

長距離走選手を対象とした低強度かつ低頻度での低酸素トレーニングの効果 ーレース前の調整期に行った4週間のトレーニング事例ー

長谷川淳, 松村勲, 山本正嘉
鹿屋体育大学

キーワード: 長距離走, 高所トレーニング, 低酸素トレーニング, 常圧低酸素室

【概 要】

大学生の男子長距離走選手6名を対象として, 駅伝大会の直前の4週間にわたり, 低地での通常トレーニングに加えて, 週に2回, 1回あたり90分間(主運動は実質40分間)の低酸素トレーニングを行った. このトレーニングは常圧低酸素室内で行い, 高度は各選手の体調に合わせて2000~2800m相当(酸素濃度:16.4%~14.9%)に設定した. 主運動はトレッドミル走とし, 主観的運動強度が13(ややきつい)となる速度に調節した. その結果, トレーニング後には, 5000m走のレース速度における血中乳酸濃度と主観的運動強度とが全員で低下し, その変化は統計的にも有意であった. また有意な変化ではなかったが, 酸素摂取量や換気量が大きく低下した選手も一部では見られた. 一方, 赤血球やヘモグロビンといった血液性状には共通した変化は見られなかった. 以上の結果から, 週に2回という低頻度かつ低強度での低酸素トレーニングであっても, 血中乳酸濃度を中心とする生理指標の改善によって, 長距離走のパフォーマンスを向上させられる可能性が考えられた.

スポーツパフォーマンス研究, 3, 31-48, 2011年, 受付日:2010年3月16日, 受理日:2011年3月4日
責任著者:山本正嘉 〒891-2393 鹿児島県鹿屋市白水町1 鹿屋体育大学 yamamoto@nifs-k.ac.jp

Effects of low intensity, low frequency hypoxic training on the performance of long-distance runners: Four weeks of training prior to a race

Jun Hasegawa, Isao Matsumura, Masayoshi Yamamoto
National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

Key Words: long-distance race, high-altitude training, hypoxic training,
normobaric hypoxic chamber

[Abstract]

The participants in the present study were six university students who were long-distance runners. For four weeks prior to an ekiden (long-distance relay running race), they received hypoxic training twice a week for 90 minutes (40 minutes was the main exercise effect), in addition to regular training in the lowlands preceding the race. The hypoxic training was conducted in a normobaric hypoxic chamber in which the altitude was set to 2000-2800 meters or equivalent (oxygen concentration: 16.4% - 14.9%), according to each runner's physical condition. The main exercise was done on a treadmill that had the subjective exercise intensity adjusted to 13 of Borg's scale (moderate speed). Following this training, the blood lactate concentration and subjective exercise intensity after running at speeds typical of a 5000-meter race decreased for all runners; the decrease was statistically significant. Moreover, oxygen uptake and ventilation volume appeared to be greatly reduced in some participants, although the observed change was not statistically significant. Meanwhile, changes typically found in runners' blood characteristics, such as the number of red blood cells and amount of hemoglobin, were not seen. These results suggest that, even if low intensity hypoxic training is done as seldom as twice a week, it may be possible to improve the performance of long-distance runners because of improved physiological parameters as measured by blood lactate levels.

I. 問題提起

長距離走選手の競技パフォーマンスに深く関わる要因として、①最大酸素摂取量や乳酸閾値といった有酸素性作業能力に優れること、②ランニングエコノミーと呼ばれる運動効率に優れること（同じ速度で走ったときの酸素摂取量が小さいこと）、の2つがあげられる。これらの能力を向上させるためには、長期間にわたる継続したトレーニングに加えて、日々のトレーニング量（走行距離）を増やすことが必要である。

しかし、このようなトレーニング量の増加に伴い、発生する障害が問題視されるようになってともに、トレーニング量を単純に増加させることに対しても限界が指摘されるようになった。さらに、オリンピックに代表される国際大会の長距離走種目において、アフリカ選手のような高地居住者が上位を占めるといった趨勢も受けて、1990年代以降は高所トレーニングが注目されるようになった。

従来の高所トレーニングは、自然の高地に出向き、長期間合宿するという形式で行われてきた。しかし日本の場合、国内には適当な高地トレーニング施設に乏しく、アメリカ、中国、ヨーロッパなど海外に出かけて行くことが多い。このため、従来型の高所トレーニングは、時間的・経済的な面で手軽に行えるとはいえなかった。また、海外や高所での長期間の居住により、生理的あるいは心理的にコンディションを崩す可能性もあった。

このような問題を解決する一つの手段として、常圧低酸素室を利用した低酸素トレーニングがあげられる。常圧低酸素室は1990年代にフィンランドで開発されたが、簡便性と安全性に優れるため、日本でも普及しつつある。その利用法は、living high-training low方式において生活・睡眠に用いられったり、living low-training high方式において運動用に活用されたりとさまざまである。実際に、これまでも多くの研究が行われ、その成果はいくつかの総説^{4,5,11,12)}や成書¹³⁾にもまとめられている。ただしこれまでの研究を見ると、いずれも低酸素トレーニングを低地でのトレーニングとは切り離して単独で行い、その効果を検証したという実験的な色合いが濃いものがほとんどである。

一方、著者らもこれまでに常圧低酸素室を用い、さまざまなスポーツ種目を対象として低酸素トレーニングを行ってきた^{1-3,6-10,15-19)}。著者らの研究が上記の先行研究と大きく異なる点として、競技力向上を図ることを主眼に置き、低地でのトレーニングと並行しつつ補助トレーニングの位置づけで行う、という特徴があげられる。このような低酸素トレーニングは、競技感覚を狂わせることが少なく、また体調の悪い時には中止できるというメリットがあるので、低酸素トレーニングを単独で行う場合に比べて失敗する危険性は小さい¹⁷⁻¹⁹⁾。

これまで対象とした競技は、自転車競技^{1-3, 8, 10, 15)}、カヌー（カヤック⁷⁾およびカナディアン⁶⁾、ウインドサーフィン⁹⁾、ランニング¹⁶⁾などであった。そして、これらの低酸素トレーニングの共通点は、主運動は30分程度、強度はできるだけ高強度、頻度は週に3～6回程度、期間は試合前の調整期に2～5週間程度で行う、というものであった。またその結果として、エルゴメーターによる作業能力^{1, 2, 6, 9)}や競技パフォーマンス^{7-10, 15)}の向上を始め、最大酸素摂取量⁶⁾、血中乳酸濃度^{1, 8-10, 15, 16)}、心拍数^{1, 7-10)}、換気応答^{1, 8-10)}、運動効率⁸⁻¹⁰⁾、無酸素性パワー^{2, 6)}といった様々な生理指標の改善や、「苦しい場面で身体が動くようになる」といった感覚的な改善⁷⁻¹⁰⁾を確認することができた。

しかしその一方で、このようなハードなトレーニングを試合直前に行うことは、選手にとっては身体的、精神的に大きな負担となる。このため、低酸素トレーニングに対して不安を抱く選手も見られ³⁾、できるだけ低強度かつ低頻度の低酸素トレーニングによって効果を得たい、と希望する選手も少なくなかった。本研究ではこのような問題を受けて、低強度かつ低頻度での低酸素トレーニングの可能性について検討しようとした。

