

低酸素トレーニングの個人差

黄 聡

キーワード：常圧低酸素, Live-High Train-Low, 有酸素パフォーマンス, ストレス

Individual variation in hypoxic training

Cong Huang

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the individual variation and change in physiological responses and/or aerobic exercise performance on Live-High Train-Low (LHTL) using normobaric hypoxia in endurance athletes. Nine college long distance runners and triathlete were participated in the study. They spent a normobaric hypoxic room (15.4%O₂, simulated altitude as 2500m) for 10-15h per night for 3 weeks (three 6-night blocks of hypoxia, interspersed with one night of normoxia) with training at sea-level condition. We tested the incremental treadmill running test ($\dot{V}O_{2max}$, $\dot{V}O_2$, HR and blood lactate concentration at submaximal intensity (LT and OBLA) and hematological tests (RBC, Hb, HCT, Ret, EPO, WBC, LYMP, NEUT) during the experimental period. There was no significant change in $\dot{V}O_{2max}$. But, $\dot{V}O_2$ at LT tendency to 2.9% decrease after LHTL, and running speed at OBLA tended to be improved as well as $\dot{V}O_2$, RBC, Hb and HCT did not change during the experimental period, but EPO and Ret were significantly increased during LHTL period. ($p<0.01$, $p<0.05$, respectively). Also, we could find negative correlation between change rate of EPO and WBC subsets at the 9th day during LHTL (WBC; $r=-0.6580$, (NS), NEUT; $r=-0.6896$, $p<0.05$). Furthermore, there were significant relationships between the Hb density and rate of change of WBC subsets on early period (2nd day) (WBC; $r=0.6195$, (NS), NEUT; $r=0.7337$, $p<0.05$). These results suggest that high increase rate of EPO during LHTL and/or low level of hemoglobin density pre-LHTL would cause stress responses as WBC subsets during LHTL period. Furthermore, these relations may be related to exercise performance and the improvement of submaximal exercise efficiency in athletes after LHTL.

Key words : normobaric hypoxia, Live-High Train-Low, aerobic capacity, stress

I. 緒 言

高地トレーニングは、低圧低酸素環境下に一定期間滞在することによる高地馴化（受動的効果）と、トレーニングによる効果（積極的効果）との合成効果によって、平地でのトレーニング以上に競技力を向上させるものとして期待されている（村岡，2002）。

高地トレーニングは、いくつかの方法に分けられているが、主には二つの方法がよく使われている。一つは、従来までは高地にて滞在トレーニングも行う方法（Live-High Train-High；LHTH）が主流であった。しかし、LHTH法は高地におけるトレーニングの質的および量的低下という短所が挙げられている。このことは、平地でのパフォーマンスを低下させる要因となると考えられている（村岡，2002）。そのため、Levine and Stray-Gundersen（1997）が高地に滞在し平地でトレーニングを行う方法（Live-High Train-Low；LHTL）法を発表し、高地に滞在することによる受動的効果を得ると同時に低地でトレーニングをすることで、LHTHにおいて問題であったトレーニングの質的および量的低下を防ぐことができるようになった。その結果、LHTH法と同様もしくはそれ以上の効果の獲得が得られると期待されている。

さらに、高地トレーニングの効果は、主に低酸素が主要な刺激となって起こると考えられることから、Ruskoら（1996）は、気圧を低下させることなく酸素濃度のみを低下することのできる altitude house（常圧低酸素室）が開発された。この低酸素室を用いて、平地で通常のトレーニングを行いながら、睡眠あるいは滞在のみ低酸素環境で行う方式のトレーニングが広く普及・活用されるようになった。高地トレーニングの至適な標高は、一般的に標高 2,000~2,500m（酸素濃度 16.4~15.4%に相当）としている（浅野・小林，2004）。

