

<論 文>

[高所トレーニング研究班]

# 標高1,886mで行われた28日間の高所トレーニングにおける大学男子競泳選手の泳力とコンディションの変動

森 谷 暢 藤 原 寛 康  
高 橋 雄 介

## 要 約

本研究では、競技能力の高い大学男子競泳選手12名を対象として、中国雲南省昆明（標高1,886m）において28日間行われた高所トレーニング時の水泳能力とコンディションの推移について検討を加えた。

血中乳酸濃度が4.0mMに相当する泳速度（ $V_{4.0}$ ）を、高所トレーニング実施3日前、高所トレーニング開始後3日目、9日目、16日目および21日目に間歇的な水泳運動で構成されるコントロールテストによって求めた。高所トレーニング開始9日経過時に、平地と同等の $V_{4.0}$ が示され、対象の有酸素性作業能力の改善が認められた。また、 $V_{4.0}$ を求めるためのコントロールテストにおいて設定された最大努力泳時の泳速度は、高所トレーニング開始16日経過時に平地とほぼ同等の値となり、無酸素性作業能力改善の可能性が示唆された。

本高所トレーニング前後の血液性状をみると、トレーニング後に赤血球数（ $p < 0.05$ ）、ヘマトクリット値（ $p < 0.01$ ）、フェリチン（ $p < 0.01$ ）の有意な減少が示された。一方、高所トレーニング初期には動脈血酸素飽和度の有意（ $p < 0.01$ ）な低下が示されたが、高所トレーニング期間に低下した値の回復傾向は示されなかった。これらの現象は、本高所トレーニング時に順調な低酸素馴化が起きていなかったことを示唆するものである。

高所トレーニング期間中には、酸化ストレス度（d-ROMs）が徐々に高まる傾向がみられた。高所トレーニング終了とともに、高まったd-ROMsは速やかに回復したことから、深刻な酸化ストレスに見舞われた可能性を否定することはできるものの、処方したトレーニングが過重すぎたか、あるいはトレーニングにみあった休養や栄養摂取が充分ではなかった可能性が考えられた。

## 1. 緒 言

近年、さまざまな競技において、主要な競技会へ向けての調整期間の直前までの3～4週間

程度、高所トレーニングのような低酸素環境を活用したトレーニングが多く採用されており、競泳競技も例外ではない<sup>2, 3, 7, 9, 14, 15)</sup>。

2003年に日本人競泳選手が高所トレーニングにとり組み、2種目で世界記録を更新するという快挙を成し遂げた。また、2004年のアテネオリンピック大会において、日本人競泳選手が3つの金メダルを獲得したのをはじめ、日本競泳史上の最高の成績を残すことができたのは、高所トレーニングによるところが多大であるといわれている。

これらのことにより、日本の競泳選手やコーチが高所トレーニングとそのやり方について、高い関心を寄せるようになってきた。さらに、高所トレーニングを試みる選手やコーチが増加してきた。

低酸素環境に対する馴化能力には個人差がある。逆にいえば、個人によって、適正な馴化が認められる至適な低酸素の量は異なる。山地は、高所トレーニングに関する多くの先行研究を概説し、本質的には個人の特性に応じた至適な高所環境が存在し、それを科学的にも経験的にも追求していかなければならない、とまとめている<sup>17)</sup>。このような意味で、高地ではなく、平地の人工的な低酸素環境でトレーニングを実施することは、きわめて有効な手段であると考えられる。

しかしながら、競泳競技の場合、人工的な低酸素環境でトレーニングを実践するのは、きわめてむずかしい。例外として、鹿屋体育大学の流水プールを低酸素環境下で用いる方法、国立スポーツ科学センターの低酸素テント式プール(50m×1レーン)を用いる方法などで、トレーニングする方法が考えられる。これらの施設の使用に関しても、使用人数が少数に制限されるといった問題があり、一般的には、オリンピック大会などで使用される長水路(50m)プールのある高所環境を探すことになる。

50mプールのある高所環境は、アメリカ(フラッグスタッフ、サンタフェ、ロス・アラモス、コロラドスプリングス)、スペイン(シェラネバダ)、フランス(フォン・ロム)、中国(昆明ほか)などであるが、全世界で10カ所にも満たない。このため、個人の低酸素に対する反応に応じ、至適な海拔高度のトレーニング環境を選択することは、きわめてむずかしいといえる。

競泳選手を対象とした高所トレーニングの成否の鍵は、海拔高度、すなわち低酸素の程度と対象個人の低酸素環境に対する馴化の程度を見極め、対象個人の低酸素に対する反応を考慮したトレーニングプログラムにより、適正なトレーニング負荷を与えることができるかどうかにある、と考えられる。

以上のように、さまざまな制約を受ける競泳の競技力向上のための高所トレーニングを成功

に導くことは、容易ではない。この複雑難解な課題に対して、失敗を避け、より効果をあげる手段に、科学的サポートを実施することがあげられる。

科学的サポートは、対象者のコンディションのチェック、高所環境への馴化の程度の確認、トレーニング効果の把握の主に3種の目的で行われる。これらを推察するために、血液性状、安静時の体温、脈拍、動脈血酸素飽和度、内省報告、最大下運動時の心拍数や血中乳酸濃度などの生理学的反応、最大努力運動時のパフォーマンスなどを明らかにすることが多い<sup>2, 3, 7, 9, 14, 15</sup>。以上のようなさまざまなデータは、高所トレーニング実施時のトレーニング処方に活用されるばかりでなく、高所トレーニングに参加する選手の安全性を確保する上できわめて有益な資料となろう。

科学的サポートによって得られるデータを検証し、高所トレーニングに活かそうとする際には、先行研究を参考とすることが有効になると考えられる。すなわち、世界各地の高所トレーニング施設で行われたトレーニングやそれに伴う科学的サポートに関する実践事例が残されていれば、高所トレーニングを安全かつ効果的に実施していく上で有益となる、貴重な資料の入手が可能になるであろう。しかしながら、競泳競技の高所トレーニングの科学に関する情報はいまだ充分とはいえず、とくに、実践的、事例的高所トレーニングに関する資料は、著しく不足しているのが現状である。こうした状況のなか、われわれは、高所トレーニングの実践事例を呈示してきた<sup>2, 3, 7, 15</sup>。今後もこのような活動を行い、競泳競技の高所トレーニングのガイドラインの作成にまで至らしめたい。

本研究では、エリートレベルにある大学男子競泳選手を対象として実施した、28日間に及ぶ中国雲南省昆明（標高1,886m）での高所トレーニングにおいて得られた水泳能力とコンディションのデータから、競泳競技の高所トレーニングに関する有益な資料を呈示することを目的とした。

## 2. 研究方法

### 2-1. 高所トレーニング計画およびその対象者

研究対象とした高所トレーニング合宿は、競技力がきわめて高い大学男子競泳選手に対し、彼らの競技力向上を目的に処方しているトレーニングプログラムの一環として計画されたものであった。高所トレーニング合宿およびその前後に実施した一連の測定は、高所トレーニングを合理的に、かつ安全にすすめていくために計画されたものであり、それらによって得られたデータは低酸素環境に対する馴化の推定、トレーニング効果の判定、およびコンディションの

チェックに使用することとした。本研究では、研究対象を決定する前に、以上のような測定予定を含む高所トレーニング計画の目的、概要およびその実施に伴う危険性について、本研究の対象全員を含むC大学水泳部員全員に対して十分に説明したのち、そのなかから本高所トレーニング合宿に対して参加の意志を強く表明する者のみを対象とする手順をとった。