II. 本研究の目的

著者らのこれまでの低酸素トレーニングにおいて、高強度の運動を用いてきた理由として、以下の2つがあげられる。①低地でのトレーニングで頭打ちになった能力をさらに伸ばすためには、運動の質を上げることが必要であるが、そのためには運動強度を上げることが重要と考えたこと。②限られたスペースの低酸素室を利用して、多数の選手が低酸素トレーニングを行う場合、1人あたりの滞在時間は限られてくるので、短時間で効果を上げるためにも運動強度は高い方が望ましいと考えたこと。

ただし、上記の①、②の考え方はいずれも、低強度で低酸素トレーニングを行うことによる効果の可能性を否定するものではない。むしろ、以下のような現象の存在を考えれば、改めて検証すべき価値があるといえる。すなわち低地での運動においては、鍛錬されたアスリートが非常に激しい運動を行った場合を除き、体内の酸素レベルを表す動脈血酸素飽和度(SpO_2)が90%を下まわることはない¹⁴⁾。一方、高度2000m相当の低酸素室内では、運動強度があまり高くなくても、また鍛錬者ではなくても、 SpO_2 は90%以下になるのが普通である。

つまり低酸素環境下では、たとえ低強度の運動であっても、体内の酸素レベルは低地の運動では到達できない値にまで下がる。したがって、このような運動を繰り返し行えば、低地でのトレーニングでは起こり得ないような、低酸素トレーニング独自の効果が生じる可能性がある。

そこで本研究では「低強度」をキーワードとした低酸素トレーニングを行い、その効果を検証することとした。また頻度についても、試合前の調整期に実施することを考えて、できるだけ「低頻度」でのトレーニングの可能性を追求することとした。すなわち、大学生の男子長距離走選手を対象とし、試合前の調整期のトレーニングとして、4週間にわたり常圧低酸素室を利用して、週に2回ずつ、心拍数が150bpm程度、主観的運動強度が13(ややきつい)程度となるような低酸素トレーニングを行った。そしてその前後で、各種の生理応答、血液性状、および競技パフォーマンスにどのような効果がもたらされるかについて検討した。

II. 研究方法

1. 被験者

被験者は、大学の陸上競技部に所属し、7～10年間にわたり長距離種目を専門に行っている男子部員6名であった。表1は、被験者の身体的特性及び競技特性(本研究の直前に行われた5000mレースの結果と長距離走の実施年数)を示したものである。各被験者には、本研究の目的、

方法, およびそれに伴う危険性を文書, および口頭で説明し, 参加の同意を得た.

表1. 被験者の身体的特性及び競技特性

被験者	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重(kg)		BMI		5000m記録 ※Tr前, 秒以下は切捨て	競技歴 (年)
			Tr前	Tr後	Tr前	Tr後		
R. I	19	165.8	51.8	50.2	18.8	18.3	14分38秒	7
T. T	19	172.1	69.3	71.5	23.4	24.1	15分16秒	7
H. O	19	174.5	60.7	60.7	19.9	19.9	15分20秒	7
J. S	23	181.1	66.7	66.8	20.3	20.4	15分57秒	10
T. K	19	173.1	57.7	56.9	19.3	19.0	16分38秒	7
R. Y	21	169.2	55.1	55.6	19.2	19.4	17分10秒	7
平均値	20	172.6	60.2	60.3	20.2	20.2	15分49秒	7.5
標準偏差	±1.7	±5.2	±6.8	±7.8	±1.7	±2.1	±56.6	±1.2

2. 研究の概要

本研究は, 2009 年 12 月上旬に開催された第 27 回九州学生駅伝対校選手権大会(島原学生駅伝)に向けて, 4 週間にわたり行われたものである. 期分け上からは試合期における調整のためのトレーニングと位置づけられる.

図 1 は, 本研究のスケジュールを示したものである. 被験者は朝練習の時間を利用して, 週に 2 回, 4 週間で合計 7 回, 常圧低酸素室内で持久走トレーニングを行った. またこれとあわせて, 通常環境で 1 週間に 10 回(1 回あたり約 2 時間)の持久走トレーニングを行った. 低酸素トレーニングは, 通常のトレーニングに対して補助的なトレーニングと位置づけた.

そしてこれらのトレーニングの前後で, テッドミル走における多段階速度試験および血液検査を行い, その変化を観察した.

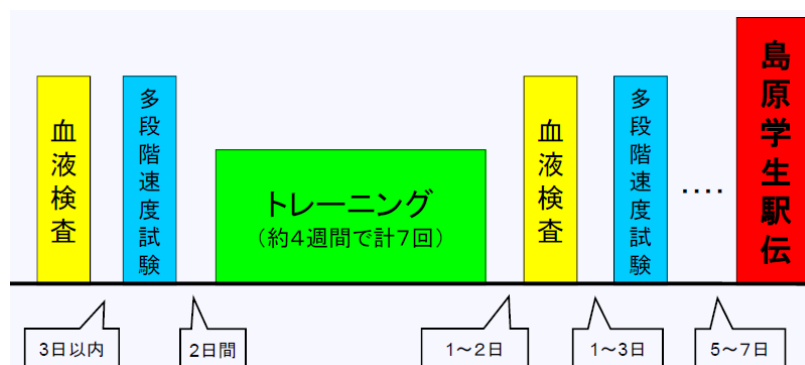


図1. 低酸素トレーニングと測定スケジュール

3. トレーニングの内容

(1) 低酸素トレーニング

低酸素トレーニングは、常圧低酸素室(トレーニング環境シミュレータ, エスベック社製, Japan)内で行った。高度は、後述の長距離走選手向けの高度設定のガイドライン(表2)を目安として、日によって変化をつけることとし、その範囲は 2000m(酸素濃度 16.4%)から 2800m 相当(同 14.9%)となった。

表2. 高度設定のガイドライン

低酸素環境で、60%Vpeakの速度で10分間のランニング(Run1)を行った時の、指標A～Eの状況をもとに、次のトレーニングでの高度を決めることとした。なおA～Eを総合して高度を決定するが、客観的な指標であるA, Bと、主観的な指標であるC, D, E とが対立する場合には、後者をより重視した。

	指 標	高度を上げる	高度を維持する	高度を下げる	備 考
A	動脈血酸素飽和度 (SpO ₂)	90%以上の場合	80～90%の場合	80%以下の場合	SpO ₂ が高くて、実際にはきつい場合もあるので、C～Eも勘案して臨機応変に判断する
B	心 拍 数 (HR)	通常環境での60% Vpeak走時の心拍数を下回っている場合	通常環境での60%～70 % Vpeak走時の心拍数に相当する場合	通常環境での70% Vpeak走時の心拍数を超えている場合	HRが低くても、実際には体が重かったり、脚がきつい場合もあるので、C～Eも勘案して臨機応変に判断する
C	主観的運動強度 (RPE)	12未満の場合	12～13の場合	13以上の場合	60%Vpeakで5～10分間走った時の値で判断する
D	走速度の感じ方	ゆっくりすぎて走りづらいと感じる場合	ちょうど良いと感じる場合	異常に速度が速いと感じる場合	HR(B)およびRPE(C)とも照らし合わせ、対立する場合にはD>C>Bの順に重視する
E	選手の総合的な感覚	低酸素の負荷が足りないと感じる場合	リズム良く走れると感じる場合	きつくて、この速度でも走り続けるのは無理だと感じる場合	10分間は我慢させる。またどうしても無理な場合はウォーキングに切り替える

