

# 間欠的低圧低酸素トレーニングの効果とその持続期間

—最大酸素摂取量、最大酸素借、泳記録、血液性状の変化より—

## The effects of intermittent hypobaric hypoxic training on metabolic capacity and hematological characteristics

萩田 太 (Futoshi Ogita)  
小夫 直孝 (Naotaka Obu)  
田中 孝夫 (Takao Tanaka)

鹿屋体育大学体育学部  
鹿屋体育大学大学院体育学研究科  
鹿屋体育大学体育学部

### 【要旨】

To examine how long the training effect induced by intermittent hypoxic training is maintained, 6 well-trained college male swimmers (21±1 yrs) had a training for 2.5 hours·session<sup>-1</sup>, 2 times·d<sup>-1</sup>, 5 d·wk<sup>-1</sup>, for 3 wk under hypobaric hypoxic conditions which corresponded to 1600m and 2400m above sea level. Three types of endurance or intermittent training were conducted at the intensities of OBLA, 100% and 170% of  $\dot{V}O_{2max}$ .  $\dot{V}O_{2max}$  (P<0.01) and maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit (P<0.05) determined after the training period significantly increased by 11% and 19%, respectively. However, those measured on day 14 of post-training were not significantly different from the values of pre-training. Swimming performance, which was determined by a time trial of 100m and 200m on day 3 of post-training, was significantly improved (P<0.01). It was a tendency to be maintained until day 7, but not maintained on day 14 of post-training. Hemoglobin concentration increased significantly on day 1 (P<0.01), but significantly decreased on day 7 of post-training. These results suggest that the beneficial effect induced by hypoxic training would be maintained about for 1 week after the termination of training.

◆キーワード：エネルギー供給能力、泳記録、低圧低酸素トレーニング

### 1. 緒言

高地のような低酸素環境に馴化すると、赤血球数やヘモグロビン濃度の増大にともない、動脈血酸素含量が増加する<sup>6, 19)</sup>。この動脈血酸素含量の増大は最大酸素摂取量の改善に有利に作用することから、高地でトレーニングした方がより効果的に最大酸素摂取量を改善できるであろうという仮説に対して、多くの検証がなされてきた<sup>1, 3, 7, 8, 14, 19)</sup>。対照的に、高地トレーニングが無酸素性エネルギー供給能力に及ぼす影響については、それほど多く検討されていない。しかしながら、近年高地トレーニング後に筋の緩衝能力が向上し、短時間高強度ランニング中の酸素借が増大したということが報告され<sup>12)</sup>、高地トレーニングが有酸素性のみならず無酸素性エネルギー供給能力の向上にも有効な手段となり得ることが示唆された。

また、高地トレーニングで得られた効果がどの程度の期間維持されるかという問題は、いかに最高のコンディ

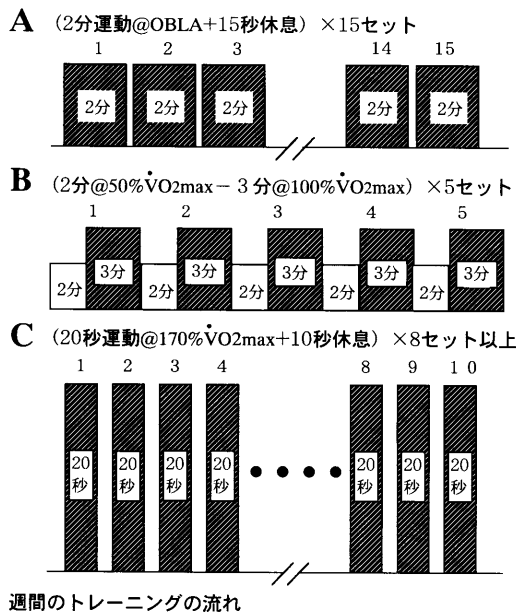
ションを試合までに作り上げるかという意味からも、明らかにしなければならないテーマである。

そこで本研究では、高地をシミュレートした低圧低酸素環境下においてトレーニングを行い、最大酸素摂取量、最大酸素借、泳成績、血液性状の変化に及ぼす影響を明らかにすると同時に、その効果がどの程度維持されるか検討することを目的とした。

