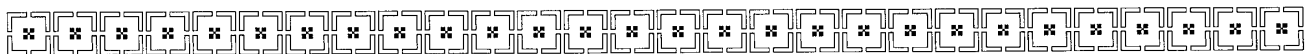


# 準高地における短期間の 競泳トレーニングが血液性状等の 生理的応答に及ぼす影響

加藤健志 (東海大学体育学部(非常勤講師)) 横山 貴 (東海大学体育学部(非常勤講師))  
今村貴幸 (東海大学体育学部(非常勤講師)) 春日井亮太 (東海大学大学院体育学研究科)  
塚田将吾 (東海大学大学院体育学研究科) 酒井健介 (城西国際大学薬学部)  
杉浦克己 (明治製菓(株)ザバス SN ラボ) 寺尾 保 (東海大学スポーツ医科学研究所)

The Effect of Moderate Altitude Training on Physiological Response in Swimmers

Kenji KATO, Takashi YOKOYAMA, Takayuki IMAMURA, Ryota KASUGAI,  
Syogo TSUKADA, Kensuke SAKAI, Katsumi SUGIURA and Tamotsu TERAO



## Abstract

The effect of short term training (5 days) at moderate altitude (1280m ; MA) on hematological and physiological changes were studied in eight elite competitive swimmers. Resting HR at MA was significantly higher than that at sea level (SL), and resting SpO<sub>2</sub> at MA was lower, but not significant. In the Day1 at MA, RBC count and hematocrit was decreased, but these variables were recovered in the Day4. On the other hand, blood hemoglobin concentration slightly decreased in the Day1 at MA, but significantly increased in the Day4 at MA, and sustained three days after returned to normobaric condition. Serum erythropoietin concentration was significantly increased at MA ( $42.8 \pm 20.7\%$  ;  $p < 0.01$ ). These results suggested that physiological and hematological change during training at 1280m altitude is similar to that at 2000m altitude or more, and training at 1280m might be improved blood oxygen transport capacity and aerobic performance in safety.

(Tokai J. Sports Med.Sci.No.20, 23-32, 2008)

## I. 緒 言

高地トレーニングの歴史は、1960年ローマオリンピックでエチオピアのアベベ選手がマラソンで金メダルをとり、高地民族が持久性に優れているのではということが注目を受けたことに始まる。

さらに1968年、標高2340 m の高地メキシコでのオリンピック開催に際し、高地に適應するためのトレーニングを各国が開始したことに端を発し、これまで約40年以上の歴史を積み重ねて来ている<sup>1)</sup>。

日本では、1960年代から高地トレーニングの研究が始まり、競泳界では、1980年代に入ってアメ

リカ、フラッグスタッフ（標高2130 m）を中心に高地トレーニングが実施されるようになってきた<sup>1)~3)</sup>。

近年、オリンピックにおいて金メダルに輝いたスピードスケートの清水宏保選手、マラソンの高橋尚子選手、そして水泳の北島康介選手らは積極的に高地トレーニングを活用していることは周知の事実であり、世界中の一流スポーツ選手達においても同様の流れが確認できる。

競泳界における高地トレーニングのほとんどは標高約2000 m以上の環境で行われている<sup>3)</sup>。しかしながら日本国内では、このようなトレーニング環境は見当たらない。国内では、競泳用プールが設置されているトレーニング環境は、標高が最も高い長野県菅平高原や、群馬県の草津温泉など標高約1300 m前後の地点である。

小林ら<sup>1)</sup>は2001年に、高地トレーニングに関する1960~80年代の研究成果を総説にし、その中で以下のように記している。

- ・ 3週間程行わなくては効果が得られない。
- ・ 高地トレーニングの効果は平地に戻って2週間で消滅する。
- ・ 高地トレーニングは赤血球やヘモグロビン濃度を上昇させ、このことが持久力の向上を導く。
- ・ 標高2300 m程度が最も適している。

しかし、1990年代以降、高地トレーニングに関する新しい概念が提唱され、以下に示すような研究成果が報告されている。

- ・ 最低3~4日間のトレーニングでも効果は得られる。
- ・ 初日から比較的充実したトレーニングを実施し、疲労が蓄積しないうちに下山すると有効である。
- ・ 短期型の高地トレーニングの運動刺激を繰り返すことにより、広範囲なトレーニング効果が得られる。
- ・ 高地トレーニング刺激は体内に記憶され、繰り返し実施することにより適応能力が高まる。

- ・ 造血作用等に変化が認められなくても、乳酸蓄積の抑制または乳酸除去能力の改善がみられ、パフォーマンスの向上がみられる。
- ・ 適する標高は1800~2000 mであるが、1000~1300 mでも初期効果が得られる。特にこれらの標高では、適応後平地とほぼ同じ能力を発揮できる。

この中で注目すべきは、標高2000 m未満の環境における比較的短期間のトレーニングによって、高地トレーニングの効果が獲得できるということである。今なお競泳界で行なわれている高地トレーニングは、海外の標高2200 m付近で、2~4週間のトレーニングを行なうことが主流となっているが、前述のごとく国内においてはこのようなトレーニング環境は存在しない。

そこで本研究は、日本国内において実施可能で、より効果的で漸進的な高地トレーニングを構築するために、準高地（標高1280 m）における短期間（5日間）の競泳トレーニングを実施した。そして血液性状および動脈血酸素飽和度（SpO<sub>2</sub>）や心拍数（HR）に及ぼす生理的応答をもとに、短期間の準高地トレーニングの可能性を明らかにすることを目的とした。

