

低酸素室を用いた Living High-Training Low トレーニングの試み

—呼吸循環機能と1500mや5000mのランニング記録に及ぼす影響—

山地 啓司, 橋場 理恵*, 橋爪 和夫

(2001年8月28日受理)

Effects of “Living High-Training Low” Training Using a Hypoxide Room on Cardio-Respiratory Functions and 1500m and 5000m Running Times.

Keiji YAMAJI, Rie HASHIBA, Kazuo HASHIZUME

キーワード : LH-TLトレーニング, 最高有酸素的ランニング速度, 乳酸性作業閾値におけるランニング速度, 1500mレコード, 5000mレコード

Key words : Living High-Training Low, $\dot{V}O_2\text{max}$, v_{LT} , 1500m records, 5000m records

I. 緒 論

高所トレーニングが高所での作業成績 (performance) を高めることは確実である。しかし、高所トレーニングが低所における作業成績を高めるか否かについては今なお統一された見解が得られていない (Jackson と Sharkey, 1988)。その一つの原因は高所では低所での競技に必要な強度のトレーニングが低酸素の影響を受けて不足気味にならざるを得ないためである (Saltin, 1967; Stine ら, 1992; Wolski ら, 1996)。この短所を補う一つの方法として Daniels と Oldridge (1970) は、アメリカのエリート中距離ランナー 6 人を対象に標高 2300m の高所に 7 日か 14 日滞在し、その後低所 (sea level) に 5 日か 11 日滞在することを交互に 4 回繰り返す断続的高所トレーニングを試みた。その結果、 $\dot{V}O_2\text{max}$ が 5.0% 高まり、3 マイル走行中の $\% \dot{V}O_2\text{max}$ が 91.7% から 97.5% に高まる。さらに、3 マイル

走の記録が改善するだけでなく、6 人の被験者で計 14 の自己記録を更新したことを報告した。しかし、高所トレーニングの主流は今なお高所に長期滞在する Living High-Training High (LH-TH) が維持されている。

1990 年代に入って、Levine と Stray-Gundersen (1992) は従来の高所に滞在し高所でトレーニングする、すなわち LH-TH の最大の欠点である高所での速い速度でのトレーニングの不足を補う方法として、2500m の高所で生活し、1250m の低所に下山してトレーニングを実施する “Living High-Training Low” (LH-TL) 方式の優位性を実証した。すなわち、高所馴化による赤血球数や総 Hb 量の増加と低所のインターバル・トレーニングによるランニング速度と O_2 flux の維持によって、1500m と 5000m のランニング記録が高まることを報告した。

しかし、この方法を実施するためには適切な高

* 入善小学校非常勤講師

所と、しかもそれなりの施設と交通の利便性が求められる。そこで、わが国の前嶋（1996）とフィンランドのRuskoら（1995）は可動性の低酸素室を作成し、この低酸素室を用いることによって平地でのLH-TLトレーニングを可能にした。また、1999年には文部省登山研修所や鹿屋体育大学に低酸素室が建設され、わが国のスポーツ界もいよいよ低酸素トレーニング時代に入った。しかし、低酸素室を利用したトレーニングに関する研究はその緒についたばかりである。

そこで本研究は、低酸素室を利用して通常のトレーニングの中に短期のLH-TLトレーニングを断続的に行うことが、1500mや5000mのランニング記録の改善に有効であるか否か、また、仮に有効とすると呼吸循環機能の改善からみてその要因が何であるかを追求する糸口を見つけることを目的とした。

II. 研究方法

本研究は、通常のトレーニングの中に標高2500

mにシミュレーションした低酸素室（酸素濃度約15.4%）で1日16時間以上生活し、シーレベルに近い低所（標高100～500m）でトレーニングするLH-TLトレーニングを断続的に加えた。第一次LH-TLトレーニングは7泊8日、その後13泊14日の低所での通常のトレーニング、続いて5泊6日の第二次LH-TLトレーニング、さらに、22泊23日の低所での通常のトレーニングを行った後、1週間ごとに2泊3日のLH-TLトレーニングを3回行う第三次LH-TLトレーニングを行った（図1）。

1. 被験者

被験者は大学陸上競技部の中・長距離ランナー男子6人で、そのトレーニング歴は3～6年であった。ただし、大学に入学後は週2回の合同トレーニングと週5回の自主トレーニングを行っているが、1週間の走行距離は約50～140kmと個人によって大きな差があった。なお、年齢や身体的特性は表1に示した。被験者は、全員雨天時あるいは冬期間にトレッドミルを用いてトレーニングを実施している関係から、トレッドミル走には十分慣