高地トレーニングによって獲得される生理・生化学的効果としては、身体内の酸素分

圧の低下によってもたらされるエリスロポエチン濃度（EPO）の上昇とそれに伴う赤血球（RBC）やヘモグロビン濃度（Hb）の上昇、赤血球内 2,3-ジフォスフォグリセリン酸（2,3-DPG）の上昇とそれに伴う酸素解離曲線の右傾化などが挙げられ、その結果、血中酸素運搬能力が向上すると考えられている（村岡，2002）。

しかしながら、現在、高地トレーニングの有効性を検討した報告がいくつかあるが、一つの問題点として挙げなければならないのは、選手の高地馴化にも、平地へ戻る時の有酸素競技パフォーマンスにも、上手く適応できる者とそうでない者がいるということである。つまりは、高地馴化およびトレーニング効果には、個人差が認められること。例えば、高地あるいは低酸素トレーニングにより、RBC および Hb が増加することを報告している研究（Rusko et al., 1999；Wehrlein et al., 2006）がある一方で、変化しなかったという研究もある（Saunders et al., 2004；Neya et al., 2007）。このことは、高地誘発性の赤血球生成の反応には低酸素環境下での滞在時間が問題となると同時に、大きな個人差が存在することが示されている（Chapman et al., 1998）。

さらに、高地馴化後、平地での最大酸素摂取量（ $\dot{V}O_{2max}$ ）および運動パフォーマンスでも、大きな個人差があることが示唆されている。LHTL において、平地での $\dot{V}O_{2max}$ は、低酸素曝露前と比べて有意に増加した研究（Rusko et al., 1999；Stray-Gundersen et al., 2001）、あるいは変化が認められなかった報告（Piehl-Aulin et al., 1998；Roberts et al., 2003）、ひいては $\dot{V}O_{2max}$ が低下を示した研究（Gore et al., 2001）も示されている。これらの研究報告を見ると、異なる見解となっている要因として、実験条件の違いが影響していることも考えられるが、それ以上に被験者個々の低酸素あるいは高地トレーニングに対する応答の違い、つまりは個人差が大きく関連しているように思われる。

この個人差の原因については、高地トレーニングによって、EPOの有意な上昇が認められた選手が、有酸素パフォーマンスが向上したこと (Chapman et al., 1998)。また、低酸素曝露期間中のオーバートレーニングあるいは高地トレーニング後に望ましいパフォーマンスを発揮できる時期が選手個々によって異なっているために $\dot{V}O_2\max$ やパフォーマンスの向上が認められなかった可能性があるとして示唆している (Nieman, 1997; Gore et al., 1998)。

しかしながら、それらの各指標に見られる個人差が生じる要因については、各研究時に見られた状況から推測することとどまっておらず、個人差についての詳細な検討をした報告は見当たらない。

そこで、本研究は、低酸素トレーニング (Live-High Train-Low ;LHTL)中および低酸素トレーニング前後の血液性状や生理的応答を比較・分析し、低酸素トレーニングの個人差について検討することを目的とした。

II. 研究方法

1. 被験者

被験者は大学陸上競技長距離およびトライアスロン男子選手9名とした。被験者の体格特徴は年齢； 19.4 ± 0.5 yr、身長； 169.0 ± 5.6 cm、体重； 59.7 ± 6.6 kg、最大酸素摂取量； 63.1 ± 3.9 ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹である (表1)。

表1. 被験者の体格的特徴

	Age yr	Height cm	Weight kg	BMI kg/m ²	$\dot{V}O_2\max$ ml \cdot kg ⁻¹ \cdot min ⁻¹
A	20	169	54.6	19.1	65.0
B	19	156	56.2	23.1	65.4
C	19	171	51.5	17.6	69.4
D	19	168	59.1	20.9	60.1
E	19	171	56.3	19.3	59.4
F	19	168	60.9	21.6	65.9
G	20	172	64.4	21.8	62.4
H	20	169	60.0	21.0	63.5
I	20	177	74.1	23.7	56.8
Mean value	19.4	169.0	59.7	20.9	63.1
SD	0.5	5.6	6.6	1.9	3.9