低酸素トレーニングは、1回あたりの入室時間を90分間とし、4週間で計7回行った(以下、Tr1, Tr2, …, Tr7とする)。図2は、1回あたりのトレーニング内容を示したものである。被験者は常圧低酸素室に入室後、まず 30 分間のストレッチングおよび体操を行った。その後、ウォーミングアップとしてトレッドミル(Power Jog JX200, Cadiao Sport, UK)を用いて10分間のウォーキング(時速5km)を行った。

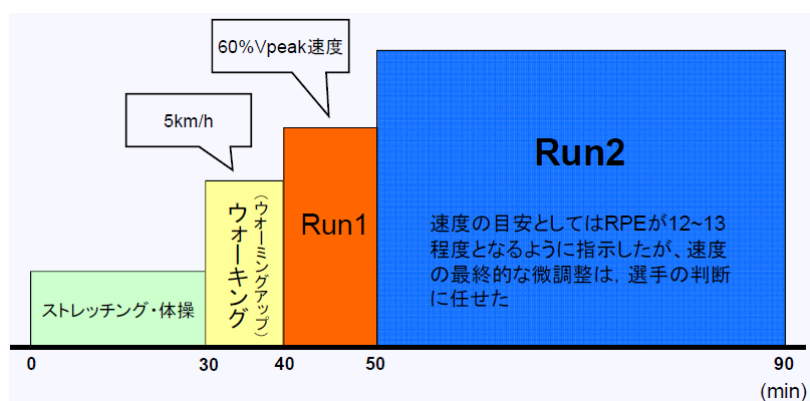


図2. 低酸素室内での1回あたりの低酸素トレーニング内容

次に、各被験者の事前の試合における 5000m 走の記録(表1)から平均走速度(V_{peak})を求め、その 60%に相当する速度で 10 分間のランニング(Run1)を行った。なお、Run1 の際には、表 2 に示すような A~E までの指標を尋ねて記録しておき、次回の低酸素トレーニングにおける高度設定の目安とした。この表は、著者らが自転車競技選手を対象として行った先行研究¹⁵⁾を参考としながら、長距離走選手向けに改変したものである。

続いて、主運動である 40 分間のランニング (Run2) を、各自の体調に合わせた速度で行った。この速度の調節は、原則として各被験者の主観的運動強度 (RPE) が 12~13 程度となるようなレベルとしたが、微調整については各選手に一任した。

毎回のトレーニング時には、**図 3** に示した用紙を用いて、高度や走速度といったトレーニング内容や、心拍数(HR)、動脈血酸素飽和度(SpO₂)、主観的運動強度(RPE)といった運動時の生理・心理応答を記録した。HR は小型の心拍計(RS800CX, Polar 社製, Finland)を、SpO₂ は小型のパルスオキシメーター(Pulsox-3Si Minolta 社製 Japan)を用いて 5 分ごとにモニタリングした。そしてトレーニングの終了後には血中乳酸濃度(La)を測定した。

トレーニング期間記録用紙

被験者 T. T

測定日: 11/17

身長: 172.8 cm

体重: 71.5 kg

トレーニング第 6 回目

高度: 2500 m (15.4 %)

傷害等: 待になし

体調: 疲れ気味

痛み: 低 高

気分: 低 高

疲労感前: 低 高

疲労感後: 低 高

運動後La: 3.7 mmol/L

昨日の練習内容

【朝】

60分ジョグ + 100m × 4

【午後】

補強 + 50分ジョグ

HR			76	77	77	120	127	137	141	145	147	149	153	158	160
SpO2			92	91	88	83	83	78	79	75	77	75	77	78	77
RPE						8	8	9	9	9	9	9	9	9	9

自由記述

前半疲れの為に思ったように動かず気持ちよく走って
いなかったが、後半は調子よく走れた。
まだ軽い感じで、疲れがなければまだ余裕はあると感じる。

時間 (min)	走行速度 (km/h)
30	0
35	11.8
40	11.8
45	11.8
50	13.0
55	13.0
60	13.0
65	13.5
70	14.0
75	14.0
80	14.0
85	14.5
90	15.0

図 3. 毎回のトレーニングに用いた記録用紙と, T.T による記入の一例

さらに、低酸素室に入室する前に、傷害の有無、傷害がある場合は痛みの度合い、トレーニングに対する意欲を表す「気分」、低酸素環境に対する「慣れ」、およびトレーニング前後の「疲労感」を、ビジュアルアナログスケール(VAS)を用いて記録した。また自由記述欄には、トレーニング後の感想も記入させた。

(2) 通常環境でのトレーニング

本トレーニング期間中の週間走行距離は、低酸素トレーニングが約 20~23km(約 2 割)、通常トレーニングが約 100km(約 8 割)であった。また、試合期ということもあり、通常トレーニングでは、インターバル走やペース走、タイムトライアル等も行っており、低酸素トレーニングを行ったために、通常トレーニングの量や質を下げるということとはしなかった。

4. トレーニング前後での測定

(1) トレッドミル走時の生理応答

トレーニングの前後で、大型トレッドミル(MB1100, S&ME 社製, Japan)を用いて多段階速度試験を行い、各種の生理応答を測定した。運動速度は、前述した各被験者の V_{peak} を規準として、60% V_{peak} から開始し、70%, 80%, 90%, 100% V_{peak} の 5 段階で行った。各段階における運動時間は 4 分間とし、その間には 2 分間の休憩をはさんだ。

測定項目は、呼気ガス、HR、La、および RPE とし、各段階の最後の 1 分間または終了直後に測定した。呼気ガスについては、ダグラスバッグ法により各段階の最後の 1 分間の呼気ガスを採取し、これをもとに換気量($\dot{V}E$)、酸素摂取量($\dot{V}O_2$)、呼吸交換比(RER)を算出した。La は、各段階の終了直後に指尖から微量の血液を摂取し、小型の乳酸分析器(Lactate Pro, Arkray Factory 社製, Japan)を用いて分析した。

(2) 血液性状

トレーニング前後には血液検査を行い、赤血球(RBC)、ヘモグロビン濃度(Hb)、ヘマトクリット(Ht)を分析した。採血の前日は、夜 9 時以降には飲食させないようにし、当日は起床直後に前腕の静脈から採血を行い、専門の業者に委託して分析した。なお、6 名の被験者のうち 1 名(R.Y)は事情により検査に参加できなかった。

(3) 統計処理

トレーニング前後での測定値の変化について、体重、BMI、血液性状については、対応のある t 検定を用いて有意差の有無を検討した。また多段階速度試験の結果については二元配置分散分析を用いて有意差の有無を検討した。有意水準はいずれも 5%とした。

III. 結果

1. トレーニング時の状況

表 1 には、トレーニング前後での被験者の体重および BMI を示した。約 4 週間の低酸素トレーニング期間を通じて、体重や BMI に大きな変動はなく、有意差も見られなかった。また体調を崩す選手もいなかった。

表 3 は、Tr1~Tr7 における各被験者の実施高度を示したものである。Tr1 では全員が 2000m で

行ったが, Tr2 からは表 2 のガイドラインに基づき, 被験者の状況に応じて高度をそのまま維持したり, 上昇させたり, 場合によっては下降させた. 最も高度を上げた選手(T.T)では, Tr4 で 2800m 相当でのトレーニングを行った.