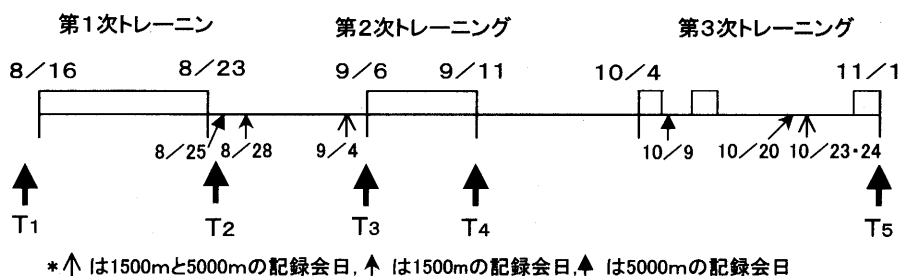


図1. トレーニングおよび1500mや5000mのレース日程

表1. 第1次～第3次LH-TLトレーニングにおける被験者6人の身体的特性とその変動

| | 年齢(歳) | 身長(cm) | 体重(kg) | %FAT(%) | 除脂肪体重(kg) |
|-----------|----------|-----------|-----------|----------|-------------|
| ±S. D. T1 | 19.7±0.8 | 174.4±2.6 | 59.1±3.8 | 11.8±1.2 | 52.1±3.3 |
| T2 | — | — | 58.4±3.5* | 11.8±1.2 | 51.5±3.2*** |
| T3 | — | — | 59.2±4.1 | 11.6±1.3 | 52.3±3.6 |
| T4 | — | — | 59.1±3.9 | 12.4±1.8 | 51.8±3.8 |
| T5 | 20.0±0.6 | 174.0±2.9 | 58.7±3.6 | 11.1±1.5 | 52.2±3.1 |

T1とT2との間

*P<0.05

***P<0.00

表 2-1 第1次低酸素トレーニングの内容

| | 朝トレーニング | 本トレーニング |
|----------|----------|----------------------------|
| 8月16日(月) | — | 70分持続走 |
| 17日(火) | 40分ジョギング | 22km持久走 |
| 18日(水) | 40分ジョギング | ファートレック走(70分) |
| 19日(木) | 40分ジョギング | 16km持久走(称名の滝まで) |
| 20日(金) | 30分ジョギング | 1500mタイムトライアル+ 20分ジョギング |
| 21日(土) | 30分ジョギング | ファートレック走(70分) |
| 22日(日) | 30分ジョギング | 22km持久走 |
| 23日(月) | 30分ジョギング | テスト |

表 2-2 第2次低酸素トレーニングの内容

| | 朝トレーニング | 本トレーニング |
|----------|----------|----------------------------|
| 9月 6日(月) | テスト | 60分ジョギング |
| 7日(火) | 40分ジョギング | 22km持久走 |
| 8日(水) | 30分ジョギング | 1000m×7本 インターバル |
| 9日(木) | 30分ジョギング | 22km持久走 |
| 10日(金) | 30分ジョギング | 1500mタイムトライアル+ 20分ジョギング |
| 11日(土) | 30分ジョギング | テスト |

表 2-3 第3次低酸素トレーニングの内容

| | 朝トレーニング | 本トレーニング |
|-----------|----------|---------------|
| 10月 9日(金) | — | 60分持続走 |
| 10日(土) | 40分ジョギング | ファートレック走(60分) |
| 11日(日) | 60分ジョギング | — |
| 10月16日(金) | — | 60分持続走 |
| 17日(土) | 40分ジョギング | ファートレック走(60分) |
| 18日(日) | 60分ジョギング | — |
| 10月30日(金) | — | 60分持続走 |
| 31日(土) | 40分ジョギング | 20km持続走 |
| 11月 1日(日) | 60分ジョギング | — |

れていた。被験者にはあらかじめトレーニングの目的、目標、具体的内容、効果等を十分説明し、被験者としての承諾を得た。

2. 走トレーニング内容

LH-TLトレーニング中の走トレーニングはシールレベル(標高100~500m)の道路上を持続走やファートレック走を、1日平均約20~30km行った(表2)。低所でのトレーニングは週2回の合同トレーニング(ビルドアップ走やインターバル走)、残り5日間は自主トレーニング(主に持続走)を行った。その走行距離は普段と同じであった。

3. 実験方法

(1) 血液検査

第一次LH-TLトレーニング前後(T_1 と T_2)および第二次LH-TLトレーニング前後(T_3 と T_4)のトレッドミルテスト前に採血を行い、血液検査を行った。血液検査項目の変動は表3に示した。

