

競泳選手における準高所トレーニングの可能性

森 谷 暢 藤 原 寛 康
加 藤 健 志 今 村 貴 幸
高 橋 雄 介

要 約

エリートレベルの大学男子長距離競泳選手4名を対象に、16日間の準高所（海拔1280m）トレーニングを実施した。準高所トレーニング期間中とその前後に合計5回の乳酸カーブテストを実施した。本テストは、5セットの400mのクロール泳によって構成されており、そのときの泳速度、血中乳酸濃度、心拍数、動脈血酸素飽和度間の関連性を調査した。また、血中乳酸濃度2.5mmol/lおよび4.0mmol/lに相当する泳速度（それぞれ $V_{2.5}$ および $V_{4.0}$ とする）でそれぞれ100mを15回ずつ行う間歇的トレーニングを行わせ、そのときの血中乳酸濃度、心拍数、動脈血酸素飽和度の測定を行った。泳速度—血中乳酸関係、泳速度—心拍数関係および泳速度—動脈血酸素飽和度関係は、準高所曝露3日後に顕著な変化を示し、 $V_{2.5}$ および $V_{4.0}$ は、曝露前に比較して有意に減少していた。間歇的トレーニング後の血中乳酸についてみると、準高所曝露後2日目では曝露前に対して有意に高い値が示されたが、6日目には曝露前とほぼ同様の値が示されていた。さらに、 $V_{2.5}$ 、 $V_{4.0}$ および最大努力での400mクロール泳のパフォーマンスは、準高所トレーニング終了後に有意に向上した。これらの知見から、エリートレベルにある競泳選手を対象とした準高所トレーニングのための有益な資料を得ることができた。

1. 緒 言

トレーニング歴が長く、競技レベルの高い競技者やそのコーチが高所トレーニングの導入を検討する機会は少なくない。実際、マラソンの高橋尚子選手や競泳の北島康介選手など、優れた競技成績を残した日本人競技者が高所トレーニングを積極的に取り入れていたことは周知の事実である。

高所トレーニングの成果を左右する要因のひとつに、用いる標高がある。1968年に海拔2300mで開催されたメキシコオリンピック大会を契機に、アスリートの高地トレーニングやそれらの研究がさかんに実施された¹⁻³⁾ ことなどから、1500～2500m程度の標高を用いトレーニ

ングを行うアスリートが多い。しかしながら、水泳プールが必要不可欠となる競泳トレーニングの場合、海拔1500mより低い高度（以下では準高所とする）を用いざるを得ないこともある。

ヒトの最大酸素摂取量は、低酸素環境下において逡減することはよく知られた事実であるが、最大酸素摂取量の高い人は、低い人に比べて低酸素の影響を強くうける^{10,13,14)}。また、エリートアスリートは、1000mに満たない標高でも、最大酸素摂取量の低下が認められる^{5,13,14)}。

したがって、よくトレーニングされた一流選手を対象とした場合、1500m以下の標高でのトレーニングにおいても高所効果が得られると考えられる。この点については、比較的鍛錬された競泳選手を対象とした準高所トレーニングにおける身体負担度やその効果が明らかにされつつある^{6,11)}ものの、このような報告はいまだ数少ないのが現状である。

本研究では、トレーニング歴が長く、かつ競技力の高い競技者が準高所でのトレーニングを積極的に取り入れるための資料を得ることを目的とした。そのため、対象を全国大会入賞経験のある競泳選手に限定し、準高所で実施した水泳トレーニングとその前後の生理的反応について検討を加えた。

2. 方 法

(1) 対 象 者

対象は、男子エリート競泳選手4名であった。表1に、対象の身体的特徴、競泳トレーニング歴、競技レベルを示す。対象者は、何れも前シーズンの全国大会の400mまたは1500m自由形において8位以内に入賞しており、そのうち1名は400m自由形において優勝していた。

対象者は、前シーズン終了後、3週間の脱トレーニング期間を経た後、22週間にわたって

Table 1 Characteristics of subjects

SUBJECTS	AGE (yrs)	HEIGHT (cm)	WEIGHT (kg)	Training Career (yrs)	NATIONAL RANKING (1500m FR)
A	20	173.0	65.8	13.0	9.0
B	19	178.0	88.2	10.0	13.0
C	18	172.0	62.1	11.0	26.0
D	18	171.0	59.0	11.0	37.0
mean	18.8	173.5	68.8	11.3	21.3
±SD	1.0	3.1	13.2	1.3	12.8

50.0 ± 23.6km/weekの水泳トレーニングを実施した状態で、準高所トレーニングとそれに伴う測定に参加した。

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、これらを理解した上で研究の対象者になることに同意した。

(2) 準高所トレーニング計画と測定内容

表2に、水泳トレーニングとこれに伴う測定の概要を示す。なお、水泳トレーニングと水泳中の測定は、短水路(25m)競泳プールで実施された。

対象者は、15泊16日の間、連続的に海拔1280mに滞在し、この間21回の水泳トレーニングを行った。本研究期間は、その前後2日間ずつを含む20日間とした(表2)。本期間の週当たりの水泳距離は、2週目(トレーニング開始23週)では59.8km、2週目(24週)では83.7km、3週目(25週)では75.3kmであった。これらは、本研究実施前の3週間(20~22週)の平均泳距離のそれぞれ89%、124%、112%に相当した。

準高所トレーニング期間中とその前後に血液検査、乳酸カーブテスト、間歇的トレーニングテストを実施した。血液検査は、準高所トレーニング2日前、2日目、1日後に実施した。乳酸カーブテストは、準高所トレーニング1日前、3日目、11日目、15日目、2日後に実施した。間歇的トレーニングテストは、準高所トレーニング1日前、2日目、6日目、13日目に実施した(表2)。

(3) 血液検査

採血は、高所滞在56時間前(2日前)、滞在開始17時間後(2日目)、滞在終了16時間後(1日後)に実施した(表2)。採血は午前9時より実施され、対象者には採血前少なくとも10時間の絶食が指示された。また、高所滞在前後の採血にあたっては、前日の水泳トレーニング