### 2. 方法

1) 被検者 被検者は、年齢21±1(平均±SD)歳、身長175.6±4.7cm、体重66.5±4.1kgで、100m自由形のベストタイムが55.1±1.9秒の、全国大会出場経験のある健康な男子大学水泳選手6名であった。実験に先立って、被検者は実験の手順、意義、それに伴う危険性などについての説明を受け、それらを十分理解した上で自主的に参加した。

2) 実験手順 本実験におけるエネルギー供給能力の測定およびトレーニングは、加減圧調整可能流水プール



	月	火	水	木	金	土	日
AM	A	A	OFF	A	A	A	OFF
PM	C	B	OFF	C	B	C	OFF

図1 本実験で用いたトレーニング内容と1週間のトレーニングの流れ  
表中のA、B、Cはトレーニング内容のA、B、Cを表す

内にて、クロール泳によって行われた。流水プールの流速は、 $0.00\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ から $2.00\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ まで、 $0.01\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ の間隔で調節可能であり、その精度は $\pm 2\%$ 未満で再現性も高いことが確認されている<sup>18)</sup>。

図1にトレーニング内容と1週間のトレーニングの流れを示す。トレーニングは、1日2回、週5日の頻度で3週間行われ、被検者は1回のトレーニングで少なくとも2時間半以上、低圧環境下に暴露された。トレーニング内容は以下に示す3種類であった：A) OBLA強度における2分間泳を15秒の休息を挟みながら15セット繰り返す間欠的運動(週5回)、B)  $50\%\dot{V}O_2\text{max}$ 強度における2分間泳に引き続き $90\text{--}100\%\dot{V}O_2\text{max}$ 強度での3分間泳を5セット反復する持続的運動(週2回)、C)  $170\%\dot{V}O_2\text{max}$ 強度における20秒間泳を10秒の休息を挟みながら8セット以上、疲労困憊まで反復する間欠的運動(週3回)。また、OBLA強度と $90\text{--}100\%\dot{V}O_2\text{max}$ 強度におけるトレーニングはどちらも海拔1600m相当の低圧環境下で、 $170\%\dot{V}O_2\text{max}$ 強度におけるトレーニングは海拔2400m相当の低圧環境下で行われた。そして、OBLA強度トレーニングではトレーニング終了時の血中乳酸濃度が $4\text{mmol}\cdot\text{F}^{-1}$ 以下であった場合、 $90\text{--}100\%\dot{V}O_2\text{max}$ 強度トレーニングではトレーニング終了時の心拍数が最高心拍数より低く、

前回のトレーニングよりも血中乳酸濃度が下がった場合、 $170\%\dot{V}O_2\text{max}$ 強度におけるトレーニングでは被検者が8セット以上その強度を完全に維持できた場合、次のトレーニングからはそれぞれ $0.01\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ だけ流速を増加した。尚、上記したトレーニング強度は、トレーニングを行った各低圧環境下における測定値に基づいて算出したものである。

本実験では、トレーニング前後に最大酸素摂取量、最大酸素借、100m、200mのタイムトライアル、および血液測定を行い、トレーニング効果を評価した。また、トレーニング終了後、被検者は測定以外何ら特別に運動を行わなかった。

### 3) 測定項目と測定方法

・プレテスト 各被検者の最大下運動強度と酸素需要量の関係を求めるために、常圧環境下では異なる流速で7回以上、海拔1600mと2400m相当の低圧環境下では5回以上、6分間の一定流速泳を行った。酸素摂取量の測定は、それぞれ一定流速泳中の最後の2分間に行い、水泳中の運動強度には流速の3乗を用いた<sup>15-17)</sup>。尚、本実験における酸素摂取量は、すべてダグラスバッグ法によって測定された。採取された呼気ガスは、OXYCON (Mijnhardt社製、Netherlands) を用いて酸素及び二酸化炭素濃度を分析した後、乾式ガスメーター(品川製作所製)によってガス量を定量した。同時にガス温の計測も行った。