以上のような経緯で本研究の対象となった12名は、年齢 $19.67 \pm 0.89$ （平均値 $\pm$ 標準偏差、以下同様）歳、身長 $176.17 \pm 4.06$ cm、体重 $71.27 \pm 5.96$ kg、体脂肪率 $13.25 \pm 1.68$ ％、2005年競泳日本ランキング $24.00 \pm 20.32$ 位であり、2006年全日本選手権出場資格を有する競技力の高い大学男子競泳選手であった（表1）。対象のすべてが10年を超える競泳トレーニング歴を有しており、1週間あたり8～10回の専門的な競泳トレーニングを実施していた。

表1 対象の身体的特性と競泳日本ランキング

トレーニング群	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪率 (%)	2005年競泳日本ランキング (位) (種目)
1 長距離	20	174	67.8	13.3	2 (1500m自由形)
2 長距離	18	171	59.8	13.7	14 (1500m自由形)
3 中距離	19	174	66.9	15.0	15 (200m自由形)
4 中距離	21	183	77.2	13.8	11 (400m個人メドレー)
5 中距離	19	180	74.1	14.8	55 (400m個人メドレー)
6 中距離	20	178	76.2	14.8	3 (200m個人メドレー)
7 中距離	21	173	69.2	13.3	20 (200mバタフライ)
8 短距離	20	180	82.2	12.8	28 (100m自由形)
9 短距離	20	178	72.5	9.5	22 (100m自由形)
10 短距離	19	177	72.6	10.9	71 (100m自由形)
11 短距離	19	177	71.3	12.4	18 (100m平泳ぎ)
12 短距離	20	169	65.5	14.7	29 (100mバタフライ)
平均	19.67	176.17	71.27	13.25	24.00
標準偏差	0.89	4.06	5.96	1.68	20.32

## 2-2. 高所滞在

2006年3月4日から3月31日までの28日間、中国雲南省昆明（海拔高度1,886m）に滞在し、現地の天免温泉酒店に宿泊した。この期間、現地の気圧は、 $806.7 \pm 2.8$ hPaであり、平地で $16.7 \pm 0.06$ ％の酸素濃度に相当する低酸素環境であった。

## 2-3. トレーニング

表2に、本期間のトレーニングの実施状況を示した。対象は、専門とする種目により、1,500mを専門とする長距離、400mおよび200mを専門とする中距離、200mおよび100m、あるいは100mを専門とする短距離の3群にあらかじめ分けられた。トレーニングは、水泳トレーニング

表2 高所トレーニング期間におけるトレーニングの実施状況

長距離群 (n=2)	第1期					第2期					第3期					第4期					第5期				第6期			
	3/4	3/5	3/6	3/7	3/8	3/9	3/10	3/11	3/12	3/13	3/14	3/15	3/16	3/17	3/18	3/19	3/20	3/21	3/22	3/23	3/24	3/25	3/26	3/27	3/28	3/29	3/30	3/31
水泳トレーニング(午前)	●	●		●		●	●		●		●	●	●	●		●	●				●	●	●		●	●	●	●
水泳トレーニング(午後)	●		●	●		●		●	●		●	●		●		●	●	●	●		●	●			●	●		
レジスタンストレーニング	○	○				○	○				○					○					○		○					○

中距離群 (n=5)	第1期					第2期					第3期					第4期					第5期				第6期				
	3/4	3/5	3/6	3/7	3/8	3/9	3/10	3/11	3/12	3/13	3/14	3/15	3/16	3/17	3/18	3/19	3/20	3/21	3/22	3/23	3/24	3/25	3/26	3/27	3/28	3/29	3/30	3/31	
水泳トレーニング(午前)	●	●		●		●	●		●		●		●	●		●	●				●		●		●	●	●	●	
水泳トレーニング(午後)	●		●	●		●		●	●		●	●		●		●	●	●	●		●	●			●				
レジスタンストレーニング	○	○				○	○				○		○			○					○		○					○	○

短距離群 (n=5)	第1期					第2期					第3期					第4期					第5期				第6期				
	3/4	3/5	3/6	3/7	3/8	3/9	3/10	3/11	3/12	3/13	3/14	3/15	3/16	3/17	3/18	3/19	3/20	3/21	3/22	3/23	3/24	3/25	3/26	3/27	3/28	3/29	3/30	3/31	
水泳トレーニング(午前)	●	●		●		●	●	●	●		●	●	●	●		●	●				●		●		●	●	●	●	
水泳トレーニング(午後)	●		●			●					●					●	●	●	●		●	●			●				
レジスタンストレーニング	○	○		○		○			○			○		○		○		○			○		○					○	○

グとレジスタンストレーニングから構成された。水泳トレーニングは、天免温泉酒店に設置されている屋内長水路（50m）プールにて実施された。4日ないし5日を1期とし、トレーニング期ごとに目的を設定した。すなわち、第1期では高所環境に対する馴化、第2期、第3期では有酸素性作業能力の向上、第4期、第5期、第6期では無酸素性作業能力の改善を各トレーニング期のおもな目的とした。

長距離群の水泳距離は、トレーニング前（2/27～3/3）20,100m、第1期（3/4～3/8）39,200m、第2期（3/9～3/13）40,800m、第3期（3/14～3/18）52,100m、第4期（3/19～3/23）44,400m、第5期（3/24～3/27）30,900m、第6期（3/28～3/31）33,800m、トレーニング後（4/1～4/6）24,100mであった。

中距離群の水泳距離は、トレーニング前（2/27～3/3）19,100m、第1期（3/4～3/8）36,400m、第2期（3/9～3/13）37,500m、第3期（3/14～3/18）39,300m、第4期（3/19～3/23）30,000m、第5期（3/24～3/27）20,400m、第6期（3/28～3/31）22,700m、トレーニング後（4/1～4/6）24,100mであった。

短距離群の水泳距離は、トレーニング前（2/27～3/3）15,300m、第1期（3/4～3/8）24,600m、第2期（3/9～3/13）25,100m、第3期（3/14～3/18）23,900m、第4期（3/19～3/23）19,750m、第5期（3/24～3/27）16,200m、第6期（3/28～3/31）18,600m、トレーニング後（4/1～4/6）15,600mであった。

表3に、各トレーニング群の本トレーニング期間とその前後における水泳距離をトレーニング強度別に示した。本研究で用いる運動強度は、運動強度と血中乳酸濃度の関係から9種類に分類されたものであり、過去15年間に、われわれが競泳のトレーニングと研究に使用してきた<sup>8,16)</sup>。

表3 高所トレーニング期間およびその前後に実施されたトレーニング強度別の水泳距離  
長距離群（n=2）

		トレーニング強度カテゴリー									
トレーニング期		A1 (m)	EN1 (m)	EN1' (m)	EN2 (m)	EN3 (m)	EN4 (m)	AN1 (m)	AN2 (m)	AN3 (m)	総計 (m)
前	(2/27～3/3)	3,500	6,800	3,400	5,000	400	300	500	0	200	20,100
第1期	(3/4～3/8)	6,300	21,200	8,200	2,800	400	0	0	0	300	39,200
第2期	(3/9～3/13)	6,700	18,000	8,400	6,700	400	0	0	0	600	40,800
第3期	(3/14～3/18)	7,800	24,400	10,800	5,200	2,000	900	400	0	600	52,100
第4期	(3/19～3/23)	7,400	17,000	7,500	8,600	1,300	1,000	400	600	600	44,400
第5期	(3/24～3/27)	5,800	14,600	6,200	1,200	1,000	600	1,000	0	500	30,900
第6期	(3/28～3/31)	7,000	14,000	6,000	4,000	1,000	600	400	200	600	33,800
後	(4/1～4/6)	4,900	16,800	2,000	0	0	0	0	0	400	24,100