(2) トレッドミルテスト

第一次LH-TLトレーニング前後(T_1 と T_2)、第二次LH-TLトレーニング前後(T_3 と T_4)および第三次LH-TLトレーニング後(T_5)の計5回、最大および最大下のトレッドミル走テストを行った。被験者はテスト前に身長、体重、労研式皮脂厚計で皮下脂肪厚(上腕背部+肩甲骨下部)を測定した。続いて被験者は具体的な実験内容および諸注意を受け、その後テスト順番に合わせて各自が自由にウォーミング・アップ(W-UP)を行った。W-UP終了後、Morganら(1989)や山地(1998)の負荷方法にならって、毎分230r, 248m, 268m, 293m, 333mのそれぞれのランニング速度で各3分間のランニングを1分間の休息期をはさみながら行う、断続的漸増負荷法でトレッドミル走テストを行った(図2)。なお、トレッドミル走テストは西川鉄工製トレッドミルを用い、傾斜角度を0度に固定して行った。走行中は被験者の腰部と胸部に安全ベルトを装着し、さらにトレッドミルの両サイドに補助者をつける等、安全性には十分配慮した。

テスト前に胸部に心拍数測定のための電極をはり、顔には酸素摂取量を測定するためにフェイスマスクを装着した。各速度での3分間のトレッドミル走テスト中、日本電気三栄製自動代謝分析器(Processor Unit 1328とExpired Gas Monitor 1H21B)を用いて、連続的に肺換気量(\dot{V}_E)と酸素摂取量(\dot{V}_{O_2})を測定した。これに同期して胸部誘導から日本電気三栄製テレメーター(NEC Bioview 1000)を用いて、連続的に心拍数(HR)を測定した。そして、各ランニング速度の2分目から3分目の1分間の \dot{V}_E , \dot{V}_{O_2} , HRをそのランニング速度における測定値とした。そして、走行中疲労困憊(exhaustion)に達した時、あるいは、次の段階へのトレッドミル走を拒否した時にはその被験者の最大作業とみなし、その時の \dot{V}_{O_2} を最大酸素

摂取量 ($\dot{V}O_2\max$), exhaustionに達するまでの一分間の心拍数を最高心拍数 (HRmax)とみなした。

各ランニング速度で3分間のランニング終了後、ただちに、被験者の左手の薬指の指尖から採血し、京都第一科学社製ラクテート・プロ (Lactate Pro) を用いて血中乳酸濃度 (LA) を測定した。exhaustionに達した後の採血は運動終了直後と40-60秒後の二回行い、高い値の方をexhaustion時の乳酸値 (LAm_{ax}) とした。なお、 $230\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$, $248\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$, $268\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$, $293\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ の4ランニング速度と $\dot{V}O_2$ および4ランニング速度とHRのそれぞれ一次方程式から $\dot{V}O_2\max$ とHRmax時のランニング速度、すなわち、 $v\dot{V}O_2\max$ と $vHR\max$ を算出した (Morganら,1989)。また、さらに測定された各個人のランニング速度と乳酸との曲線から作図法で 4mmol/l を乳酸性作業閾値 (LT) とし、その時のランニング速度 (vLT) を求めた。

(3) 1500mと5000mのランニング記録

実験開始前の一年間の各自己最高記録をトレー

ニング前の1500mと5000mのランニング記録とし、本実験期間中のクラブの記録会又は競技会での記録を本研究の1500mと5000mのランニング記録とみなした。

4. 統計処理

統計処理はSPSS Base System 10.0Jを用いた。測定項目間の相関はPearsonの相関係数を用い、有意水準は $p<0.05$ とした。

III. 結 果

1. 体重と除脂肪体重

体重と除脂肪体重は T_1 と T_2 との間にそれぞれ5%水準と0.1%水準で有意な減少が認められた。しかし、%Fatの間には有意な変化が認められなかった。また、 T_1 と T_5 との間には体重で平均0.4kgの減少が、除脂肪体重では0.1kgの増加があったが、有意な差は認められなかった (表1参照)。

2. 血液検査

T_1 と T_2 および T_1 と T_4 の網状 (幼若) 赤血球 (%) に1%水準で有意な改善が認められる以外、若干の増減が認められるものの有意な改善が認められるまでに至らなかった (表3参照)。

3. トレッドミル走テスト

$\dot{V}O_2\max$ ($\text{l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) には T_1 から T_5 のどの間にも若干の変動があるものの有意な差認められなかった (表4)。また、 $v\dot{V}O_2\max$ は T_1

