

# 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

今 村 貴 幸 加 藤 健 志  
森 谷 暢

## 要 約

トレーニング歴が長く、かつ、日頃充分なトレーニングを実施している男子大学競泳選手4名を対象に、海拔1,280mという環境において短期間（4泊5日間）の準高所トレーニングを行った。このような準高所トレーニングが平地における呼吸循環系機能に及ぼす影響について検討を加えるため、準高所トレーニングの前後に自転車エルゴメータを用いた負荷漸増テストを実施し、最大酸素摂取量、換気量、最大酸素摂取量測定開始から疲労困憊に至るまでの運動時間、最高心拍数および漸増負荷運動終了後の血中乳酸濃度を測定した。その結果、準高所トレーニング実施後では、最大酸素摂取量および換気量が改善される傾向がみられた。また、最大酸素摂取量測定開始から疲労困憊に至るまでの運動時間に延長傾向がみられ、かつ、測定時の最高心拍数および運動終了後の血中乳酸濃度はより高いレベルまで達していることが明らかとなった。これらの結果は、トレーニング歴が長く、かつ充分なトレーニングを実施している比較的競技力の高い競泳選手では、短期間の準高所トレーニングによって呼吸循環系機能が向上し、結果、平地での身体作業能力に肯定的な影響が及ぶことを示唆するものである。以上のことから、海拔1,280mという比較的マイルドな低酸素環境を活用すれば、たとえそのトレーニング期間が短期間であっても、平地での作業成績や競技パフォーマンスを改善させる可能性が考えられる。

## 1. 緒 言

様々な競技種目において、競技パフォーマンスの改善を目的とし、高所トレーニングが行われている<sup>20)</sup>。陸上競技選手やトライアスリートにおいては、生活の拠点を海外の高所環境へ移転する例も少なくない。高所トレーニングを行うことにより最大酸素摂取量、換気量、血液性状などの様々な生理的適応が生じ、結果、平地での作業成績が改善されるとの報告が多くみら

れる<sup>5,6,14)</sup>。他方、高所トレーニングが平地における作業成績に及ぼす影響については、一致した見解が得られていないのが現状である<sup>1)</sup>。その原因として、高所トレーニング実施期間の体調の維持が容易ではないことや高所における生理的応答に個人差がみられることのほか、高所環境ではトレーニングの質や量を平地と同等のレベルに維持し難い<sup>20)</sup>ことが挙げられる。

このような高所トレーニングが抱える問題性を解決するため、近年では、Living High - Training Low型<sup>9,17)</sup>や低圧シミュレーター等を用いたLiving Low - Training High型<sup>20)</sup>の高所トレーニングが採用されるようになってきた。これらのうちLiving High - Training Low型は、高所に滞在することで生体の高所馴化(受動的効果)を導出するとともに、標高の低い環境でトレーニングを行うことによって、トレーニング量やトレーニング強度を平地のそれらと同レベルに維持(積極的効果)しようとした方法といえる。そのため、Living High - Training Low型を活用する競技者や指導者が増え、成功例も多く輩出されたと思われる。

この点に関し、わが国では、標高1,500 m以上の高度で高所トレーニングを実施する場所の確保が難しく、特に競泳プールに関しては、長野県真田町菅平(海拔1,280 m)、群馬県草津町草津(海拔1,250 m)などに限られる現状にある。最大酸素摂取量に対する標高の影響は、競技能力の高いものほど比較的低い標高から影響を受けやすいとされている<sup>19)</sup>。そのため、たとえ標高が低くても、平地での競技パフォーマンスや作業成績を改善するために準高所トレーニングを実施することの有用性は決して低くはない。しかしながら、準高所トレーニングの有用性について言及した研究<sup>15,16)</sup>は決して多くはなく、特に、準高所トレーニングによって呼吸循環系機能にどのような変化が及ぶかについて、トレーニング歴が長く、かつ、日頃から十分な持続的トレーニングを行っている競技者を対象とした研究は極めて少ない。

そこで、本研究では、準高所(海拔1,280 m)環境における短期間(5日間)の水泳トレーニングが呼吸循環機能に及ぼす影響について検討を加えることを目的とし、比較的競技力の高い男子大学競泳選手4名に対して準高所トレーニング実施前後に漸増負荷テストを実施させ、そのときの最大酸素摂取量、換気量、最高心拍数、疲労困憊に至るまでの運動時間および血中乳酸濃度を測定した。

## 2. 方 法

### (1) 対 象 者

対象は、男子大学生競泳選手4名であった。Table 1に、対象者の身体的特徴、競泳トレーニング歴および専門種目における自己最高記録を示す。対象者は、いずれも全日本選手権およ

Table 1 Characteristics of subjects.