## 中距離群 (n=5)

		トレーニング強度カテゴリー									
トレーニング期		A1 (m)	EN1 (m)	EN1' (m)	EN2 (m)	EN3 (m)	EN4 (m)	AN1 (m)	AN2 (m)	AN3 (m)	総計 (m)
前	(2/27~3/3)	3,500	6,800	3,000	4,500	300	300	500	0	200	19,100
第1期	(3/4~3/8)	6,300	20,700	6,100	2,600	200	200	0	0	300	36,400
第2期	(3/9~3/13)	6,700	17,000	6,900	5,900	400	0	0	0	600	37,500
第3期	(3/14~3/18)	7,000	17,400	7,800	4,200	800	600	600	200	700	39,300
第4期	(3/19~3/23)	6,700	10,700	3,900	5,800	500	700	400	800	500	30,000
第5期	(3/24~3/27)	4,800	9,900	3,300	1,000	400	0	300	200	500	20,400
第6期	(3/28~3/31)	5,000	10,000	3,500	2,500	200	300	0	600	600	22,700
後	(4/1~4/6)	4,900	16,800	2,000	0	0	0	0	0	400	24,100

## 短距離群 (n=5)

		トレーニング強度カテゴリー									
トレーニング期		A1 (m)	EN1 (m)	EN1' (m)	EN2 (m)	EN3 (m)	EN4 (m)	AN1 (m)	AN2 (m)	AN3 (m)	総計 (m)
前	(2/27~3/3)	3,500	5,400	2,900	2,700	350	50	100	100	200	15,300
第1期	(3/4~3/8)	5,000	14,600	3,900	500	100	200	0	0	300	24,600
第2期	(3/9~3/13)	5,000	10,000	4,200	5,000	200	100	0	0	600	25,100
第3期	(3/14~3/18)	5,500	10,000	3,300	3,400	200	100	200	600	600	23,900
第4期	(3/19~3/23)	5,900	8,100	2,200	1,900	200	200	0	550	700	19,750
第5期	(3/24~3/27)	4,500	6,900	2,500	1,200	200	100	0	200	600	16,200
第6期	(3/28~3/31)	5,500	8,000	2,000	2,000	100	100	100	200	600	18,600
後	(4/1~4/6)	3,900	10,300	1,000	0	0	0	0	0	400	15,600

※運動強度カテゴリー A1 ウォームアップおよびクールダウン相当の超低強度のトレーニング  
 EN1 血中乳酸濃度が安静時と変わらない運動強度となるトレーニング  
 EN1' 運動強度がLT程度となる低強度のトレーニング  
 EN2 運動強度がOBLA程度となる中等度のトレーニング  
 EN3 血中乳酸濃度が4~6mmol/L程度となる中等度のトレーニング  
 EN4 血中乳酸濃度が6~8mmol/L程度となるやや高強度のトレーニング  
 AN1 血中乳酸濃度が8mmol/L以上となる高強度のトレーニング  
 AN2 最大努力を強いる超高強度のトレーニング (運動時間が20秒以上)  
 AN3 最大努力を強いるハイパワートレーニング (運動時間が20秒未満)

## 2-4. 食事とサプリメント

本期間中、対象は、1日3食の食事のほか、サプリメントを食事時およびトレーニング時に摂取した。

食事は、天免温泉酒店からすべてバイキング形式にて提供された。主食は白米、チャーハン、麺類等であり、主菜・副菜は本格的な中華料理であった。

対象は、昼食、夕食時に、ポリフェノールを多量に含むアサイ (Acai; アサイエナジーバルブ, フルッタフルッタ社) 100gを、ソイプロテインパウダー (インスタントプロテイン, 日

本シャクリー社)と混合して摂取した。また、本トレーニング期間15日目(3/18)から夕食時に100mg, 22日目(3/25)から昼食時および夕食時にそれぞれ100mgのコエンザイム(CoQ10, 実験製剤, カネカ社)を摂取した。

## 2-5. 測定の概要

表4に、本トレーニング期間中、およびその前後に実施した測定の概要を示した。

8名を対象に、本トレーニング期間3日前(3/1)、3日目(3/6)、9日目(3/12)、16日目(3/19)、21日目(3/24)に、間歇的乳酸カーブテスト(Intermittent Lactate Curve Test ; ILCT)を実施した。また、本トレーニング期間3日前(3/1)、16日目(3/19)、21日目(3/24)に、最大努力泳テストを実施した。

本トレーニング期間4日前(2/28)、ならびに終了3日後(4/3)に、基礎血液検査と身体組成測定を実施した。

本トレーニング期間3日前(3/1)、4日目(3/7)、13日目(3/16)、26日目(3/29)、終了6日後(4/6)に、安静時酸化ストレス度(Reactive Oxygen Metabolites ; d-ROMs)の測定を、本トレーニング期間3日前(3/1)、17日目(3/20)、21日目(3/24)に、高強度運動時d-ROMsの測定を実施した。

本トレーニング期間1日目(3/4)を除く、4日前(2/28)から終了6日後(4/6)までの毎日、動脈血酸素飽和度、脈拍、体重の計測からなるコンディションチェックを実施した。

## 2-6. 間歇的乳酸カーブテスト (Intermittent Lactate Curve Test ; ILCT)

図1に、間歇的乳酸カーブテスト(ILCT)のプロトコールを示した。最大下努力運動として、100mのクロール泳を、長距離群と中距離群では80秒ごとに4回、短距離群では100秒ごとに3回繰り返すことを1セットとし、4セット実施した。各100m泳の所要時間は、本トレーニング期間7週間前に、短水路プールで実施されたコントロールテスト(300mまたは400m×4セット)より導かれた血中乳酸濃度が4.0mMに相当する泳速度を100mあたりの運動時間に変換した時間を基準タイムとし、1セット目は基準タイムに6秒加算した時間、2セット目は基準タイムに3秒加算した時間、3セット目は基準タイム、4セット目は基準タイムから3秒減算した時間に設定した。対象には、それぞれの100mを設定した時間で泳ぐよう、指示を与えた。セット間に、5分間の休憩を挟んだ。

各100mの所要時間をストップウォッチ(SI20-4000, セイコー社)により計測し、100mを所要時間で除すことにより、泳速度を算出し、4回の平均値を各セットの代表値とした。第1

表4 高所トレーニング期間およびその前後における測定スケジュール

	高所トレーニング前					第1期					第2期					第3期				
	5日前	4日前	3日前	2日前	1日前	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目	12日目	13日目	14日目	15日目
	2/27	2/28	3/1	3/2	3/3	3/4	3/5	3/6	3/7	3/8	3/9	3/10	3/11	3/12	3/13	3/14	3/15	3/16	3/17	3/18
間歇的乳酸カーブテスト (ILCT)			○					○						○						
最大努力泳テスト			○																	
基礎血液検査		○																		
身体組成測定		○																		
安静時酸化ストレス度 (d-ROMs) 測定			○						○									○		
高強度運動時酸化ストレス度 (d-ROMs) 測定			○																	
コンディションチェック	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

	第4期					第5期				第6期				高所トレーニング後					
	16日目	17日目	18日目	19日目	20日目	21日目	22日目	23日目	24日目	25日目	26日目	27日目	28日目	1日後	2日後	3日後	4日後	5日後	6日後
	3/19	3/20	3/21	3/22	3/23	3/24	3/25	3/26	3/27	3/28	3/29	3/30	3/31	4/1	4/2	4/3	4/4	4/5	4/6
間歇的乳酸カーブテスト (ILCT)	○					○													
最大努力泳テスト	○					○													
基礎血液検査																○			
身体組成測定																○			
安静時酸化ストレス度 (d-ROMs) 測定											○								○
高強度運動時酸化ストレス度 (d-ROMs) 測定		○				○													
コンディションチェック	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

セットから第3セットでは運動終了60秒後、第4セットでは運動終了90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、血中乳酸濃度を求めた。

第1セットから第4セットまでの泳速度に対する血中乳酸濃度の関係を2次回帰分析し、内挿法により、血中乳酸濃度が4.0mMに相当する泳速度 ( $V_{4.0}$ ) を算出した (図2)。