表3. 第1次~第2次LH-TLトレーニングにみられる被験者6人の血液検査項目の変動 ($\bar{X} \pm S. D.$)

| | 第1次トレ前 (T1) | 第1次トレ後 (T2) | 第2次トレ前 (T3) | 第2次トレ後 (T4) |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 血清鉄 ug/dl | 104±20 | 130±20 | 97±22 | 113±27 |
| 白血球数 $\times 10^3/\text{mm}^3$ | 5.0±0.8 | 5.9±0.9 | 5.2±1.0 | 5.4±0.6 |
| 赤血球数 $\times 10^6/\text{mm}^3$ | 4.62±0.18 | 4.64±0.28 | 4.56±0.27 | 4.55±0.26 |
| ヘモグロビン g/dl | 14.5±0.6 | 14.4±0.7 | 14.2±0.8 | 14.1±0.7 |
| ヘマクリット % | 43.0±1.5 | 43.5±2.6 | 42.8±2.5 | 42.6±2.4 |
| 網状赤血球 % | 7±2 | 11±3* | 10±1 | 11±3 |
| 血小板数 $\times 10^3$ | 181±38 | 192±35 | 176±36 | 183±44 |
| エリスロポエチン MIU/ml | 17.2±3.2 | 17.4±4.1 | 15.8±4.1 | 17.2±3.6 |

T_1 と T_2 の間 * $P<0.01$

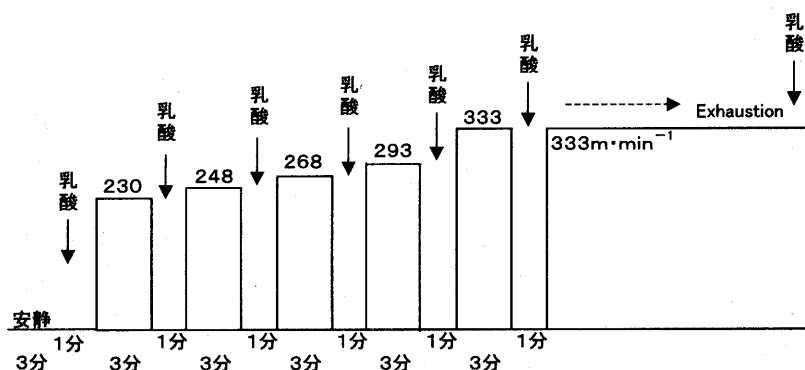


図2. トレッドミルテストのプロトコール

とT₅の間に4.0%の増加傾向を示すものの、有意な変動は認められなかった。HRmax はT₁とT₂, T₁とT₄との間に有意な (p<0.01) 低下が認められた。しかし、vHRmax に有意な変動を認めるまでに至らなかった。vLTとLAではT₁からT₅までに3.6%と13.9%の増加傾向を示すものの有意な改善は認められなかった。このように、v $\dot{V}O_{2max}$, vLT, およびLAでは若干の増加傾向を示すものの、有意な変化を認めるまでに至らなかった (図3)。

4. RPE

RPEには有意な (p>0.1) 改善が認められなかつ

5. 1500mと5000mのランニング記録

LH-TL トレーニング前一年間の各個人の1500mのベスト記録の平均タイムは4分36秒であったものが、T₅までに4分26秒すなわち10秒 (3.6%) 短縮した (表5)。同じように5000mではT₁からT₅までに平均41秒 (3.9%) 短縮した。

IV. 考 察

体重と除脂肪体重には第一次LH-TLトレーニング

表4. 第1次～第3次LH-TLトレーニングにみられる被験者6人の呼吸循環機能, RPEの変動 (x±S. D.)

| | 第1次トレ前 (T1) | 第1次トレ後 (T2) | 第2次トレ前 (T3) | 第2次トレ後 (T4) | 第3次トレ後 (T5) |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $\dot{V}O_{2max}(L \cdot min^{-1})$ | 3.75±0.34 | 3.81±0.42 | 3.8±0.29 | # | 3.74±0.3 |
| $\dot{V}O_{2max}(ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1})$ | 63.4±5.2 | 65.1±5.0 | 64.0±5.1 | # | 63.8±5.0 |
| $v\dot{V}O_{2max}(m \cdot min^{-1})$ | 324±25 | 320±17 | 336±21 | # | 337±39 |
| HRmax(beat \cdot min $^{-1}$) | 194±5 | 186±7** | 187±9 | 186±9** | 193±7 |
| vHRmax(m \cdot min $^{-1}$) | 319±15 | 311±17 | 310±18 | 314±17 | 325±7 |
| vLT(m \cdot min $^{-1}$) | 277±33 | 288±28 | 287±31 | 284±27 | 287±27 |
| LA(mM \cdot L $^{-1}$) | 11.5±2.0 | 10.2±1.2 | 11.8±2.3 | 12.0±2.8 | 13.1±2.3 |
| RPE | 18.8±0.7 | 18.0±1.0 | 17.6±1.4 | 19.0±0.9 | 18.8±0.4 |