Table 2 Training and measurement schedule during the low altitude training camp

day	-2	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	1	2
swim training (AM)		○			○	○		○	○		○	○	○		○	○	○		○	○
swim training (pm)	○	○	○	○				○	○	○		○	○	○	○	○	○		○	○
blood test	○			○															○	
Lactate Curve Test		○			○								○					○		○
Intermittent Test		○		○				○							○					

を実施させず、激しい身体活動が行われないように配慮した。

採血検体は、ただちに摂氏4℃の冷却状態で3000rpmの遠心分離を10分間施した後、冷蔵保存した状態で臨床検査機関（立川臨床医学研究所，東京）に提出した。電気抵抗法により赤血球数およびヘマトクリットを，SLSヘモグロビン法によりヘモグロビン濃度を，フローサイトメリー法により網状赤血球数を，RIA法によりエリスロポエチンを，計算法により平均赤血球容積（MCV），平均赤血球ヘモグロビン量（MCH）および平均赤血球ヘモグロビン量（MCHC）を求めた。滞を開始17時間目に得られた血液サンプルについては，エリスロポエチンの分析のみとした。

(4) 乳酸カーブテスト

図1に，乳酸カーブテストのプロトコールを示した。本テストは，400mのクロール泳を試技毎に泳速度を漸増させて4～5回実施することで，泳速度—乳酸曲線を導出するものである。最大下で行われる4回の400m泳については，予め設定した泳速度により運動強度を規定した。この点については，テスト実施前の3ヶ月間に実施された最大努力での30分間泳の平均泳速度を400mあたりの泳記録に換算したものを基準タイムとした。この基準タイムは，次式により算出した。

$$\text{基準タイム (秒)} = 1800 \text{秒} \times 400\text{m} / \text{最大努力30分間泳到達距離 (m)}$$

乳酸カーブテスト時の4回の最大下泳においては，第3試技と第4試技の間にOBLA（Onset of Blood Lactate Accumulation）が出現するようなプロトコールの設定を目指し，第1試技（T₁），第2試技（T₂），第3試技（T₃）および第4試技（T₄）の設定泳タイムをそれぞれ基準タイム+20秒，基準タイム+10秒，基準タイム，基準タイム-10秒に設定した。この点に関し，T₃を基準タイムとした理由については，対象者の30分間最大努力泳直後の血中乳酸濃度が3.5mM程度になることを確認（未発表資料）した結果である。なお，第5試技（T₅）は400mの最大努力泳としたが，準高所滞在時のテストにおいては，T₄までのプロトコール設定とした（図1）。

対象者にはT₁からT₄までの泳速度を泳タイムに換算したもので示し，テスト間でそれぞれの泳タイムが同一となるよう指示を与えた。試技間の休息については，それぞれのテストにおける最終試技とその直前の試技間のみ10分間とし，その他については5分間に設定した。

各試技における平均泳速度（以下Vとする），血中乳酸濃度（以下Laとする），心拍数（以下HRとする），主観的運動強度（RPE），動脈血酸素飽和度（以下SpO₂とする）を求めた。

Vは，400m泳所要時間をストップウォッチ（S120-4000，セイコー社製）によって計測し，

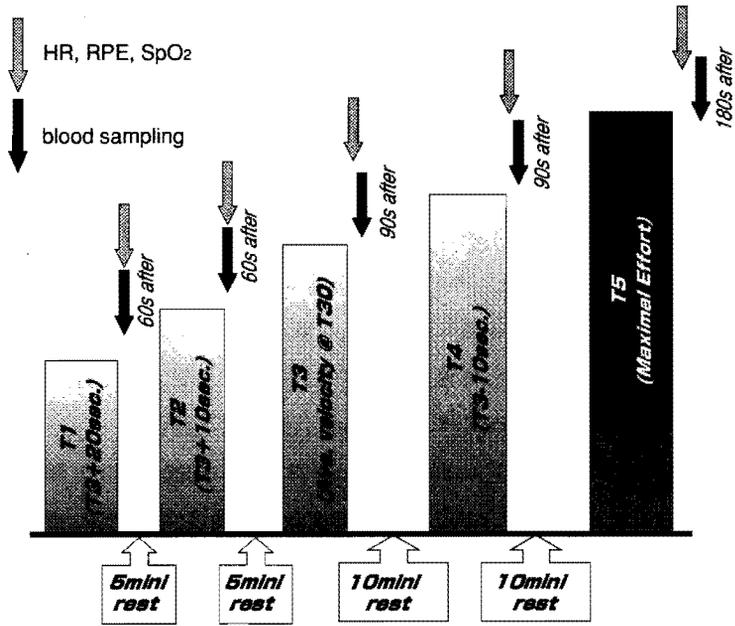


Fig. 1-a Protocols for Lacate Curve Test
<Sea level>

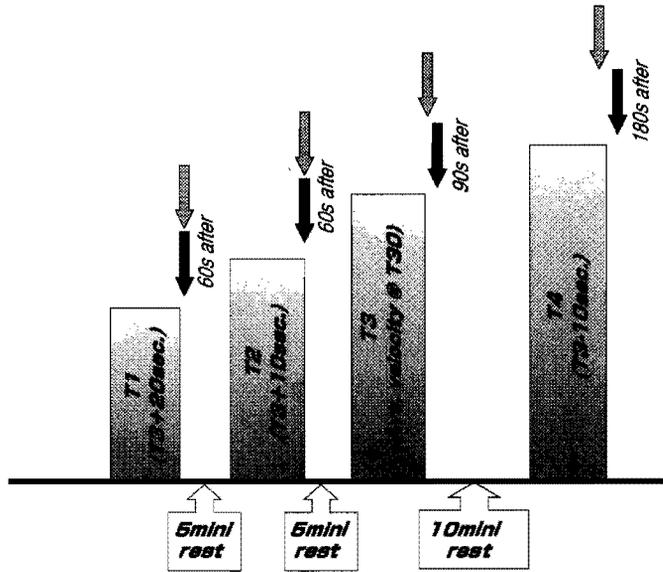


Fig. 1-b Protocols for Lacate Curve Test
<Low Altitude>

水泳距離を所要時間で除すことで算出した。Laについては、第1試技と第2試技では運動終了60秒後、第3試技と第4試技では運動終了90秒後、第5試技では運動終了180秒後に、指尖から湧出させた血液を携帯型自動分析機（ラクテートプロ、アークレイ社）にかけることで導出した（図1）。HRは、運動終了後直ちに対象者自身に防水型心拍トランスミッター（バンテージXL, Polar社）を胸部にあてさせ、運動終了後の最高値を導出した。SpO₂については、運動終了後直ちに携帯型パルスオキシメータ（N-20, Nellcor社）のプロープを左手人差し指に装着することで導出した。RPEについては、HRおよびSpO₂の測定が終了後、直ちにBorgの15スケールの日本語対応表を対象者に提示し、対象者に口頭で回答させた。