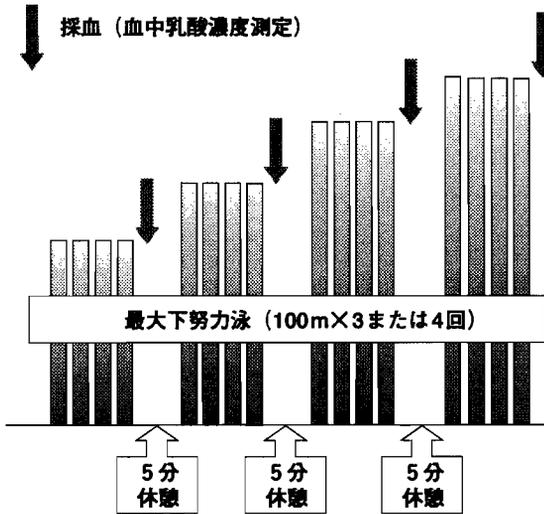


図1 間歇的乳酸カーブテスト (ILCT) のプロトコール

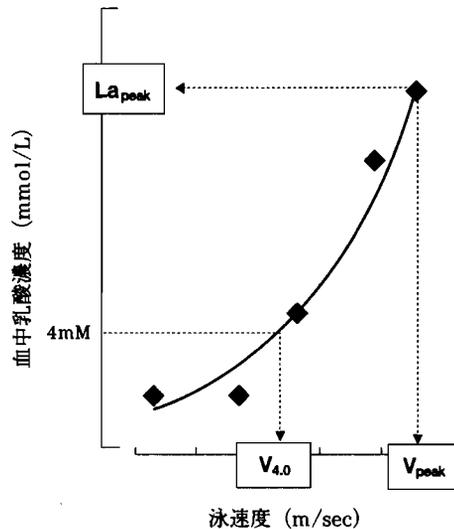


図2 血中乳酸濃度が4.0mMに相当する泳速度 ( $V_{4.0}$ ) の決定方法

## 2-7. 最大努力泳テスト

ILCT終了後、10分間の休憩を挟み、長距離群と中距離群の対象では100mのクロール泳を80秒ごとに4回、また、短距離群の対象では100mのクロール泳1回を、それぞれ最大努力で泳いだ。テストの結果から、最高泳速度 ( $V_{Peak}$ ) と最高血中乳酸濃度 ( $La_{Peak}$ ) を求めた。この点、長距離群と中距離群では、100m泳4回の泳速度の平均値を、短距離群では、100m泳の泳速度を  $V_{Peak}$  とした。  $La_{Peak}$  は、100m泳4回または1回の最大努力泳終了180秒後の血中乳酸濃度とした。

## 2-8. 基礎血液検査

基礎血液検査として、総タンパク質、アルブミン、尿素窒素、クレアチニン、尿酸、総コレステロール、HDLコレステロール、中性脂肪、総ビリルビン、グルタミン酸オキサロ酢酸トランスアミナーゼ (GOT)、グルタミン酸ピルビン酸転移酵素 (GPT)、乳酸脱水素酵素濃度 (LDH)、 $\gamma$ グアノシン三リン酸 ( $\gamma$  GTP)、クレアチンキナーゼ (CK)、白血球数、赤血球数、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリット値、血小板数、平均赤血球容積 (MCV)、平均赤血球色素量 (MCH)、平均赤血球色素濃度 (MCHC)、網状赤血球数、フェリチン、エリスロポエチン、ナトリウム、カリウム、塩素、カルシウム、鉄、C反応性たんぱく質 (CRP) 定量を導出した。

採血は、午前8時より、対象の肘正中皮より行われ、得られた血液サンプルを臨床検査機関(立川臨床医学研究所)に提出した。対象には、採血前少なくとも10時間の絶食が指示された。また、採血の前日には、水泳トレーニングを実施せず、激しい身体活動が行われないよう配慮した。

## 2-9. 身体組成測定

身体組成の計測は、バイオスペース社製In body 3.0を用い、体重、骨格筋量、体脂肪率を定量した。

## 2-10. 酸化ストレス度 (Reactive Oxygen Metabolites ; d-ROMs) 測定

d-ROMsは、フリーラジカル分析システム (Free Radical Analytical System 4 ; ウィスマー社)を用い、血中に他種類存在する血清ヒドロペルオキシド濃度を  $20\mu\text{l}$  という微量な全血から測定することによって明らかにされ、U.CARRという単位が使用される<sup>10)</sup>。本研究では、安静時、高強度運動直後、高強度運動後に行われるクールダウン後に、指尖より湧出させた  $20\mu\text{l}$  の全血から、d-ROMsを定量した。

高強度運動後のd-ROMsの測定は、本高所トレーニング3日前(3/1)と高所トレーニング21日目(3/24)については、ILCTの最大努力運動終了3分経過時に、高所トレーニング17日目(3/20)については、長距離群と中距離群は200m、短距離群は100mの最大努力泳を20分の休憩を挟み、3回繰り返すトレーニングの終了4分経過時に行った。この最大努力泳後には、いずれにおいても、血中乳酸濃度が10mMを超えることが確認された。さらに、高所トレーニング3日前の測定では、最大努力運動終了後の採血が終了したのち、対象任意のペースで行われた総泳距離500m程度のクールダウン終了後に再び採血をし、得られた全血よりd-ROMsを導出した。

#### 2-11. 日々のコンディションチェック

就寝前と起床直後に、動脈血酸素飽和度および脈拍をパルスオキシメーター(バルソックス-3i; コニカミノルタ社)によって測定した。また、水泳トレーニング開始直前に、体重を計測した。これらの値をトレーニング期ごとに平均し、各トレーニング期の代表値とした。

#### 2-12. 統計処理

測定値は、平均値±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Tukeyの方法による多重比較検定を用いた。すべて有意水準を5%に設定し、判定を行った。

### 3. 結 果

#### 3-1. 水泳能力の推移

図3に、本トレーニング期間前および期間中の血中乳酸濃度が4.0mMに相当する泳速度( $V_{4.0}$ )、最高泳速度( $V_{Peak}$ )、最高血中乳酸濃度( $La_{Peak}$ )の推移を示した。

$V_{4.0}$ は、本トレーニング期間3日前(3/1)に $1.440 \pm 0.136$ m/s、3日目(3/6)に $1.424 \pm 0.125$ m/s、9日目(3/12)に $1.444 \pm 0.121$ m/s、16日目(3/19)に $1.439 \pm 0.121$ m/s、21日目(3/24)に $1.461 \pm 0.121$ m/sであった。3日目と21日目との値の間に、有意な差が観察された( $P < 0.01$ )。

$V_{Peak}$ は、本トレーニング期間3日前(3/1)に $1.669 \pm 0.109$ m/s、16日目(3/19)に $1.682 \pm 0.121$ m/s、21日目(3/24)に $1.679 \pm 0.104$ m/sであったが、これらの間に有意な差は認められなかった。

$La_{Peak}$ は、本トレーニング期間3日前(3/1)に $13.82 \pm 1.76$ 、16日目(3/19)に $12.54 \pm 1.95$ 、