また、海拔1600mにおける測定では、各一定流速泳直後に血中乳酸濃度を自動乳酸測定器(ラクテートPro、京都第一科学)によって測定し、流速と血中乳酸濃度の関係から $4\text{mmol}\cdot\text{F}^{-1}$ の流速(OBLA)を求めた。

・最大酸素摂取量と最大酸素借の測定 最大酸素摂取量は、トレーニング前、トレーニング終了1日後、2週後に測定された。トレーニング前の測定のみ、常圧環境下、海拔1600m、および2400m相当の低圧環境下でも行われた。最大酸素摂取量の測定はあらかじめ予測された $90\%\dot{V}O_2\text{max}$ 強度以上の流速で6分間、あるいは疲労困憊まで泳ぎ、運動終了前の1~2分間の酸素摂取量を測定した。この測定は酸素摂取量のレベリングオフが確認されるまで、2~4回流速を変えて行われた。

最大酸素借は、トレーニング前、トレーニング終了2日後、2週後に、常圧環境下においてのみ測定された。測定は10分間のウォーミングアップを行った後、10分間の休息をはさんで行われた。ウォーミングアップの強度は、最大酸素摂取量の約60%に相当する流速とした。水泳運

動中の酸素借は2～3分で疲労困憊に至る運動中に最大に達する<sup>15-17)</sup>ことから、本実験においても2～3分で疲労困憊に至る流速を設定し、測定した。各被検者の流速は、予備実験においてあらかじめ決定された。尚、疲労困憊の判定は、設定した流速を維持できなくなり、流水プール内での身体の位置が測定開始時よりも1m後方に落ちたときとした。

それぞれの流速における酸素需要量は、プレテストで求めた最大下の運動強度と酸素摂取量の回帰式より外挿法によって求めた<sup>11,15-17)</sup>。総酸素需要量は、外挿されたその流速における酸素需要量と実際の運動時間との積から算出し、総酸素借は総酸素需要量から運動中連続して測定された総酸素摂取量を引いて求めた。

・100m、200mのタイムトライアル 100m、および200mのタイムトライアルは、短水路プールにおいて、トレーニング前、トレーニング終了3日後、1週後、および2週後に行われた。タイムトライアルに先立ち、被検者は1時間程度のウォーミングアップを行った。ウォーミングアップの内容は任意としたが、それぞれの被検者はすべての測定において同じウォーミングアップを行った。測定は200mから行い、1時間程の休息を挟んで100mの測定を行った。記録の測定には、自動審判計時システム（セイコー社製）を用いた。

・血液性状の検査 採血は、トレーニング前、トレーニング終了1日後、1週後、2週後に行われた。赤血球数、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリットは、自動血球分析装置（シスメックスSF9000）にて測定した。また、コルチゾールはRIA法（アロカARC-950）、テストステロンはCLIA法（バイエルンメディカルケンタウルス）、およびNK細胞活性は<sup>51</sup>Cr遊離法（アロカARC-370M）に

てそれぞれ測定した。尚、採血は測定前夜より10時間以上の絶食安静を保った後、午前8時半より行われた。

#### 4) 統計処理

測定値はすべて平均値±標準偏差で表した。また、各測定間の差は、繰り返し数の等しい一元配置の分散分析によって検定した。そして差の認められた項目に関しては、Fisher's PLSD法を用いて差のある群間を抽出した。尚、危険率5%未満を有意とした。

### 3. 結果

1) 血液性状の変化 表1は、血液測定の結果を表したものである。赤血球数およびヘマトクリットは、トレーニング前と比較し、トレーニング直後に有意な低下が観察されたが、トレーニング終了1週間にはいずれもトレーニング前のレベルに戻った。一方、ヘモグロビン濃度は逆の傾向を示し、トレーニング直後に有意に増大したものの、トレーニング終了1週間から2週間にかけて有意に低下した。

トレーニング終了1日後、および1週後のコルチゾールは、トレーニング前と比較して有意に高い値であった(P<0.01)が、テストステロンはトレーニング前後で有意な変化はなかった。またNK活性は、トレーニング終了1日目に有意に低下した(P<0.05)が、逆に1週間後には有意に増加した(P<0.05)ものの、2週間後には再び低下した(P<0.01)。