Subject	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI	Training Career (yrs)	Best time (sec)
A	20	180.0	71.5	22.1	16	59.3
B	22	171.8	68.3	23.1	16	23.9
C	21	176.0	71.0	22.9	15	24.3
D	20	173.0	71.0	23.7	15	25.0
mean	20.8	175.2	70.5	23.0	15.5	33.1
± SD	1.0	3.7	1.5	0.7	0.6	17.4

Best time of each subject; Subject B, C, D: Free style 50m, Subject A: Back stroke 100m.

び全日本学生選手権に出場権を有する者を含む, 比較的高い競技レベルにあった。

対象者には, 研究の意義, 内容, 危険性などを十分に説明した。対象者は, それらを理解した上で, 研究の参加に同意した。

## (2) 準高所トレーニングの内容

準高所トレーニングは, 海拔1,280 mに設置されている短水路 (25 m) 競泳プールで行われた。トレーニング実施時間以外については, プールに隣接されている準高所宿泊施設に4泊5日の日程で滞在した。準高所トレーニング期間中には, 競泳トレーニングを7回実施し, トータルで34,311 m泳がせた。準高所トレーニング中のトレーニング量およびトレーニング強度の変化を, Fig.1に示す。なお, Fig.1に示されているトレーニングカテゴリーについては, 先行

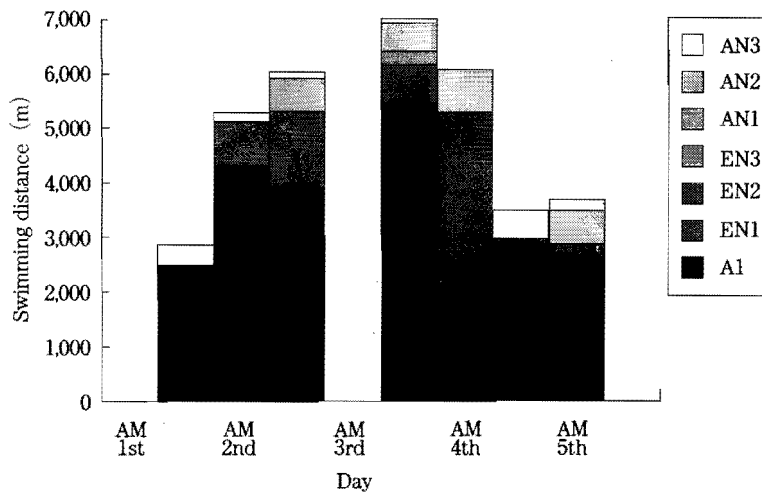


Fig. 1 Swimming distance of each category in low altitude.

研究<sup>18)</sup>にしたがって決定されたものである。つまり、A1は泳ぐための基礎となるエンデュランス・トレーニングであり、EN1は持久性を養うためのスレッショールド・トレーニング、EN2、EN3も同様に持久性を養うためのオーバーロード・トレーニング、AN1以降は競技時に最も必要なスピードやパワーをつくるためのラクテート・トレーニング・トレーニング、AN2はラクテート・ピーク・トレーニング及び、AN3はパワー・トレーニングとして分類されている。

### (3) 漸増負荷テスト

対象者は、準高所トレーニングを実施する2～7日前と、終了5～10日後の間に、自転車エルゴメータ (Ergometer 818e, Monaque社製) を用いた漸増負荷テストを実施した。そのプロトコールについては以下のとおりである。測定は、室温が20～25℃に保たれた環境において、対象者を30分間座位安静に保持させた後に実施された。本研究で採用した漸増負荷テストは、90wattで3分間のウォーミングアップに引き続き、ペダリングの回転数を毎分60回転に保持させ、毎分30wattの漸増率で疲労困憊に至らしめるものであった。測定の終了基準については、最大酸素摂取量のプラトー現象がみられ、かつその低下開始が認められた時点で、ペダリング回転率が毎分50回転以下になったとき、あるいは対象者が運動継続困難であるとの意思を示したときとした。

測定項目は、酸素摂取量、換気量、心拍数、運動開始から測定終了までの運動時間 (以下 Endurance time とする) 及び血中乳酸濃度とした。酸素摂取量、換気量、心拍数の測定については、breath by breathによる測定・分析が可能な携帯型呼気分析機 (M taMax3.0, Cortex社製) を用いて導出した。なお、breath by breathによって採取された呼気ガスデータは、15秒毎の平均値として扱った。血中乳酸濃度については、座位安静時、負荷テスト終了後3分経過時および10分経過時に指尖より採血した血液データを携帯型自動分析機 (Lactate Pro, Arkly社製) にかけることで導き出した。