・#明らかに、呼気ガス漏れが生じた部分
・T1とT2 及び T3とT4との間 **P<0.01

n=被験者の人数

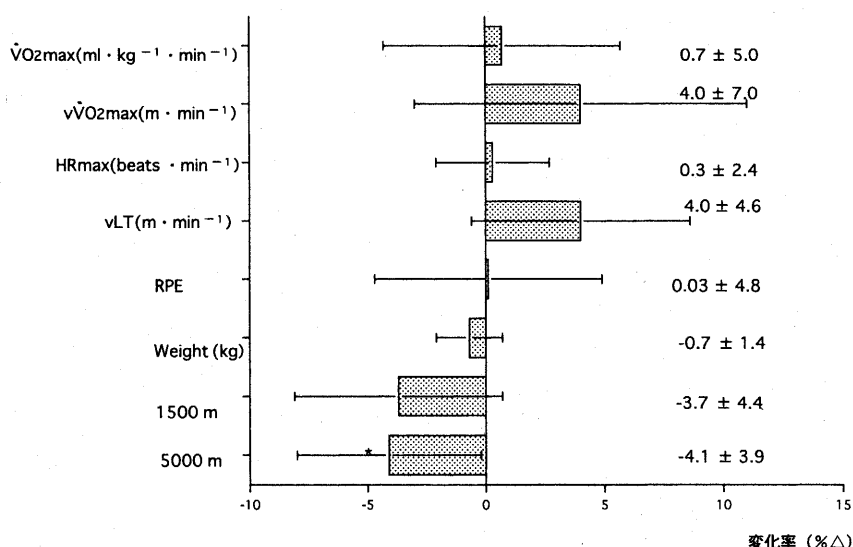


図3. LH-TLトレーニング (T1-T5) による生理学的項目と競技記録の変化率 (%△), *P<0.05

表5. 被験者6人の1500mと5000mのランニング記録の変動(分'秒)

| | 1999年 | | | | |
|---------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| | LH-TLトレーニング前 | 8/28 | 9/4 | 10/20 | 10/23-24 |
| 1500m | | | | | |
| $\bar{x} \pm S. D.$ | 4'36 \pm 19 | 4'43 \pm 15 | 4'50 \pm 22 | 4'28 \pm 15 | 4'26 \pm 11 |
| 5000m | | 8/25 | | 10/9 | |
| $\bar{x} \pm S. D.$ | 17'29 \pm 1'04 | 18'21 \pm 1'06 | 17'54 \pm 24 | 16'47 \pm 1'40 | 16'48 \pm 44 * |

* $P < 0.05$, ただし, LH-TLトレーニング前1年間のベスト記録との間

グの前後(T_1 と T_2)に有意な減少が認められたが, 本実験の最初と最後(T_1 と T_3)には有意な改善が認められなかった。これまで多くの研究者(朝比奈ら, 1963; Klausenら, 1991; 山地ら, 1999)によって, 高所トレーニングによる体重の減少傾向が報告されている。高所トレーニングにおける体重の減少は, 高所における安静および作業時の脂肪代謝量の増加に伴うエネルギー消費量の増加によるものと推測される。この点について高桜(1998)は, 高所における動脈血酸素飽和度の低下により呼吸数や心拍数の増加あるいはカテコールアミンやホルモン感受性リパーゼ(HSL)活性の亢進が生じ, その結果末梢組織における脂肪の異化作用の促進や, 安静エネルギー消費量の増大を招き, 体重や体脂肪量の減少が生じたものとみなしている。しかし, 本研究の体重の減少は主に除脂肪体重の減少によるものであった。本研究では栄養士によって栄養の質と量が考慮され, 1日のエネルギー摂取量が4000kcal以上常に確保されていた。少なくとも被験者の日頃の自炊や外食が中心の食生活よりも充実していたといえる。さらに, 本被験者全員は本実験の数カ月前に一週間のLH-TLトレーニングを経験していたことから, 食欲の減退を訴えた者はいなかった。さらに, トレーニング後と就寝前等に十分水分を取るよう指示していたにもかかわらず除脂肪体重が減少した。しかし, 本実験全体(T_1 と T_3 との間)には体重及び除脂肪体重との間に有意な差が認められなかった。したがって, 普段のトレーニングの中に断続的にLH-TLトレーニングを加える場合には体重や除脂肪体重に一時的に若干の増減があるにしても, 体重や除脂肪体重の減少傾向が永続的に保たれるとは言ない, といえる。