2) 最大酸素摂取量と最大酸素借の変化 トレーニング前後における最大酸素摂取量および最大酸素借の個人値と平均値の変化を図2に示す。最大酸素摂取量は、トレーニング前の3.74±0.42 l·min<sup>-1</sup>からトレーニング終了直後には4.18±0.50 l·min<sup>-1</sup>(P<0.01)まで11%増大したが、

表1 トレーニング前、トレーニング終了1日後、1週後、2週後の血液性状の変化

		トレーニング前	終了1日後	終了1週後	終了2週後
赤血球数	(10 <sup>4</sup> ·mm <sup>-3</sup> )	503±29	484±33 *	518±32 +	507±24
ヘモグロビン濃度	(g·dl <sup>-1</sup> )	14.7±0.4	15.3±0.9 *	15.7±0.6	15.3±0.5 ##
ヘマトクリット	(%)	45.3±1.4	43.1±1.9 *	46.5±1.8 +	45.4±1.2
コルチゾール	(μmol·l <sup>-1</sup> )	11.2±2.4	16.1±2.0 **	15.2±2.4 **	12.1±5.0
テストステロン	(μg·dl <sup>-1</sup> )	756±205	818±169	893±115	812±91 ##
NK活性	(%)	50.8±7.4	37.6±12.6 *	56.9±9.4 +	34.7±11.0 ##

vsトレーニング前

\*\* P<0.01

\* P<0.05

vs終了1日後

++ P<0.01

+ P<0.05

vs終了1週後

## P<0.01

# P<0.05

2週後には全員がトレーニング前と変わらないレベルまで低下した( $3.86 \pm 0.52 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ )。一方、最大酸素借はトレーニング前の $3.93 \pm 0.58 \text{ l}$ からトレーニング終了直後には $4.69 \pm 0.45 \text{ l}$ ( $P < 0.05$ )まで19%増大した。2週後には6人中4人に低下が観察され、低下傾向を示した( $4.30 \pm 0.64 \text{ l}$ )が、その低下は統計上有意ではなかった。

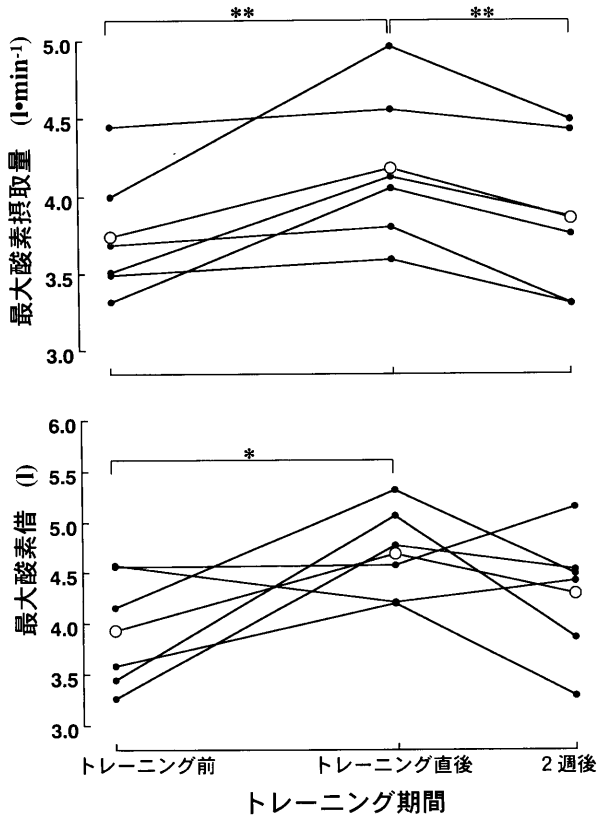


図2 トレーニング前後における最大酸素摂取量および最大酸素借の個人値と平均値の変化  
\*\*  $P < 0.01$ , \*  $P < 0.05$

3) 泳記録の変化 図3は泳記録の個人値(●)と平均値(○)の変化を表したものである。泳記録をトレーニング前と終了3日後と比較すると、100mにおいては $55.86 \pm 1.44$ 秒から $55.09 \pm 1.73$ 秒とおよそ0.8秒の記録の短縮が認められ( $P < 0.05$ )、4人はベスト記録を更新した。また、200mにおいても $121.27 \pm 2.27$ 秒から $119.28 \pm 2.43$ 秒と約2秒の短縮が観察され( $P < 0.01$ )、3人がベスト記録を更新した。これらの記録は、個別にはばらつきが見られるものの、トレーニング終了1週間までは維持される傾向にあり(100m:  $55.17 \pm 1.76$ 秒、200m:  $119.52 \pm 2.37$ 秒)、2週後には、トレーニング前のレベルまで低下した。