## II. 研究方法

### 1. 被験者

被験者は、T大学水泳部に所属する、競技歴12年以上、日本選手権優勝者および日本ランキング上位選手を含む競技レベルの高い男子競泳選手8名であった。表1に、被験者の専門種目、身体的特徴および最大酸素摂取量を示した。

本研究の実施に当たっては、被験者に対して研究の目的、方法、危険性、等について十分な説明を口頭で行い、同意を得た。なお、測定上の危険回避のための環境作りを終始徹底した。

表1 被験者の身体的特徴  
Table 1 Subject characteristics

Subject	Style	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Fat% (%)	VO2max (ml/min/kg)
M.M	Breast	23	171.0	64.0	10.6	59.60
G.I	Breast	21	171.7	64.8	11.1	52.09
K.K	Fr Short	22	171.8	66.0	9.6	43.79
H.T	Fr Short	21	176.8	71.1	10.8	54.29
R.K	Fr Short	20	176.5	69.9	17.6	46.81
Y.T	Fr Short	20	172.9	69.2	11.0	52.86
M.S	Fly	22	174.3	80.1	14.4	47.95
T.S	Back	20	180.1	72.0	14.9	53.59
mean		21.13	174.39	69.64	12.50	51.37
± SD		1.13	3.17	5.15	2.79	4.98

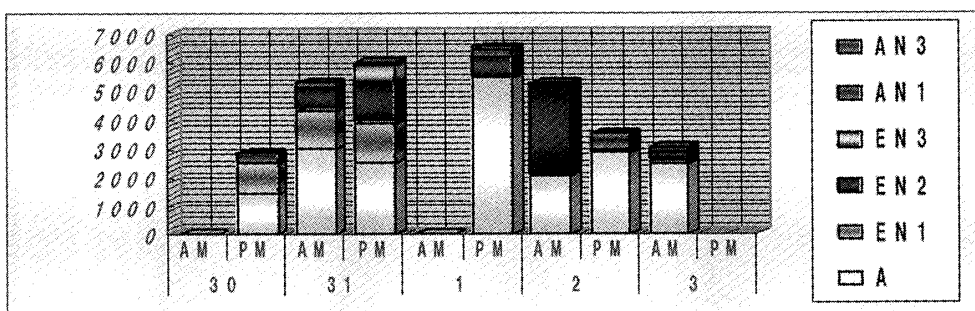


図1 合宿中のトレーニング量 (各カテゴリー別の泳距離)  
\*5日間で、計7回的水中練習で、総泳距離33,260 m であり、強度は持久力向上重視の一般的なプログラムで行った。

Fig. 1 The amount of training in moderate altitude training  
Training was a total of seven practice for five days, it is 33260m of the total distance, and intensity was performed by the general program focused on tenacity improvement.

## 2. 高地トレーニング適性検査

高地トレーニング適正として、低圧・低酸素状態に如何に適応できるかを、東海大学スポーツ医科学研究所内にある低圧（高地トレーニング）室にて実施した。全ての被験者に対して高地トレーニング開始2週間前までに、海拔0 m から標高3500 m 相当の気圧になるまで2時間かけて徐々に気圧を低下させ、その時の心拍数（HR：b/min）および動脈血酸素飽和度（SpO<sub>2</sub>：%）の測定、不整脈の出現の有無、意識の明暗、顔色等を調査し、何か1項目でも異常が確認された場合には、高地トレーニング環境において危険性が生じると判断する。

検査の結果、全ての被験者において異常反応は確認されなかった。

## 3. トレーニング内容

本研究は、長野県菅平高原（標高1280 m）にあるプールを利用して行った。準高地滞在期間は5日間であった。滞在期間中は、陸上トレーニングおよび水中トレーニングを実施した。

### (1) 陸上トレーニング

水中練習前に、毎回約30分間のストレッチを行い、さらにボディコアトレーニングを中心に、バランスボール、チューブトレーニング（インナーマッスル）、スタビライゼーション等のトレーニングプログラムを約1時間程度行った。

### (2) 水中トレーニング

5日間で、計7回の水中練習で、1回あたりの平均時間は約2時間、平均距離は4700 m で、総

泳距離は33,260 mであった。強度は、持久力向上重視の一般的なプログラムで行った。なお、強度別のトレーニング量を図1に示した。

#### 4. 測定方法

(1) 安静時動脈血酸素飽和度 (SpO<sub>2</sub>) および心拍数 (HR)

SpO<sub>2</sub>およびHRの測定は、フクダ電子社製マイクロ2パルスオキシメータを用いた。準高地トレーニングを行う約2週間前から平地におけるデータを測定し、準高地では毎日、そして平地に戻ってから3日後まで、起床時および就寝時に測定を行った。