これまでに高所トレーニングによってHb濃度やHct値に増加を認めた報告は, 少なくとも高所滞在期間が3週間以上の場合である。たとえば, IngjerとMyhre(1992)はエリート・クロスカントリースキー選手を対象にした3週間の高所トレーニング(1900m)によってHb濃度とHct値の増加を, またChapmanら(1998)は4週間のLH-TLの高所トレーニングによって, エリスロポエチンと総赤血球数の増加を, それぞれ認めている。本研究では第一次LH-TLトレーニング前後(T_1 と T_2)の網状(幼若)赤血球に有意な増加を認めた。本研究のように1週間余りの短いLH-TLトレーニングの断続的低酸素暴露では幼若な赤血球は増加したものの, 赤血球数やHb濃度を改善するまでに至らなかったといえる。Chapmanら(1998)はLH-TLのトレーニングを行い, 5000m走の記録に改善が認められた者(responder)と認められなかった者(noresponder)に区別したところ, 前者のみ $\dot{V}O_{2max}$ が約6.5%高まり, この両者の差がエリスロポエチンと総赤血球数の増加によるものとみなしている。その一方で, 高所トレーニングにみられるHb濃度やHct値の増加は脱水(dehydration)に原因するとも考えられる(Allenら, 1988; Frisncho, 1979)。水分摂取不足が血液粘性を高め, 酸素運搬へのマイナス効果が指摘される(WoodとAppenzeller, 1988)ことから, 本研究では被験者に実験に先だってトレーニング後や就寝前に水分摂取を十分行うよう指示した。IngjerとMyhre(1992)は高所トレーニング前のHb濃度とHct値が低い者ほど改善の割合(%)が大きいことを指摘している。本研究の被験者の T_1 のHb濃度($14.5g \cdot dl^{-1}$)やHct値(43.0%)が必ずしも高くはないにもかかわらず改善が認められなかつ

たことは、十分水分摂取を行ったことが影響をしたのかもしれない。また、MattilaとRusko (1996) は5人の自転車競技者を対象に標高3000m相当の低酸素室に1日18時間滞在しLH-TLトレーニングを11日間行うことによって、エリスロポエチンや幼若赤血球が有意に高まったことを報告している。本研究においても、標高を3000mに相当するようにしたり、1日の滞在期間やLH-TLトレーニング期間を延長することによって有意な改善が認められたかもしれない。これは今後の研究課題である。いずれにしろ、本研究の長くて1週間余りの断続的なLH-TLトレーニングでは幼若の赤血球が多くなるものの、成熟した赤血球やHb濃度を高めるまでに至らない、といえよう。

赤血球やHb濃度の不十分な改善が $\dot{V}O_{2max}$ ($l \cdot min^{-1}; ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$), $v\dot{V}O_{2max}$, vLT 等々の呼吸循環機能に有意な改善が認められなかった主な原因と考えられる。

しかし、1500mと5000mのランニング記録には平均10秒(3.6%)と41秒(3.9%)の改善が認められた。6人の被験者の第一次LH-TLトレーニング前の $\dot{V}O_{2max}$ の平均値から予想される1500mと5000mの平均記録はそれぞれ4分09秒26と16分15秒79であった(山地ら,1990)。さらに、Miyashitaら(1973)の推定式を用いると15分55秒57となる。したがって、本被験者の記録はまだ十分伸びる余地が残されており、今後もまだ伸びる可能性を示唆している。本研究では、1500mと5000mのランニング記録の改善率と $\dot{V}O_{2max}$, $v\dot{V}O_{2max}$, vLT および体重の改善率との間に有意な関係が認められなかった。しかし、 T_1 と T_5 との間に $v\dot{V}O_{2max}$ は $4.0 \pm 0.7\%$ 、また vLT には $4.0 \pm 0.5\%$ の改善傾向が認められた(図3参照)。一般に1500mと5000mのランニング記録の改善は出力の大きさとしての $\dot{V}O_{2max}$ と出されたエネルギーをいかに有効に利用するかのランニングの経済性に負う。本研究では、トレーニング前後の $\dot{V}O_{2max}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)にわずか0.7%の伸びしか認められないことから、5000mのランニング記録の改善はランニングの経済性に負うところが大きいといえる。このランニングの経済性の改善には空気中の酸素を活動筋まで運搬(酸素運搬能)する能力や、筋肉