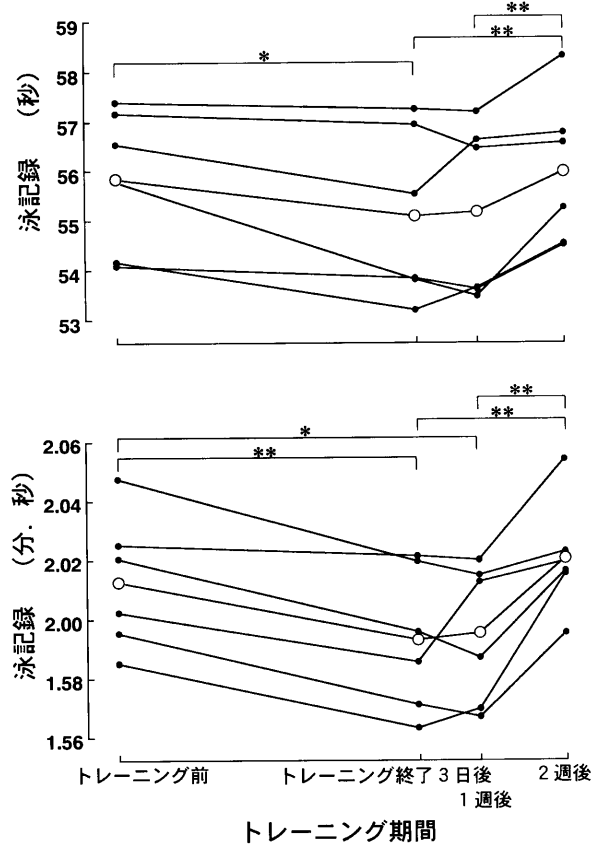


図3 トレーニング前後における泳記録の個人値と平均値の変化 \*\*  $P < 0.01$ , \*  $P < 0.05$

#### 4. 考察

本実験では異なる低圧環境下において3タイプのトレーニングを行い、エネルギー供給能力、泳成績、血液性状に及ぼす影響とその持続期間について検討した。その結果、トレーニング後にエネルギー供給能力と泳成績は大幅に記録更新でき、1週間程度は維持されたが、2週後には血液性状を含めすべてトレーニング前のレベルに低下した。

##### 1) トレーニング効果

・血液性状の変化 高地へ馴化すると、赤血球数、ヘモグロビン濃度が増加する<sup>6,8,19</sup>)。この赤血球の新生にはエリスロポイエチンの分泌が必要である<sup>4)</sup>が、このエリスロポイエチンは低酸素暴露後2時間で分泌されることが確認されている<sup>2,9)</sup>ことから、本実験では1回の低酸素暴露を2時間半とし、血球成分への影響を検討した。ところが、トレーニング終了1日後の赤血球数およびヘマトクリットは期待されるような増加は認められず、むしろ有意に低下していた。しかしながら、ヘモグロビン

濃度には有意な増加が観察されたことから、造血作用は高進していたことが伺え、この赤血球数の低下は運動トレーニングによる血漿量の増大に起因した見かけ上の低下によるものと考えられる。したがって、本実験で用いたレベルの低圧環境下であれば2時間半という短時間暴露においても、期待される受動的効果が得られることが示唆された。