(2) 血液検査

準高地トレーニング実施の3日前に、平地環境(ベースラインデータ)にて1回目の採血を行った。準高地環境では、初日(到着6時間後)および滞在4日目に、また平地環境では、トレーニング終了3日後に計4回の採血を行った。対象者は、採血実施の前日の夜10時以降の飲食を避け、8時間以上の絶食をし、翌朝6時に採血を行った。ただし、準高地環境での初期反応(エリスロポエチン応答)をみるため、準高地到着初日のみ午後9時に採血を行った。抗凝固剤を含むベノジェクト管に採取された血液は、血液一般検査として臨床検査機関(三菱化学BML)に委託し、電気抵抗法により白血球数(WBC:/mL)、赤血球数(RBC:\*10<sup>4</sup>/μL)およびヘマトクリット値(HCT:%)、SLSヘモグロビン法によりヘモグロビン濃度(HGB:g/dL)、フローサイトメリー法により血小板(PLT:\*10<sup>4</sup>/μL)、計算法により平均赤血球容積(MCV:fl)、平均赤血球ヘモグロビン濃度(MCHC:%)および平均赤血球ヘモグロビン量(MCH:pg)を測定した。また血液の一部は、4℃にて3000 rpmの遠心分離を10分間施し、血清分離後、RIA法によるエリスロポエチン濃度(EPO:mU/mL)の分析を依頼した。

#### 5. 統計処理

測定値は、平均値±標準偏差で示した。得られた結果は、反復一元配置分散分析を施し、主成分に有意差が認められた場合、それぞれの測定時において対応のあるt検定を実施した。なお危険率5%未満をもって有意と判定した。

### Ⅲ. 結 果

#### 1. 準高地トレーニングにともなう動脈血中酸素飽和度及び心拍数の変化について

(1) 動脈血中酸素飽和度 (SpO<sub>2</sub>)

図2にトレーニング前(平地)、準高地滞在初日、

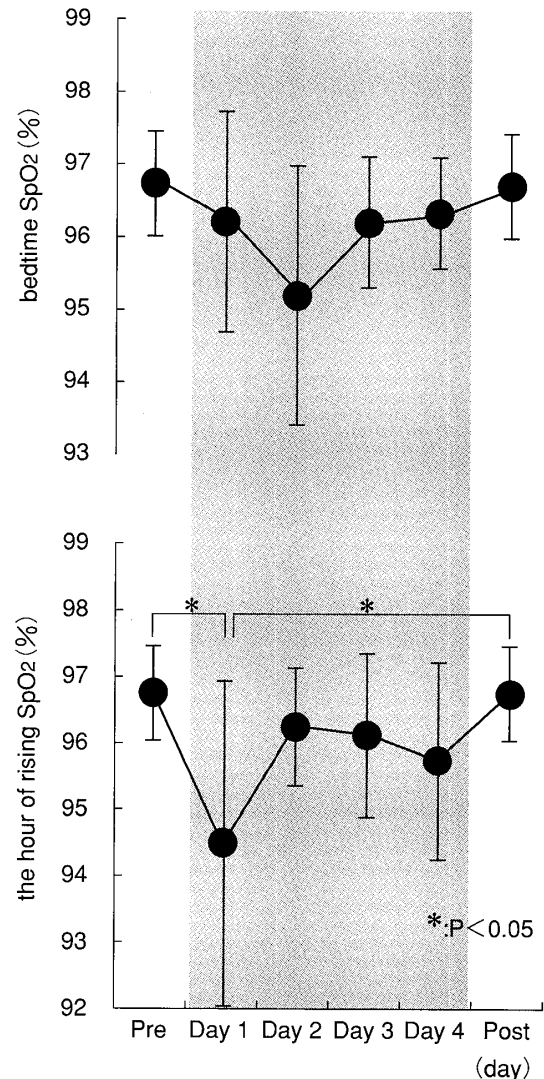


図2 平地、準高地滞在1日目から4日目および平地帰還後のSpO<sub>2</sub>の変化

Fig. 1 Change of SpO<sub>2</sub> before, the 1st day to 4th day of stay, and after in moderate altitude trainings

滞在2日目、3日目、4日目およびトレーニング後（平地）における起床時・就寝時の動脈血酸素飽和度の変化を示した。起床時では、 $96.8 \pm 0.7$ 、 $94.5 \pm 2.5$ 、 $96.3 \pm 0.9$ 、 $96.1 \pm 1.3$ 、 $95.8 \pm 1.5$ 及び  $96.8 \pm 0.7\%$ であった。就寝時は、 $96.8 \pm 0.7$ 、 $96.3 \pm 1.5$ 、 $95.3 \pm 1.8$ 、 $96.3 \pm 0.9$ 、 $96.4 \pm 0.7$ 及び  $96.8 \pm 0.7\%$ であった。反復一元配置分散分析の結果、起床時 SpO<sub>2</sub>で有意差が確認され、準高地滞在初日の値は、トレーニング前の値と比較して  $2.3 \pm 2.3\%$  低値を示しており、有意に低い値であった ( $p < 0.05$ )。またトレーニング後では、ほぼトレーニング前と同様の水準に戻り、滞在初日と比較し有意に高値を示した。次に、睡眠時 SpO<sub>2</sub>では、準高地トレーニング前に比べ、滞在2日目で  $1.5 \pm 2.3\%$  ほど低値を示したが、有意な差は認められなかった。