### (4) 間歇的トレーニングテスト

準高所環境において実施するトレーニングが、平地でのトレーニングに比較してどのような身体負担度になっているか検討を加えるため、準高所曝露7日前と、準高所曝露後4日目に、同一の間歇的トレーニングを実施した。間歇的トレーニングの内容は、予備実験によって予め決定されたOBLAに相当する泳速で行う最大下の規定泳のセット (16×200m on 3:00) と、最大努力で行うセット (8×100m on 3:00) の2種類とした。何れにおいても、間歇泳の泳記録をストップウォッチ (S120-4000, セイコー社製) によって導出し、各セット内の平均を求め

た。また、各トレーニングセット終了後3分経過時の血中乳酸濃度を、負荷漸増テスト時と同様の方法で測定した。なお、上記のトレーニング実施前のウォームアップについては、実験間で同一内容に規定した。

### (5) 統計処理

統計量は、平均値±標準偏差で示した。準高所合宿前後の比較については、対応のあるt-検定を用いた。なお、有意水準は5%未満とした。

## 3. 結 果

### (1) 最大酸素摂取量

Fig.2に、準高所トレーニング前後における最大酸素摂取量の変化を示す。準高所トレーニング実施後の最大酸素摂取量 ( $58.98 \pm 1.02 \text{ ml/kg/min}$ ) は、その実施前 ( $51.13 \pm 4.92 \text{ ml/kg/min}$ ) に比較して、 $14.20 \pm 11.40\%$ の増加が示されていたが、統計的に有意な変化として認めることはできなかった ( $p=0.06$ )。なお、データを個別にみると、すべての対象者において、準高所トレーニング実施後に高い最大酸素摂取量が示されていた。

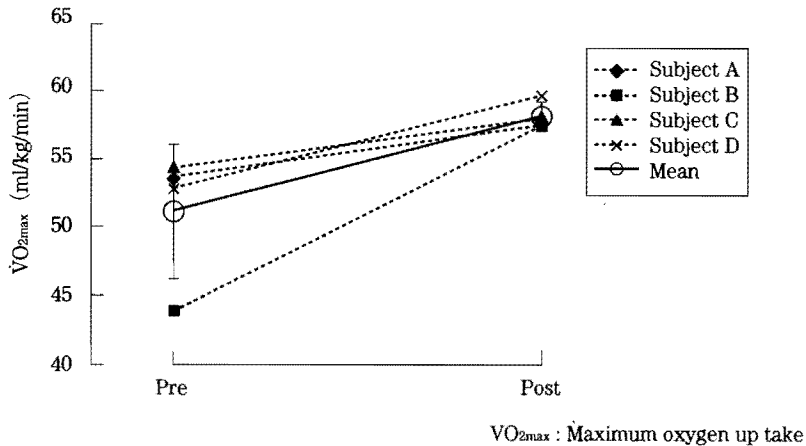


Fig. 2 Change of  $\dot{V}O_{2\max}$  before and after in low altitude training.

### (2) 換気量

Fig.3は、準高所トレーニング前後における換気量の変化を示したものである。1回換気量

は、準高所トレーニングの実施によって、有意ではないが $12.31 \pm 15.30\%$ の増加を示した ( $2.74 \pm 0.43$  vs.  $3.04 \pm 0.32$ l).

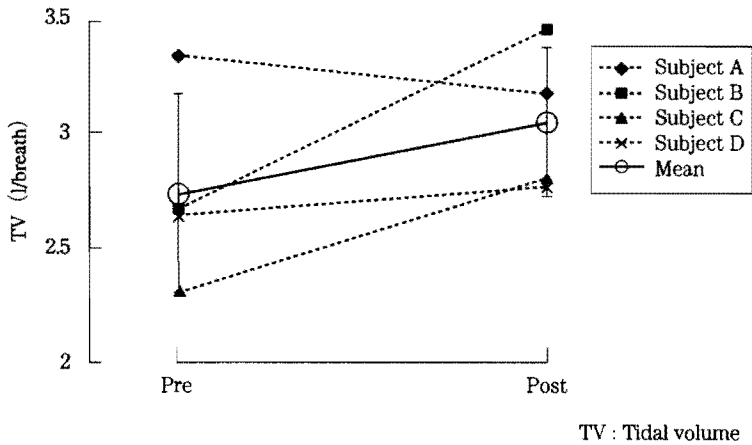


Fig. 3 Change of TV before and after in low altitude training.