V-La曲線は、Vを独立変数、Laを従属変数とする二次回帰分析により算出した（図2）。この曲線関係から、血中乳酸濃度2.5mMおよび4.0mMに相当する泳速度（V_{2.5}・V_{4.0}）を算出した。すなわち、V_{2.5}およびV_{4.0}は、V-La曲線に2.5mMおよび4.0mMの血中乳酸濃度の値を内挿することで算出した（図2）。また、VとLa以外の変数間の関連性（V-HR、V-RPE、V-SpO₂）については、Vを独立変数、もう一方を従属変数とする一次回帰分析を行うことで求めた（図2）。これらの関連性からは、V_{2.5}およびV_{4.0}出現時のHR（HR@V_{2.5}、HR@V_{4.0}）、RPE（RPE@V_{2.5}、RPE@V_{4.0}）およびSpO₂（SpO₂@V_{2.5}、SpO₂@V_{4.0}）を求めた。すなわち、V-HR直線、V-RPE直線、V-SpO₂直線にそれぞれV_{2.5}およびV_{4.0}の値を内挿することで、上記評価値を算出した（図2）。

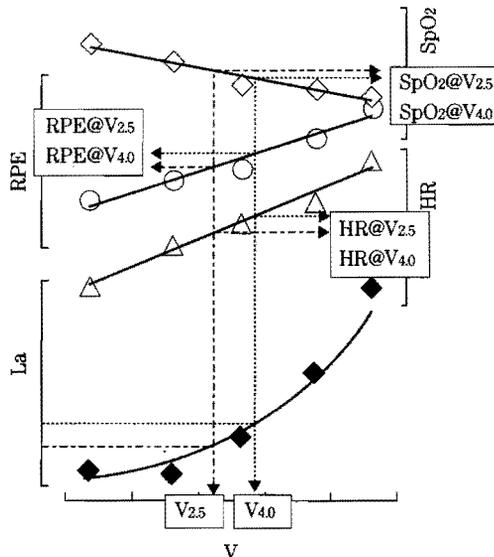


Fig. 2 How to find a relative evaluation value from Lactate Curve Test

(5) 間歇的トレーニングテスト

間歇的トレーニングテストは、80秒毎に100mを15回繰り返す間歇的水泳運動を1セットとし、それを2度繰り返すものであった。このときの運動強度については、1セット目を $V_{2.5}$ 、2セット目を $V_{4.0}$ に設定した。対象者に対する運動強度の指示を、100mあたりの泳タイムで行った。運動間の休息は、80秒から運動時間を差し引いた時間であり、運動時間と休息時間については、1セット目で64秒と16秒、2セット目で62秒と18秒となった。

間歇的トレーニングテストでは、間歇的水泳運動における平均泳速度 (V) をセット毎に求めた。また、各セット終了後には、乳酸カーブテスト時と同一の手順によって La 、 HR 、 RPE および SpO_2 の測定を行った。

(6) 統計処理

測定値は、平均値±標準偏差で示した。各測定・分析項目における平均値の経時的变化の検定については、Bonferroniの多重比較法を用いた。なお、本検定は、二元配置散分析によって有意差が認められた項目についてのみ、適用した。有意水準については、5%に設定した。

3. 結 果

(1) 血液検査

図3に、準高所滞在の前後と滞在開始2日目に行われた血液検査の結果を示した。赤血球数 ($5.05 \pm 0.08 \cdot 10^{-6}/\mu\text{l}$ vs. $5.12 \pm 0.15 \cdot 10^{-6}/\mu\text{l}$)、ヘモグロビン濃度 ($15.43 \pm 0.40\text{g/dl}$ vs. $15.60 \pm 0.81\text{g/dl}$)、ヘマトクリット ($46.63 \pm 1.40\%$ vs. $46.90 \pm 1.80\%$)、 MCV ($92.50 \pm 3.11\text{fl}$ vs. $91.75 \pm 2.50\text{fl}$)、 MCH ($30.60 \pm 1.10\text{pg}$ vs. $30.45 \pm 1.16\text{pg}$)、 $MCHC$ ($33.10 \pm 0.43\%$ vs. $33.25 \pm 0.53\%$) については、準高所滞在の前後ではほぼ同一であった。網状赤血球数 ($9.25 \pm 4.19\%$ vs. $13.50 \pm 5.74\%$) では、有意差は認められなかったものの、4名中3名の値が準高所滞後に高まっていた。また、エリスロポエチン ($17.63 \pm 6.10 \text{ mU/ml}$, $23.13 \pm 6.51 \text{ mU/ml}$ vs. $14.50 \pm 2.89 \text{ mU/ml}$) については、対象者全員が滞在2日目に高くなる傾向が示されたが、統計上有意ではなかった。

(2) 乳酸カーブテスト

表3に、乳酸カーブテストにより得られた全変数の結果を示す。なお、高所滞在開始11日後と滞在終了後の乳酸カーブテストを実施できなかった対象者Aは、統計処理対象外とした。

