s ⁻¹) | 3,3 | 3,63 | 3,63 |
| VE (l·min ⁻¹) | 75,1 | 80,4 | 79 |
| HR (sk·min ⁻¹) | 161 | 170 | 167 |
| % HRmax | 87,5 | 90,4 | 88,4 |
| VO ₂ (l·min ⁻¹) | 3,17 | 3,31 | 3,26 |
| VO ₂ (ml·min ⁻¹ ·kg ⁻¹) | 51,3 | 54,3 | 54,4 |
| %VO ₂ max | 73,55 | 79,95 | 72,3 |

Najwyższy poziom erytrocytów, hemoglobiny oraz hematokrytu odnotowano podczas treningu połączonego z przebywaniem w namiocie hipoksycznym (badanie II). W porównaniu do badania wykonanego przed treningiem hipoksycznym (badanie I), poziom erytrocytów we krwi wzrósł o 8%, stężenie hemoglobiny zwiększyło się o blisko 10%, natomiast zmiana hematokrytu wynosiła 3%. Wskaźniki reologiczne były na zdecydowanie niższym poziomie, w odniesieniu do badania pierwszego, po powrocie z treningu realizowanego w warunkach górskich (badanie III) (tab.4.), co ciekawe właśnie po tego rodzaju treningu odnotowano najwyższy poziom maksymalnego minutowego pochłaniania tlenu (VO₂max) u badanego zawodnika (tab.2.), można zatem przypuszczać, że przyczyny poprawy wydolności nie wynikały z poprawy pojemności tlenowej krwi, lecz w usprawnieniu pozostałych mechanizmów zaopatrzenia tlenowego ustroju. Można też przypuszczać że trening realizowany na wysokości 1800 m n.p.m był zbyt słabym bodźcem stymulującym

erytropoezę. Poziom retykulocytów był we wszystkich badaniach na zbliżonym poziomie (tab.4.).

Tab.4.Wskaźniki reologiczne w poszczególnych badaniach.

| Wskaźnik | Badanie I | Badanie II | Badanie III |
|--------------------|-----------|------------|-------------|
| RBC (mln/ μ l) | 5.0 | 5,4 | 4,8 |
| HGB (g/dl) | 15,4 | 16,9 | 14,6 |
| HCT (%) | 45 | 48 | 42 |
| Retikuloocyty (‰) | 12 | 11 | 11 |

Dyskusja

Poprawa zdolności wysiłkowych po zastosowaniu treningu hipoksycznego upatrywana jest głównie w usprawnieniu transportu tlenu [3] lub adaptacji do hipoksji tkanki mięśniowej [4]. Zasadniczym celem niedotlenienia organizmu jest usprawnienie transportu tlenu i jest osiągnięte głównie poprzez zwiększenie hematokrytu i objętości krwi. Hipoksja stymuluje bowiem nerki do wzmożonej produkcji erytropoetyny co z kolei nasila erytropoezę. Levine i Stray – Gundresen [5] oraz Stray – Gundresen i wsp [6] wykazali że przyrost wskaźników hematopoezy, objętości erytrocytów i koncentracji hemoglobiny we krwi korelował ze wzrostem poziom VO_2max . Choć większość doniesień wskazuje na podobne zmiany to niektórzy autorzy wskazują że mimo wzrostu poziomu erytropoetyny we krwi pod wpływem treningu wysokościowego nie obserwowano zwiększonej produkcji retikuloocytów [7] – podobne zmiany w poziomie retykulocytów obserwowano u badanego zawodnika. Loffredo i Glazer [8] wskazują że efekty wpływu hipoksji na zmiany w obrazie krwi zależą od wysokości nad poziomem morza oraz czasu przebywania w warunkach hipoksji. Koncentracja hemoglobiny we krwi zwiększa się o około 1% tygodniowo podczas pobytu w warunkach wysokogórskich [9]. W innych pracach wykazano brak poprawy wskaźników hematologicznych po treningu hipoksycznym [10,11].