におけるエネルギーの効率的な消費(酸素消費能)等にみられる生理学的側面とランニングフォームやリラクゼーション等からくる技術的な側面とが考えられるが、本研究では、血中乳酸の右移行に伴う vLT の改善傾向や体重の減少傾向(-0.7%)に負うところが大きいものと推測される。しかし、この問題については推測の域を出ないので、今後さらに検討していかなければならない。

さらに、1500mや5000m走の記録は有酸素的能力だけでなく、無酸素的能力の改善の影響を受ける。1980年代までは高所トレーニングによって最高乳酸性酸素負債や最高乳酸性酸素負債パワー(standing jump)に変化が認められない(Wardら,1989)等の報告から、高所トレーニングによる無酸素的能力の改善は否定的であった。しかし、1990年代に入って十分トレーニングされたクロスカントリースキー選手を対象にした高所トレーニングの実験では筋肉の緩衝能力(muscle buffer capacity)の改善(Mizunoら,1990)やLH-TLトレーニングによる無酸素的能力の改善が筋肉の緩衝能力の高まりによる(LevineとStray-Gundersen, 1992)ことが報告されている。したがって、今後は被験者を多くして有酸素的能力だけでなく無酸素的能力を含めて、総合的に記録の向上の原因を追求しなければならないであろう。

また、今回のトレーニング後のテストはLH-TLトレーニング終了日の翌日に実施した。LH-TLトレーニング直後は最も疲労している時でもある。Dick(1992)は、高所トレーニングの最高の効果が下山後12~14日目頃に現れることを報告しているが、LH-TLトレーニング後のいつ体力テストをすべきかについてもさらに検討しなければならないであろう。

V. 結 論

低酸素室の普及によって普段の生活に近い所で高所トレーニングが今後ますます多くなることが予想される。そこで、通常のトレーニングの中で断続的にLH-TLトレーニングを行った場合に体重、血液性状、呼吸循環機能および1500mや5000mのランニング記録にどのような影響を与え

るかを検証した。その結果次の知見が得られた。

1. 一週間のLH-TLトレーニング (T_1 と T_2 の間)によって体重や除脂肪体重に有意な減少が、また幼若赤血球にも有意な改善が生じた ($p < 0.05$)。しかし、本研究全体の断続的なLH-TLトレーニングを通しては (T_1 と T_3 との間) 体重や除脂肪体重及び赤血球やHb濃度を改善するまでに至らなかった。したがって、LH-TLトレーニングの初期に一時的に改善が認められても、本研究のような断続的なLH-TLトレーニングでは永続的に改善するまでに至らない。

2. また、 T_1 と T_3 間の呼吸循環機能の指標である $\dot{V}O_2\max$ ($l \cdot \min^{-1}$; $ml \cdot kg^{-1} \cdot \min^{-1}$), $v\dot{V}O_2\max$ ($m \cdot \min^{-1}$), vLT , 最大作業時のLA等にも有意 ($p > 0.1$) な改善が認められるまでに至らなかった。しかし、 $v\dot{V}O_2\max$ ($\Delta 4.0 \pm 0.7\%$) と vLT ($\Delta 4.0 \pm 4.5\%$) には改善傾向が認められた。

3. 1500mと5000mのランニング記録は前者では平均10秒 (3.6%), 後者では平均41秒 (3.9%) の改善が認められた。

4. これらの1500mや5000mのランニング記録の伸びは、 $v\dot{V}O_2\max$ に有意な改善が認められないものの4.0%伸びたことが微妙に影響したものと推測される。

5. さらに、 $v\dot{V}O_2\max$ の伸びは $\dot{V}O_2\max$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot \min^{-1}$)の改善が統計的に有意 ($p > 0.1$) でなかったことから、 vLT ($\Delta 4.0\%$)の改善傾向と体重の減少 (-0.7%)に伴うランニングの経済性の改善に負うところが大きいと推測される。また、この改善がランニングの技術的要素と生理学的要素のいずれにより負うかについてはさらに検討が必要であらう。さらに、生理学的要素には有酸素的要素と無酸素的要素とがあるが、この点についてもさらに検討が必要である。

6. 今後は被験者の人数を増やすこととコントロール群との比較によって、LH-TLトレーニングの効果とその原因を総合的に検証する必要がある。

VI. 引用文献

1) Jackson, C.G.R. and Sharkey, B.J.: Altitude, training and human performance. Sports Med.

6: 279-284, 1988.

2) Saltin, B.: Aerobic and anaerobic work capacity at 2300 meters. Med. Thorac. 24: 205-210, 1967.