・エネルギー供給能力と競技成績の変化 持久的運動能力の向上を主目的として行われてきた高地トレーニングであるが、必ずしも最大酸素摂取量が向上したという報告ばかりではなく、改善されなかったという報告も少なくない<sup>3,7-8)</sup>。この理由としては、酸素の希薄な高地ではトレーニング強度が低下してしまうことに加え、赤血球数の増加による血液粘性の増大が末梢抵抗を上昇させ、その結果心拍出量が低下してしまうこと<sup>7-8)</sup>や、高度が高すぎるとその低酸素環境に適応しきれず、筋内のミトコンドリアの酵素活性が低下してしまうこと<sup>5,23)</sup>などが上げられている。したがって、至適な高度(低圧低酸素環境)を設定するためには、赤血球数を増加させるための低酸素刺激が得られ、かつ強度が顕著に低下しない条件が満たされなければならない。これまでの報告によると、最大酸素摂取量は海拔1000m前後から徐々に低下し始め<sup>22)</sup>、2000mでは10%前後低下する<sup>17)</sup>ことがわかっている。そこで、本実験ではOBLA強度と $\dot{V}O_2 \max$

レベル強度の有酸素性トレーニングは、最大酸素摂取量の低下が10%未満に抑えられる海拔1600mを選択した。

一方、最大酸素借は高度に関係なく変わらないことが明らかとなっている<sup>13)</sup>。このことは、高地の影響で運動強度が低下したとしても、無酸素性エネルギー供給系へは最大限に刺激を与えることができるということを意味している。また、本実験で用いた170% $\dot{V}O_2 \max$ 強度における間欠的運動は、有酸素性にも無酸素性にも最大の刺激を与えられることが示されている<sup>21)</sup>が、我々は海拔3000m相当の低圧環境下でこのトレーニングを行い、最大酸素借は10%増加したものの最大酸素摂取量は改善できなかったことを確認している<sup>14)</sup>。そこで今回は、それより低酸素刺激の弱い海拔2400mを選択した。

その結果、本トレーニング後に最大酸素摂取量は11%、最大酸素借は19%増加し、両指標を同時に向上させることができた。表2は最大酸素摂取量と最大酸素借に及ぼす影響について検討した先行研究の結果をまとめてみたものだが、本研究の増加率は、その中でも大きな部類に属する。唯一、本実験と同様の間欠的運動トレーニングを常圧環境下で行った実験<sup>18)</sup>で類似した増加率が認められているが、本実験の被検者はすでに高度に鍛錬されていた水泳選手であり、かつトレーニング前の値が、自転車で測定された先行研究の値と同等以上であったことを考えれば、高地トレーニングが両指標を改善させるため

表2 トレーニング前後で最大酸素摂取量および最大酸素借の変化を検討した先行研究との比較

文献	最大酸素摂取量	増加率	最大酸素借	増加率
Medbo and Bugers 1990	--	--	前 49 ml·kg <sup>-1</sup> 後 54 ml·kg <sup>-1</sup>	10%
Mizuno et al. 1990	変化なし	--	前 4 l 後 5 l	28%
Tabata et al. 1996	前 48 ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> 3週後 53 ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> 6週後 55 ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>	10% 15%	前 60 ml·kg <sup>-1</sup> 4週後 74 ml·kg <sup>-1</sup> 6週後 77 ml·kg <sup>-1</sup>	23% 28%
Ogita and Tabata 1999	前 3.87 l·min <sup>-1</sup> 57 ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> 後 3.89 l·min <sup>-1</sup> 57 ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>	0%	前 4.43 l 65 ml·kg <sup>-1</sup> 後 4.83 l 71 ml·kg <sup>-1</sup>	10%
本実験	前 3.74 l·min <sup>-1</sup> 56 ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> 後 4.18 l·min <sup>-1</sup> 62 ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>	11%	前 3.93 l 58 ml·kg <sup>-1</sup> 後 4.69 l 70 ml·kg <sup>-1</sup>	19%

の有効手段となり得る可能性が示唆される。

しかしながら、コントロール群がないために、やはりここで得られた結果が運動トレーニングに起因するものなのか、低圧環境を含めた相乗効果に起因しているものなのか、明らかにすることができない。今後、コントロールグループを設定してさらなる検討が必要である。