Age: 年齢, Height: 身長, Weight: 体重, BMI: 体格指数, $\dot{V}O_2\max$: 最大酸素摂取量

なお、実験に先立ち十分に実験内容を説明したのち、被験者として本実験への参加に対する同意を得た。

2. 実験デザイン

低酸素トレーニングは常圧低酸素環境に滞在し、トレーニングは平地で行う Live-High Train-Low 法(LHTL)とした。

被験者は、高度 2,500m 相当(15.4%酸素濃度)の常圧低酸素室 (YHS-515S: YKS 社製) に1日 10~15時間を6日間にわたって滞在させ、7日目は常酸素下で滞在することを3週間繰り返す、トレーニングは通常通り実施した。実験デザインは図1に示した。

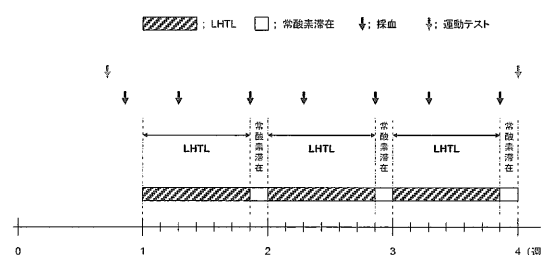


図1. 実験のデザイン

3. 測定項目及び方法

1) 漸増負荷運動テスト

低酸素滞在する前後に、トレッドミル (AeromillSTM-1250) を用い、漸増負荷運動テストを実施した。その時に、最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$)、最大換気量 ($\dot{V}E\max$)、最大心拍数 (HRmax)、最大乳酸値、運動時間、血乳酸閾値 (LT) および乳酸蓄積閾値 (OBLA) 時点の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$)、換気量 ($\dot{V}E$)、心拍数 (HR) 及び走速度 (Speed) を測定した。運動テストの流れは、まず、選手は5~10分間の warm-up を行い、それから、5分間の一定負荷運動 (ランニング速度 200 m/分、傾斜 0 度で運動を開始し、セット毎に速度を 25m 漸増した) を1分間の休憩をはさみながら、5セットを行い、その後、最終ステージはその前の第5ステージと同じスピードで角度を1分ごとに1%を上昇させて、疲労困憊にいたるまで行った。

換気量、酸素摂取量を熱線式流量計 (RM-300: ミナト医科学社製) によって呼気を

30 秒毎に計量し、分時換気量を求めた。また、呼気中の酸素および二酸化炭素濃度については、それぞれジルコニア素子方式および赤外線方式によるガス分析器(MG-360：ミナト医科学社製)を用いて換気量の計測と同時に分析した。テスト中の心拍数は心拍計(S810i：POLAR社製)を用いて記録した。

なお、 $\dot{V}O_2\max$ の判定基準は、① $\dot{V}O_2$ の leveling off がみられること、②HR が 180 拍/分以上であること、③呼吸交換比 (RER) が 1.0 を超えていることの三つの条件のうち二つ以上が満たされたときに $\dot{V}O_2\max$ とした。また、血中乳酸濃度の測定は、ラクテート・プロ LT-1710 (ARKLAY 社製) 簡易血中乳酸測定器を用いて分析し、運動テスト開始前 3 分、毎セット終了直後に、そして最終ステージ終了 3 分後に指先より採血し、分析した。最大下運動時の運動への効果を評価するために、血中乳酸濃度が 2mmol/l および 4mmol/l 蓄積する LT および OBLA 時の $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}E$ 、HR 及び Speed を作図法により求めた。