表3. 各被験者の7回の低酸素トレーニング時の高度設定

表内の数値は, 常圧低酸素室における酸素分圧に相当する高度 (m) を意味し, 2000m が酸素濃度 16.4%, 2400m が 15.6%, 2800m が 14.9% に相当する. 高度設定を行うに当たっては, 以下の3点に配慮した. ①最初のトレーニングは 2000m 相当で行い, その後は表 2 のガイドラインを考慮しながら高度を設定する. ②通常環境での主練習の内容や, 疲労感等の体調も考慮して高度を設定する. ③どうしても体調が悪い時はウォーキングに切り替える.

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目
R.I	2000	2000	2200	2200	2000	2300	2300
T.T	2000	2000	2500	2800	2300	2500	2600
H.O	2000	2300	2500	2700	2200	2600	2300
J.S	2000	2400	2500	2200	2500	2500	2500
T.K	2000	2200	2300	2200	2000	2200	2200
R.Y	2000	2200	2200	2500	2600	2500	2400

...2000~2200m
 ...2300~2500m
 ...2600~2800m

図 4 は, Tr1 における走速度 (絶対値と相対値), HR, SpO₂, RPE の推移と, トレーニング前後の疲労感を, 被験者ごとに示したものである. 走速度は, 初速度である 60%Vpeak から, 75%Vpeak 前後まで徐々に上昇した. HR は, 走速度の増加とともに 160bpm 前後まで上昇した. SpO₂ は, ランニングを始めると 90%台の前半から 80%台の前半にまで急速に低下し, 最も低い者では 78%まで低下した. RPE は, ランニングが始まると 10 から 12 の間でしばらくは安定し, 終了 15 分前から上昇がみられ, 最終的に 12~14 となった. VAS により表した疲労感, トレーニング後では 20~30%増加した. なお図には示していないが, トレーニング後の La は 1.5~3mmol/l 程度であった.

図 4 に示したようなトレーニング中の生理指標の数値は, 7回の低酸素トレーニングにおいてあまり変化はなく, ほぼ同じ値で推移した. ただし RPE については, トレーニングの経過に伴い, やや低下する傾向を示した. また毎回の内省報告を見ると, Tr1 に比べて, 回数を重ねるごとに低酸素環境に対する違和感は減っており, 身体が慣れているように感じたと答えた被験者が多かった. さらに, 1 回のトレーニング中においても「時間経過とともに違和感が減っていった」と答えた選手も多く見られた.

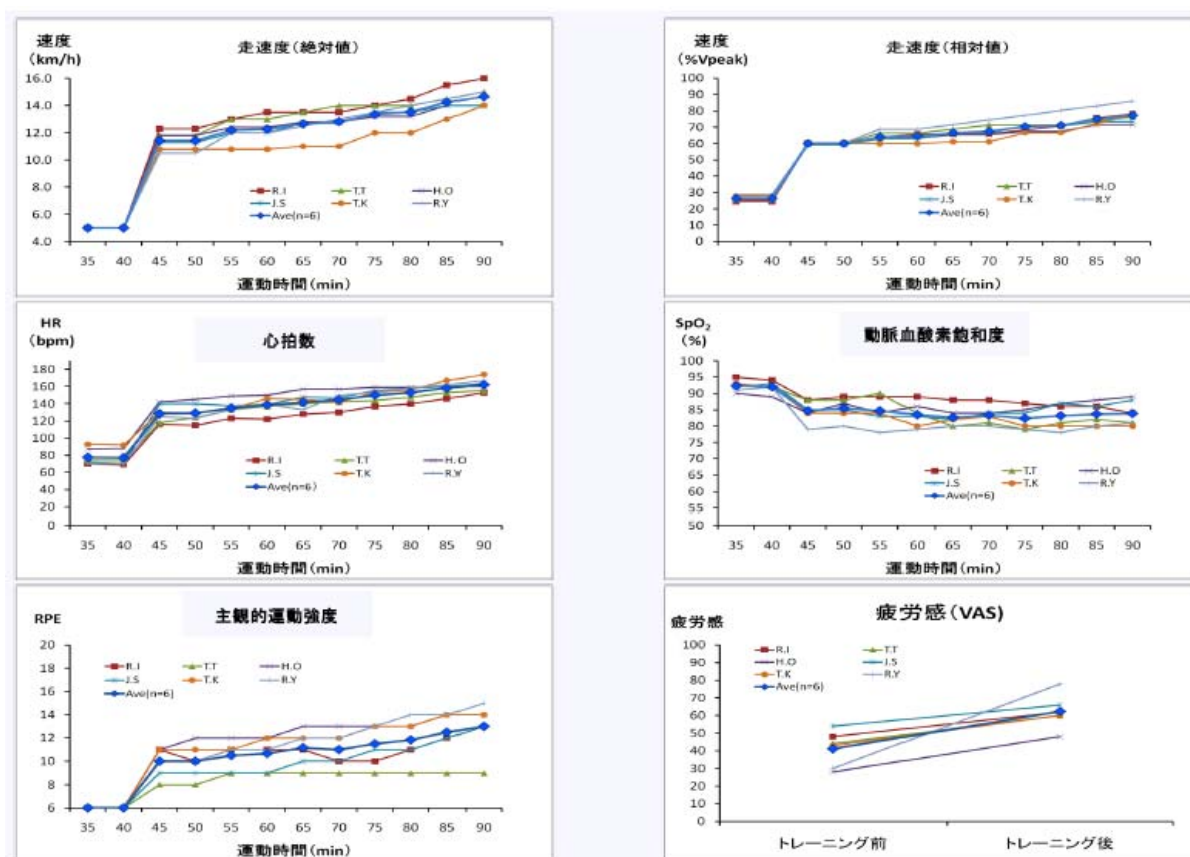


図4. 1回目の低酸素トレーニング時における各被験者の走速度および生理・心理応答

この図に示した各指標の値および時間的な推移の傾向は、1～7回目のトレーニングではほぼ同様だった

2. トレーニング前後での多段階速度試験

図5は、トレーニング前後に行った多段階速度試験時の生理応答について、典型例となる1名の選手(T.K)の結果を示したものである。T.Kの場合、図に示した6つの指標は、全ての速度において、トレーニング後には低下傾向を示した。また、図には示していないが他の被験者についても、これら6つの指標うちの全てまたはいくつかは、全ての速度またはいくつかの速度で低下傾向を示した。