・泳成績の変化 泳記録はトレーニング前と比較し、100mにおいて0.8秒、200mでは約2秒の改善が認められた。これは、トレーニング後にスイミングエコノミーに変化がなかったことから、技術の向上ではなく、エネルギー供給能力の向上に起因するものと考えられる。本実験の被検者は全員が全日本学生選手権出場者であり、かつ6名中4名が日本選手権出場者であった。このような選手においてもトレーニング後には全員が記録を向上させ、しかもそのうち4名、のべ7試行において自己記録が更新されたという事実は、これまで長距離選手に対して主に適用されてきた高地トレーニングが、無酸素性エネルギー供給系の重要性の高い100m、200mの記録向上に対しても有効であることを示唆している。

## 2) トレーニング効果の持続性

本実験におけるヘモグロビン濃度は2週間後には有意に低下していたことから、血球成分における有効性の持続期間は1週間程度と考えられる。

また、トレーニング直後のコルチゾールの増加は、タンパクの異化作用の高進を推察させるものであるが、テストステロンには大きな変化が認められず、2週間後には有意な低下が観察されたことから、筋へのダメージはそれほど大きくなかったことが示唆される。一方、トレーニング直後にはNK活性が有意に低下したが、これは免疫能の低下を示唆するもので、抗菌作用を持つコルチゾールが同時期に上昇したのは、NK活性を代償した作用とも考えられる。ただし、この免疫能低下が高地における低酸素の影響であるのか、単にトレーニングにおける影響であるのかは明らかでないが、1週間後にはトレーニング前の値に戻っていたことを考慮すれば、それまでに回復できることが示唆される。

トレーニング直後には大幅な増加が観察された最大酸素摂取量と最大酸素借であるが、トレーニング終了2週間後にはほとんどの被検者において低下した。同様に、泳記録もトレーニング終了1週間後までは高いレベルであったが、2週間後には有意に低下した。これら血球成分、身体補修に使われる内分泌状態、免疫能の変化、そしてエ

ネルギー供給能力の変化など総合的にとらえた場合、高地トレーニングで得られた効果の持続期間は1週間程度であり、2週間もすると消失してしまうと考えられる。

## 5. まとめ

本実験では、間欠的低圧低酸素環境暴露下でのトレーニングを3週間行った。その結果、エネルギー供給能力の指標である最大酸素摂取量、最大酸素借のどちらも、トレーニング終了後大幅に増加したが、2週間後には元のレベルまで低下した。酸素運搬に関与するヘモグロビン濃度も、トレーニング終了後直後は有意な増加が観察されたが、2週間後には有意に低下した。また免疫能を表すNK活性はトレーニング後有意に低下するものの、1週間後には元に戻り、回復が認められた。泳記録は全員向上し、1週間後まではそのレベルを維持したものの、2週間後にはトレーニング前のレベルまで低下した。以上の結果を総合すると、高地トレーニングによってもたらされた効果は、おおむね1週間程維持されるが、それ以降は消失することが示唆された。

## 6. 謝辞

本研究は科学研究費補助金（奨励研究(A)：11780031）の交付を受けて行われた。その多大なる補助に対し、深謝する。

### 【参考文献】

1. Adams, W.C., E.M. Bernauer, D.B. Dill, J.B. Bomar, Jr. (1975) Effects of equivalent sea level and altitude training on  $\dot{V}O_{2max}$  and running performance. *J. Appl. Physiol.* 39 : 262-266.
2. Cahan, C., P.L. Hoekje, E. Goldwasser, M.J. Deckerand, K.P. Strohl (1990) Assessing the characteristics between the length of hypoxic exposure and serum erythropoietin levels. *Am. J. Physiol.* 258 : R1016-R1021.
3. Faulkner, J.A., J.T. Daniels, B. Balke (1967) Effects of training at moderate altitude on physical performance capacity. *J. Appl. Physiol.* 23:85-89.
4. Filmanowicz, E., C.W. Gurney (1961) Study on erythropoiesis XVI, Response to a single dose of erythropoietin in polycythemic mouse. *J. Lab. Clin. Med.* 57 : 65-72.
5. Green, H.J., J.R. Sutton, A. Cymerman, P.M. Young, C.S. Houston (1989) Operation Everest II: adaptations in human skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* 66: 2454-2461.
6. Hansen, J.E., J.A. Vogel, G.P. Stelter, C.F. Consalazio (1967) Oxygen uptake in man during exhaustive work at sea level and high altitude. *J. Appl. Physiol.* 23 : 511-522.