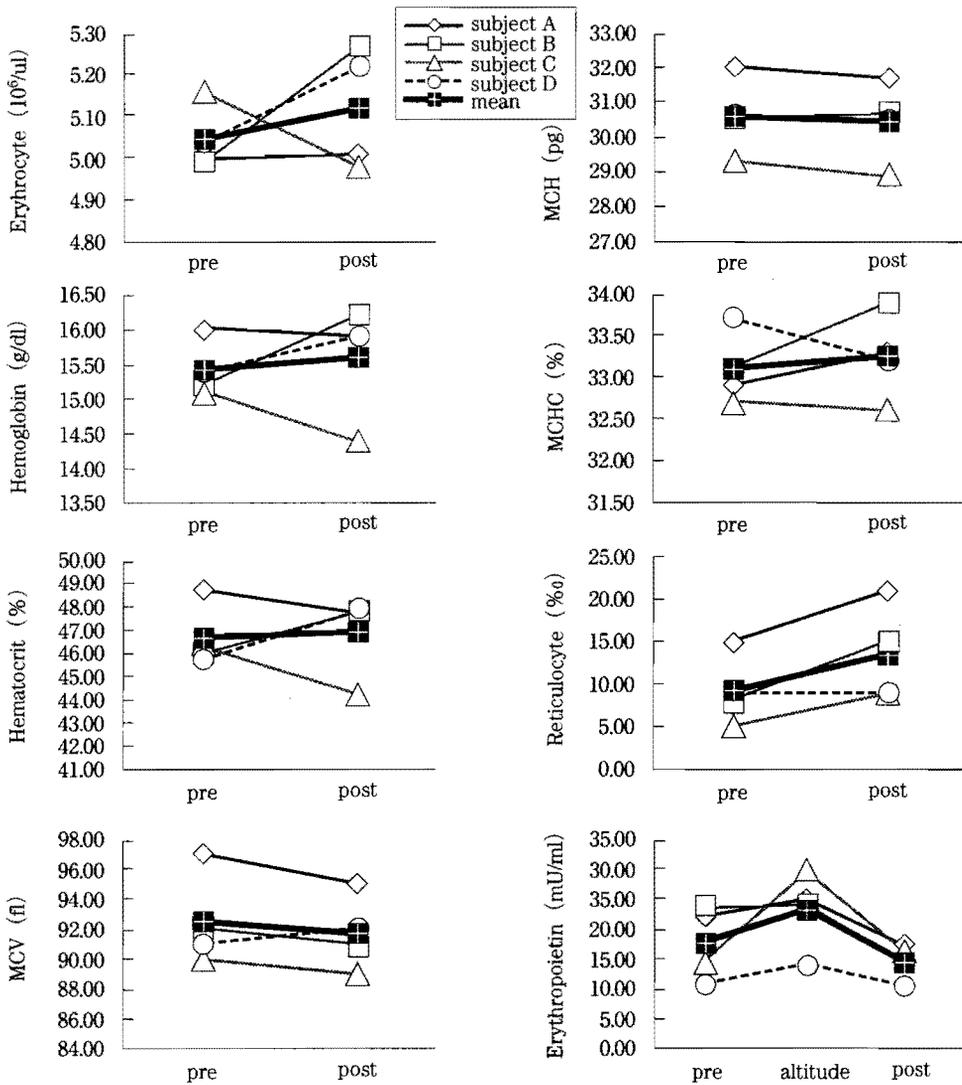


Fig. 3 Results of blood tests for considering the adaptation to low altitude

また、高所滞在開始15日目に実施したテストについては、対象者Bが体調不良のために当該テストを行えず、結果、統計対象者が2名となったため、統計処理の対象から外した。

最大下競技 (T₁, T₂, T₃, T₄) においてテスト間で大きな差が認められたのは、La (T₁, T₄), HR (T₂, T₃, T₄), SpO₂ (T₄) であり、何れも滞在開始3日後で顕著な変動が示されていた (表3)。他方、最大努力泳であるT₅では、RPEについてのみテスト間の有意差が認められた (表3)。

Table 3 Physiological responses to Lactate Curve Test

	pre	day 3	day 11	post
V@T ₁ (m/sec)	1.42 ± 0.02	1.42 ± 0.01	1.41 ± 0.02	1.42 ± 0.02
V@T ₂ (m/sec)	1.48 ± 0.02	1.47 ± 0.02	1.45 ± 0.03	1.47 ± 0.02
V@T ₃ (m/sec)	1.53 ± 0.02	1.53 ± 0.00	1.52 ± 0.02	1.52 ± 0.03
V@T ₄ (m/sec)	1.59 ± 0.02	1.60 ± 0.01	1.58 ± 0.02	1.58 ± 0.02
V@T ₅ (m/sec)	1.63 ± 0.04			1.67 ± 0.03
La@T ₁ (mmol/l)	1.33 ± 0.31	1.87 ± 0.15	1.20 ± 0.10	1.07 ± 0.15
La@T ₂ (mmol/l)	1.23 ± 0.21	1.83 ± 0.40	1.37 ± 0.21	1.03 ± 0.15
La@T ₃ (mmol/l)	2.17 ± 0.15	3.87 ± 1.53	2.33 ± 0.12	1.40 ± 0.26
La@T ₄ (mmol/l)	4.57 ± 0.98	11.13 ± 2.31	5.40 ± 1.48	2.87 ± 0.38
La@T ₅ (mmol/l)	10.33 ± 0.99			10.67 ± 1.69
HR@T ₁ (beats/min)	122.67 ± 17.21	144.67 ± 9.24	134.67 ± 14.19	136.00 ± 3.46
HR@T ₂ (beats/min)	151.33 ± 5.13	156.67 ± 4.04	145.33 ± 8.08	140.00 ± 3.46
HR@T ₃ (beats/min)	162.67 ± 2.52	169.00 ± 10.54	164.33 ± 3.21	152.00 ± 3.46
HR@T ₄ (beats/min)	175.33 ± 4.16	180.67 ± 6.51	170.67 ± 4.62	162.67 ± 5.03
HR@T ₅ (beats/min)	180.33 ± 8.96			180.00 ± 10.39
RPE@T ₁	7.67 ± 1.53	10.67 ± 4.04	9.00 ± 3.46	9.00 ± 2.65
RPE@T ₂	11.00 ± 2.65	11.67 ± 4.16	11.33 ± 2.52	11.67 ± 2.08
RPE@T ₃	12.00 ± 2.65	14.33 ± 3.06	13.67 ± 2.08	13.00 ± 1.73
RPE@T ₄	15.00 ± 2.00	17.33 ± 2.08	15.67 ± 1.15	14.67 ± 0.58
RPE@T ₅	18.33 ± 0.58			17.33 ± 0.58
SpO ₂ @T ₁ (%)	94.00 ± 3.61	94.33 ± 1.15	94.00 ± 1.00	97.67 ± 0.58
SpO ₂ @T ₂ (%)	93.33 ± 0.58	93.67 ± 1.53	93.67 ± 2.89	97.33 ± 1.15
SpO ₂ @T ₃ (%)	92.33 ± 2.89	90.67 ± 2.89	94.33 ± 2.08	96.67 ± 1.53
SpO ₂ @T ₄ (%)	93.00 ± 3.61	88.00 ± 5.57	93.00 ± 1.73	94.00 ± 3.00
SpO ₂ @T ₅ (%)	90.00 ± 4.58			