## (2) 心拍数 (HR)

図3にトレーニング前（平地）、準高地滞在初日、滞在2日目、3日目、4日目およびトレーニング後（平地）における起床時・就寝時のHRの変化を示した。いずれも反復一元配置分散分析の結果、有意差が確認された。起床時HRは  $59.6 \pm 4.7$ 、 $66.6 \pm 9.7$ 、 $71.3 \pm 11.7$ 、 $61.9 \pm 9.7$ 、 $70.4 \pm 8.3$ 及び  $59.6 \pm 4.7$ であった。トレーニング前と比較し滞在2日目で  $14.2 \pm 0.2\%$  高い値を示した。トレーニング前に対し、滞在2日目と4日目で有意に高い値を示した ( $p < 0.05$ )。また、滞在2日目はトレーニング後の値に対し、滞在4日目は滞在3日目及びトレーニング後の値に対して有意に高い値を示していた ( $p < 0.05$ )。

就寝時は、 $58.5 \pm 3.3$ 、 $67.8 \pm 9.9$ 、 $64.9 \pm 11.4$ 、 $58.5 \pm 9.3$ 、 $56.0 \pm 9.1$ および  $58.5 \pm 3.3$ であった。トレーニング前の値に対して、滞在初日は有意に高い値を示した ( $p < 0.05$ )。また、滞在初日は、滞在3日目、滞在4日目及びトレーニング後に対し有意に高い値であった ( $p < 0.01$ 、 $p < 0.01$ 及び  $p < 0.05$ )。さらに、滞在2日目は滞在3日目に対して、滞在3日目は滞在4日目に対して、それぞれ有意に高い値を示した ( $p < 0.05$ )。滞在2日目

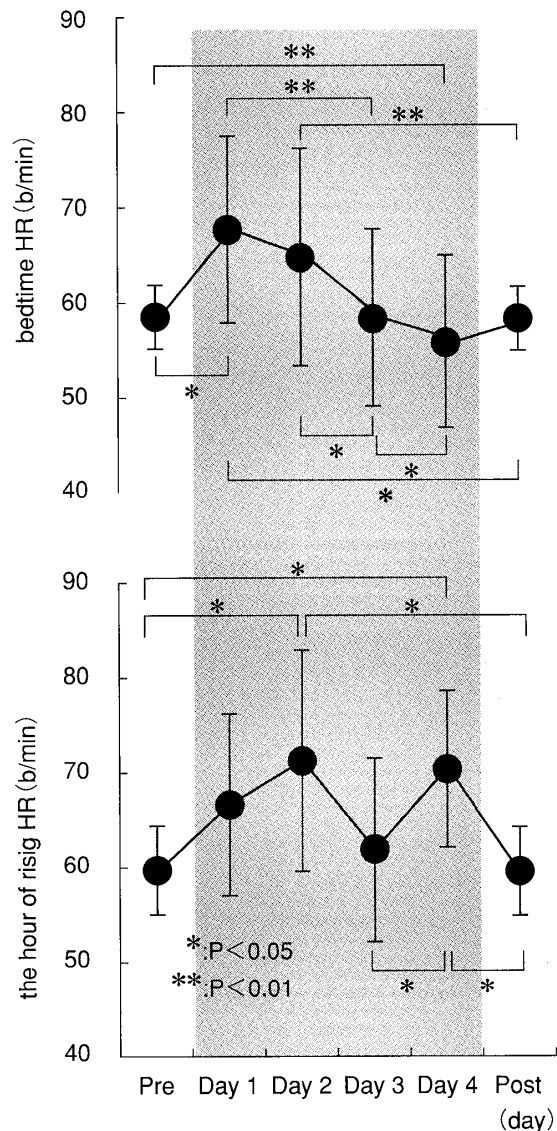


図3 平地、準高地滞在1日目から4日目および平地帰還後のHRの変化

Fig. 3 Change of HR before, the 1st day to 4th day of stay, and after in moderate altitude training

は滞在4日目に対して、有意に高い値を示した ( $p < 0.01$ )。

## 2. 準高地トレーニングにともなう血液性状の変化を示す。

### (1) 赤血球数 (RBC)

図4にトレーニング前（平地）、準高地滞在初日、滞在4日目およびトレーニング後（平地）におけるRBCの変化を示した。トレーニング前、滞在初日、滞在4日目および準高地トレーニング後のRBCは、 $499.6 \pm 21.8$ 、 $468.9 \pm 25.3$ 、 $507.4 \pm 31.7$ 、 $500.4 \pm 22.4 \times 10^4 \cdot \mu\text{l}^{-1}$ であり、反復一元配置分

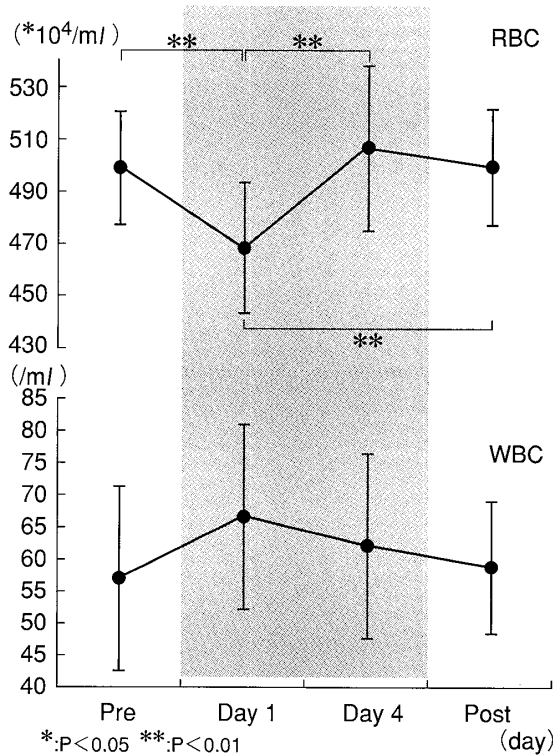


図4 平地、準高地滞在1日目、4日目および平地帰還時のRBCとWBCの変化

Fig. 4 Change of RBC and WBC before, the 1st day and 4th day of stay, and after in moderate altitude training