2) 血液性状

実験開始前、各週の 2 および 6 日目の朝 7:30 分に、当日 0 時より絶食した状態で肘前静脈より採血を行い、血中の赤血球数 (RBC)、ヘモグロビン濃度 (Hb)、ヘマトクリット値 (Hct)、網状赤血球数 (Ret)、白血球数 (WBC)、リンパ球数 (LYMP)、好中球数 (NEUT)、コルチゾール濃度 (Cortisol)、アドレナリン濃度 (Adre)、ノルアドレナリン濃度 (nor-Adre)、鉄 (Fe)、フェリチン (Ferritin)、および血漿エリスロポエチン濃度 (EPO) を測定した。血液サンプルは、採血後 30 分くらい静置し、3000 回転で 10 分間遠心分離をした。分析には遠心分離した上清 (血清または血漿) を使った。

4. 鉄剤の摂取

低酸素環境への滞在によって、血液中の鉄の利用や除去を倍に加速し、結果として、赤

血球新生を維持できないような鉄不足が生じることが考えられる (Roberts et al., 1992)。そのため、本研究では、実験開始前および期間中には、鉄分補給を行った。鉄の摂取方法については、1日 20mg を目安に摂取させた。

5. 統計分析

全てのデータは、平均値±標準偏差で示した。実験期間中の運動テストおよび血液性状のデータの変化については、繰り返しのない一要因の分散分析を用いて分析し、post-hoc test は、Dunnett を用いて分析した。また、血液指標間の関係を線形回帰およびピアソンの積率相関係数を用いて検討した。統計的有意水準を $p<0.05$ とした。

III. 結 果

1. 運動テスト

有酸素パフォーマンス能力を評価する指標である $\dot{V}O_2\max$ は、実験前後に有意な差が認められなかった。また、 $\dot{V}E\max$ 、HRmax、最大乳酸値および漸増負荷運動テストの運動時間についても LH TL 前後に有意な変化は認められなかった。

表 2 は LT および OBLA 時の $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}E$ 、HR 及び Speed を示した。LT 時点の $\dot{V}O_2$ は実験前 ($2794 \pm 190 \text{ml/min}$) に比べて実験後 ($2760 \pm 98 \text{ml/min}$) に有意ではないものの、低下の傾向が観察された。また、LH TL 前と比較して LH TL 後の $\dot{V}E$ は $75.1 \pm 8.6 \text{l/min}$ から $78.2 \pm 5.2 \text{l/min}$ へと増加したが、有意な差は認められなかった。LT 時点の HR および Speed も実験前後に有意な変化は認められなかった。

一方、OBLA 時点の $\dot{V}O_2$ 、HR 及び Speed は、LH TL 前後に有意な変化が認められなかったが、 $\dot{V}E$ は有意な増加を示した (実験前; $93.2 \pm 13.3 \text{l/min}$ 、実験後; $100.1 \pm 9.7 \text{l/min}$ 、 $p<0.05$)。

表 2. LT および OBLA 時の運動能力の結果

Subjects (n=9)	LT				OBLA			
	$\dot{V}O_2$ ml/min	$\dot{V}E$ l/min	HR beats/min	Speed m/min	$\dot{V}O_2$ ml/min	$\dot{V}E$ l/min	HR beats/min	Speed m/min
LHTL前	2794±190	75.1±8.6	165.9±5.3	244±21	3147±261	93.2±13.3	176.1±7.3	270±22
LHTL後	2706±98	78.2±5.2	163.8±2.8	243±21	3044±233	100.1±9.7	175.9±6.6	273±20

低酸素トレーニング(LHTL)前後における血乳酸閾値(LT)及び乳酸蓄積閾値(OBLA)時点の酸素摂取量; $\dot{V}O_2$, 換気量; $\dot{V}E$, 心拍数; HR, 走速度; Speed, 値は平均値±標準偏差 * $p<0.05$

2. 血液性状

表3にLHTL期間中の血液性状の変化を示した。RBC、Hb及びHctには、実験期間中に有意な変化は見られなかった。

一方、3週間の低酸素室滞在によって、EPO濃度はLHTL前(21.5±6.9mU/ml)から実験期間中は高値を持続した(1週目の2日目; 30.0±9.4mU/ml、2週目の2日目; 33.0±