Fig.4に最高分時換気量の変化を示す。準高所トレーニング実施前における最高分時換気量は、 $2262.12 \pm 427.97$ ml/kg/minであったが、準高所トレーニング後には $2528.41 \pm 189.58$ ml/kg/minに増加していた。このときの増加量は $14.5 \pm 21.5\%$ であったが、統計的に有意な差を検出することはできなかった。

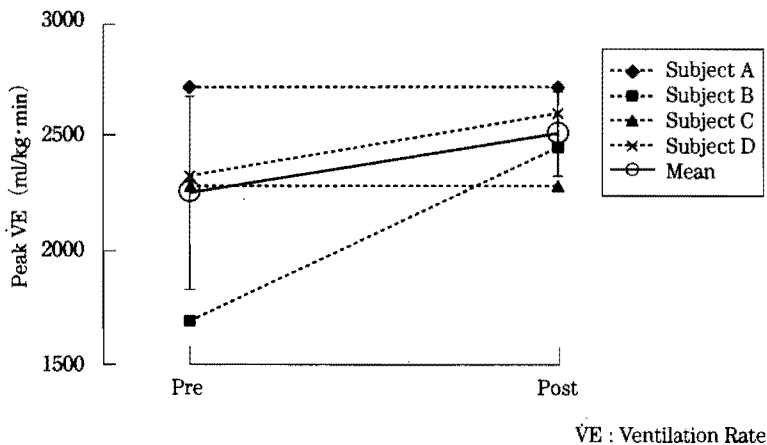


Fig. 4 Change of Peak VE before and after in low altitude training.

## (3) Endurance time

Fig.5に、準高所トレーニング前後における最大酸素摂取量測定開始から終了までに要した運動時間 (Endurance time) の変化を示した。準高所トレーニング実施前のEndurance timeは11分23秒 $\pm$ 0.57であったのに対し、準高所トレーニング後のそれは11分36秒 $\pm$ 0.98であった。Endurance timeについては、対象者4人中、3人に延長傾向がみられた (4.84 $\pm$ 4.52%)。

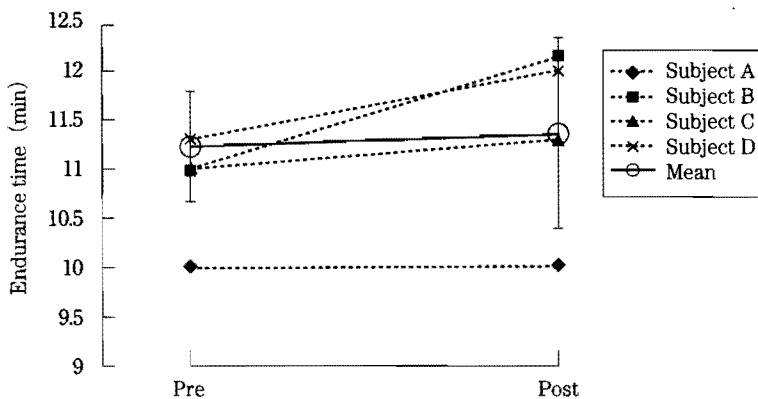
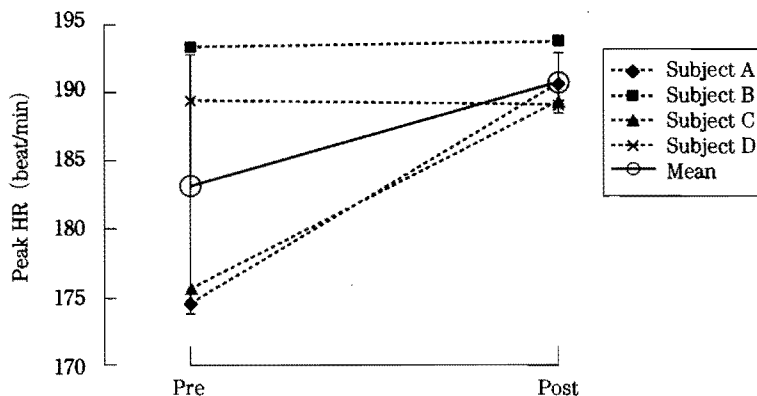


Fig. 5 Change of endurance time before and after in low altitude training.

## (4) 最高心拍数

Fig.6に準高所トレーニング前後における最高心拍数の変化を示した。準高所トレーニング前における最高心拍数は、183.23 $\pm$ 9.48beats/minであり、準高所トレーニング後では190.71 $\pm$ 2.18beats/minとなっていた。準高所トレーニング前後の変化量は4.27 $\pm$ 4.90%であった。



HR : Heart Rate

Fig. 6 Change of Peak HR before and after in low altitude training.