表4～6は、これらの指標に関する全被験者の変化について一覧するために、Vpeakの100%，80%，および60%という3種類の走速度を取り上げ、トレーニング前後での変化率(%)を求め、その大きさに応じて記号を付したものである。また、有意差の有無についても示した。

表4は、5000m走のレース速度に相当する100%Vpeak走時の結果を示したものである。Laについては、全員がトレーニング前の値に対してトレーニング後では10%以上(トレーニング前： 6.5 ± 0.9 (5.6～8.1) mmol/l, トレーニング後： 5.1 ± 0.7 (4.2～6.2) mmol/l))という顕著な低下を示した。またRPEについても、全員がトレーニング前に対してトレーニング後では5%以上(トレーニング前： 17 ± 1.0 (15～18), トレーニング後： 14 ± 2.0 (11～17))の低下を示した。その他の指標については、全員が共通して変化したわけではなく、有意差も見られなかったが、 $\dot{V}O_2$ では2名、 $\dot{V}E$ では4名、RER

では3名, HRでは1名が, トレーニング前に対して5%以上の低下を示していた。

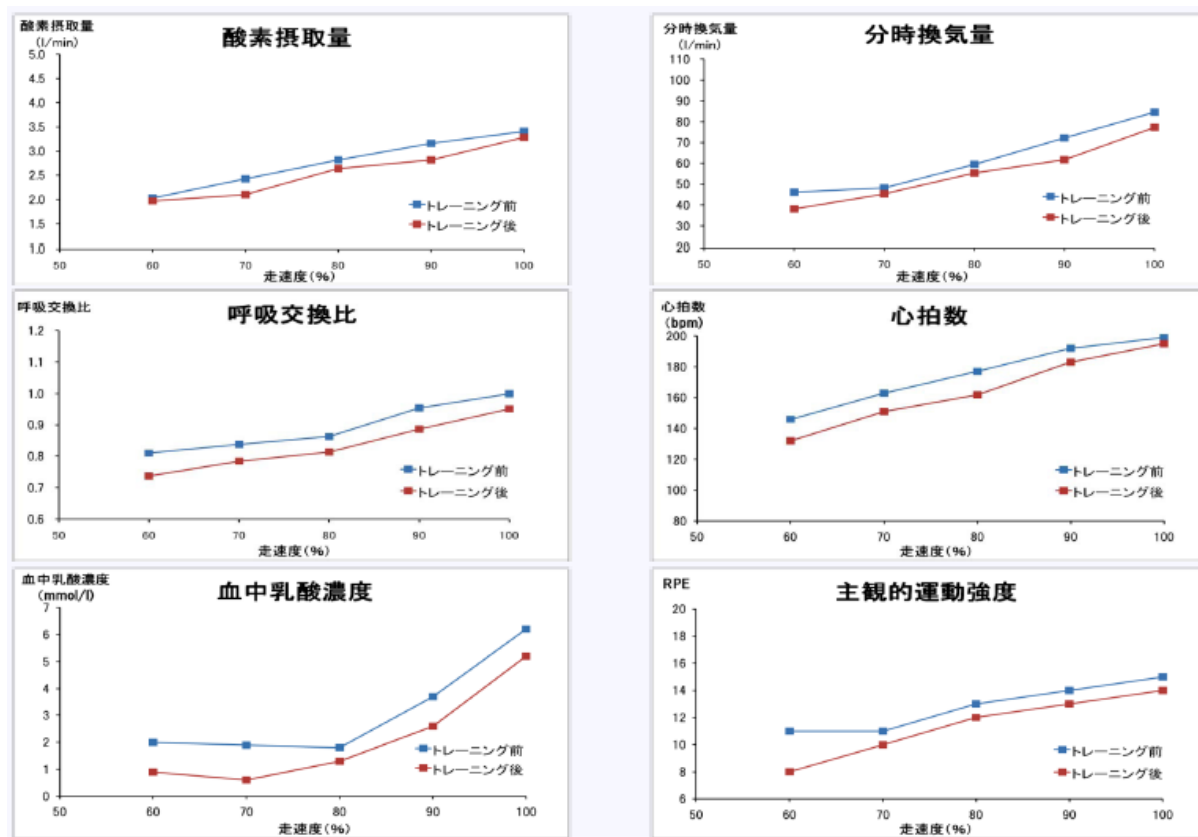


図5. トレーニング前後での生理・心理応答の変化の一例(被験者T.K.の場合)

表4. 低酸素トレーニングの前後における100%Vpeak走時の生理・心理応答の変化

血中乳酸濃度と主観的運動強度は, 全被験者で低下した. 特に前者の低下は全員で10%以上であった

	RI	T.T	H.O	J.S	T.K	R.Y	有意差
事前レースでの記録	14'38	15'16	15'20	15'57	16'38	17'10	
酸素摂取量	±	±	±	--	±	-	NS
換気量	±	-	±	--	--	--	NS
呼吸交換比	-	--	±	-	±	±	NS
心拍数	±	±	±	±	±	-	NS
血中乳酸濃度	--	--	--	--	--	--	*
主観的運動強度	-	--	-	--	-	--	*

+...5~10%増加 ++...10%以上増加 ±...変化幅5%未満
 -...5~10%低下 ---...10%以上低下
 *...p<0.05 NS...有意差なし

表5は, 同様に80%Vpeak走時の結果を示したものである. 全員が共通して変化した項目は見られなかったが, $\dot{V}O_2$ では3名, $\dot{V}E$ では3名, RERでは5名, HRでは3名, Laでは4名, RPEでは4名が, トレーニング前に対して5%以上の低下を示し, $\dot{V}E$ とRERについては有意な変化であった

た.

表 5. 低酸素トレーニングの前後における 80%Vpeak 走時の生理・心理応答の変化

	R.I	T.T	H.O	J.S	T.K	R.Y	有意差
事前レースでの記録	14'38	15'16	15'20	15'57	16'38	17'10	
酸素摂取量	—	++	±	— —	±	—	NS
換気量	—	±	±	±	—	—	*
呼吸交換比	—	— —	—	—	—	±	*
心拍数	++	±	±	—	—	—	NS
血中乳酸濃度	— —	—	±	—	— —	— —	NS
主観的運動強度	±	— —	±	— —	— —	—	NS
+…5~10%増加 —…5~10%低下 *…p<0.05 ++…10%以上増加 —…10%以上低下 NS…有意差なし ±…変化幅5%未満							

表6は、同様に 60%Vpeak 走時の結果を示したものである。全員が共通して変化した項目はなかったが、 $\dot{V}O_2$ では 3 名、 $\dot{V}E$ では 5 名、RER では 5 名、HR では 2 名、La では 4 名、RPE では 5 名が、トレーニング前に対して 5%以上の低下を示し、 $\dot{V}E$ 、RER、RPE については有意な変化であった。