9.2mU/ml、3週目の2日目; 31.4±8.8mU/ml、 $p<0.01$)。Retは、低酸素室滞在最初の2日間が滞在前より変化は認められなかったが、1週目の6日目11.6±3.7(00/0)、2週目の2日目11.9±4.1(00/0)、2週目の6日目11.9±3.7(00/0)および3週目の2日目11.8±4.3(00/0)には有意に高値を推移した($p<0.05$)。

表 3. 低酸素滞在中の血液性状の変化

Subjects (n=9)	滞在前	1セット(1週目)		2セット(2週目)		3セット(3週目)		
		2日目	6日目	2日目	6日目	2日目	6日目	
RBC	10 ⁴ /μl	517±26	512±33	505±34	494±34	505±29	504±38	487±32
Hb	g/dl	15.3±0.5	15.2±0.6	15.0±0.6	14.8±0.6	15.0±0.4	14.9±0.6	14.6±0.7
Hct	%	45.8±1.4	45.1±1.9	44.9±1.6	43.9±2.1	45.0±1.5	44.7±2.0	43.8±1.9
Ret	0/00	9.7±2.0	9.6±2.3	11.6±3.7 *	11.9±4.1 *	11.9±3.7 *	11.8±4.3 *	11.7±5.5
EPO	mU/ml	21.5±6.9	30.0±9.4 **	29.1±8.5 **	33.0±9.2 **	26.2±7.8 *	31.4±8.8 **	30.1±8.6 *
WBC	/μl	6522±1968	5767±1573	5678±1493	6178±1895	6378±1368	6100±2059	5533±872
NEUT	/μl	3353±1158	3038±1019	2729±818	3176±1178	3518±883	3144±1423	2561±656
LYMP	/μl	2396±687	2064±548	2276±682	2161±597	2174±830	2275±905	2267±621
Cortisol	μg/dl	20.8±3.3	18.1±3.8	19.7±3.5	21.1±2.4	20.8±2.6	17.8±3.4	22.9±4.0
Adre	pg/ml	49.9±26.8	44.2±26.3	57.1±38.8	40.8±20.4	41.4±18.2	39.4±24.9 *	41.8±18.1
nor-Adre	pg/ml	464±149	392±140 *	467±180	477±238	489±119	448±158	432±177
Fe	μg/dl	91±45	113±37	102±28	91±23	97±34	96±34	59±22
Ferritin	ng/ml	40.2±19.9	44.4±25.4	37.4±20.9	33.7±18.7 **	30.9±19.8 **	28.4±18.1 **	30.3±16.9

RBC; 赤血球数, Hb; ヘモグロビン濃度, Hct; ヘマトクリット値, Ret; 網状赤血球数, EPO; 血漿エリスロポイエチン濃度, WBC; 白血球数, NEUT; 好中球数, LYMP; リンパ球, Cortisol; コルチゾール, Adre; アドレナリン濃度, nor-Adre; ノルエピネフリン濃度, Fe; 鉄, Ferritin; フェリチン, 値は平均値±標準偏差。* $p<0.05$ ** $p<0.01$

3. 血液パラメーター間の関連性

LHTL中の各週のEPOおよびRetの増加率について見ると、2週目においてEPOの増加にともない、Retの増加が大きいことが認められた(2週目の2日目; $r=0.9041$, $p<0.05$)。

次に、低酸素滞在の2週目および3週目におけるEPOの変化率はストレス応答に関するWBCおよびNEUTの変化率と負の相関関係が認められ、それぞれ、WBCとの相関係数は(2週目の2日目; $r=-0.6580$ 、3週目の2日目; $r=-0.6268$)、そしてNEUTとの相関係数は(2週目の2日目; $r=-0.6896$ 、3週目の2日目; $r=-0.7229$, $p<0.05$)とな

った。

LHTLの1週目の2日目の時点では、Hb濃度はWBC及びNEUTの変化率と正の相関関係となった(WBC; $r=0.6195$)、(NEUT; $r=0.7337$, $p<0.05$, 図2)。

