

低圧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

藤原寛康 森谷 暢
加藤健志 今村 貴幸
高橋雄介

要 約

長期にわたりトレーニングを積んだエリート競泳選手4名を対象とし、低圧低酸素刺激に対する動脈血酸素飽和度の反応の個人差を明らかにすると同時に、海拔高度1,280 mの準高所で16日間の水泳トレーニングを行い、その効果について検討した。その結果、安静時動脈血酸素飽和度の反応には個人差が大きかった。低酸素刺激に対して、動脈血酸素飽和度が低くなる競技者は、体調管理にとくに注意すべきであると思われた。低酸素刺激に対する安静時動脈血酸素飽和度の測定は、用いる海拔高度を決定し、高所トレーニングの失敗例を減らすのに役立つものであると考えられた。海拔1,280 m程度の準高所トレーニングでも、エリスロポエチンが分泌され、造血作用を促進することが推察され、血中乳酸濃度が2.5, 3.0, 4.0 mmol \cdot l $^{-1}$ に相当する水泳速度が増加し、競泳パフォーマンス改善に有効であることが示唆された。

1 緒 言

1968年に、海拔2,300 mで実施されたメキシコオリンピック大会を契機に、その前後から高所トレーニングの効果が注目され、多くの競技者が高所トレーニングに取り組むようになってきた¹⁾。当時、高所トレーニングは、高所でのパフォーマンス発揮にその効果が期待されたが、現在では低地でのパフォーマンス向上に効果が期待されることが多い。

長期にわたりトレーニングを積んだ競技力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をもつことは決して少なくない。事実、2000年シドニーオリンピック大会女子マラソン金メダリストの高橋尚子選手や2003年バルセロナ水泳世界選手権の100 m, 200 m平泳ぎにおいて世界新記録で金メダルを獲得した北島康介選手など、きわめて優秀な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とり入れていたことは、記憶に新

しい。

高所トレーニングの効果は、高所に滞在することで得られる低酸素馴化，すなわち受動的効果とトレーニングすることで得られる積極的效果との複合的效果があるので，低地でのトレーニング効果よりも多くの効果が期待されている¹⁾。これまでの高所トレーニングに関する研究を概観すると，2,000 m以上の高度を用いて実施されたものが多く¹⁾²⁾，海拔1,000～1,500 mでのトレーニングの報告は数少ない。なお，本研究では，海拔500 m以下を低地，海拔1,000 m以上を高所と定義し，高所のうち1,000～1,500 mの高度を限定的にとり扱う場合，準高所という用語を使用する。

高所に滞在し，高所でトレーニングを行う従来からのトレーニングの方法，すなわちLivingHigh-TrainingHigh方式²⁾に加え，近年では高所に滞在し，低地でトレーニングを行う方法，いわゆるLivingHigh-TrainigLow方式³⁾⁴⁾のトレーニングや逆に低地に滞在し，高所でトレーニングを行う，LivingLow-TrainigHigh方式⁵⁾⁶⁾のトレーニングも用いられるようになってきた。

日本国内で海拔高度が比較的高い場所に設置されている競泳プールは，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，海拔2,000 m以上の場所に設置されている水泳プールは，皆無である。それどころか，日本国内において，低地から海拔2,000 m以上の場所に移動することですら，容易ではない。したがって，近年多用されるようになってきたLivingHigh-TrainingLow方式やLivingLow-TrainigHigh方式のトレーニングを競泳トレーニングにおいて実施するのは，きわめて困難であるといわざるを得ない。日本国内で競泳の高所トレーニングを試みるとすれば，海拔1,200～1,300 mの高度を用い，LivingHigh-TrainigHigh方式のトレーニングを行わなければならないのが現状である。

1,500 mに満たない海拔高度を用いた水泳の準高所トレーニング研究は，後藤と野村⁷⁾，襦屋たち⁸⁾により，はじめられたばかりである。いずれも，発育・発達段階の途上にあると考えられるジュニア選手を対象としており，比較的低い高度を用いても，高所トレーニングの効果が期待できるとしている。

持久的能力の指標のひとつである最大酸素摂取量は，トレーニングをしていない者であれば海拔1,200 m，トレーニングをしている者であれば海拔1,000 m未満で低地のそれより低いことが報告されている⁹⁾¹⁰⁾。したがって，海拔1,000 m以上の場所であれば，低地とは異なる生理的反応を示し，高所トレーニング効果が期待できる。最大酸素摂取量が高いと考えられるエリート競泳選手であれば，海拔高度が多少低くとも，さらに大きな高所トレーニング効果が得られるかもしれない。