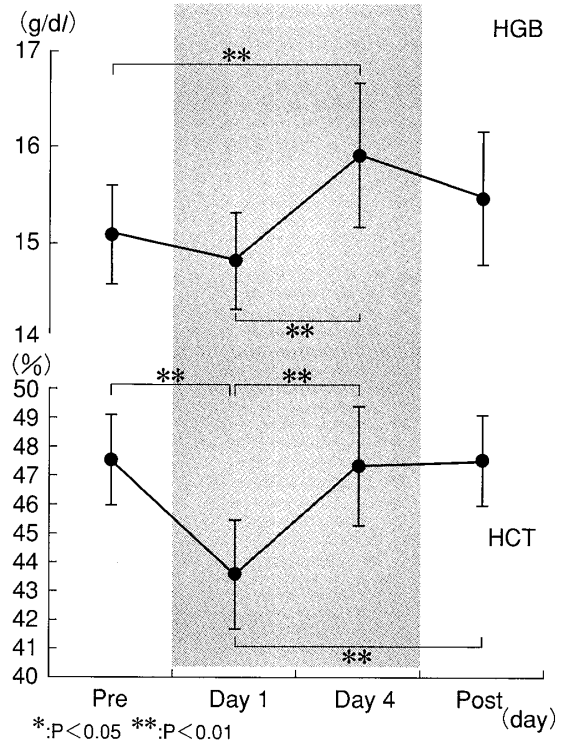


図5 平地、準高地滞在1日目、4日目および平地帰還時のHGBとHCTの変化

Fig. 5 Change of HGB and HCT before, the 1st day and 4th day of stay, and after in moderate altitude training

散分析で有意差が確認された。滞在初日はトレーニング前と比較し、 $6.2 \pm 2.7\%$ 減少し、有意な低値を示した ( $p < 0.01$ )。滞在4日目およびトレーニング後では、トレーニング前の値との間に有意差は認められず、ほぼ同等の値を示していた。滞在初日と比較すると滞在4日目およびトレーニング後とも有意に高い値であった ( $p < 0.05$ )。

(2) 白血球数 (WBC)

図4にトレーニング前(平地)、準高地滞在初日、滞在4日目およびトレーニング後(平地)におけるWBCの変化を示した。各測定値は、 $57.0 \pm 14.4$ 、 $66.5 \pm 14.4$ 、 $62.1 \pm 14.5$ 及び $58.9 \pm 10.3$  dl/ $\mu$ lであった。WBCは滞在初日において、トレーニング前と比較すると $16.7 \pm 31.7\%$ の増加が認められたが統計的有意差は確認されなかった。

(3) ヘマトクリット値 (HCT)

図5にトレーニング前(平地)、準高地滞在初日、滞在4日目およびトレーニング後(平地)におけ

るHCTの変化を示した。各測定日のHCTは、 $47.5 \pm 1.5$ 、 $43.6 \pm 1.9$ 、 $47.3 \pm 2.1$ および $47.5 \pm 1.6\%$ であり反復一元配置分散分析の結果、有意差が確認された。トレーニング前と比較すると、滞在初日で $8.3 \pm 2.3\%$ 低下し ( $p < 0.01$ )、滞在4日目ではほぼ同程度までに回復した。また、滞在初日の値は、滞在4日目およびトレーニング後に対しても有意に低値であった ( $p < 0.01$ )。

(4) ヘモグロビン濃度 (HGB)

図5にトレーニング前(平地)、準高地滞在初日、滞在4日目およびトレーニング後(平地)におけるHGBの変化を示した。各測定日におけるHGB濃度は、 $15.1 \pm 0.5$ 、 $14.8 \pm 0.5$ 、 $15.9 \pm 0.7$ 及び $15.5 \pm 0.7$  g · dl<sup>-1</sup>であり、反復一元配置分散分析の結果、有意差が確認された。トレーニング前と比較し、滞在初日には有意な変化は認められなかったが、滞在4日目において $5.4 \pm 2.6\%$ の増加が認められ、トレーニング前および滞在初日に対して有意に高値であった ( $p < 0.05$ )。

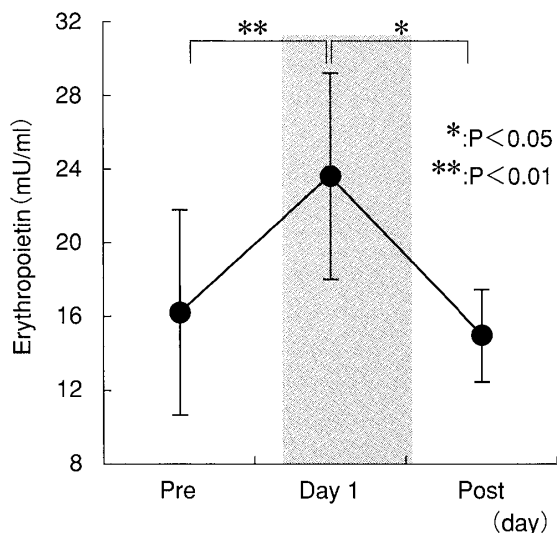


図6 平地、準高地滞在1日目および平地帰還後のEPOの変化  
Fig. 6 Change of EPO before, the 1st day of stay, and after in moderate altitude training