表 6. 低酸素トレーニングの前後における 60%Vpeak 走時の生理・心理応答の変化

	R.I	T.T	H.O	J.S	T.K	R.Y	有意差
事前レースでの記録	14'38	15'16	15'20	15'57	16'38	17'10	
酸素摂取量	— —	+	±	— —	±	—	NS
換気量	— —	— —	±	— —	— —	— —	*
呼吸交換比	—	— —	—	—	—	±	*
心拍数	++	±	±	±	—	— —	NS
血中乳酸濃度	— —	+	— —	±	— —	— —	NS
主観的運動強度	±	— —	—	— —	— —	— —	*
+…5~10%増加 —…5~10%低下 *…p<0.05 ++…10%以上増加 —…10%以上低下 NS…有意差なし ±…変化幅5%未満							

3. 血液性状の変化

表 7 はトレーニング前後における血液性状の変化について、表4～6と同様の記号を用いて示したものである。R.I と T.T の 2 名については、RBC、Hb、Ht ともに増加傾向を示したが、あとの 3 名についてはほとんど変化が認められなかった。また、全ての項目で有意な変化は見られなかった。

表 7. 低酸素トレーニングの前後における各被験者の血液性状の変化

	R.I	T.T	H.O	J.S	T.K	R.Y	有意差
事前レースでの記録	14'38	15'16	15'20	15'57	16'38	17'10	
赤血球	+	+	±	±	±	データなし	NS
ヘモグロビン濃度	+	+	±	±	±	データなし	NS
ヘマトクリット	+	+	±	±	±	データなし	NS
+...5~10%増加 ++...10%以上増加 ±...変化幅5%未満 -...5~10%低下 --...10%以上低下 *...p<0.05 NS...有意差なし							

4. 競技会での成果と選手の内省報告

表 8 の a~f は、このトレーニングの目標とした島原学生駅伝(以後、駅伝大会とする)、もしくはその 1 週間後に行われた公認記録会(以後、記録会とする)での、各選手のレース結果とその内省報告である。駅伝大会では、補欠となったためにその効果が確認できなかった者、レースの流れに左右されて十分な力を発揮できなかった者がいた。また駅伝、記録会ともに、当日に体調が不良で力を発揮できなかった者もいた。

ただし、J.S, R.Y, T.K の 3 名の内省報告では、「トレーニング後には、速いスピードになっても呼吸は苦しく感じなくなり、楽に走れるようになった」と報告していた。また、R.I, T.T, H.O の 3 名は、「呼吸が乱れなくなり、リズムよく走れるようになった」と、全員が呼吸機能を中心とした改善を感じたと報告していた。

表 8 にはまた、本研究で用いた低酸素トレーニング自体、あるいは通常トレーニングと低酸素トレーニングの組み合わせ方などに関しての、各被験者の感想や意見を示した。各被験者とも、疲労感や低酸素負荷に対しての不安は持っておらず、逆にもう少し頻度を増やしても構わないと答える者や、調整期以外の鍛錬期でも行いたいという選手もいた。

表 8-a. 被験者 R.I のレース結果と、低酸素トレーニングに対する内省報告・意見

駅伝 (結果)	被験者名	駅伝の区間	区間順位	低酸素トレーニングの感想等
	R.I	7区 (7.66km)	6位/28	
レース の感想	・早いペースの時も、良いリズムを維持することが出来た。 ・同一速度において、呼吸は以前よりも楽に感じた。			・朝練習で行うことが多かったが、午後練習時の方が体が動くので、午後に実施してみたい。 ・その時々疲労状態の影響が大きく、疲労がたまっている時には本当にきつかった。 ・1回のトレーニング中でも、後半になるにつれて低酸素環境に対する違和感がなくなっていった。 ・セット練習(前日の午後練習に高強度のトレーニングを行い、翌日に低酸素トレーニングを行う)で実施してみてもどうか。

※駅伝とは第27回九州学生駅伝対校選手権大会(島原駅伝)のことである(以下の表も同様)。

表 8-b. 被験者 T.T のレース結果と、低酸素トレーニングに対する内省報告・意見

駅伝 (結果)	被験者名	駅伝の区間	区間順位	低酸素トレーニングの感想等
	T.T	3区 (6.16km)	6位／28	・トレーニング全体を通して、良い感じで行えていたと感じた。 ・試合期に行くと、疲労が抜けきれないこともあると思うので、時期を変えた方が良い。 ・低酸素トレーニングを行っている時は、通常トレーニングの量を若干抑えても良いと感じた。 ・特に大きな違和感はなかったが、走り始めは若干酸素が体に入っていない感じがした。しかしランニング後半になるにつれて改善した。
レース の感想	・明らかに以前よりも呼吸は楽に感じた。 ・きつくなってからも、もうひと踏ん張りが利くような感じがした。 ・疲労が抜け切れていない感じだったので、万全な状態ならばもっと良い感じでいけたと思う。			

表 8-c. 被験者 H.O のレース結果と、低酸素トレーニングに対する内省報告・意見

駅伝 (結果)	被験者名	駅伝の区間	区間順位	低酸素トレーニングの感想等
	H.O	6区 (6.74km)	9位／28	
記録会 (結果)	被験者名	記録会の種目	記録	・トレーニング後の筋疲労は自覚するほどではなかったが、通常のトレーニングでは感じないようなけだるさを感じた。 ・1回のトレーニング中でも、後半になるにつれて低酸素環境に対する違和感がなくなっていった。 ・1回から7回にかけて、トレーニングを行っていくうちに、低酸素環境に対する違和感が減っていった。 ・酸素濃度15%を境に、きつさが変わった。 ・平地で走る時と同じ感覚で走れた日もあった。
	H.O	5000m	15分44秒22	
レース の感想	・早いペースの時も良いリズムを維持することが出来た。 ・同一速度において、呼吸は以前より楽に感じた。			

※記録会とは駅伝大会の1週間後に行われた熊本長距離記録会のことである。(以下も同様)

表 8-d. 被験者 J.S のレース結果と、低酸素トレーニングに対する内省報告・意見

記録会結果	被験者名	記録会の種目	記録	低酸素トレーニングの感想等
	J.S	5000m	16分48秒70	
レースの感想	・きつくなっても、もうひと段階追い込めるような感覚があった。			・低酸素室に入った時には圧迫感も息苦しさも感じなかったが、走り始めると体がとても重かった。
	・同一速度において、呼吸は以前よりも楽に感じた。			
	・インフルエンザなどで部内がバタバタしていたため、レースに対して集中して準備することができなかった。			・1回から7回にかけて、トレーニングを行っていくうちに、低酸素環境に対する違和感が減っていった。
				・息苦しさ等はなかったが、走り始めると体が全く動かなかった。
				・いったんきつくなり始めると、一気にきつくなってしまった。

表8-e. 被験者T.Kのレース結果と、低酸素トレーニングに対する内省報告・意見

注:この選手はレースに不出場だったため、「レースの感想」の部分はトレーニング後の練習について記載している

記録会 (結果)	被験者名	記録会の 種目	記録	低酸素トレーニングの感想等
	T.K	棄権	記録なし	
レースの感想	・もうひと追い込み出来るような感じがあった。 ・今までは、ある程度速いペースになると息切れしてしまっていたのが、あまりしなくなった。			・息苦しいというよりも、胸が詰まるような感じがした。 ・疲労がたまっている時には、きつくて全く走れなかった。 ・1回から7回にかけて、トレーニングを行っていくうちに、低酸素環境に対する違和感が減っていった。 ・下半身(特に脚部)が重く感じる事が多くあった。 ・走り始めの序盤では身体が動かない感じがあったが、中盤から後半になるにつれて楽になっていった。