## (5) 血中乳酸濃度

Fig.7に、準高所トレーニング前後における、安静時の血中乳酸濃度、最大酸素摂取量測定後の3分および10分経過時の変化を示した。運動終了3分後および10分後の血中乳酸濃度は、何れにおいても、準高所トレーニング後 ( $13.73 \pm 1.77\text{mmol/l}$ ,  $11.00 \pm 1.35\text{mmol/l}$ ) で、トレーニング前 ( $11.00 \pm 0.24\text{mmol/l}$ ,  $7.98 \pm 0.70\text{mmol/l}$ ) よりも高い値 ( $25.1 \pm 18.7\%$ ,  $38.9 \pm 22.0\%$ ) が示されており、特に10分後の値については有意差 ( $p < 0.05$ ) が認められた。

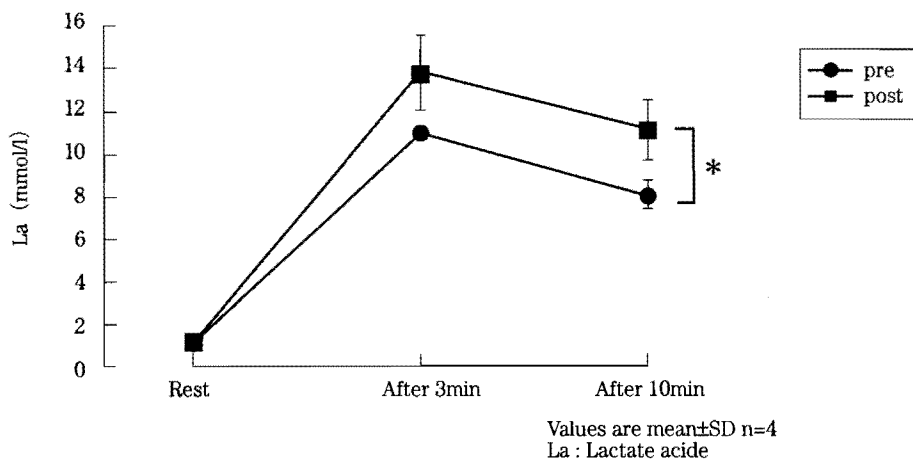


Fig. 7 Change of La concentration before and after in low altitude training.

## (6) 間歇的トレーニングにおける平均タイム及び血中乳酸濃度

間歇的トレーニングの平均タイム及び間歇的トレーニング終了後の血中乳酸濃度を、それぞれFig.8及びFig.9に示した。平均タイムについては、最大下及び最大努力の何れの運動強度においても、準高所トレーニング前と準高所トレーニング時ではほぼ同じであった ( $141.79 \pm 2.07$  秒 vs.  $142.28 \pm 2.33$  秒及び  $61.87 \pm 1.59$  秒 vs.  $63.30 \pm 1.12$  秒)。血中乳酸濃度については、最大下のセットでは、準高所環境 ( $6.14 \pm 2.66\text{mmol/l}$ ) で、通常トレーニング時 ( $3.83 \pm 2.29\text{mmol/l}$ ) よりも有意に高い値が示されていた。他方、最大努力を強いるセット後に示された血中乳酸濃度については、準高所環境で若干低くなるものの、有意差は認められなかった。



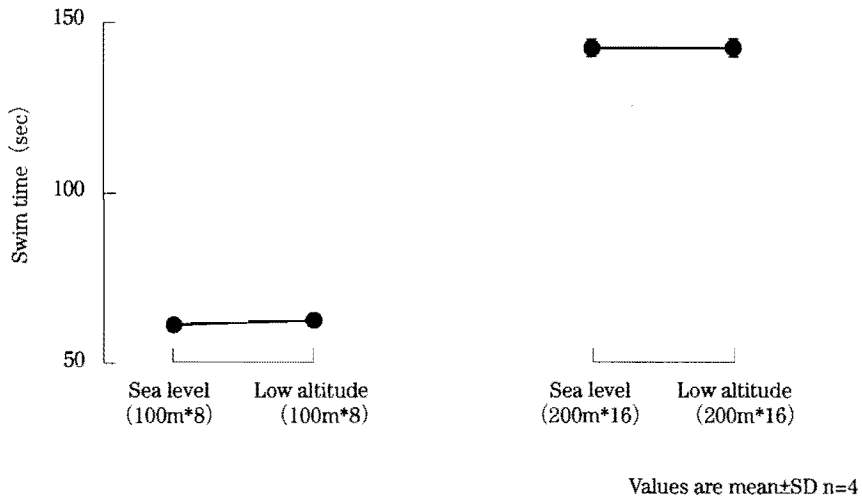


Fig. 8 Compare with Sea level and Low altitude swim time.