Values are means ± SD

P < 0.05 P < 0.01

V : Mean velocity, La : blood lactate concentration, HR : heart rate, RPE : ratings of perceived exertion, SpO₂ : arterial blood oxygen saturation, T₁ : 1st trial, T₂ : 2nd trial, T₃ : 3rd trial, T₄ : 4th trial, T₅ : 5th trial.

Table 4 Changes in relative evaluation value of lactate curve test during low altitude training

	pre	day 3	day 11	post
V _{2.5} (m/sec)	1.54 ± 0.03	1.50 ± 0.03	1.52 ± 0.03	1.56 ± 0.02
V _{4.0} (m/sec)	1.57 ± 0.03	1.53 ± 0.03	1.56 ± 0.04	1.58 ± 0.03
HR@V _{2.5} (beats/min)	161.00 ± 3.61	162.33 ± 6.35	159.67 ± 3.51	158.33 ± 3.79
HR@V _{4.0} (beats/min)	168.33 ± 0.58	167.67 ± 6.66	168.00 ± 1.00	164.33 ± 4.62
RPE@V _{2.5}	13.33 ± 1.46	13.47 ± 3.41	13.47 ± 1.96	14.05 ± 1.17
RPE@V _{4.0}	14.51 ± 1.44	14.49 ± 3.17	15.02 ± 1.80	15.01 ± 0.86
SpO ₂ @V _{2.5} (%)	92.12 ± 2.56	92.12 ± 3.60	93.32 ± 2.00	95.05 ± 2.43
SpO ₂ @V _{4.0} (%)	91.75 ± 2.92	91.18 ± 4.27	93.34 ± 2.17	—

Values are means ± SD

P < 0.05 P < 0.01

V : Mean velocity, HR : heart rate, RPE : ratings of perceived exertion, SpO₂ : arterial blood oxygen saturation, V_{2.5} : swimming velocity equivalent to blood lactate concentration 2.5mM, V_{4.0} : swimming velocity equivalent to blood lactate concentration 4.0mM

表4は、乳酸カーブテストより得られたVと他の生理的変数との関係から導出された相対的評価値、すなわちV_{2.5}、V_{4.0}、HR@V_{2.5}、HR@V_{4.0}、RPE@V_{2.5}、RPE@V_{4.0}、SpO₂@V_{2.5}およびSpO₂@V_{4.0}の平均値±標準偏差を示したものである。V_{2.5}およびV_{4.0}は、高所滞在開始3日後で顕著に低下し、11日後で平地同様のレベルまで回復し、滞在終了後には向上していた(表4)。一方、V_{2.5}およびV_{4.0}を除く相対的評価値については、何れにおいてもテスト間における有意差は認められなかった(表4)。

なお、図4に、すべての乳酸カーブテストから導出したVとLa、HR、RPEおよびSpO₂との関連性について、対象者毎に示した。

(3) 間歇的トレーニングテスト

表5に、間歇的トレーニングテストにおけるV、La、HR、RPE、SpO₂を示す。1回目のテストを実施できなかった対象者Aは、統計処理対象外とした。これらの変数のうち、Laについてのみ有意差が示された。すなわち、準高所滞在開始2日後のLaは、1セット目、2セット目の両セットとも、準高所滞在前後よりも高かった(表5)。また、準高所滞在6日目のLaは、平地とほぼ同様であり、準高所滞在後のLaは、最も低い値であった(表5)。

HRおよびRPEについては、テスト間でほぼ同様の値が示された。SpO₂については、有意差こそ認められなかったものの、準高所滞在2日目および6日目に、何れの対象者においても平地よりも低い傾向であった(表5)。