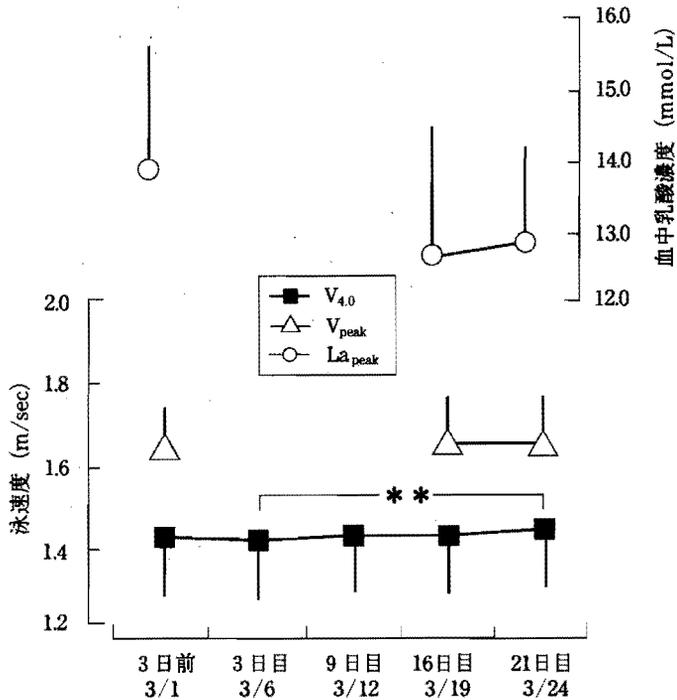


図3 高所トレーニング期間前および期間中における血中乳酸濃度が4.0mMに相当する泳速度 ( $V_{4.0}$ ), 最高泳速度 ( $V_{peak}$ ), 最高乳酸濃度 ( $La_{peak}$ ) の比較 (n=8)

21日目 (3/24) に  $12.70 \pm 1.36$  mMであったが、これらの間に有意な差は認められなかった。

### 3-2. 血液性状の変化

表5に、本トレーニング期間の3日前および3日後に検査した血液性状を示した。本トレーニング期間前後の総蛋白 ( $P < 0.01$ ), HDLコレステロール ( $P < 0.01$ ), GOT ( $P < 0.01$ ), 赤血球数 ( $P < 0.05$ ), ヘマトクリット値 ( $P < 0.01$ ), 血小板数 ( $P < 0.05$ ), MCH ( $P < 0.01$ ), フェリチン ( $P < 0.01$ ), カリウム ( $P < 0.01$ ), 塩素 ( $P < 0.01$ ), CRP定量 ( $P < 0.05$ ) に、有意差がみられた。

### 3-3. 身体組成の変化

表6に、本トレーニング期間前後の身体組成を示した。体重は本トレーニング期間前に  $71.30 \pm 5.90$  kg, 期間後に  $71.21 \pm 5.91$  kg, 骨格筋量は期間前に  $34.38 \pm 3.23$  kg, 期間後に  $34.40 \pm 3.63$  kg, 体脂肪率は期間前に  $13.22 \pm 2.10$  %, 期間後に  $13.23 \pm 2.00$  %であった。トレーニング

表5 高所トレーニング前後の血液性状の比較

	高所トレーニング前	高所トレーニング後	
総蛋白 (g/dl)	7.78 ± 0.28	7.48 ± 0.32	<i>P</i> < 0.01
アルブミン (g/dl)	4.62 ± 0.14	4.63 ± 0.15	<i>N.S.</i>
尿素窒素 (mg/dl)	15.33 ± 3.12	14.76 ± 2.74	<i>N.S.</i>
クレアチニン (mg/dl)	0.84 ± 0.06	0.81 ± 0.06	<i>N.S.</i>
尿酸 (mg/dl)	5.85 ± 0.66	5.88 ± 0.70	<i>N.S.</i>
総コレステロール (mg/dl)	181.33 ± 19.27	172.50 ± 16.02	<i>N.S.</i>
HDLコレステロール (mg/dl)	71.83 ± 24.63	61.58 ± 18.69	<i>P</i> < 0.01
中性脂肪 (mg/dl)	98.75 ± 32.91	115.25 ± 47.40	<i>N.S.</i>
総ビリルビン (mg/dl)	0.83 ± 0.29	0.74 ± 0.32	<i>N.S.</i>
GOT (IU/l)	21.75 ± 4.38	19.00 ± 2.87	<i>P</i> < 0.01
GPT (IU/l)	21.17 ± 6.05	17.92 ± 4.12	<i>N.S.</i>
ALP (IU/l)	240.33 ± 59.53	225.50 ± 49.85	<i>N.S.</i>
LDH (IU/l)	185.83 ± 53.75	164.58 ± 19.06	<i>N.S.</i>
γ-GTP (IU/l)	19.33 ± 5.01	20.08 ± 5.79	<i>N.S.</i>
クレアチンキナーゼ (IU/l)	143.17 ± 28.76	131.25 ± 27.12	<i>N.S.</i>
白血球数 (/μl)	6,150.00 ± 424.51	5,966.67 ± 924.29	<i>N.S.</i>
赤血球数 (× 10 <sup>4</sup> /μl)	551.50 ± 30.48	541.17 ± 34.70	<i>P</i> < 0.05
ヘモグロビン量 (g/dl)	16.23 ± 0.80	16.45 ± 0.81	<i>N.S.</i>
ヘマトクリット値 (%)	50.93 ± 2.35	49.66 ± 2.15	<i>P</i> < 0.01
血小板数	25.13 ± 3.57	26.87 ± 3.79	<i>P</i> < 0.05
MCV (fl)	92.33 ± 2.26	91.90 ± 2.49	<i>N.S.</i>
MCH (pg)	29.47 ± 0.69	30.44 ± 0.71	<i>P</i> < 0.01
MCHC (%)	31.87 ± 0.32	33.13 ± 0.41	<i>N.S.</i>
網状赤血球数 (‰)	9.67 ± 1.91	10.75 ± 2.05	<i>N.S.</i>
フェリチン (ng/ml)	75.83 ± 31.09	48.58 ± 23.91	<i>P</i> < 0.01
エリスロポエチン (mU/mg)	14.37 ± 3.80	15.13 ± 1.38	<i>N.S.</i>
ナトリウム (mEq/l)	140.25 ± 0.83	140.67 ± 1.15	<i>N.S.</i>
カリウム (mEq/l)	5.06 ± 0.48	4.63 ± 0.32	<i>P</i> < 0.01
塩素 (mEq/l)	102.00 ± 1.08	103.42 ± 0.86	<i>P</i> < 0.01
カルシウム (mg/dl)	9.56 ± 0.26	9.43 ± 0.31	<i>N.S.</i>
鉄 (μg/dl)	123.92 ± 44.76	119.33 ± 37.03	<i>N.S.</i>
CRP定量 (mg/dl)	0.01 ± 0.01	0.00 ± 0.00	<i>P</i> < 0.05

表6 高所トレーニング前後の身体組成の比較

	高所トレーニング前	高所トレーニング後	
体重 (kg)	71.30 ± 5.90	71.21 ± 5.91	<i>N.S.</i>
骨格筋量 (kg)	34.38 ± 3.23	34.40 ± 3.63	<i>N.S.</i>
体脂肪率 (%)	13.22 ± 2.10	13.23 ± 2.00	<i>N.S.</i>

期間前後の値の間に、有意な差は認められなかった。

### 3-4. 酸化ストレス度 (d-ROMs) の推移

図4に、本トレーニング期間中およびその前後の安静時の酸化ストレス度 (d-ROMs) の推移を示した。安静時d-ROMsは、本トレーニング期間3日前 (3/1) に230.90 ± 23.80 U.CARR, 4日目 (3/7) に223.10 ± 14.90 U.CARR, 13日目 (3/16) に244.50 ± 22.90 U.CARR, 26日目

(3/29) に  $244.80 \pm 38.60$  U.CARR, 6日後(4/6)に  $237.60 \pm 31.50$  U.CARRであったが, これらの間に有意な差は認められなかった。

図5に, 本トレーニング期間前および期間中の高強度運動直後のd-ROMsの推移を示した。本トレーニング期間3日前(3/1)に  $229.60 \pm 26.10$  U.CARR, 17日目(3/20)に  $252.60 \pm$