表 8-f. 被験者 R.Y のレース結果と、低酸素トレーニングに対する内省報告・意見

記録会 結果	被験者名	記録会 の種目	記録	低酸素トレーニングの感想等
	R.Y	5000m	17分15秒00	
レースの感想	・呼吸に関しては以前より楽になったが、特に早い速度の時にそれが感じられた。 ・もうひと追い込み出来るような感じがあった。 ・レース結果はいまひとつであったが、走り自体の感覚は悪くはなかった。			・1回のトレーニング中において、走り始めにはわずかに圧迫感を感じたが、後半になると気にならなくなり、気持ちよく走れた。 ・低酸素環境による影響というよりも、疲労による影響により、うまく走れないことが多かった。 ・1回から7回にかけて、トレーニングを行っていくうちに、低酸素環境に対する違和感が減っていった。 ・補助トレーニングとしてではなく、主練習として行うこともしてみたい。 ・低酸素による疲労はあまり感じられなかったので、頻度を増やして実施してみたい。

IV. 考察

1. 本トレーニングの特徴について

本研究で用いた低酸素トレーニング中の生理・心理応答を示した図4を見ると、HR は主運動の後半で 150bpm 程度、La は 1.5～3mmol/l 程度、RPE は 13 程度であり、長距離走選手がトレーニングを行う強度としてはそれほど高くないレベルであった。その一方で SpO₂ は、ウォーミングアップとしてのウォーキングを始めた段階ですでに 90%以下となり、ランニング時には 80%前後にまで低下した。

通常環境下で低～中強度運動を行う場合、SpO₂ が 90%以下になることはほとんどない。また、最大努力で運動を行った場合でも、鍛錬者において 80%台になる場合はあるが、非鍛錬者では 90%を下回ることは少ない¹⁴⁾。したがってこの低酸素トレーニングは、HR、La、RPE から見れば低強度の運動といえるが、SpO₂ から見ると、通常環境では経験できないような低酸素刺激を、持続的に受けながら運動していたことになる。

次に、選手の内省報告によると、通常環境でのトレーニングと比べて、きつさには大差はないという選手が多かった。しかし検者側の観察によると、低酸素トレーニング時の方が明らかに走速度が低下してしまう者や、同一速度でも低酸素トレーニング時の方がHRが上昇しやすい者も見られた。また低酸素環境では、調子が良い時と調子の悪い時との差がはっきりと現れ、調子が悪い日には走ることが困難な者もいた。このことから、低酸素トレーニングにおいては、体調のよしあしや主観的なきつさが低地でのトレーニングよりも増幅された形で現れる性質があると考えられる。

本トレーニングでは、Tr1 から Tr7 へと計 7 回のトレーニングが進行しても、毎回のトレーニング中の各生理指標の値にはほとんど変化は見られなかった。一方、トレーニング高度はトレーニング後半では全被験者で上昇させていることを考え合わせると、高度に対する慣れ(順化)が起こったことが窺える。また心理的な指標である RPE については、高度や走速度が上昇しているにも関わらず、むしろ低下傾向を示した者が多かった。これについては、「トレーニングの進行と共に低酸素に対して違和感が少なくなっていく」という内省報告が多かったこと(表8)からも裏付けられる。

したがって、本研究のような1ヶ月に7回という低頻度の低酸素トレーニングであっても、回数の増加に伴って低酸素環境に対する順化が生じると考えられる。

2. 本トレーニングの効果について

本トレーニングで目標とした駅伝大会での結果については、表8にも示したように、「レースの流れに左右されて力を発揮できなかった」、「当日に体調不良であった」、「補欠となり出場しなかった」といった様々な理由により、実際のレースにおいてはトレーニング効果を明瞭に確認することはできなかった。しかし、同じく表8の内省報告を見ると、6名全員が、実際の走る場で「呼吸がより楽になった」、あるいは「リズムよく走れるようになった」など、何らかのプラスの効果を感じていたことがわかる。

一方、実験室のレベルでは、以下のようないくつかのトレーニング効果が確認できた。本研究では、4 週間のトレーニングの結果、表 4 に示すように、5000m 走のレース速度(V_{peak})における La は、全員がトレーニング前に対して 10%以上という顕著な低下を示し(平均値では $6.5\text{mmol/l} \rightarrow 5.1\text{mmol/l}$)、統計的にも有意であった。また La については、全員がトレーニング前に対して 5%以上の低下を示し(平均値では $17 \rightarrow 14$)、統計的にも有意であった。

つまり本トレーニングは、低地での走能力でいうと、血中乳酸濃度がある程度増大した状態で、主観的には「きつい」と感じられるような運動領域での能力を、被験者全員について改善させたことになる。このような生理・心理指標の改善が、実際の競技パフォーマンスの改善につながる可能性は大きいと考えられる。

また全員ではないが、 V_{peak} 時の $\dot{V}O_2$ の低下(2名)、 $\dot{V}E$ の低下(4名)、 RER の低下(3名)も複数の選手で観察された。 $\dot{V}O_2$ の低下は運動効率の改善を、 $\dot{V}E$ の低下は換気効率の改善を意味すると考えられる。また RER の低下は、 La の低下に伴い、重炭酸イオンの緩衝作用による二酸化炭素の発生量が低下したことを反映していると考えられる。

本研究では対照条件を設けていないので、このような効果が低酸素トレーニングによってもたらされたとは断定できない。しかし、本研究で対象とした長距離走選手は、その実施年数が7年間以上と長く、ほぼ成熟している選手である。このため、低地での短期間のトレーニングだけでは、生理指標の顕著な改善は起こりにくいと考えられる。実際に、本被験者が所属する陸上競技部の過去の経験では、 $\dot{V}O_2$ や RPE が本研究のように4週間で明瞭な改善を示すことはなかった。したがって、本研究の場合、補助的に行った低酸素トレーニングがこのような効果をもたらした大きな要因であると考えられる。

著者らのこれまでの研究によると、通常環境でのトレーニングと並行して、高頻度・高強度の低酸素トレーニングを導入した場合、 $\dot{V}O_2$ の低下は多くのケースで認められた^{1, 8-10, 15, 16)}。RPE についても「運動が苦しくなる局面で身体が動くようになる」という内省報告が多かった⁷⁻¹⁰⁾。また、同一運動強度に対する $\dot{V}O_2$ や $\dot{V}E$ の低下も、いくつかのケースで観察された^{1, 8-10)}。したがって、低強度・低頻度の低酸素トレーニングであっても、高強度・高頻度の低酸素トレーニングと同様な改善は起こりうるといえる。

一方、本研究において、赤血球やヘモグロビンが増加した者は5名中2名のみであり、残りの3名には変化が見られなかった(表7)。同様な現象は、著者らが過去に行った高頻度・高強度の低酸素トレーニングでも観察されたことがある¹⁾。