これらのことから、長期トレーニングを経験し、かつ競技力の高い競技者を対象とした、準高所でのトレーニング研究をすすめ、高所トレーニングに対する基礎的資料を作成することは、きわめて重要な研究課題である。

本研究では、長期にわたりトレーニングを継続したエリート競泳選手の低圧低酸素刺激に対する動脈血酸素飽和度の反応の個人差を明らかにすると同時に、準高所における水泳トレーニングの効果との関連性について検討することを目的とした。

2 方 法

(1) 対 象 者

対象者は、男性競泳選手4名とした。表1に、対象者の身体的特性と競技歴を示す。本対象者は、年齢 19 ± 1 (平均値 \pm 標準偏差, 以下同様) 歳, 身長 1.74 ± 0.03 m, 身体質量 68.8 ± 13.2 kg, 競泳トレーニング歴 11 ± 1 年であった。対象者全員が400 mまたは1,500 m自由形種目において、本研究の準高所トレーニング6ヶ月前に開催された前シーズンの全国大会8位入賞者であった。このうち1名は日本学生選手権400 m自由形に優勝しており、日本人競泳選手として優秀な集団であったといえる。

表1 対象者の身体的特性と競泳競技歴

対 象 者	年 齢 (歳)	身 長 (m)	身体質量 (kg)	競 技 歴 (年)
A	20	1.73	65.8	13
B	19	1.78	88.2	10
C	18	1.72	62.1	11
D	18	1.71	59.0	11
平 均 値	19	1.74	68.8	11
標 準 偏 差	1	0.03	13.2	1

本対象者は、前シーズン終了後の休息期の後、 50 ± 6 km \cdot week⁻¹の水泳トレーニングを22週間実施した状態で、準高所トレーニングとこれにともなう測定に参加した。

対象者には研究の意義、内容、危険性などを説明したのち、対象者はこれらを理解したうえで、研究の対象者となることに同意をした。

(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。対象者は、海拔1,280 mに15泊16日の日程で滞在し、この間21回の水泳トレーニングを実施した。大幅に予定を変更することなく、あらかじめ決められたトレーニングをほぼ完了した。この期間の水泳トレーニング距離は73 km \cdot week⁻¹であり、準高所トレーニング前より46%多い水泳距離であった。

(3) 測定の内容

a 安静時動脈血酸素飽和度

準高所滞在初日に、自動車に乗車し、海拔720 mから1,980 mまでの範囲を30分かけて移動し、海拔1,980 mで10分間の安静を保った。移動開始0, 5, 10, 12, 14, 16, 18, 22, 24, 26, 28, 30, 35, 40分に、海拔720, 810, 1,000, 1,150, 1,250, 1,350, 1,450, 1,550, 1,650, 1,750, 1,850, 1,950, 1,980, 1,980, 1,980 mで、心拍数と動脈血酸素飽和度をパルスオキシメータ(N-20, Nellcor社製)で測定した。

b 血液検査

高地滞在56時間前(2日前)、滞在開始17時間(2日目)、滞在終了後16時間(1日後)に肘静脈より採血を行った。対象者は、採血前、少なくとも10時間の絶食を保ち、午前9時に採血を行った。高地滞在前後の採血については、前日の水泳トレーニングを実施しないこととし、激しい身体活動が行われないう、配慮した。

採血により得られた検体を臨床検査機関に提出し、赤血球数、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリット値、網状赤血球数、平均赤血球容積、平均赤血球ヘモグロビン量、平均赤血球ヘモグロビン濃度、エリスロポエチン濃度の8項目の分析を行った。ただし、滞在開始17時間の検体については、エリスロポエチン濃度のみの分析とした。

c 2.5, 3.0, 4.0 mmol \cdot l⁻¹泳速度

準高所トレーニング1日前、3日目、11日目、15日目、トレーニング終了2日後に、血中乳酸濃度が2.5, 3.0, 4.0 mmol \cdot l⁻¹に相当する水泳速度を求めた。ただし、対象者の体調がすぐれない場合には、本テストを中止することとした。本テストは、すべて短水路競泳プールで行われ、準高所トレーニング前後の測定は海拔115 m、準高所トレーニング期間の測定は海拔1,280 mで実施された。

運動は、400 mのクロール泳を準高所では4回、低地では5回、泳速度を漸増させ、繰り返すものとした。これらの泳速度は、本テストに先立ち実施された対象者の30分間最大努力泳時の平均泳速度を基準に設定された。対象者には、泳速度から算出された400 m水泳時間を指示し、各400 m水泳時間がテスト間で同一となるよう求めた。運動間の休息については、4回