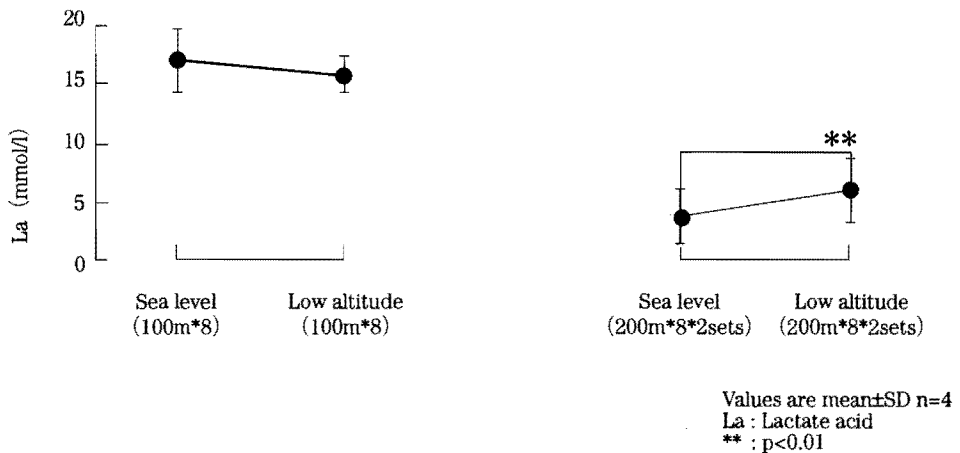


Fig. 9 Compare with Blood Lactate concentration seal level and low altitude swim.

#### 4. 考 察

##### (1) 準高所トレーニングが最大酸素摂取能力に及ぼす影響

本研究では、競技レベルの高い男子競泳選手を対象に、海拔1,280mにおける短期間（4泊5日間）の準高所トレーニングが平地での呼吸循環系機能に及ぼす影響を検討した。

先ず、準高所トレーニングにより、対象者全員の最大酸素摂取量が改善され、4人の平均値としてみても、有意ではないもの（ $p=0.06$ ）、準高所トレーニングによって改善される可能性

を示唆するデータが得られた (Fig.2). このような結果は, 短期間の準高所トレーニングを実施しても, 最大酸素摂取量には大きな変化は認められないとする欄屋ら<sup>16)</sup>の報告とは異なるものであった. この異なる結果については, 欄屋らが高校の女子選手を対象としていたのに対し我々は大学生の男子選手であったことや, 我々とは準高所滞在中におけるトレーニング強度や量の違いによるものかも知れない. 高所トレーニングが平地における作業成績に及ぼす影響について, 一致した見解が得られていないとのことからも, 今後準高所トレーニング後における平地での競技パフォーマンスや作業成績の検討において, 対象者を増やし, 測定項目もより詳細な結果を得られるよう工夫していく必要があるであろう.

高所環境における最大酸素摂取量の低下現象については, 標高が1,500mを超える場合, 1,000mの高度上昇につき, 指数関数的に10%程度減少するとされている<sup>2)</sup>. また, 競技能力の高い者ほど, 比較的低い標高においても低酸素の影響を受けやすい<sup>19)</sup>. さらに, 標高1,000~1,300mであったとしても, 高所(1,800~2,000mもしくはそれ以上)と同様の生理的初期効果が得られ, 適応後は平地とほぼ同様な能力を発揮できるようになるとする意見<sup>11)</sup>もみられる. これらの知見に関し, 本研究で対象とした競技者の特性, トレーニング歴が長く, 日頃から十分なトレーニングを実施しており, 非鍛錬者に比して極めて高い最大酸素摂取能力を持っていたことを鑑みれば, 海拔1,280mという準高所においても, 準高所環境の影響を受けやすかったことが推察される.

一方, 準高所トレーニングの実施により認められた酸素摂取量の変化と同様の傾向が, 1回換気量及び最大分時換気量についてみられた (Fig.3). 高度の上昇に伴い吸気酸素分圧の低下が起こり, それにより肺胞および動脈血中の酸素分圧も低下するが, 高度が3,000m以上になると, 血中酸素分圧の低下に敏感な末梢化学受容器(頸動脈小体, 大動脈体)が刺激され, 換気量が増大し始める<sup>13)</sup>. このような現象は, 準高所(海拔1,000m)においても, わずかながらみられることが報告されている<sup>10)</sup>. 本研究では, 準高所における換気量を定量していないため, 準高所トレーニング時に換気量が上がっていたかどうか言及することはできないが, 呼吸系機能に, 高い負荷が関わっていた可能性を否定することはできない. すなわち, 本研究で実施した準高所トレーニングは, 準高所環境による低酸素の影響と, 水中での止息を伴う中等度から高強度のトレーニングによる影響を複合的に受けるため, トレーニング中に低下するであろう酸素摂取量を補償するため, より一層の努力呼吸を強いられることになる. そのような強い刺激が呼吸循環系に及んだ結果, 平地における漸増負荷テスト時の酸素摂取量および換気量が改善したのかも知れない.