7. Hartley,L.H., J.K.Alexander, M.Modelski, R.F.Grover (1967) Sub-normal cardiac output at rest and during exercise in residents at 3,100 m altitude. *J.Appl.Physiol.* 23: 839-848.
8. Horstman,D., R.Weiskoff, R.E.Jackson (1980) Work capacity during 3-wk sojourn at 4,300 m: effects of relative polythemia. *J.Appl.Physiol.* 49:311-318.
9. Knaupp,W., S.Khilnani, J.Sherwood, S.Scharfand, H.Stenberg (1992) Erythropoietin response to acute normobaric hypoxia in humans. *J.Appl.Physiol.* 73 : 837-840.
10. Medbø,J.I., S.Burgers (1990) Effect of training on the anaerobic capacity. *Med.Sci.Sports Exerc.* 22:501-507.
11. Medbø,J.I., A.-C.Mohn, I.Tabata, R.Bahr, O.Vaage, O.M.Sejersted (1988) Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit. *J.Appl.Physiol.* 64: 50-60.
12. Mizuno,M., C.Juel, T.Bro-Rasmussen, E.Mygind, B.Schibye, B.Rasmussen, B.Saltin (1990) Limb skeletal muscle adaptation in athletes after training at altitude. *J.Appl.Physiol.* 68:496-502.
13. Ogita,F., I.Tabata (2000) Aerobic and anaerobic energy release during supramaximal swimming at different levels of hypobaric hypoxia. *Med.Sci.Sports Exerc.* 32 : S336.
14. Ogita,F., I.Tabata. (1999) The effect of high intensity intermittent training under a hypobaric hypoxic condition on anaerobic capacity and maximal oxygen uptake. *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*, Eds. Keskinen,K.L., Komi,P.V., Hollander,A.P., Gummerus Printing, Jyväskylä, Finland: pp423-428.
15. Ogita,F., T.Onodera, I.Tabata (1999) Effect of hand paddles on anaerobic energy release during supramaximal swimming. *Med.Sci.Sports Exerc.* 31:729-735.
16. 荻田太、小野寺丈晴、若吉浩二 (1998) 超最大強度におけるブル、キック、スイム中の代謝特性. *水泳水中運動科学* 1 : 13-18
17. Ogita,F., M.Hara, I.Tabata (1996) Anaerobic capacity and maximal oxygen uptake during arm stroke, leg kicking, and whole body swimming. *Acta Physiol.Scand.* 157 : 435-441.
18. Ogita,F., I.Tabata. (1992) Oxygen uptake during swimming under a hypobaric hypoxic environment. *Eur.J.Appl.Physiol.* 65:192-196.
19. Saltin,B., R.F.Gover, C.G.Blomquist, L.H.Jartley, R.L.Johnson (1968) Maximal oxygen uptake and cardiac output after 2 weeks at 4,300 m. *J.Appl.Physiol.* 25 : 400-409.
20. Tabata,I., K.Nisimura, M.Kouzaki, Y.Hirai, F.Ogita, M.Miyachi, K.Yamamoto (1996) Effects of moderate-endurance and high intensity-intermittent training on aerobic capacity and  $\dot{V}O_{2max}$ . *Med.Sci.Sports Exerc.* 28:1327-1330.
21. Tabata I, K.Irisawa, M.Kouzaki, K.Nishimura, F.Ogita, M.Miyachi (1997) Metabolic profile of high intensity intermittent exercises. *Med.Sci.Sports Exerc.* 29: 390-395.
22. Terrados,N. (1994) Altitude training and muscular metabolism. *Int.J.Sports Med.* 13 (Suppl 1):S206-209.
23. Young,A.J., W.J.Evans, E.C.Fisher, R.L.Sharp, D.L.Costill, J.T.Maher (1984) Skeletal muscle metabolism of sealevel natives following short-term high-altitude residence. *Eur.J.Appl.Physiol.Occup.Physiol.* 52:463-466.