(5) エリスロポエチン濃度 (EPO)

図6にトレーニング前(平地)、準高地滞在初日およびトレーニング後(平地)におけるEPO濃度の変化を示した。トレーニング前、滞在初日およびトレーニング後のエリスロポエチン濃度は、それぞれ $17.0 \pm 5.4$ 、 $23.7 \pm 5.6$ 及び $15.4 \pm 2.3 \text{ mU} \cdot \text{ml}^{-1}$ であり、反復一元配置分散分析の結果、有意差が確認された。準高地滞在初日のEPO濃度はトレーニング前と比較し $42.8 \pm 20.7\%$ の増加が示され、有意に高値であった( $p < 0.01$ )。また、トレーニング後の値と比較しても有意に高い値を示していた( $p < 0.05$ )。

(6) 平均赤血球容積 (MCV)

図7にトレーニング前(平地)、準高地滞在初日、滞在4日目およびトレーニング後(平地)におけるMCVの変化を示した。それぞれ、 $95.4 \pm 3.0$ 、 $93.1 \pm 2.9$ 、 $93.3 \pm 3.3$ 及び $94.9 \pm 2.3 \text{ fl}$ であり、反復一元配置分散分析の結果、有意差が確認された。トレーニング前と比較し、滞在初日と4日目でそれぞれ $2.4 \pm 1.2\%$ 、 $2.2 \pm 1.2\%$ 減少し有意な低値を示した( $p < 0.01$ )。また、トレーニング後では、ほぼトレーニング前の値にまで戻り、滞在初日と4日目と比較して有意に高い値であった( $p <$

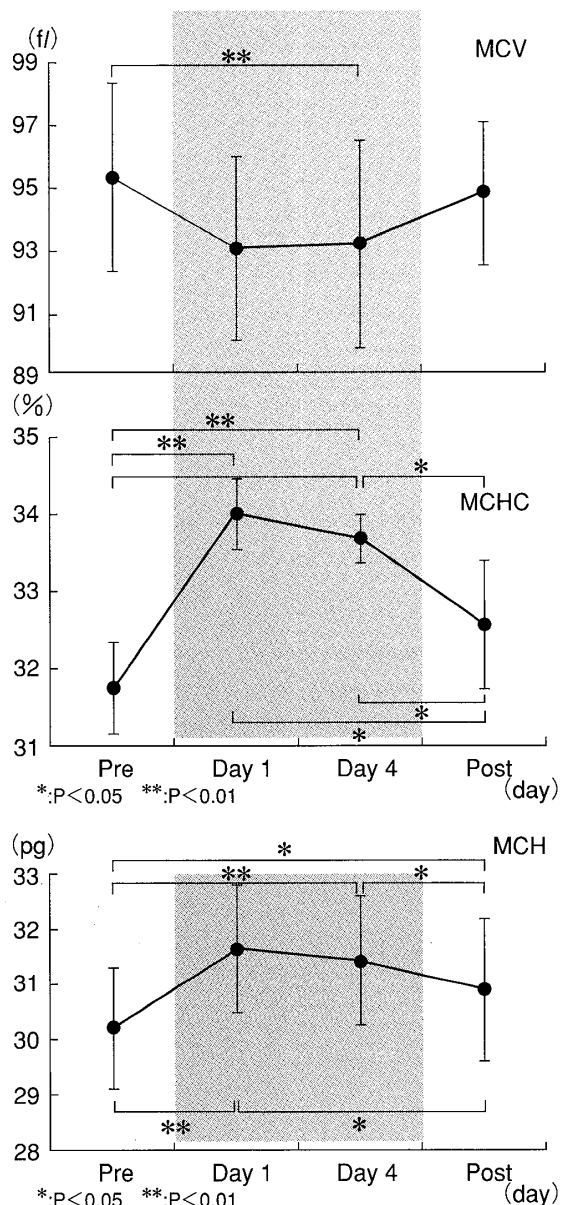


図7 平地、準高地滞在1日目、4日目および平地帰還後のMCVとMCHCおよびMCHの変化  
Fig. 7 Change of MCV, MCHC and MCH before, the 1st day and 4th day of stay, and after in moderate altitude training

0.05)。

(7) 平均赤血球ヘモグロビン濃度 (MCHC)

図7にトレーニング前(平地)、準高地滞在初日、滞在4日目およびトレーニング後(平地)におけるMCHCの変化を示した。各測定値は、 $31.8 \pm 0.6$ 、 $34.0 \pm 0.5$ 、 $33.7 \pm 0.3$ および $32.6 \pm 0.8\%$ であり、反復一元配置分散分析の結果、有意差が確認された。MCHCは、滞在初日に最も高い値を示し、その後徐々に減少する傾向が認められた。トレー

ニング前と比較し、滞在初日、4日目、準高地トレーニング後がそれぞれ $7.1 \pm 2.1$ 、 $6.1 \pm 1.9$ および $2.6 \pm 2.5\%$ の変化が認められ、有意な高値であった ( $p < 0.01$ 、 $p < 0.01$ 及び $p < 0.05$ )。また、滞在初日は、4日目とトレーニング後の値に対して有意に高値であった ( $p < 0.01$ )。