We współczesnym sporcie wykorzystuje się różne modele treningu z wykorzystaniem hipoksji. Najczęściej używa się trzech modeli: 1. „mieszkać wysoko – trenuj wysoko” (live high and train high: LH+TH); 2. „mieszkać wysoko – trenuj nisko” (live high and train low: LH+TL); 3. „mieszkać nisko – trenuj wysoko” (Live low and train high: LL+TH). Drugi z wymienionych modeli treningu hipoksycznego (LH+TL) może zostać wykonany w trzech wariantach. Po pierwsze wykorzystując naturalne warunki środowiskowe (warunki górskie), w których zawodnik przebywa natomiast trening odbywa się na niższej wysokości nad poziomem morza. Ten wariant treningu sprawia problemy przede wszystkim logistyczne. Z tego powodu, by oszczędzić czas podróży przy zmianie wysokości, opracowano trening w którym symuluje się warunki wysokogórskie poprzez rozrzedzenie powietrza azotem (LH+TL via nitrogen dilution) co zmienia skład powietrza: zwiększa się odsetek azotu w powietrzu i jednocześnie zmniejsza odsetek tlenu – w tym celu konstruuje się specjalne mieszkania/domy (nitrogen apartment) lub poprzez obniżenie koncentracji tlenu w powietrzu (LH+TL via oxygen filtration) w pomieszczeniu (namiocie). W tej opcji wykorzystywana jest zatem hipoksja normobaryczna – zawodnik mieszka w warunkach hipoksycznych na niskiej wysokości, natomiast trening odbywa się poza pomieszczeniem hipoksycznym. Kolejnym trzecim sposobem treningu LH+TL jest przebywanie w warunkach naturalnych (górkich) – hipoksji hipobarycznej – natomiast trening odbywa się w pomieszczeniu w którym symuluje się warunki środowiskowe panujące na poziomie morza. W tym celu w pomieszczeniu zwiększa się koncentrację tlenu w powietrzu (LH+TH via supplemental oxygen). Trening LL+TH wykonywany jest najczęściej w dwojaki sposób. Zawodnik mieszka w warunkach normoksji normobarycznej natomiast na krótki czas (5-180 min) wprowadzany jest w warunki hipoksji (normobarycznej bądź hipobarycznej). W czasie oddziaływania hipoksji, zawodnik może odpoczywać (intermittent hypoxic exposure-IHE) lub trenować (intermittent hypoxic training - IHT)[12].

Zasadniczym celem każdego treningu, bez względu na wybrany rodzaj treningu z wykorzystaniem hipoksji, jest zwiększenie możliwości wysiłkowych zawodnika – połączenie treningu hipoksycznego z klasycznym treningiem aerobowym daje większy przyrost zdolności wysiłkowych niż stosowanie samego treningu tlenowego [13,14]. Tymczasem część autorów [15,16] wskazuje że klasyczny trening wysokościowy (LHTH) ma negatywny wpływ (bądź nie odnotowano poprawy) na wydolność fizyczną natomiast jedynie trening LH+TL ma dość dobrze udokumentowany pozytywny wpływ na zdolności wysiłkowe a z wykorzystywaniem symulowanej hipoksji (IHE) jest perspektywiczne choć nadal wymaga udokumentowania [8]. Korzystne efekty treningu LH+TL (zwiększenie VO₂max, poprawę