目と5回目の間は10分間とし、そのほかは5分間とした。テスト時の泳速度と血中乳酸濃度が測定された。

泳速度は、400 m泳に要した時間をストップウォッチ (S120-4000, セイコー社製) により、計測し、水泳距離を時間で除すことにより、算出された。血中乳酸濃度は、テスト1, 2回目は運動終了60秒, 3, 4回目は運動終了90秒, 5回目は運動終了180秒に、指尖より採血した少量の血液サンプルを携帯型自動分析機 (ラクテートプロ, アークレイ社) で分析した。

4回分の泳速度と血中乳酸濃度のデータを2次多項式で回帰分析を行い、泳速度と血中乳酸濃度との関係を求めた。得られた2次回帰式に2.5, 3.0, 4.0 mmol \cdot l $^{-1}$ の血中乳酸濃度の値を内挿することで、2.5, 3.0, 4.0 mmol \cdot l $^{-1}$ 泳速度を算出した。

(4) 統計処理

測定値は、平均値 \pm 標準偏差で示した。平均値間の差の検定には、対応のあるt検定または一元配置分散分析を用いた。危険率5%未満をもって有意と判定した。

3 結 果

(1) 自動車移動時の心拍数, 動脈血酸素飽和度

表2に、準高所トレーニング初日に、海拔720 mから1,980 mまで自動車で移動したときの海拔高度と安静時心拍数, 動脈血酸素飽和度との関係を示す。動脈血酸素飽和度は、移動開始時に97 \pm 1%であったのが、測定終了時には93 \pm 2%まで低下した。一方、心拍数の値に変化

表2 自動車移動したときの海拔高度と安静時心拍数, 動脈血酸素飽和度の推移

時 間 (min)	海拔高度 (m)	酸素濃度 (%)	心 拍 数 (beats \cdot min $^{-1}$)	動脈血酸素飽和度 (%)
0	720	19.18	69 \pm 13	97 \pm 1
5	810	18.98	69 \pm 7	97 \pm 1
10	1000	18.55	70 \pm 8	98 \pm 1
12	1150	18.21	73 \pm 9	96 \pm 1
14	1250	17.99	70 \pm 7	97 \pm 1
16	1350	17.78	70 \pm 6	97 \pm 2
18	1450	17.56	72 \pm 8	96 \pm 1
20	1550	17.35	71 \pm 7	96 \pm 2
22	1650	17.14	73 \pm 11	95 \pm 1
24	1750	16.94	71 \pm 8	94 \pm 2
26	1850	16.73	70 \pm 6	93 \pm 1
28	1950	16.53	71 \pm 10	94 \pm 1
30	1980	16.47	73 \pm 9	94 \pm 3
35	1980	16.47	74 \pm 5	94 \pm 3
40	1980	16.47	72 \pm 7	93 \pm 2

は認められなかった。

図1に、自動車移動時における安静時心拍数、動脈血酸素飽和度の変化を個人値で示した。対象者Cの動脈血酸素飽和度は移動開始24分の海拔高度1,750 mにおいて顕著な低下傾向が認められ、以後著しい低値であり、移動開始30分の海拔高度1,980 mでは89%の値となった。対象者A, B, Dの動脈血酸素飽和度は、移動開始より徐々に漸減する傾向にあった。対象者A, B, Dのもっとも低い動脈血酸素飽和度の値は、それぞれ93, 94, 93%であった。心拍数の変動については、一致した様子は観察されなかった。