IV. 考 察

本研究では、3週間のLHTLにおいて、実験前後の $\dot{V}O_{2max}$ の絶対値および相対値は有意な変化を認められなかったが、わずかではあるがそれぞれ2.59%および2.0%が低下を示した。しかしながら、先行研究の結果を

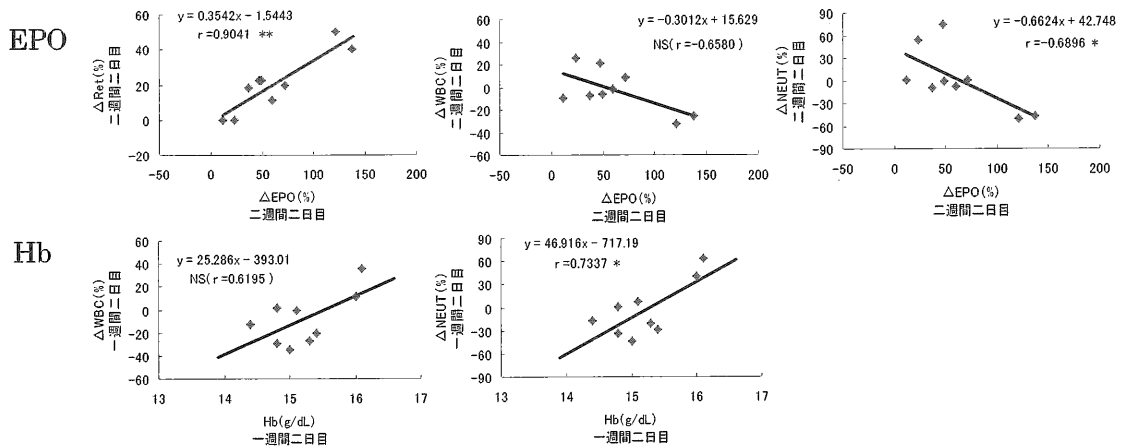


図2. 低酸素滞在期間中のエリスロポエチン (EPO) およびヘモグロビン (Hb) と網状赤血球 (Ret)、白血球 (WBC)、リンパ球 (LYMP) および好中球 (NEUT) の変化率の関係 * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

見ると、我々の知見と異なる報告がある。Levine and Stray-Gundersen (1997) は、13名の男女大学生陸上選手を対象にして、Live-High (2,500m) Train-Low (1,250m) 法を用いて4週間の低酸素トレーニングを行い、LHTL群ではトレーニング終了3日後に行ったテストにおいて、トレーニング前と比較してRBC (5%)、Hb濃度 (9%)、 $\dot{V}O_2\max$ (5%) が有意に増加したことを報告している。

一方、Ruskoら (1999) は、男女12名のクロスカントリースキー選手とトライアスロン選手を対象に1日12~16時間、標高2,500m相当の常圧低酸素室に滞在し、常圧常酸素環境でトレーニングする生活を25日間行わせた。その結果、低酸素曝露終了後1日目における低酸素群の平地での $\dot{V}O_2\max$ はわずか1%の増加 (有意差なし) であったが、低酸素曝露終了後7日目では有意に高値 (3%) を示した。

これまでの先行研究から、低酸素曝露前後での $\dot{V}O_2\max$ の改善にはRBCおよびHb濃度の増加が生じていることが認められている。また、Ruskoら (1999) の結果から、低酸素トレーニング終了した直後より、終了した1週間の時点では運動テストを行うことがより

望ましいと考えられた。したがって、本研究における平地での $\dot{V}O_2\max$ が改善できなかった可能な原因は 1) 酸素運搬能力を高めるために役立つRBCやHb濃度は増加しなかったこと、2) 運動テストがLHTL後3日目に行ったため、低酸素ストレスによる疲労や脱馴化などが未だ解消しなかったことが挙げられる。しかし、この点については個人差も考えられるため今後さらに検討したい。