ekonomi biegu) obserwowali Brugniaux i wsp. [17], Robach i wsp. [18], Cornolo i wsp. [19]. Mankamentem treningu LH+TH jest ograniczenie intensywności treningu, obserwuje się bowiem że zawodnicy przebywając i trenując na dużej wysokości, w porównaniu do warunków panujących na poziomie morza, nie są w stanie wykonywać podobnej pracy fizycznej np. nie są w stanie utrzymać prędkości biegu z jaką był realizowany trening na niskiej wysokości nad poziomem morza. Z tego też powodu częściej stosuje się trening LH+TL, gdzie zawodnik przebywa na wysokości 2000-3000 m n.p.m natomiast sam trening odbywa się na wysokości poniżej 1500 metrów n.p.m. Pozwala to z jednej strony na utrzymaniu wysokiej intensywności pracy a z drugiej strony osiągnięte są korzystne efekty wywołane aklimatyzacją do hipoksji. Richalet i Gore [20] wykazali że efekty treningu hipoksycznego (LH+TL) zależą od czasu przebywania w warunkach niedotlenienia oraz wybranej wysokości nad poziomem morza: im krótszy czas przebywania w hipoksji tym stosowana musi być wyższa wysokość – przykładowo przy przebywaniu w warunkach niedotlenienia 3-4 godziny na dobę, wysokość musi wynosić ponad 4000 m n.p.m.. Zwykle stosowana wysokość w treningu LH+TL wynosi 2000-3500 m, autorzy wskazują że model treningu na wysokości około 2500 m. n.p.m. stymuluje erytropoezę i zwiększa pojemność tlenową krwi i jednocześnie wskazują że minimalny czas takiego treningu to 18 dni i 12 godzin na dobę przebywania w warunkach hipoksji. Podobne rezultaty uzyskano w niniejszych badaniach, gdzie korzystne zmiany wskaźników krwi odnotowano jedynie po treningu LH+TL, gdzie symulowano warunki panujące na wysokości około 2100-2200 m n.p.m, natomiast przy treningu LH+TH na wysokości około 1800 m n.p.m nie odnotowano podobnych zmian. W klasycznym model treningu hipoksycznego (LHTH) rekomenduje się natomiast wysokość ≥ 2000 m n.p.m. i czas treningu 3-4 tygodnie [21].

Natomiast zasadniczym celem treningu LL+TH, w trakcie którego zawodnik przebywa (lub trenuje) krótki czas w warunkach hipoksji, jest wywołanie korzystnych zmian hematologicznych i metabolicznych (np. zwiększenie stężenia erytropoetyny, czy zwiększenie gęstości mitochondrium). Wyniki badań nad skutecznością tego modelu treningu nie są jednoznaczne – Bärtsch i wsp. [22] nie rekomendują tego rodzaju treningu w przygotowaniach do rywalizacji na poziomie morza.

U badanego zawodnika zastosowano kombinację treningu LHTH i LH+TL, podobny trening przeprowadził Saunders i wsp. [23] i również obserwowali poprawę zdolności wysiłkowych.

Podsumowując zrealizowany trening fizyczny, z wykorzystaniem dwóch form treningu hipoksycznego, zastosowany trening przyniósł zamierzone efekty – odnotowano

poprawę wydolności aerobowej badanego zawodnika. Jednakże, korzystne zmiany w obrazie krwi, odnotowano jedynie po treningu z wykorzystaniem hipoksji normobarycznej (LH+TL), po treningu wysokogórskim (LH+TH) obserwowano spadek poziomu erytrocytów, hemoglobiny i hematokrytu. Można zatem przypuszczać, że różne formy treningu hipoksycznego, mogą wywoływać różne efekty, co potwierdzają również badania innych autorów.

Wnioski

1. Przy podobnej strukturze realizowanego treningu w różnych warunkach otoczenia (normoksja i hipoksja), trening w połączeniu z hipoksją organizmu korzystnie wpłynął na poziom wydolności aerobowej organizmu badanego zawodnika.
2. Trening połączony z przebywaniem w namiocie hipoksycznym, mimo mniejszej objętości, wpłynął głównie na poziom progu anaerobowego, który występował przy wyższej intensywności pracy. Po tego rodzaju treningu obserwowano również poprawę wskaźników reologicznych.
3. Trening realizowany w warunkach wysokogórskich wpłynął na zwiększenie poziomu maksymalnego minutowego poboru tlenu, natomiast nie wpłynął na poziom progu anaerobowego. Nie odnotowano po tym treningu natomiast poprawy parametrów krwi, co więcej były one na niższym poziomie niż przed rozpoczęciem treningu hipoksycznego.
4. Po treningu realizowanym w warunkach hipoksycznych notowano wyższe wielkości stężenia mleczanu we krwi po zakończeniu testu stopniowanego oraz szybsze tempo jego utylizacji w okresie restytucji.