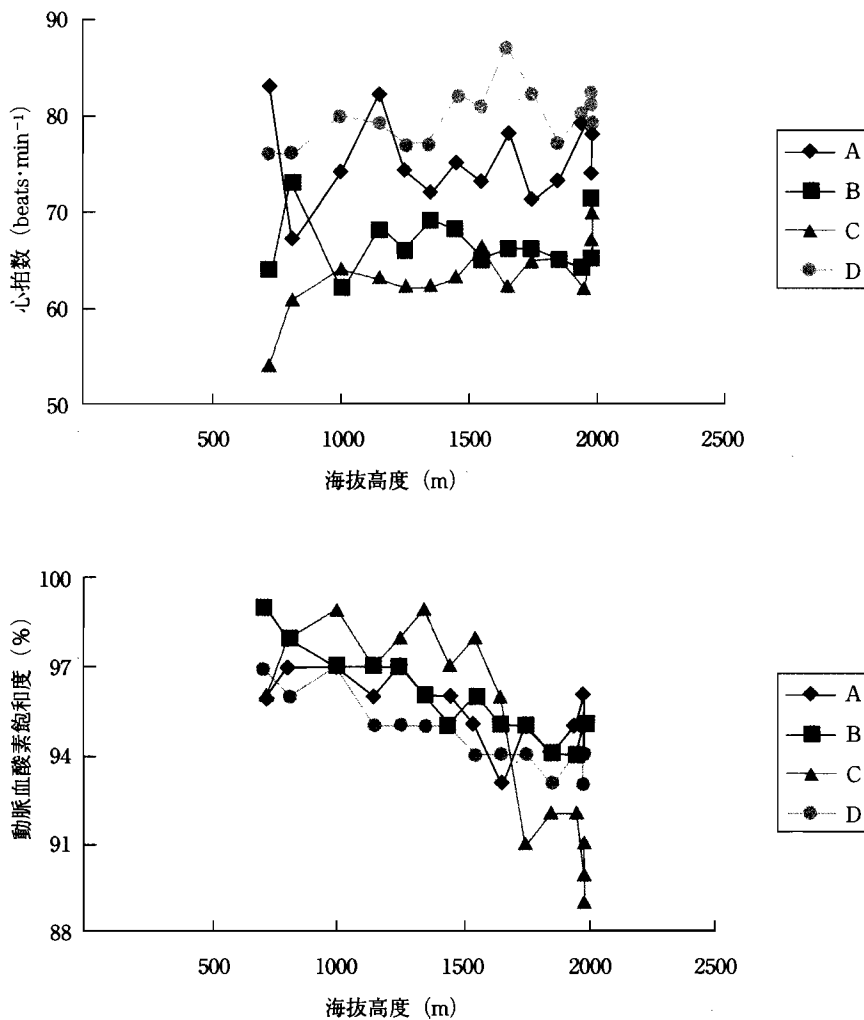


図1 海拔高度と安静時心拍数、動脈血酸素飽和度との関係

(2) 血液検査項目

表3に、準高所トレーニングにともなう血液性状の変化を示す。準高所トレーニング前、後の赤血球数は 505 ± 8 , $512 \pm 15 \times 10^4 \cdot \mu\text{l}^{-1}$ 、ヘモグロビン濃度は 15.4 ± 0.4 , $15.8 \pm 0.8 \text{ g} \cdot \text{dl}^{-1}$ 、ヘマトクリット値は 46.6 ± 1.4 , $49.9 \pm 1.8 \%$ 、平均赤血球容積は 93 ± 3 , $92 \pm 3 \text{ fl}$ 、平均赤血球ヘモグロビン量は 30.6 ± 1.1 , $30.5 \pm 1.2 \text{ pg}$ 、平均赤血球ヘモグロビン濃度は 33.1 ± 0.4 , $33.3 \pm 0.5 \%$ 、網状赤血球数は 9.3 ± 4.2 , $13.5 \pm 5.7 \%$ 、エリスロポエチン濃度は 17.6 ± 6.1 , $14.5 \pm 2.9 \text{ mU} \cdot \text{ml}^{-1}$ であった。準高所トレーニング前後のこれらの数値間に、有意な差は認められなかった。準高所滞在2日目のエリスロポエチン濃度は $23.1 \pm 6.5 \text{ mU} \cdot \text{ml}^{-1}$ であったが、準高所トレーニング前後の値との間に有意な差はみられなかった。

表3 準高所トレーニングにともなう血液性状の変化

	トレーニング前	トレーニング2日目	トレーニング後
赤血球数 ($\times 10^4 \cdot \mu\text{l}^{-1}$)	505 ± 8		512 ± 15
ヘモグロビン濃度 ($\text{g} \cdot \text{dl}^{-1}$)	15.4 ± 0.4		15.8 ± 0.8
ヘマトクリット値 (%)	46.6 ± 1.4		49.9 ± 1.8
平均赤血球容積 (fl)	93 ± 3		92 ± 3
平均赤血球ヘモグロビン量 (pg)	30.6 ± 1.1		30.5 ± 1.2
平均赤血球ヘモグロビン濃度 (%)	33.1 ± 0.4		33.3 ± 0.5
網状赤血球数 (%)	9.3 ± 4.2		13.5 ± 5.7
エリスロポエチン濃度 ($\text{mU} \cdot \text{ml}^{-1}$)	17.6 ± 6.1	23.1 ± 6.5	14.5 ± 2.9