#### (8) 平均赤血球ヘモグロビン量 (MCH)

図7にトレーニング前(平地)、準高地滞在初日、滞在4日目およびトレーニング後(平地)におけるMCHの変化を示した。各測定値は $30.2 \pm 1.1$ 、 $31.6 \pm 1.2$ 、 $31.4 \pm 1.9$ 、 $30.9 \pm 1.3$  pgであり、反復一元配置分散分析の結果、有意差が確認された。MCHは、滞在初日に最も高い値を示し、その後徐々に減少する傾向が認められた。トレーニング前と比較し、滞在初日、滞在4日目、トレーニング後がそれぞれ $7.1 \pm 2.1$ 、 $6.1 \pm 1.9$ 、 $2.6 \pm 2.5\%$ の変化が認められ、有意に高値であった ( $p < 0.01$ 、 $p < 0.01$ 及び $p < 0.05$ )。また、滞在初日はトレーニング後に対して、滞在4日目はトレーニング後に対して、それぞれ有意な高値を示した ( $p < 0.05$ )。

## IV. 考 察

本研究では競技経験が長く、非常に競技力の高い男子大学生水泳選手を対象として、5日間という比較的短期間の準高地(標高1280 m)トレーニングを実施し、 $SpO_2$ 、HRおよび血液性状等の生理的応答について検討した。

準高地トレーニングに入る前段階で、選手たちには3ヶ月間の持久的トレーニングを積ませた。高地トレーニングは、高地という低圧・低酸素環境による受動的影響と、トレーニングそのものによる積極的トレーニング効果の複合によって生理的応答が起きるため、今回はできる限り準高地の影響を捉え、トレーニング効果が出にくいよう設定した。

まず、安静状態でのHRは準高地到着直後から、

有意に高い値を示した。準高地滞在2日目の起床時には平地に比べて $14.2 \pm 0.2\%$ も高い値を示した。標高1280 mとはいえ、気圧は約650 mmHgに低下し、酸素分圧は138 mmHg、大気中の酸素濃度は約18.9%にまで低下をしているため、低圧・低酸素環境による生理的応答が明らかに確認できる。

この反応はこれまで多くの高地トレーニングに関する研究<sup>4)-14)</sup>の報告と同様に高地では酸素摂取量を維持するために、換気量の増大、心拍数の増加、心拍出量の増大などの反応を起こすという結果を示した。

$SpO_2$ に関しては、準高地初日は2~3%低値を示した。しかし、2日目以降は高所適応を示し徐々に回復傾向がみられ、3日目にはほぼ平地と同様の値を示した。

HRおよび $SpO_2$ に関しては、どちらも準高地トレーニング開始後、早い段階からの回復が確認できた。これまで研究の中で、準高地における短期間のトレーニング中におけるHRと $SpO_2$ の経時的变化を追った報告はみられないが、今回の結果から、準高地でも早期から低圧・低酸素環境による呼吸循環器系への刺激による反応が起きることがわかった。しかし、その反面、高すぎない標高によって、生体の適応も早期に生じることが示唆された。

Robinsonら<sup>15)</sup>は2000 mの標高でインターバルトレーニングを行うと、平地に比べてトレーニング強度は約15%低下せざるを得ない、さらに、高地での疲労を回復するために平地の4倍の期間が必要であるとしている。

以上の内容を考えると、今回のような準高地におけるトレーニングを行うことで、標高2000 m以上で行う高地トレーニングに対して、その欠点となるトレーニング強度の確保、また、トレーニングによる過度の疲労状態を回避できる可能性が伺える。

RBC、HGBおよびHCTは準高所到着初日では、約5~8%の減少傾向を示し、2日目以降から4日目にかけて回復傾向を示した。

EPOは到着後6時間で約 $42.8 \pm 20.7\%$ もの上昇



反応を示し、2000 m 前後で行われる高所トレーニングと同様の応答がみられた。

これらの反応から、増血作用を促す反応が準高地でも起こりうる可能性が示唆された。

藤原らは<sup>16)</sup>、本研究と同様に準高地における水泳選手のトレーニングを実施しているが、個人差は大きいとしながらも、同じく EPO が増加し増血反応が認められたとしている。

MCV に関しては、準高地滞在期間中約 2% の低下を示し、MCHC および MCH に関しては準高地滞在期間中有意に高い値を示した。これらの反応は RBC の縮小化および RBC 内の Hb 濃度が上昇したことを示し、高色素性適応 (Hyperchromic) により酸素運搬効率を高める働きが生じることが示唆された。

浅野ら<sup>4)</sup> は、このような傾向は毛細血管内の血流を促進させ、同時に赤血球の組織への酸素運搬能の効率化をもたらすものとしている。

近年の高地トレーニングに関する研究報告<sup>1, 2, 13, 16-19)</sup> の中で、標高 1000 m 前後の準高地トレーニングは標高 2000 m 付近で行われるトレーニングと比べて、呼吸循環器、血液性状などにみられる生理的初期応答は、ほぼ同様の反応を示すと報告されている。さらに、トレーニングが数日経過すると高所適応が進み、短期間でより高い強度でのトレーニングが実現できるとしている。