最大酸素摂取量の改善においては, トレーニング強度が重要な一要因となる. しかし, 通常

の高所環境では最大酸素摂取量の低下から、平地と比較して十分なトレーニング強度が確保できない可能性が高い。これに対し、今回我々が滞在したような準高所環境下では、トレーニング強度を保つ、あるいは増強させたトレーニングを実施できる可能性が考えられる。この点について検証するため、準高所トレーニングを実施する1週間前と、準高所滞在後4日目に、OBLA相当の間歇泳と最大努力で行う間歇泳で構成される同一の間歇的トレーニングセットを実施した。

OBLA相当の間歇泳についてみると、通常トレーニング時と準高所トレーニング時で泳タイムが同じであったにも拘わらず (Fig.8), 準高所時の血中乳酸濃度は顕著に高くなることが明らかとなった (Fig.9)。一方、最大努力を強いる間歇的トレーニングにおいては、平地と準高所環境ではほぼ同様の泳タイムと血中乳酸濃度が示されていた (Fig.8, Fig.9)。このことは、本研究で対象環境とした海拔1,280mであれば、平地と同様の泳感覚での最大努力泳を、運動強度を損なうことなく実施することが可能になることを示唆するものである。したがって、準高所トレーニング期間に、高強度の持久的トレーニングを実施できたことが、準高所トレーニング終了後における平地での最大酸素摂取量の改善に大きく影響したのであろう。

何れにしても、本研究では対象者数が極めて少なかったため、今後、対象者数を増やして準高所トレーニングが最大酸素摂取量および換気量に及ぼす影響について検討を加え、より明らかな知見を提供していきたい。

## (2) 準高所トレーニングがEndurance timeに及ぼす影響

次に、負荷漸増テスト時の総運動時間、すなわちEndurance timeの変化から、準高所トレーニングが身体作業能力に及ぼす影響について検討を加えた。

Endurance timeは、準高所トレーニングによって僅かに増加する傾向にあったが、その変化は有意なものではなかった (Fig.5)。この結果は、間歇的な低酸素トレーニングにはトレーニング後のEndurance timeを延長させる効果があるものの、その効果が平地で得られたトレーニング効果に比較して有意に違わなかったとする片山らの報告<sup>9)</sup>に近似している。この点、本研究で対象とした競技者のトレーニング歴やトレーニング実施状況に鑑みれば、対象者の持久的諸能力はほぼ上限に達しており、Endurance timeを延長させることは極めて困難な競技者であったと考えても差し支えはない。そのような対象者4名のうち、3名においてEndurance timeの改善がみられたことは特筆に値しよう。

準高所トレーニングによって延長されたEndurance timeは、最大酸素摂取量および換気量の改善といった呼吸循環系機能の変化に因るもののほか、解糖系エネルギー代謝の改善など、

末梢性の要因が変化することに因って生じた可能性が考えられる。本研究で実施した負荷漸増テスト時に記録された心拍数のピーク値 (Fig.6) やテスト終了後の血中乳酸濃度 (Fig.7) は、準高所トレーニング実施後に顕著に高まっていた。このことに関し、Mizuno<sup>14)</sup>らは高所トレーニングの前後で腓腹筋外側頭における筋緩衝能の増加率と、トレッドミル走における疲労困憊までのランニング走行時間の充進率との間に正の相関があると報告している。血中乳酸濃度のみの測定となった本研究の結果から、筋緩衝能の変化の有無について言及することはできないが、準高所トレーニングにおいて高強度のトレーニングが可能となった結果、このような筋緩衝能の改善が生じ、高強度運動における疲労困憊までの遅延現象<sup>4)</sup>が起きたのかも知れない。

本研究では、準高所における超高強度の間のトレーニング時の作業能力 (平均タイム) と、トレーニング実施後の身体負担度 (血中乳酸濃度) を定量化し、通常環境で得られたデータとの比較から、少なくとも海拔1,280m程度の準高所であれば、運動強度を損なうことはないといえる結果を得た (Fig.9)。この点に関し、今回は準高所曝露期間が短期間 (5日間) であったため、平地と準高所における超高強度のトレーニング時の身体負担度に有意差は認められなかったが、より長期にわたるトレーニングにより、平地では得られないような高い運動強度でのトレーニングを実施することが可能となり、結果、高い乳酸耐性能力や筋緩衝能を獲得できるかも知れない。

今後、このような観点から準高所トレーニングの効果について議論を進めるため、準高所環境における高強度および超高強度トレーニングの効果について、基礎的なデータを収集する必要がある。