図2に、準高所にともなう血液検査項目の個人値を示した。対象者B, Dの赤血球数、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリット値の増加の傾向がみられた。逆に、対象者Cのこれらの値は減少傾向であった。平均赤血球容積、平均赤血球ヘモグロビン量、平均赤血球ヘモグロビン濃度に著明な傾向を観察することはできなかった。対象者A, B, Cの網状赤血球数の増加がうかがわれた。対象者A, C, Dの高所滞在2日目のエリスロポエチン濃度は、準高所トレーニング前の値に対し、高値であった。対象者全員の準高所トレーニング後のエリスロポエチン濃度は、準高所トレーニング前、高所滞在2日目に対し、低い傾向にあった。なかでも、対象者Cのエリスロポエチン濃度の変動は、きわめて著しかった。

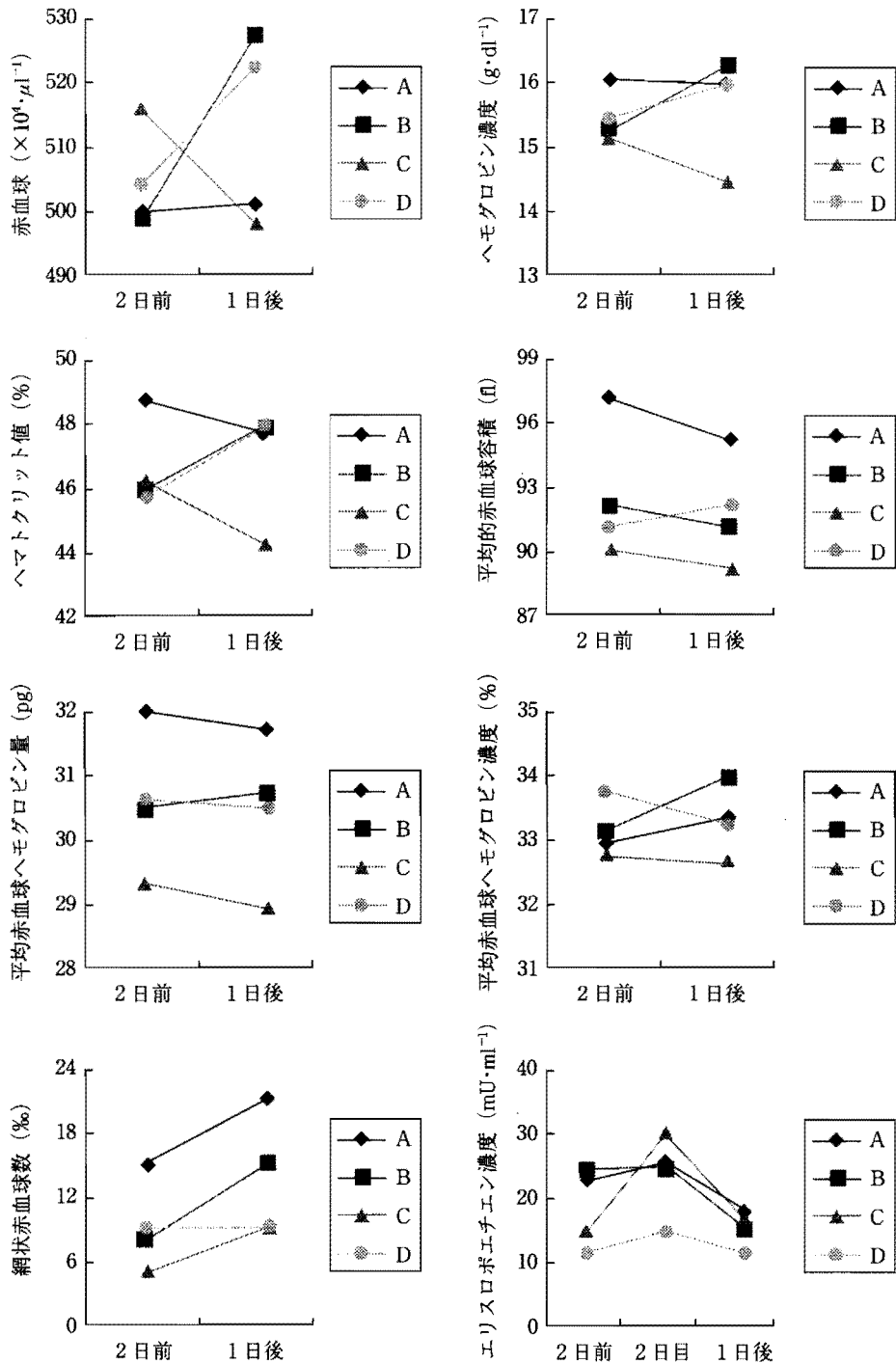


図2 準高所トレーニング2日前, 2日目, 終了1日後の血液性状

(3) 2.5, 3.0, 4.0 mmol·l⁻¹泳速度

表4に、準高所トレーニング前、トレーニング期間、トレーニング終了後の血中乳酸濃度が2.5, 3.0, 4.0 mmol·l⁻¹に相当する水泳速度を示す。対象者Aは準高所滞在11日目、準高所トレーニング2日後の測定に、対象者Bは準高所滞在15日目の測定に参加していないため、準高所滞在11日目、15日目、準高所トレーニング2日後の値は、3名の対象者から算出された値である。単純に比較することはできないため、統計的処理を行わなかった。

表4 準高所トレーニングともなう2.5, 3.0, 4.0 mmol·l⁻¹泳速度の推移

2.5 mmol·l⁻¹泳速度

対象者	1日前 (m·s ⁻¹)	3日目 (m·s ⁻¹)	11日目 (m·s ⁻¹)	15日目 (m·s ⁻¹)	2日後 (m·s ⁻¹)
A	1.55	1.52		1.53	
B	1.56	1.53	1.55		1.58
C	1.51	1.48	1.50	1.48	1.54
D	1.54	1.50	1.51	1.51	1.55
平均値	1.54	1.51	1.52	1.51	1.56
標準偏差	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02

3.0 mmol·l⁻¹泳速度

対象者	1日前 (m·s ⁻¹)	3日目 (m·s ⁻¹)	11日目 (m·s ⁻¹)	15日目 (m·s ⁻¹)	2日後 (m·s ⁻¹)
A	1.57	1.54		1.54	
B	1.57	1.54	1.57		1.60
C	1.52	1.49	1.51	1.50	1.55
D	1.55	1.51	1.52	1.52	1.56
平均値	1.55	1.52	1.53	1.52	1.57