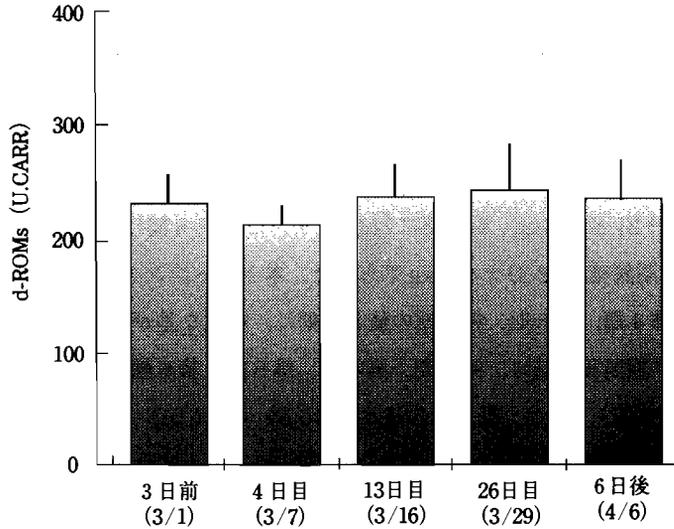


図4 高所トレーニング期間およびその前後における安静時酸化ストレス (d-ROMs) の比較 (n=9)

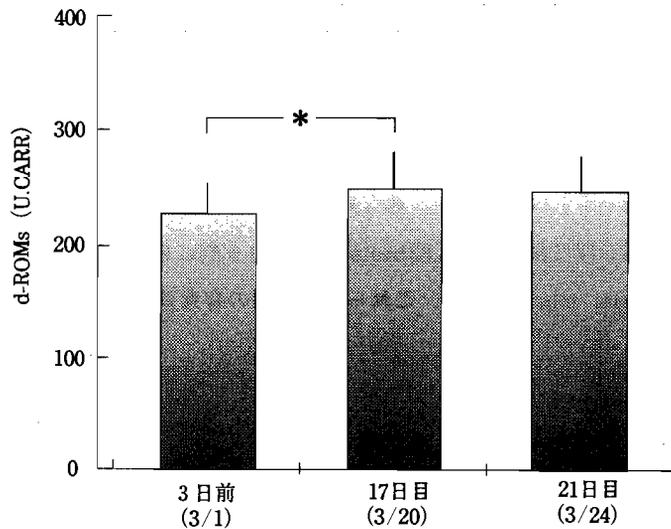


図5 高所トレーニング期間前および期間中における高強度運動後の酸化ストレス度 (d-ROMs) の比較 (n=11) \*  $P < 0.05$

25.90 U.CARR, 21日目 (3/24) に $258.60 \pm 34.10$  U.CARRであった。高所トレーニング期間17日目には、トレーニング前に比べて有意に高い値が示されていた ( $P < 0.05$ )。

なお、同じ測定日における高強度運動実施前、すなわち安静時と高強度運動直後、さらにはその後に引き続いて行われたクールダウン終了後のd-ROMsに、有意な差は認められなかった (表7)。

### 3-5. コンディションの推移

表8に、本トレーニング期間中およびその前後の対象のコンディションの推移を示した。

体重は、本トレーニング期間前に $72.95 \pm 5.02$ kg, 第1期に $71.76 \pm 5.10$ kg, 第2期に $71.58 \pm 5.15$ kg, 第3期に $71.21 \pm 4.94$ kg, 第4期に $71.34 \pm 4.74$ kg, 第5期に $71.08 \pm 4.54$ kg, 第6期に $70.70 \pm 4.48$ kg, 期間後に $72.39 \pm 4.81$ kgであった。本トレーニング期間前の値は、第1期, 第2期, 第3期, 第4期, 第5期, 第6期の値との間に、有意な差がみられた ( $P < 0.01$ )。一方、本トレーニング期間後の値は、第3期, 第4期, 第5期, 第6期の値との間に、有意な差が認められた ( $P < 0.01$ )。また、第6期の値は、第1期 ( $P < 0.01$ ) および第2期 ( $P < 0.05$ ) との間に、有意な差が示された。

動脈血酸素飽和度は、本トレーニング期間前に $97.82 \pm 0.60$ %, 第1期に $94.30 \pm 1.08$ %, 第2期に $94.63 \pm 1.01$ %, 第3期に $94.75 \pm 1.12$ %, 第4期に $94.84 \pm 0.95$ %, 第5期に $94.52 \pm 1.26$ %, 第6期に $94.90 \pm 1.18$ %, 期間後に $96.62 \pm 3.40$ %であった。本トレーニング期間前の値は、第1期, 第2期, 第3期, 第4期, 第5期, 第6期の値との間に、有意な差がみられた ( $P < 0.01$ )。本トレーニング期間後の値は、第1期 ( $P < 0.01$ )、第5期 ( $P < 0.05$ )、第6期 ( $P < 0.05$ ) の値との間に、有意な差が認められた。

脈拍数は、本トレーニング期間前に $63.68 \pm 9.60$ beats/min, 第1期に $65.44 \pm 10.61$ beats/min, 第2期に $65.74 \pm 9.10$ beats/min, 第3期に $64.93 \pm 10.92$ beats/min, 第4期に $67.63 \pm 13.56$ beats/min, 第5期に $63.70 \pm 12.82$ beats/min, 第6期に $65.59 \pm 12.47$ beats/min, 期間後に $66.23 \pm 11.47$ beats/minであった。これらの値の間の有意差は、いずれにおいても認められなかった。

## 4. 考 察

競泳選手がトレーニングする理由のひとつは、レースで自己記録を更新することである。その一手段に、一連のトレーニング計画のなかで、高所トレーニングを実践する方法がある。本

表7 高所トレーニング期間, 高所トレーニング前後および高強度運動前後の酸化ストレス度 (d-ROMs) の比較 (n=8)

	高所トレーニング前	4日目 (3/7)	12日目 (3/15)	17日目 (3/20)	21日目 (3/24)	26日目 (3/29)	高所トレーニング後
安静時	230.90 ± 23.80	223.10 ± 14.90	244.50 ± 22.90			244.80 ± 38.60	237.60 ± 31.50
高強度運動直後	229.60 ± 26.10		* 252.60 ± 25.90		258.60 ± 34.10		
クールダウン直後	229.70 ± 24.30						

\* P < 0.05

表8 高所トレーニング期間およびその前後のコンディションの比較

	高所トレーニング前	第1期	第2期	第3期	第4期	第5期	第6期	高所トレーニング後
体重 (kg)	72.95 ± 5.02	71.76 ± 5.10 ** ++	71.58 ± 5.15 ** +	71.21 ± 4.94 ** ##	71.34 ± 4.74 ** ##	71.08 ± 4.54 ** ##	70.70 ± 4.48 ** ##	72.39 ± 4.81
動脈血酸素飽和度 (%)	97.82 ± 0.60	94.30 ± 1.08 ** ##	94.63 ± 1.01 ** #	94.75 ± 1.12 **	94.84 ± 0.95 **	94.52 ± 1.26 ** #	94.90 ± 1.18 **	96.62 ± 3.40
脈拍数 (beats/min)	63.68 ± 9.60	65.44 ± 10.61	65.74 ± 9.10	64.93 ± 10.92	67.63 ± 13.56	63.70 ± 12.82	65.59 ± 12.47	66.23 ± 11.47

\* P < 0.05      \*\* P < 0.01; 高所トレーニング前に比較して有意      # P < 0.05      ## P < 0.01; 高所トレーニング後に比較して有意  
+ P < 0.05      ++ P < 0.01; 高所トレーニング第6期に比較して有意

研究では、高所トレーニングの実践資料を得るために、競技能力の高い大学男子競泳選手を対象として実施した、28日間に及ぶ中国雲南省昆明（標高1,886m）での高所トレーニングにおける水泳能力とコンディションに関するデータについて、検討を加えた。