$\dot{V}O_2\max$ を改善することができなかったが、LT時点の $\dot{V}O_2$ は実験後に約2.9%の減少が観察された (表2)。この差は有意ではないものの、LTの時点では、選手はLHTL後に前と比べてより少ない酸素量を使用して同強度の運動が可能となる。心拍数が低下したこと、またOBLAでは $\dot{V}O_2$ やHRに差は見られなかったものの、OBLA時の走速度が改善している傾向にあることから、つまりは運動効率が改善していることが推測できる。これらの有意ではないもののわずか1~3%の変化 (改善) は競技者にとっては競技力を高めるためには重要な改善であると考えられる。

次に、血液性状の結果 (表3) では、酸素運搬能力を高めることに役立つRBCおよびHbは、実験期間中に有意な変化は認められ

なかった。Saundersら(2004)は、競技中・長距離のエリート選手を対象に1日9~12時間、週に5日間、標高2,000~3,100m相当の常圧低酸素室に滞在し、4週間を行わせた。LHTL前後にHb濃度は有意に変化しなかったことを報告されている。

その一方で、我々の研究で造血ホルモンのEPOは実験期間中有意な高値を推移した。さらに、今回の結果では、これまでの先行研究で示されているような血漿EPO濃度の変化ではなく、EPOはLHTL中高値を持続した。さらに、EPOの増加率とRetの増加率には正の相関が認められた。また、興味深いことに、2週目の2日目におけるEPO濃度の増加によって、免疫能が低下していたことが認められた。

このことから、血中EPOの分泌量はRet値に有益な変化をもたらすことから、血液新生を促進することがあらためて観察した。しかしながら、血液新生のために、EPO分泌という効果としての生体応答が起こる一方で、EPO分泌依存した形でWBCおよびNEUTの低下が生じるといった結果も見られ、免疫抑制を引き起こす可能性が高いと推測する。

また、内丸ら(2008)の研究においても免疫能低下は平地での有酸素パフォーマンスにマイナスの影響を及ぼす可能性があると考えられており、EPO増加がパフォーマンスや $\dot{V}O_2\max$ にどのような影響を及ぼすのかについても検討していく必要があると考える。

さらに、実験前のHb濃度は、WBCおよびNEUTの変化率と有意な正の相関を示した。この結果は、低酸素滞在初期のHbの高濃度者は、酸素運搬能力がHb濃度の低い者より高いことから(Chapman et al., 1998)、酸素供給は十分なために、ストレスが軽減できるのではないかと考えられる。したがって、前述のように免疫能は有酸素パフォーマンス能力に影響を及ぼす可能性があるため、低酸

素滞在前および初期のHb濃度は、低酸素トレーニング中のコンディションを左右し、その後のパフォーマンスに大きく影響を与える重要な点となるものと考えられる。

以上の結果から、低酸素曝露前にHb濃度の低い者は低酸素に対するストレスが大きいことが予想されること、および低酸素滞在中ではEPO分泌量の多い者は、LHTL中に免疫能の生理応答にマイナスの影響を及ぼしている可能性があることから、これらパラメーターが反映すると考えられる免疫能の低下はコンディション管理に大変重要であり、かつ、LHTL後の $\dot{V}O_2\max$ および運動パフォーマンスにもマイナスの影響を及ぼすと考えられるため、Hb濃度のチェックやトレーニング中のコンディションの管理を行う必要がある。

V. 結 論

標高2,500mに相当する常圧低酸素室を用いた3週間のLive-High Train-Lowは、平地での運動パフォーマンスにおいては有意な変化は認められなかったが、個人差が大きく示された。個人差の原因については、1) 低酸素馴化によって、血漿エリスロポエチン濃度(EPO)増加率の高い選手は、より大きなストレスをかけるため、平地での $\dot{V}O_2\max$ およびパフォーマンスにマイナスの影響を及ぼす可能性があること、2) 低酸素曝露初期にヘモグロビン(Hb)の高濃度選手は、酸素運搬能力も高いため、低酸素滞在中に免疫機能に有益な影響を及ぼすことが考えられる。これらのことはLHTLにおける運動パフォーマンスの改善に大きく関連するものと推測する。