3) Stine, T.A., Levine, B.D., Taylor, S., Schultz, W. and Stray-Gundersen, J.: Quantification of altitude training in the field. Med. Sci. Sports Exerc. 24: S103, 1992.

4) Wolski, L.A., McKenzie, D.C. and Wenger, H. A.: Altitude training for improvements in sea level performance. Is there scientific evidence of benefit? Sports Med. 22: 251-263, 1996.

5) Daniels, J. and Oldridge, N.: The effects of alternate exposure to altitude and sea level on world-class middle-distance runners. Med. Sci. Sports Exerc. 2: 107-112, 1970.

6) Levine, B.D. and Stray-Gundersen, J.: A practical approach to altitude training: Where to live and train for optimal performance enhancement. Int. J. Sports Med. 13: S209-S212, 1992.

7) 前嶋 孝: スピードスケート競技における低酸素トレーニングの実際—低酸素室の試作とトレーニングの有効性— J. J. Sports Sci. 15: 339-345, 1996.

8) Rusko, H.K., Leppävuori, A., Mäkelä, P. and Leppäluoto, J.: Living high, training low: A new approach to altitude training at sea level in athletes. Med. Sci. Sports Med. 27: S6, 1995.

9) Morgan, D.W., Baldini, F.D., Martin, P.E. and Kohrt, W.M.: Ten kilometer performance and predicted velocity at $\dot{V}O_2\max$ among well-trained male runners. Med. Sci. Sports Exerc. 21: 78-83, 1989.

10) 山地啓司: 最高有酸素的ランニング速度 ($v\dot{V}O_2\max$)の意義と評価. 日本運動生理学雑誌 5: 89-99, 1998.

11) 朝比奈一男 他16人: 高地トレーニングと脱馴化防止に関する研究報告. スポーツ科学研究所. 1-23, 1963.

12) Klausen, T., Mohr, T., Ghisler, U. and Nielsen, O.J.: Maximal oxygen uptake and erythropoietic responses after training at moderate altitude. Eur. J. Appl. Physiol. 62: 376-379, 1991.

- 13) 山地啓司: 第3回高所トレーニング国際シンポジウム '99 立山 -総集編- pp.20-22, 1999.
- 14) 高桜英輔, 長崎成良, 田辺隆一, 家城恭彦, 藤井礼子, 能村ますみ, 萩野弘美, 結城敦子, 泉一郎.: 高所環境における肥満治療の研究 (第2報) (ヘルシーウォーク立山) -安静時エネルギー代謝量の増大を利用して-. 登山医学 18: 101-106, 1998.
- 15) Ingjer, F. and Myhre, K.: Physiological effects on altitude training on elite male cross-country skiers. *J.Sports Sci.* 10: 37-47, 1992.
- 16) Chapman, R.F., Stray-Gundersen, J. and Levine, B. D.: Individual variation in response to altitude training. *J.Appl.Physiol.* 85: 1448-1456, 1998.
- 17) Allen, C.B., Babyak, S.D. and Tucker, A.: Changes in platelet count and clotting times in men during sequential altitude or hypoxic exposures. *FASEB J.* 2: A1721, 1988.
- 18) Frisancho, A.R.: Human adaptation: a functional interpretation. The CV Mosby Company, St Louis, 1979.
- 19) Wood, S.C. and Appenzeller, O.: Pentoxifylline, blood viscosity, and exercise performance at high altitude. *FASEB J.* 2: A1282, 1988.
- 20) Mattila, V. and Rusko, M.: Effect of living high and training low on sea level performance in cyclists. *Med.Sci.Sports Exerc.* 28: S156, 1996.
- 21) 山地啓司, 池田岳子, 横山泰行, 松井秀治.: 最大酸素摂取量から陸上中長距離走, マラソンレースの競技記録を占うことが可能か. ランニング学研究 1: 7-14, 1990.
- 22) Miyashita, M., Miura, M., Kobayashi, K. and Hoshikawa, T.: A study on relations between physical performance and physical resources. *J. Sports Med.Physical Fitness.* 8: 349-353, 1973.
- 23) Ward, M.P., Milledge, J.S. and West, J.B.: High altitude medicine and physiology. Chapman and Hall, London, pp.168-169, 1989.
- 24) Mizuno, M., Juel, C., Bro-Rasmussen, T., Mygind, E., Schibye, B., Rasmussen, B. and Saltin, B.: Limb skeletal muscle adaptation in athletes after training at altitude. *J.Appl.Physiol.* 68: 496-502, 1990.
- 25) Dick, F.W.: Training at altitude in practice. *Int.J.Sports Med.* 13.Supp.1: S203-S206, 1992.