#### 4-1. 水泳能力の推移からみた高所トレーニングの効果

本研究のおもな知見として、血中乳酸濃度が4.0mMに相当する泳速度 ( $V_{4.0}$ ) が、高所トレーニング開始3日目 (3/6) に低下し、9日目 (3/12)、16日目 (3/19) に平地と同等の値となり、21日目 (3/24) にもっとも高い値を示した、ということがあげられる。

これらの結果は、海拔1,886m程度の高所環境で実施する  $V_{4.0}$  程度の強度の有酸素性トレーニングについては、高所曝露後遅くとも9日目までに、平地と同等に実施できるようになることを示しており、トレーニングそのものによる有酸素性作業能力の向上を示唆するものである。

海拔1,280mを用いた準高所トレーニングにおいて、 $V_{4.0}$  程度の強度でのトレーニングが平地と同等にできるようになるのに、6日を要した<sup>7)</sup>。本研究において、より多くの日数が必要であったのは、使用した海拔高度がより高かったことによると考えられる。

別の重要な知見として、本トレーニング期間16日目 (3/19)、21日目 (3/24) の最高泳速度 ( $V_{Peak}$ ) の値は、平地の値と差がみられなかった、ということがあげられる。この点については、準高所トレーニング期間中、日数経過にもなって最大努力泳における泳速度が増加傾向にあった先行研究<sup>7)</sup> と類似した結果であると思われる。

本研究の結果は、 $V_{4.0}$  よりも高い強度でのトレーニングについても、高所曝露後遅くとも16日が経過すれば、平地と同等に実施できることを示しており、トレーニングそのものによる無酸素性作業能力の向上を示唆している。

本研究の第1期では、乳酸閾値程度の運動強度を中心とした水泳トレーニングを実施した。第2期では、乳酸閾値よりやや高い強度に相当する  $V_{4.0}$  程度の水泳トレーニングの距離を増やした。第3期以降、 $V_{4.0}$  の強度を超える中程度強度、およびレーススピードを再現させる高強度の水泳トレーニングの実施量を増加させていった。

先述した  $V_{4.0}$  や  $V_{Peak}$  の結果からすれば、トレーニングプログラムの設定に大きな問題点はなかったと思われる。しかしながら、本トレーニング期間後に行われた競技会（第82回日本選手権水泳競技大会）において自己記録を更新した対象者の割合は25%にすぎず、われわれが本高所トレーニング以前に実施してきた高所トレーニングにより、その後に引き続いて行われた競技会での自己記録更新率が64%程度であった（未発表資料）ことを考えれば、期待さ

れたほどの結果を得ることはできなかった。なお、自己記録を更新できなかった対象において、顕著に記録が悪かった対象はおらず、大きな失敗はなかったといえる。

以上のことから、高所トレーニングにより、有酸素性および無酸素性作業能力の向上が推察され、相応の効果をあげることができたといえる。しかしながら、より多くの対象が自己記録を更新するために、何が必要なのかを考えなければならないといえよう。

トレーニング効果をレースに結びつけるためには、レース前数週間の調整、すなわちテーパリングの内容が重要となる<sup>6)</sup>。高所トレーニングの第5期および第6期は、準テーパリング期間に設定されており、トレーニング量や高強度のトレーニング実施の割合を徐々に低減させ始めた時期である。本トレーニング期間終了後、目標とする競技会までに19~20日のテーパリング期間が設定されていた。したがって、高所トレーニング時の準テーパリング期間を含め、27~28日のテーパリングが実施されたことになる。

本高所トレーニング終了後に行われた競技会で良好な結果を残した長距離群（1名は自己最高記録を樹立。他の1名は自己最高記録とほぼ同等の記録を樹立）では、われわれが本高所トレーニング以前に実施してきた高所トレーニングおよびその後続くテーパリングの内容に準じたトレーニング計画が実行された。これに対し、自己記録更新を果たせない対象の割合が多かった中距離群および短距離群では、高所トレーニング時の総泳距離が10%程度低くなった結果、準テーパリング期間がテーパリング期と同等のトレーニング量に低下していた。このような高所トレーニング時の総泳距離の差が、テーパリング効果を低減させてしまった可能性が考えられる。この点に関しては、本研究で対象とした高所トレーニングの標高(1,886m)と、われわれが本研究以前に行っていた高所トレーニング時の標高(2,320m)との間に大きな差があり、かつ、実施した高所トレーニングから目標とする競技会までの期間にも差異があるため、これ以上の比較検討は困難である。

このようにテーパリングの内容は、対象個人によって異なる場合が多いため、複雑多岐にわたり、またその期間に詳細な科学データの収集を行わなかったことから、本研究では、調整期間のトレーニング内容について、詳細な議論をすすめることはできない。今後、早急にとり組まなければならない研究課題である。

#### 4-2. コンディションの推移からみた高所トレーニングの効果

高所のような低酸素環境に曝露すると、曝露3日までに骨髄の造血作用を促進するエリスロポエチンの分泌がピークに達し、1~3週間すると網状赤血球が増加し、3週間以上経過すると赤血球数、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリット値が増大する<sup>17)</sup>。この一連の過程が低酸素馴

化として、とらえられる。

本高所トレーニングにより、赤血球数、ヘマトクリット値が減少し、ヘモグロビン量、網状赤血球数は不変であり、平均赤血球容積（MCH）が増加した。これらの結果は、本高所トレーニング期間に、順調な馴化が起きていなかったことを示唆するものである。

高所のような低酸素環境下では、動脈血酸素飽和度が低下し、順調な低酸素馴化がみられると動脈血酸素飽和度は徐々に回復するとされている<sup>1)</sup>。この点、本トレーニング期間中の動脈血酸素飽和度についてみると、高所曝露開始後から値の低下がみられ、ほぼその水準の値が宿泊期間を通して維持され、回復傾向は示されなかった。このような動脈血酸素飽和度の推移からも、順調な馴化が起きていなかったことが考えられる。

高所へ移動すると体重が減少し、本トレーニング期間中、体重が徐々に漸減し、期間終了後体重の回復が観察された。体重、骨格筋量、体脂肪率について、本トレーニング期間前後で有意差は認められなかった。この体重減少で、まず考えられることは、低酸素環境に馴化できなかったことによる脱水症状である。しかし、本トレーニング期間のエネルギー摂取量が不十分であった可能性も否定できない。この点に関し、本研究では正確なエネルギー摂取量の記録を行っていないため、これ以上の考察をすすめることはむずかしい。

いずれにしても、本高所トレーニング期間中、コンディションに関連する値に回復がみられなかったことから、本対象に順調な低酸素馴化が起こっていたとはいいがたい。

トレーニング効果を左右する要因のひとつとして、トレーニング期間における酸化ストレスや疲労の影響があり、これらが過剰となったときには、トレーニング効果に悪影響を及ぼすことが考えられる。

高所のような低酸素環境下で、普段より高質多量のトレーニングを実施する場合、身体に多大な酸化ストレスがかかり、より疲労した状態に陥ることが想定される。とくに、本トレーニング第3期から導入したV<sub>40</sub>を超える中強度、高強度のトレーニングの影響を受け、身体には多大な酸化ストレスや疲労が生じていたことが推察される。

本研究では、本対象の身体が受けたストレスや疲労について明らかにするために、酸化ストレス度（d-ROMs）を定量化した。

d-ROMsに対する一過性運動の影響の有無の報告については、影響ありとする報告<sup>10)</sup>と影響なしとする報告<sup>4)</sup>のどちらもあり、一致した見解は得られていない。この点について、本トレーニング期間3日前（3/1）に測定された高強度運動前後のd-ROMsから検討を加えた。d-ROMsは、測定実施前の安静時、トレーニングの一環として実施した間歇的乳酸カーブテスト（ILCT）直後、ILCT後のクールダウン終了後とも、ほぼ同等の値であった。このため、本研究の結果