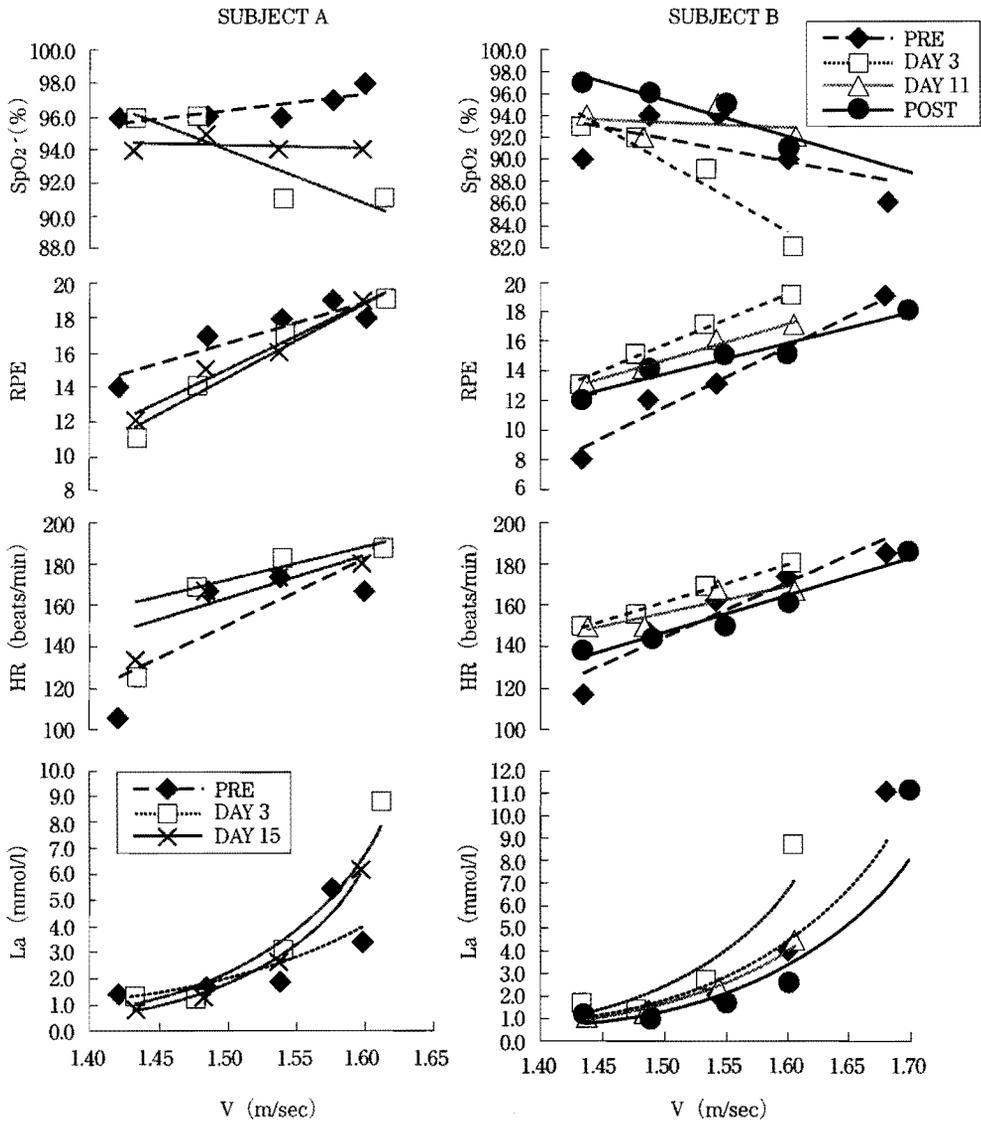


Fig. 4-a Results of Lactate Curve Test (subject A, B)

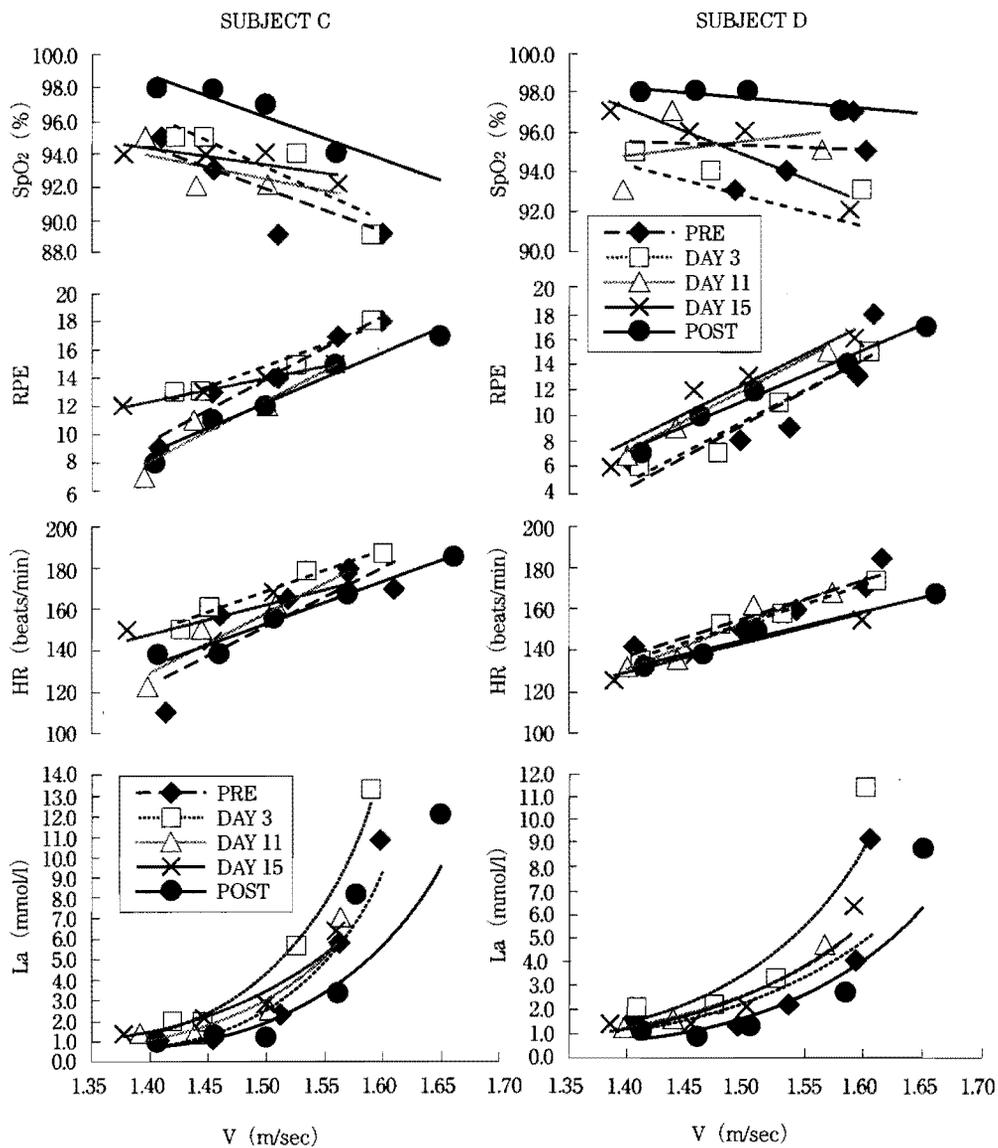


Fig. 4-b Results of Lactate Curve Test (subject C, D)