文 献

浅野勝己, 小林寛道編:『高所トレーニングの科学』

- 杏林書院, 69-77, 2004.
- Chapman, R.F., J. Stray-Gundersen, and B.D. Levine : Individual variation in response to altitude training. *J. Appl. Physiol.* 85 : 1448-1456, 1998.
- Gore, C.J., A. Hahn, A. Rice, P. Bourdon, S. Lawrence, C. Walsh, T. Stanef, P. Barnes, R. Parisotto, D. Martin, D. Pyne, and C. Gore : Altitude training at 2690m does not increase total haemoglobin mass or sea level $\dot{V}O_2\text{max}$ in world champion track cyclists. *J. Sci. Med Sport.* 1(3) : 156-170, 1998.
- Gore, C.J., A.G. Hahn, R.J. Aughey, D.T. Martin, M.J. Ashenden, S.A. Clark, A.P. Garnham, A.D. Roberts, G.J. Slater, and M.J. McKenna : Live high : train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta Physiol. Scand.* 173 : 275-286, 2001.
- Levine, B.D., J. Stray-Gundersen : Living high-training low : effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J. Appl. Physiol.* 83 : 102-112, 1997.
- 村岡功 : 低酸素施設の利用. 青木純一郎編, 『高地トレーニングガイドラインとスポーツ医・科学的背景-』日本体育協会, 86-93, 2002.
- Neya, M., T. Enoki, Y. Kumai, T. Sugoh, and T. Kawahara : The effects of nightly normobaric hypoxia and high intensity training under intermittent normobaric hypoxia on running economy and haemoglobin mass. *J. Appl. Physiol.* 103 : 828-834, 2007.
- Nieman, D. : Immune response to heavy exertion. *J. Appl. Physiol.* 82 : 1385-1394, 1997.
- Piehl-Aulin, K., J. Svedenhag, L. Wide, B. Berglund, and B. Saltin : Short-term intermittent normobaric hypoxia-haematological, physiological and mental effects. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 8 : 132-137, 1998.
- Roberts, A.D., S.A. Clark, N.E. Townsend, M.E. Anderson, C.J. Gore, and A.G. Hahn : Changes in performance, maximal oxygen uptake and maximal accumulated oxygen deficit after 5, 10 and 15 days of live high : train low altitude exposure. *Eur. J. Appl. Physiol.* 88 : 390-395, 2003.
- Rusko, H. : New aspects of altitude training. *Am. J. Sports Med.* 24 : S48-S52, 1996.
- Rusko, H.K., H. Tikkanen, L. Paavolainen, I. Härmäläinen, K. Kalliokoski, and A. Puranen : Effect of living in hypoxia and training in normoxia on sea level $\dot{V}O_2\text{max}$ and red cell mass. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31 : S86 (abstract), 1999.
- Saunders, P. U., R.D. Telford, D.B. Pyne, R.B. Cunningham, C.J. Gore, A.G. Hahn, and J.A. Hawley : Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate-altitude exposure. *J. Appl. Physiol.* 96 : 931-937, 2004.
- Stray-Gundersen, J., R.F. Chapman, and B.D. Levine : "Living high-Training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J. Appl. Physiol.* 91 : 1113-1120, 2001.
- 内丸 仁, 竹村英和, 松生香里, 永富良一 : 低酸素環境を利用したトレーニングの繰り返し効果とストレス応答. *デサントスポーツ科学* 29 : 125-135, 2008.
- Wehrli, J.P., P. Zuest, J. Hallén, and B. Marti : Live high-train low for 24 days increases hemoglobin mass and red cell volume in elite endurance athletes. *J. Appl. Physiol.* 100 (6) : 1938-1945, 2006.