標準偏差	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03

4.0 mmol·l⁻¹泳速度

対象者	1日前 (m·s ⁻¹)	3日目 (m·s ⁻¹)	11日目 (m·s ⁻¹)	15日目 (m·s ⁻¹)	2日後 (m·s ⁻¹)
A	1.59	1.55		1.56	
B	1.59	1.56	1.60		1.61
C	1.54	1.51	1.52	1.52	1.56
D	1.57	1.53	1.55	1.55	1.58
平均値	1.57	1.54	1.56	1.54	1.58
標準偏差	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03

準高所滞在3日目の2.5, 3.0, 4.0 mmol·l⁻¹泳速度を個人値で見ると, 準高所トレーニング前と比較して全員が低かった. 高所滞在11日目に, 対象者Bの3.0 mmol·l⁻¹泳速度が準高所トレーニング前と同等水準になり, 4.0 mmol·l⁻¹泳速度は準高所トレーニング前よりも高くなった. 準高所滞在15日目に, 対象者Cの2.5 mmol·l⁻¹泳速度は, 準高所滞在11日目より低く, 準高所滞在3日目と同レベルになり, 3.0 mmol·l⁻¹泳速度は, 準高所滞在11日目よりも低いものの, 準高所滞在3日目よりは高かった. 対象者Aを除く, 3名の準高所トレーニング後の2.5, 3.0, 4.0 mmol·l⁻¹泳速度は, トレーニング前のそれらよりも高かった.

4 考 察

本研究では, 長期にわたりトレーニングを継続したエリート競泳選手の低圧低酸素刺激に対する動脈血酸素飽和度の反応の個人差を明らかにすると同時に, 海拔1,280 mでの16日間の競泳トレーニングにおける効果について検討をした.

本研究のおもな知見として, 準高所滞在初日に実施した自動車移動時の動脈血酸素飽和度の推移に大きな個人差が認められたことがあげられる. すなわち, 対象者A, B, D 3名の動脈血酸素飽和度は, 海拔高度が高くなるにつれ, 徐々に低くなったのに対し, 対象者Cの動脈血酸素飽和度は, 海拔1,750 mで急激に低下した.

前嶋¹¹⁾は, 海拔2,200 mで安静時動脈血酸素飽和度を測定すると, 低地のレベルとほとんど変わらない選手がいる一方で, 一時的にも90%程度にまで低下する選手がいることを報告している. また, 高所での動脈血酸素飽和度の低下の程度と高所での運動能力および動脈血酸素飽和度の値の変動と体調とが密接に関連していることを示唆している. この動脈血酸素飽和度の値は, 睡眠不足, あるいは疲労などによってさらに低下し, その低下程度にも個人差が認められるとしている.