Table 5 Physiological responses to the intermittent training test

		pre	day 2	day 6	day 13
V (m/sec)	1st set	1.52 ± 0.03	1.52 ± 0.03	1.53 ± 0.02	1.53 ± 0.03
	2nd set	1.58 ± 0.03	1.58 ± 0.03	1.57 ± 0.01	1.58 ± 0.03
La (mmol/l)	1st set	1.17 ± 0.32	1.77 ± 0.15	1.53 ± 0.40	1.00 ± 0.20
	2nd set	1.93 ± 0.21	2.57 ± 0.71	1.67 ± 0.31	1.47 ± 0.47
HR (beats/min)	1st set	146.67 ± 2.08	148.00 ± 9.64	154.00 ± 3.61	152.00 ± 9.17
	2nd set	168.00 ± 0.00	162.33 ± 4.93	168.67 ± 6.35	162.00 ± 10.39
RPE	1st set	11.00 ± 0.00	11.33 ± 2.89	12.00 ± 2.65	12.00 ± 1.73
	2nd set	13.67 ± 1.53	14.33 ± 2.52	15.00 ± 2.65	14.33 ± 1.53
SpO ₂ (%)	1st set	94.70 ± 2.08	92.70 ± 1.15	91.70 ± 1.53	93.30 ± 1.15
	2nd set	93.30 ± 1.15	91.70 ± 1.53	90.70 ± 2.31	93.30 ± 2.08

Results are means ± SD

P < 0.05

4. 考 察

本研究では、トレーニング歴が長く、かつ競技レベルが高い男子競泳選手を対象に、海拔1280mでの準高所トレーニングにおける水泳運動時の生理的応答について検討した。そのため、まず泳者の持久的能力の変化を示すとされているV-La曲線と、そこから導かれるV_{2.5}とV_{4.0}に着目した。これは、本研究の対象者は、ウォームアップ、クーリングダウン、技術的トレーニングを除けば、V_{2.5}およびV_{4.0}でのトレーニングが年間を通して最も多いことによる。また、V_{2.5}とV_{4.0}は、競泳選手の持久的泳能力やそのトレーニング効果の判定に有効であるとされている⁹⁾。

(1) 準高所滞在時にみられる生理的応答

ヒトの最大酸素摂取量は、低酸素環境下において低下することが、よく知られている。最大酸素摂取量の高い人は、低い人に比べて低酸素の影響を強く受けることが報告されている^{10, 13, 14)}。また、エリートアスリートは、1000mに満たない標高でも、最大酸素摂取量の低下が観察される^{5, 13, 14)}。

本研究の対象者は、全国大会8位以内入賞という高い競技歴を持ち、かつ準高所トレーニング開始前に十分な競泳トレーニングを積み、極めて鍛錬度の高い競技者であった。そのため、対象者は、高い最大酸素摂取量を有しており、比較的標高の低い準高所環境においても低酸素

の影響を受けやすい可能性が考えられる。

乳酸カーブテストのデータより、準高所滞在初期（3日目）に、 T_3 および T_4 時の身体負担度が高くなっている様子が窺えた。また、 $V_{2.5}$ 、 $V_{4.0}$ の何れにおいても、曝露前よりも有意に低く、かつ、何れの対象者においても、同一泳速度における La 、 HR は高く、 SpO_2 が低い傾向が認められた。さらに、同一の泳速度で行われた最大下の間歇的水泳トレーニング時の準高所滞在初期（2日目）の La は、滞在前よりも有意に高かった。間歇的インターバルテスト時の準高所滞在2日目の SpO_2 については、有意差こそ認められなかったものの、すべての対象者において滞在前よりも低い傾向にあった。これらのことから、良く鍛錬された競技者を対象とする場合、海拔1280mという準高所であっても、その滞在初期には低地とは異なる生理的応答が生じることが明らかとなった。

準高所滞在開始6日後に行われた間歇的トレーニングテスト時の生理的応答をみると、準高所滞在開始前と大きな差は認められない。また、11日後に行われた乳酸カーブテストにより導出されたデータを見る限り、そのときの最大下運動時の生理的応答は準高所滞在前、すなわち平地とほぼ同じであった。これらは、本研究で設定した程度の高所環境であり、血中乳酸濃度が 5mmol/l を下回るような中等度以下の運動であれば、準高所曝露後6日程度で平地とほぼ同強度の運動を実施することができることを示唆している。

これらの結果は、鍛錬者を対象とし、本研究と同程度の標高を用いて行われた先行研究の結果^{6,11)}を支持するものである。したがって、本研究で対象としたような競技力が高く、かつ鍛錬度が高い競技者では、準高所トレーニングを実施することで、高所トレーニングによってもたらされる諸効果を獲得できる可能性がある。同時に、準高所トレーニングにおいても、その滞在初期には、処方するトレーニングの量と質について十分な注意が必要であるといえよう。

(2) 準高所トレーニング前後の変化

対象者B、C、DのV-La曲線をみると、準高所滞在后、同一泳速度に対する血中乳酸濃度の値が低くなっていた。 $V_{2.5}$ と $V_{4.0}$ は、準高所滞在終了後に向上する傾向があり、特に $V_{2.5}$ の変化は顕著であった。最大努力泳の泳速度については、有意差こそ僅かながら認められなかったもの（ $p=0.058$ ）、滞在前に高い傾向であった。最大努力泳後の La は両テスト間ではほぼ同じであった。これらの結果は、本研究で対象とした競技レベルの高い競泳選手を対象にトレーニングプログラムを作成する場合、準高所トレーニングを取り入れることが有効である可能性を示唆するものであろう。

この点について400m泳実施時の有酸素性代謝と無酸素性代謝の貢献がおよそ8：2である

ことが報告されている^{15, 16)}ことに鑑みれば、滞在終了後にみられた泳能力の改善は、無酸素的な運動遂行能力よりむしろ、LTやOBLAに影響を及ぼすような有酸素的な運動遂行能力の改善によるものと考えることができる。

低酸素馴化すると、赤血球数、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリット値が増大する^{7, 8, 12)}。これらの反応が起こるためには、低酸素環境暴露によるエリスロポエチンの分泌が亢進し、網状赤血球が増加する過程を経る⁴⁾。