## 5. ま と め

本研究では、トレーニング歴が長く、かつ日頃から十分な持久的トレーニングを実施している男子大学競泳選手を対象として、海拔1,280mという準高所環境に4泊5日間滞在し、かつ、集中的に競泳トレーニングを実施することが、平地での呼吸循環系機能にどのような影響を及ぼすかについて検討を加えた。そのため、準高所トレーニングの実施前と実施後に、平地において疲労困憊まで追い込む負荷漸増テストを実施し、そのときの最大酸素摂取量、換気量、最高心拍数、疲労困憊に至るまでの運動時間 (Endurance time) および血中乳酸濃度を導出した。本研究の結果、準高所トレーニングの実施後において、最大酸素摂取量、換気量及びEndurance timeが改善される傾向がみられた。また、テスト時の最高心拍数及びテスト終了後の血中乳酸濃度についても、準高所トレーニングによって高まることがわかった。以上のこ

とから, 本研究で対象としたような競技者では, 国内においても比較的手軽に実施することが可能な準高所でのトレーニングにより, 呼吸循環系機能が高まり, 結果, 平地での作業成績に肯定的な影響が及ぶ可能性が示唆された。

#### 参考文献

- 1) 青木純一郎, 小倉裕司 (2004) 低酸素トレーニングの歴史, 臨床スポーツ医学 21 : 1-6.
- 2) 浅野克己 (1999) 高所トレーニングの生理的意義と最近の動向, 臨床スポーツ医学 16 : 505-516.
- 3) 浅野克己 (1989) 高地トレーニング, スポーツ医学 103-110.
- 4) 浅野克己, 小林寛道 (2004) 高所トレーニングの科学, 株式会社杏林書院.
- 5) Adams, W.C., Bernauer, E.M., Dill, D.V., Bomar, J. Jr. (1975) Effect of equivalent sea-level and altitude training on Vo<sub>2</sub> max and running performance. *J. Appl. Physiol.* 39 : 262-266.
- 6) Chapman, Robert F., Stray-Gundersen, James and Levine, Benjamin D. (1998) Individual variation in response to altitude training. *J. Appl. Physiol.* 85 : 1448-1456.
- 7) Daniels, J. and Oldridge, N. (1970) The effect of alternate exposure to altitude and sea level on world-class middle-distance runner. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2 : 107-112.
- 8) 伊藤穂, 鈴木康弘, 山崎一彦, 高松薫 (2001) 低酸素トレーニングによる緩衝能の改善が高強度パフォーマンスに及ぼす影響, デサントスポーツ科学 22 : 117-126.
- 9) 片山敬章, 佐藤靖丈, 諸留克史, 島典広, 森滋夫, 石田浩司, 宮村実晴 (1999) 間欠的低酸素トレーニングが身体パフォーマンスに及ぼす影響, デサントスポーツ科学 10 : 78-86.
- 10) 川上泰雄, 福永哲夫, 野崎大地 (1992) 準高所における運動に対する生理的応答—平地との比較から—, 東京大学教養学部紀要 26 : 89-94.
- 11) 小林寛道 (2001) 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 : 260-265.
- 12) Levine, Benjamin D. and Stray-Gundersen, James (1997) "Living high-training low" : effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J. Appl. Physiol.* 83 (1) : 102-112.
- 13) 宮村実晴 (2001) 低酸素環境における換気応答, 体育の科学 51 : 281-285.
- 14) Mizuno, M., Juel, C., Bro-Rasmussen, T., Mygind, E., Schibey, B., Rasmussen, B., Saltin, B., (1990) Limb skeletal muscle adaptation in athletes after training at altitude. *J. Appl. Physiol.* 68 : 496-502.
- 15) 森谷 暢, 藤原寛康, 加藤健志, 今村貴幸, 高橋雄介 (2005) 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 : 77-94.
- 16) 欄屋光男, 杉田正明, 川本竜史, 渡會公治, 川原貴 (1999) 標高1,300 mにおける水泳トレーニングが生理機能に及ぼす影響, 体力科学 48 : 393-402.
- 17) Stray-Gundersen, James, Chapman, Robert F. and Levine, Benjamin D. (2001) "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J. Appl. Physiol.* 91 : 1113-1120.
- 18) 高橋雄介, 吉村 豊 (1995) 男子大学競泳選手のトレーニングプログラム—最近3年間の比較検討—, 中央大学保健体育研究所紀要 13 : 55-88.
- 19) Terrados, N., Mizuno, A., Anderson, H. (1985) Reduction in maximal oxygen up take at low altitudes; role of training status and lung function. *Clini. Physiol.* 5 (suppl 3) 65-72.
- 20) (財) 日本体育協会・高地トレーニング医・科学サポート研究班 平成13年度 日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告 No.IV JOC高地トレーニング医・科学サポート 第11報.