また、高地トレーニングは、しばしば高山病などによる体調低下、あるいはオーバートレーニング等のリスクを背負っているが、準高地ではそれらの可能性が軽減されるとしている。

## V. 総括

今回、全国大会優勝者を含む全日本学生選手権出場という、非常に競技力の高い大学生男子競泳選手 8 名に対して、標高 1280 m の準高地において 5 日間のトレーニングを行った。

その結果、以下のことが明らかになった。

1) 登山直後に、標高 1280 m という準高地にも

関わらず、標高 2000 m 付近の高地と同様 SpO<sub>2</sub> の低下、安静時心拍数の上昇、血清エリスロポエチンの上昇、MCV の低下および MCH, MCHC の増加等による高色素性適応による酸素運搬能の上昇などの生理的応答が確認された。

2) 登山後、早期 (2~3 日後) から高地への生理的適応が見られ、早い段階で高強度のトレーニングが実現可能であった。また、体調および心理的な状態を大きく崩すことなく、トレーニングを行えた。このことは、2000 m を超える標高における高地トレーニングの問題点である、過度の低圧・低酸素負荷によるトレーニング強度の低下、高山病などにみられる頭痛、脱水症状および消化不良等を起こさないことを示している。準高地トレーニングでは、呼吸循環器系への適応を促進するためのトレーニングとしての可能性が示された。

3) 5 日間という比較的短い期間での準高地トレーニングであったが、高地トレーニングに求められる生理応答が明らかに確認できた。したがって、短期間であっても定期的に繰り返し行うこと、平地での高強度トレーニングとの組み合わせること、あるいは平地における人工的高地トレーニング環境を利用したトレーニングと併用することで、日本国内における、新たな高地トレーニングの可能性が明らかになった。

## 参考文献

- 1) 小林寛道：高地トレーニングと低酸素トレーニングの発展，*体育の科学*，51(4)，260-265，2001
- 2) 青木純一郎，小倉裕司：低酸素トレーニングの歴史，*臨床スポーツ医学*，21(1)，1-11，2004
- 3) 武藤芳照，宮下充正，渡部厚一：水連での取り組み，*臨床スポーツ医学*，8(6)，610-615，1991
- 4) 浅野勝己：高地トレーニングの基礎—その生理学的効果について—，*臨床スポーツ医学*，8(6)，585-597，1991
- 5) Benjamin D. Levine and James Stray-Gunders-

- en : "Living high-training low" : effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J. Appl. Physiol.* 83 : 102-112, 1997.
- 6) J.A.L.Calbet, G.Radegran, R.Boushel, H.Sondergaard, B.Saltin and P.D.Wagner : Effect of blood haemoglobin concentration on  $\dot{V}O_2$ , max and cardiovascular function in lowlanders acclimatised to 5260m. *J. Physiol.* (2002), 545.2, pp.715-728. 2002.
- 7) 山地啓司 : 高地・低酸素環境トレーニングに関するレビュー ; 一高地トレーニングの是非論について一, *体育の科学*, 51(4), 266-271, 2001
- 8) Mitsumasa Miyashita, Yoshiteru Mutoh and Yoshiharu Yamamoto : Altitude Training For Improving Swimming Performance At Sea Level. *Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med.* 37 : 111-116, 1988.
- 9) 酒井秋男, 小林俊夫 : 高地順応のメカニズム, *J.J.SPORTS SCI*, 6-2 ; 94-105, 1987
- 10) Terrados, N., Mizuno, M. and Anderson, H. Reduction in maximal oxygen uptake at low altitudes ; role of training status and lung function. *Clin. Physiol.* 5 : S75-79. 1985
- 11) 川原貴 : 医学的視点からみた低酸素トレーニング, *臨床スポーツ医学*, 21(1), 49-54, 2004
- 12) Tatjana V.Serebrovskaya and Alexandra A.ivashkevich : Effects of a 1-yr stay at altitude on ventilation, metabolism, and work capacity. *J. Appl. Physiol.* 73(5) : 1749-1755, 1992.
- 13) 襦屋光男 : 高地・低酸素トレーニングの効果, *臨床スポーツ医学*, 21(1), 39-47, 2004
- 14) Futoshi Ogita : Oxygen uptake during swimming in a hypobaric a hypobaric hypoxic environment. *Eur. J. Appl. Physiol.* 65 : 192-19, 1992
- 15) Robinson PM, et al : Training intensity of elite male distance runners. *Med. Sci. Spoerts Exerc.* 23 : 1078-1082, 1991
- 16) 藤原寛康, 加藤健志, 高橋雄介, 森谷暢, 今村貴幸 : 低酸素刺激に対する動脈血酸素飽和度の反応における個人差と準高所トレーニング効果との関連性, *中央大学保健体育研究所紀要*, 22 : 2004.
- 17) 後藤真二, 野村孝路 : 準高地トレーニングが水泳中の生理的応答に及ぼす影響, *水泳水中運動科学*, 4 : 25-29, 2001.
- 18) 今村貴幸, 森谷暢, 加藤健志 : 短期間準高所トレーニングが呼吸循環応答に及ぼす影響, *中央大学保健体育研究所紀要*, 24 : 2006.
- 19) 森谷暢, 加藤健志, 高橋雄介, 藤原寛康, 今村貴幸 : 競泳選手における準高所トレーニングの可能性, *中央大学保健体育研究所紀要*, 23 : 2005.