準高所滞在前後では、何れの測定項目についても準高所滞在前後の有意差は認められなかったものの、エリスロポエチンがすべての対象者において準高所滞在2日目に増加した。網状赤血球については、対象者BおよびCに準高所滞在による向上が認められた一方で、対象者Dについては準高所滞在前後ではほぼ同じ値が示された。一方、赤血球数、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリットについては、対象者B、Dにおいて準高所滞後に増加が認められたが、対象者Cでは準高所滞後に低下していた。

これらのことは、準高所曝露の刺激を受けた結果、エリスロポエチンが増加していても、その後の反応についてはかなりの個人差が存在することを示唆している。対象者Cの期待とは逆の反応については、トレーニングによる血漿量増大によるみかけの減血反応である可能性がある。エリスロポエチンが分泌され、網状赤血球が増えたとしても、赤血球、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリット値などが増加するためには、トレーニングや栄養摂取などの要因が複雑に影響すると考えられることから、実際には造血は起こっていなかった可能性もある。

いずれにせよ、詳細は不明であるため、対象者を多様化したり、血液検査の実施頻度や検査項目を増やしたりするなどの手段で、準高所トレーニング実施後の有酸素性作業能の改善について、さらに検討をすすめる必要がある。

5. ま と め

本研究は、トレーニング歴が長く、かつ競技力が高い選手を対象とした準高所トレーニングに関する資料を得ることを目的とした。そのため、大学男子エリート競泳長距離選手4名を対象とし、16日間の準高所（海拔1280m）トレーニングとその前後2日間ずつを含む20日間の生理的応答を明らかにした。

その結果、すべての対象者において、準高所滞在開始3日後では、同一泳速度における血中乳酸濃度が高くなる傾向が認められた。同一泳速度における心拍数や動脈血酸素飽和度をみても、準高所滞在開始3日後に前者では高く、後者では低くなる傾向がみられた。このような傾

向は、乳酸カーブテストから導出される血中乳酸濃度2.5および4.0mmol/lに相当する泳速度 ($V_{2.5}$, $V_{4.0}$) の変化にも現れていた。さらに、間歇的トレーニング実施後の血中乳酸濃度は、準高所滞在開始2日後で、滞在開始前に比べて有意に高かった。以上のような生理的変化は、乳酸カーブテストでは高所滞在開始11日後に、間歇的トレーニングテストでは高所滞在開始6日後にはほぼ消失した。他方、準高所トレーニング期間の前後に行われた乳酸カーブテストの結果より、 $V_{2.5}$, $V_{4.0}$ および400mの最大努力泳のパフォーマンスは準高所トレーニングによって改善された。

これらのデータから、鍛錬度の極めて高い競技者においては、海拔1280mという準高所においても、2000m以上の標高において示されるものと同様の生理的応答が生じ、いわゆるOBLAあたりまでの運動強度であれば、準高所滞在開始後6日目には平地とはほぼ同様のトレーニングが実施できるようになる可能性が示された。

参考文献

- 1) Adams, W. C., Bernauer, E. M., Dill, D. V. and Bomar Jr, J. B. (1975) Effects of equivalent sea level and altitude training on VO_{2max} and running performance. *J. Appl. Physiol.* 39 : 262-266.
- 2) Balke, B., Nagle, F. J. and Daniels, J. T. (1965) Altitude and maximum performance in work and sports activity. *JAMA.* 194 : 646-649.
- 3) Faulkner, J. A., Daniels, J. T. and Balke, B. (1967) Effects of training at moderate altitude on physical performance capacity. *J. Appl. Physiol.* 23 : 85-89.
- 4) Filmanowicz, E. and Gurney, C. W. (1961) Study on erythropoiesis XVI, Response to a single dose of erythropoietin in polycythemic muscle. *J. Lab. Clin. Med.* 57 : 65-72.
- 5) Gore, C. J., Hahn, A. G., Scroop, G. C, Watson, D. B., Norton, K. I., Wood, R. J., Campbell, D. P. and Emonson, D. L. (1996) Increased arterial disaturation in trained cyclists during maximal exercise at 580 m altitude. *J. Appl. Physiol.* 80 : 2204-2210.
- 6) 後藤真二, 野村孝路 (2001) 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.
- 7) Hansen, J. E., Vogel, J. A., Stelter, G. P. and Consolazio, C. F. (1967) Oxygen uptake in man during exhaustive work at sea level and high altitude. *J. Appl. Physiol.* 23 : 511-522.
- 8) Horstman, D., Weiskopf, R. and Jackson, R.E. (1980) Work capacity during 3-kmsjourn at 4,300 m: effects of relative polythemia. *J. Appl. Physiol.* 49 : 311-318.
- 9) Maglischo, E. W. (2003) *Swimming Fastest*. Human Kinetics: Champaign, IL, pp.541-585.
- 10) Martin, D. and O'Kroy, J. (1993) Effects of acute hypoxia on the VO_{2max} of trained and untrained subjects. *J. Sports Sci.* 11 : 37-42.
- 11) 棚屋光男, 杉田正明, 川本竜史, 渡會公治, 川原 貢 (1999) 標高1,300m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 (3) : 393-402.
- 12) Saltin, B., Gover, R.F., Blomquist, C.G., Jartley, L.H. and Johnson, R.L. (1968) Maximal Oxygen uptake and cardiac output after 2 weeks at 4300 m *J. Appl. Physiol.* 25 : 400-409.
- 13) Terrados, N., Mizuno, M. and Andersen, H. (1985) Reduction in maximal oxygen uptake at low alti-

- tudes; role of training status and lung function. *Clin. Physiol.* 5 : S75-79.
- 14) Terrados, N. (1994) Altitude training and muscular metabolism. *Int. J. Sports Med.* 13:S206-209.
 - 15) Troup, J. P. (1990). Energy contributions of competitive freestyle events. *International Center for Aquatic Research Annual 1989-90*. United States Swimming Press: Colorado Springs.
 - 16) Troup, J. P. (1984) Review: Energy systems and training considerations. *J. Swim. Res.* 1 (1): 13-16.