低圧低酸素環境に曝露し, 動脈血酸素飽和度が低下すると, 大動脈体と頸動脈体が刺激され, 換気量と心拍数が増加し, 組織に送る酸素の減少を補うための反応が起こるといわれている¹¹⁾. しかしながら, Cを含む対象者全員に心拍数の顕著な増大は, 観察されなかった. この理由を明確にすることはできないが, 動脈血酸素飽和度の低下を換気量の増加に加え, 心拍出量の増大などで補うことによって, 心拍数の値には変化がみられなかったのかもしれない.

低酸素環境において安静時動脈血酸素飽和度が低い値を示す選手が, 高所トレーニングあるいは低酸素トレーニングを繰り返すことによって, その値が高まる傾向はみられていない¹¹⁾. したがって, このような競技者が高所トレーニングにとり組む場合には, 動脈血酸素飽和度が

低いという特徴をよく把握したうえで, 変化しやすい体調に細心の注意を払うべきであると思われる。

本研究のトレーニングで用いた海拔高度は1,280 mであり, 対象者Cの動脈血酸素飽和度が急激に低下した高度よりも低かった。Cを含む本対象者全員が, 予定したトレーニングをほぼ完了した。このことは, きわめて重要な意味をもつものと思われる。競技者のチームが高所トレーニングに臨めば, チームの何人かが体調を崩し, トレーニング中止に至ることが多い。高所トレーニングの成功事例が数多く発表され, 脚光を浴びる一方で, 実際は失敗例もかなり多い。これらの原因のひとつには, 高所トレーニングに失敗した者にとっては, 結果的に高すぎる海拔高度に滞在し, 過剰なトレーニングをしてしまっていた, ということが考えられる。高所トレーニングによく用いられる高度は, 海拔2,000 m以上である。もし, 対象者Cが2,000 m以上の高所に滞在し, トレーニングを行っていたら, 結果はどうだったであろうか。

これらのことから, 高所トレーニングにとり組む場合には, 低圧低酸素刺激に対する安静時動脈血酸素飽和度の測定を行い, 実際のトレーニングや滞在において, 動脈血酸素飽和度が急激に低下する高度よりも高い高度を用いる場合には, 動脈血酸素飽和度の推移や体調の変化にとくに注意をしながら, トレーニングの経過を観察する必要があるだろう。このような低圧酸素刺激に対する安静時動脈血酸素飽和度の測定の実施は, トレーニング中止などの高所トレーニングにおける失敗事例を減らすのに有効な一手段になると考えられる。

高所馴化すると, 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¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾。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ことが必要な条件である¹⁵⁾。

高所滞在2日目に, 対象者A, C, Dのエリスロポエチン濃度が上昇し, 準高所トレーニング終了後, 対象者A, B, Cの網状赤血球数が増加の傾向を示した。さらに, 対象者B, Dの赤血球数, ヘモグロビン濃度, ヘマトクリット値の増大傾向がみられた。これらのことは, 海拔1,280 mという比較的低い高度での低酸素暴露であっても, 造血作用が促進していたことを示唆している。

対象者Cのエリスロポエチン濃度の上昇は顕著であったにもかかわらず, 赤血球数, ヘモグロビン濃度, ヘマトクリット値は, 期待とは逆に低下傾向を示した。これらの低下傾向は, トレーニングによる血漿量増大に起因するみかけの低下反応であり, 実際には著しい造血が生じていた可能性がある。また, 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種々の要因が複雑に影響すると考えられていることから, 造血は起こっていなかったと

いう可能性もある。低酸素刺激に対する動脈血酸素飽和度の反応がほかの3名の対象者とは異なるCのトレーニングの内容や栄養摂取の状況などを再検討する必要があるのかもしれない。いずれにせよ、詳細は不明であるため、対象者を増やす、血漿量を測定するなどの手段で、今後検討していかなければならない課題である。

本対象者は、トレーニングをよく行っており、かつ競技能力が高いことから、高い最大酸素摂取能力をもつと考えられる。このような対象者が低酸素環境に暴露されると、海拔1,000 m程度の高度においても最大酸素摂取量の低下が観察される⁹⁾¹⁰⁾。準高所滞在3日目の2.5, 3.0, 4.0 mmol·l⁻¹泳速度は、準高所トレーニング前よりも低かった。これらの結果も、海拔1,280 mという比較的低い高度であっても、低地とは異なる生理的反応を示すと同時に、高所トレーニング効果を期待できる環境であることを支持するものである。