Piśmiennictwo

1. Reinhard U, Müller PH, Schmulling RM. Determination of anaerobic threshold by ventilatory equivalent in normal individuals. *Respiration*, 1979, 38, 36
2. Bhambhani Y, Singh M. Ventilatory thresholds during a graded exercise test. *Respiration*, 1985, 47, 120

3. Levine BD, Stray-Gundersen J. Point: positive effects of intermittent hypoxia (live high:train low) on exercise performance are mediated primarily by augmented red cell volume. *J Appl Physiol*, 2005, 99, 2053-2055
4. Gore CJ, Hopkins WG. Counterpoint. positive effects of intermittent hypoxia (live high:train low) on exercise performance are not mediated primarily by augmented red cell volume. *J Appl Physiol*, 2005, 99, 2055-2057
5. Levine BD, Stray-Gundersen J: Living high-training low: effects of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J Appl Physiol* 1997, 83:101-112
6. Stray-Gundersen J, Chapman RF, Levine BD: Living high-training low altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J Appl Physiol* 2001, 91, 1113-1120
7. Ashenden MJ, Gore CJ, Dobson GP et al: Simulated moderate altitude elevates serum erythropoietin but does not increase reticulocyte production in well-trained runners. *Eur J P Appl Physiol* 2000, 81, 428-435
8. Loffredo BM, Glazer JL: The ergogenics of hypoxia training in athletes. *Current Sports medicine Reports* 2006, 5, 203-209
9. Berglund B: High-altitude training. Aspects of haematological adaptation. *Sports Med* 1992, 14, 289-303
10. Hahn AG, Gore CJ, Martin DT, Ashenden MJ, Roberts AD, Logan PA. An evaluation of the concept of living at moderate altitude and training near sea level. *Comp Biochem Physiol – Part A* 2001, 128, 777-789
11. Saunders PU, Telford RD, Pyne DR, Cunningham RB, Gore CJ, Hahn AG et al. Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate altitude exposure. *J Appl Physiol* 2004, 96, 931-937
12. Wilber RL: Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. *J of Human Sport and Exercise*, 2011, 2, 271-286
13. Rusko HK, Tikkanen HO, Peltonen JE. Altitude and endurance training. *J Sports Sci*, 2004, 22, 928-944
14. Sawka MN, Convertino VA, Eichner ER, Schneider SM, Young AJ. Blood volume: importance and adaptations to exercise training, environmental stresses, and trauma/sickness. *Med Sci Sports Exerc*, 2000, 32, 332-348
15. Böning D. Altitude and hypoxia training – a short review. *Int J Sports Med*, 1997, 18, 565-570

16. Gore CJ, Hahn A, Rice A, Bourdon P, Lawrence S, Walsh C et al. Altitude training at 2690 m does not increase total haemoglobin mass or sea level VO₂max in world champion track cyclists. *J Sci Med Sport* 1998, 1, 156-170
17. Brugniaux JV, Schmitt L, Robach P, Nicolet G, Fouillot JP, Moutereau S et al. Eighteen days of “living high, training low” stimulate erythropoiesis and enhance aerobic performance in elite middle-distance runners. *J Appl Physiol* 2006a, 100, 203-211
18. Robach P, Schmitt L, Brugniaux JV, Duvallet A , Fouillot JP, Moutereau S et al. Living high - training low: effects on erythropoiesis and maximal aerobic performance in elite Nordic skiers. *J Appl Physiol* 2006a, 97, 695-705
19. Cornolo J, Fouillot JP, Schmitt L, Povea C, Robach P, Richalet JP. Interactions between exposure to hypoxia and training-induced autonomic adaptations in “live high and train low” session. *Eur J Appl Physiol* 2006, 96, 389-396
20. Richalet JP, Gore CJ: Live and/or sleep high: train low, using normobaric hypoxia. *Scand J Med Sci Sports* 2008, 18 (suppl.1), 29-37
21. Friedmann-Bette B. Classical altitude training. *Scand J Med Sci Sports* 2008, 18, suppl.1, 11-20
22. Bärtsch P, Dehnert C, Friedmann-Bette B, Tadibi V. Intermittent hypoxia at rest for improvement of athletic performance. *Scand J Med Sci Sports*. 2008, 18, Suppl.1, 50-56.
23. Saunders PU, Richard DT, Pyne DB, Gore CJ, Hahn AG. Improved race performance in elite middle-distance runners after cumulative altitude exposure. *Int J Sport Performance*, 2009, 4, 134-138.