自然の高地に出かけ、そこに長期間滞在して行われる従来型の高所トレーニングでは、赤血球やヘモグロビンといった血液性状が改善することで、パフォーマンスの向上が起これることが通説となっている¹³⁾。一方、本研究で用いたような、低地でのトレーニングと並行して補助的に行う低酸素トレーニングの場合、血液性状の変化ではなく、 $\dot{V}O_2$ をはじめ、 $\dot{V}O_2$, $\dot{V}E$ といった他の様々な生理応答が改善することによって、パフォーマンスの向上が得られると考えられる¹⁷⁻¹⁹⁾。

3. 本トレーニングの意義と今後の課題

本研究で実施した低酸素トレーニングの強度は、RPEが13(ややきつい)程度であった。これまで著者らが行ってきた低酸素トレーニングでは、ほとんどの場合 19 以上(非常にきつい)にまで運動強度を上げていたことから^{1-3, 6-10, 15, 17)}、それに比べてかなり低強度である。また運動頻度も、これまでのトレーニングの多くは週に3~6回程度であったのに対して^{1-3, 6, 8-10, 15-17)}、本研究では週に2回程度と低頻度である。

これまでの高強度・高頻度の低酸素トレーニングの実施経験では、試合直前に低酸素環境で、激しい運動を高頻度で行うことから、身体的、精神的に大きなストレスになるとして、不安を抱く選手もいた³⁾。一方、本研究で行ったような低強度・低頻度の低酸素トレーニングでは、不安を抱いたり、マイナスに評価したりする者はいなかった(表8)。

したがって、本トレーニングは長距離走選手にとって身体的にも精神的にも取り組みやすい方法といえる。ただし、低酸素トレーニングにおける最適な運動強度や運動頻度は、競技特性の違いによっても変わる可能性がある。すなわち、別の種目ではむしろ高強度や高頻度のトレーニングの方

が効果的な場合もあるかもしれない。これらの問題については今後の検討課題である。

なお、今回の低酸素トレーニングに対する被験者の感想を見ると(表 8), 1 回のトレーニング中でも低酸素に対する慣れが起こると述べた者が複数いた。したがって、今後同様のトレーニングを行う場合には、低酸素室に入室して順化するための時間をさらに長く設けると、より効果的かもしれない。たとえば、ランニングの前にはストレッチング、体操、ウォーミングアップを行うだけでなく、軽い筋力トレーニングなどの補強トレーニングも導入することで、その間に低酸素環境に対する順化が進み、トレーニング後半に行う主運動のランニングの質をより高めて行える可能性もある。

また、今回の低酸素トレーニングでは、主観的な疲労感は低かったと述べている者が多かった。しかし、中にはトレーニングの終了後に、通常の低地トレーニングでは感じないようなだるさを感じている選手もいた。したがって、身体への負担は選手の気づかない部分で、意外に大きいという可能性も考えられる。このため、低酸素トレーニングを導入する時期には、通常環境でのトレーニング量を減らすといったことも検討する必要があると考えられる。

参考文献

1. 安藤隼人, 山本正嘉: Living low - training high 方式の高所トレーニングにおける血液性状の変化; トレーニング期間中の適応過程に注目して. 第7回高所トレーニング国際シンポジウム総集編, pp.46-47, 2004.
2. 安藤隼人, 山本正嘉: 一週間で行う Living low, training high 方式の高所トレーニングの効果. 第8回高所トレーニング国際シンポジウム総集編, 2005, pp.54-55.
3. 荒木就平, 安藤隼人, 黒川 剛, 山本正嘉: 年間を通しての練習内容と体力測定結果から見た鹿屋体育大学・自転車ロード競技選手におけるトレーニングの問題点. スポーツトレーニング科学, 6: 24-31, 2005.
4. Bonetti, D. L. and W. G. Hopkins: Sea-level exercise performance following adaptation to hypoxia; a meta-analysis. Sports Med., 39:107-127, 2009.
5. Fulco, C. S., P. B. Rock, and A. Cymerman: Improving athletic performance: is altitude residence or altitude training helpful? Aviat. Space Environ. Med., 71: 162-171, 2000.
6. 平山 祐, 山本正嘉: カナディアンカヌー競技選手を対象とした通常酸素環境下および低酸素環境下でのカヌーエルゴメーター漕トレーニングの効果. トレーニング科学, 23, 2011. (印刷中)
7. 岩元はるみ, 山本正嘉: カヌー競技における高校生期の競技力向上の問題点とその解決策. スポーツトレーニング科学, 6: 60-64, 2005.
8. 狩野和也, 前川剛輝, 大村靖夫, 山本正嘉: 常圧低酸素室を用いた“living low, training high”方式の高所トレーニングが自転車競技選手の身体作業能力に及ぼす効果. トレーニング科学, 13: 81-92, 2001.
9. 国分俊輔, 楠本恭介, 三森絵里, 千足耕一, 山本正嘉: ウインドサーフィン(ミストラル級)の競技特性をもとに考案した陸上での補強トレーニングの効果; ナショナルチーム入りを果たした

- E.M.選手の事例. スポーツトレーニング科学, 4: 57-61, 2003.
10. 前川剛輝, 安藤隼人, 清水都貴, 山本正嘉: 自転車ロード競技選手に対するピーキングを目的とした低酸素トレーニングの実践事例; 2000・2001 年度全日本学生個人ロードタイムトライアル優勝者の場合. トレーニング科学, 15: 187-196, 2004.
11. Wilber, R. L.: Current trends in altitude training. Sports Med., 31: 249-265, 2001.
12. Wilber, R. L.: Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. Med. Sci. Sports Exer., 39: 1610-1624, 2007.
13. Wilber, R. L.: Altitude Training and Athletic Performance. Human Kinetics, 2004. (高地トレーニングと競技パフォーマンス, 川原 貴・鈴木康弘監訳, 講談社サイエンティフィク, 東京, 2008.)
14. Williams, J.H., Powers, S. K., and Stuart, M. K.: Hemoglobin desaturation in highly trained athletes during heavy exercise. Med. Sci. Sports Exer., 18: 168-173, 1986.
15. 清水都貴, 安藤隼人, 黒川 剛, 山本正嘉: 高度に対する個人内および個人間での適応状況の違いを考慮した低酸素トレーニング処方成功事例ー自転車ロード競技選手を対象として. スポーツパフォーマンス研究, 2: 259-270, 2010.
16. 山本正嘉, 入江初舟, 前川剛輝, 大村靖夫: OBLA トレーニングと高所トレーニングを組み合わせた持久力トレーニングの効果; 常圧低酸素室を利用して. 第5回高所トレーニング国際シンポジウム講演・発表論文集, 2002, p.180.
17. 山本正嘉: 常圧低酸素室を利用した Living low - training high 方式の高所トレーニング; その有効性とトレーニングの実践. 臨床スポーツ医学, 21: 31-37, 2004.
18. 山本正嘉: 高所トレーニングのこれまでとこれから; 増血パラダイムからの転換を考える. トレーニング科学, 21: 339-356, 2009.
19. 山本正嘉: 21 世紀の高所トレーニングへの提案. トレーニング科学, 12: 61-68, 2000.