高所滞在11日目に、対象者Bの3.0 mmol·l⁻¹泳速度が準高所トレーニング前と同等水準になり、4.0 mmol·l⁻¹泳速度は準高所トレーニング前よりも高くなった。準高所滞在15日目に、対象者Cの2.5 mmol·l⁻¹泳速度は、準高所滞在11日目より低く、準高所滞在3日目と同レベルになり、3.0 mmol·l⁻¹泳速度は、準高所滞在11日目よりも低いものの、準高所滞在3日目よりは高かった。このように、みかけ上、ほぼ同じトレーニングを実施しても、高所トレーニングの効果には個人差があった。

低圧低酸素刺激に対する反応に個人差があると同時に、高所トレーニング効果にも個人差があることから、高所トレーニングでは、低地でのトレーニングよりもいっそう個人の特性にあわせたトレーニングの内容を組み立てていく必要があるといえよう。低酸素刺激に対する反応と高所トレーニングの方法、およびこれらの関連性については、さらに研究をすすめ、今後は実際のトレーニングの内容についても詳細に吟味していかなければならないであろう。

対象者B, C, D 3名の準高所トレーニング後の2.5, 3.0, 4.0 mmol·l⁻¹泳速度は、トレーニング前のそれらよりも高かった。2.5, 3.0, 4.0 mmol·l⁻¹泳速度データを総合的にみると、少なくとも逆効果を示すデータは出ていない。先述したように、本トレーニングの脱落者はいなかったことから、海拔1,280 m程度で行う準高所トレーニングは、従来から指摘されている高所トレーニングの効果が得られると同時に、失敗も少ないトレーニング方法のひとつであると考えられる。

5 ま と め

本研究により、長期にわたりトレーニングを積んだエリート競泳選手の低圧低酸素刺激に対

する安静時動脈血酸素飽和度の反応には個人差があることが明らかになった。低酸素刺激に対して、動脈血酸素飽和度が低い対象者は、体調管理にとくに注意すべきであるという指針が提供された。低酸素刺激に対する安静時動脈血酸素飽和度の測定は、用いる海拔高度を決定し、高所トレーニングの失敗例を減らすのに役立つものと考えられた。海拔1,280m程度の高所トレーニングでも、造血作用を促進することが推察され、水泳パフォーマンス改善に有効であることが示唆された。

参考文献

- 1) 浅野勝己(1991)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 : 585-592.
- 2) Adams, W.C., E.M. Bernauer, D.V. Dill, J. B. Bomar, Jr.(1975)Effect of equivalent sea-level and altitude training on $\dot{V}O_{2max}$ and running performance. *J. Appl. Physiol.* 39 : 262-266.
- 3) Levine, B.D., J. Stray-Gundersen(1997)Living high-training low : effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J. Appl. Physiol.* 83 : 102-112.
- 4) Rusko, H. K.(1996)New aspects of altitude training. *Am. J. Sports Med.* 24 : S48-52.
- 5) 萩田太・小夫直孝・田中孝夫(2001)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—, 水泳水中運動科学 4 : 30-36.
- 6) Terrados, N., J. Melichna, C. Sylven, E. Jansson, L. Kaijser(1988) Effect of training at simulated altitude on performance and muscle metabolic capacity in competitive road cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 57 : 203-209.
- 7) 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.
- 8) 棚屋光男・杉田正明・川本竜史・川原貴・渡会公治(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.
- 9) Terrados, N., M.Mizuno, and H.Andersen(1985)Reduction in maximal oxygen uptake at low altitudes; role of training status and lung function. *Clin.Physiol.*, 5(Supple3) : 75-79.
- 10) Terrados, N(1994)Altitude training and muscular metabolism. *Int. J. Sports Med.* 13(Supple1) : S206-209.
- 11) 前嶋孝(2004)スケート選手の低酸素トレーニング, 臨床スポーツ医学 21 : 25-29.
- 12) 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.
- 13) Horstman, D., R. Weiskoff, R.E. Jackson(1980)Work capacity during 3-kmsojourn at 4,300 m : effects of relative polythemia. *J. Appl. Physiol.* 49 : 311-318.
- 14) 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 4300 m *J. Appl. Physiol.* 25 : 400-409.
- 15) Filmanowicz, E., C. W. Gurney(1961)Study on erythropoiesis XVI, Response to a single dose of erythropoietin in polycythemic muscle. *J. Lab. Clin. Med.* 57 : 65-72.