からは、d-ROMsは、高強度の一過性運動の影響を受けないことが示唆される。したがって、d-ROMsの値は、測定前数日のストレスや疲労の状況を反映していると考えられる。また、安静時と高強度運動後とのd-ROMsを比較してもさしつかえないと思われる。

d-ROMsは、本トレーニング期間中、徐々に増加する傾向を示し、トレーニング期間終了後、値が低下した。この結果は、本トレーニング期間に実施した水泳トレーニングの質（運動強度）に、実によく関連していると考えられる。本トレーニング期間は、高所の低酸素環境に滞在し、水泳トレーニングの量を増加させた。これらのことも、d-ROMsに影響を及ぼしていることが考えられるが、詳細について、本研究のデータから検討することはできないため、今後の研究を待たなければならない。

本研究においては、酸化ストレスの悪影響を避けるアプローチをするため、トレーニング期間開始とともに、ポリフェノール含有率が極めて高いアサイ (Acai)<sup>5,12)</sup> を規定量摂取させ、酸化ストレスを軽減するよう努力した。また、運動強度の高いトレーニングが中心となる第4期以降に高いアンチオキシダント効果を有するとされているCoQ10<sup>11,13)</sup> を規定量投与した。このような努力にもかかわらず、d-ROMsは増大する一方であった。この点については、アサイやCoQ10の投与量が少なかったこと、CoQ10投与開始のタイミングが遅すぎたことが考えられる。しかしながら、トレーニング期間終了後、値の回復がみられたことから、トレーニング効果に顕著に悪影響を及ぼすものではなかったと思われる。

高所滞在中の安静時の脈拍の増加は、疲労の影響であると考えられている<sup>1)</sup> が、本対象の安静時脈拍に変化は認められなかった。疲労をともなう激しい運動により、GPT, GOT, LDH,  $\gamma$ -GTP, クレアチンキナーゼが増大することが知られている。本高所トレーニングにより、GPT, LDH,  $\gamma$ -GTP, クレアチンキナーゼには変化がなく、GOTはむしろ減少した。これらのことも、本トレーニング期間の酸化ストレスや疲労が異常なレベルになかったことを支持するものである。

以上のことから、本対象の酸化ストレスや疲労のレベルは、高所滞在与高所でのトレーニングの質によって高まったものの、深刻な状況にはなかったと考えられた。今後は、高所トレーニング時のトレーニングプログラムのみならず、栄養摂取状況をより詳細に管理し、かつ、アンチオキシダントを積極的に導入し、酸化ストレスを高めないように努めることが重要となろう。

#### 4-3. 高所トレーニングの効果に及ぼす飲食の影響

低酸素環境に馴化すると、網状赤血球、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<sup>17)</sup>。このためには、その期間の栄養摂取の状況が重要となる。

本高所トレーニング期間、対象は、中国料理をバイキング形式で摂取した。高所トレーニングの第1期から第2期にかけて、胃腸機能の不良を訴える対象が比較的多くみられ、そのうち1名は急性胃腸炎を罹患し、2名は胃腸の不良を訴えるとともに発熱した。こうした胃腸機能障害には、疲労やストレスの影響に加え、慣れない食事によることが考えられる。これらのことから、油で調理されている肉類や魚類を避ける傾向が目立ち、いかに胃腸機能の低下を誘発させないようにするかという点に食事の時のポイントが絞られてしまった。

現地の食に慣れてきたトレーニング期間中期以降では、トレーニング強度が増したことに加え、中国料理独特の油を多量に使った料理に対する「飽き」とその対策から、対象自身が「食べやすい」と感じるものを中心に満腹感を得るような食事に陥る傾向が多かった。詳細なデータは残していないものの、栄養摂取バランスが悪化していった可能性を否定できない。このように、合宿期間中に適切な栄養摂取が実現できなかった結果、総タンパク質、HDLコレステロール、フェリチン、カリウムの値が有意に低下したのかもしれない。

本高所トレーニングでは、あらかじめ予想される鉄の不足に対してアサイを摂取させたが、油が多めの食事に対応するため、積極的にお茶を摂取する対象が目立ち、結果、アサイに含まれる多量の鉄の吸収が阻害されたことも考えられる。以上のような日々の栄養摂取の在り方に問題があったため、高所トレーニング終了後にフェリチンが劇的に減少した可能性は否定できない。

本研究の結果は、低酸素という特殊環境下での滞在とトレーニングを順調にすすめるためには、パフォーマンスの向上をはかるトレーニングのみ考えていけばよいのではなく、日々のよい食事を摂取することに加え、サプリメントを効果的に利用していかなければならないことを呈言しているといえよう。

## 5. ま と め

本研究では、高所トレーニングの実践資料を得るために、競技能力の高い大学男子競泳選手12名を対象として実施した。28日間に及ぶ中国雲南省昆明（標高1,886m）での高所トレーニングにおける水泳能力とコンディションに関するデータを検討した。

その結果、高所トレーニング中、血中乳酸濃度が4.0 mMに相当する泳速度が平地の値よりも高くなり、最大努力泳時の平均泳速度は平地の値と同等になったことから、有酸素性および無酸素性作業能力の向上が示唆された。しかし、本高所トレーニング終了19日経過時から開

催された競技会において、自己最高記録を更新した対象が25%しかみられなかったことから、上記作業能力の改善を相殺する悪影響が高所トレーニング中、あるいは高所トレーニング後に誘発された可能性が示唆された。

本高所トレーニングによって赤血球数、ヘマトクリット値およびフェリチンが有意に減少したことや、高所トレーニング初期にみられた動脈血酸素飽和度の低下に回復傾向が認められなかったことから、順調な低酸素馴化は起こっていない可能性が示された。この点については、高所トレーニングによって酸化ストレス度 (d-ROMs) が徐々に高まる傾向がみられたことから、処方したトレーニングが過重すぎたか、あるいはトレーニングにみあった休養や栄養摂取が充分ではなかった可能性が考えられた。

今後、高所トレーニング時の体調および栄養摂取状況をよりきめ細かく管理するとともに、高所トレーニングから競技会前のテーピングについて詳細な分析をすすめ、高所トレーニング後に行われる競技会でのパフォーマンスを高めるために有益となる資料の獲得に努めたい。

#### 参考文献

- 1) 浅野勝巳, 小林寛道 (2004) 高所トレーニングの科学, 杏林書院. 200-206.
- 2) 藤原寛康, 森谷暢, 加藤健志, 今村貴幸, 高橋雄介 (2004) 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, 中央大学保健体育研究所紀要. 22 : 47-59.
- 3) 今村貴幸, 加藤健志, 森谷暢 (2006) 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 : 21-33.
- 4) 河野照茂, 藤谷博人, 加藤晴康, 関久子, 谷田部かなか, 寺脇史子, 中島幸則, 川崎勇二, 太田真 (2006) 陸上長距離選手の25km走前後の酸化ストレスの変化, 体力科学. 55(6) : 769.
- 5) Lichtenthaler R, Rodrigues RB, Maia JG, Papagiannopoulos M, Fabricius H, Marx F. (2005) Total oxidant scavenging capacities of Euterpe oleracea Mart. fruits. *Int.J.Food Sci.Nutr.* 56(1) : 53-64.
- 6) Maglischo, E. W. (2003) *Swimming Fastest*. Human Kinetics: Champaign, IL, pp.653-668.
- 7) 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 : 77-93.
- 8) 森谷暢, 高橋雄介 (2004) 競泳トレーニングにおける乳酸の活用法, トレーニング科学. 15(3) : 145-149.
- 9) Nomura T, Mankyu H, Ooba M. (1999) Repeated altitude training effects on elite swimmers. *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*, 417-422.
- 10) 尾尻義彦 (2005) 運動負荷強度と酸化ストレスおよび抗酸化力: フリーラジカル分析装置FRASによる評価, 体力科学. 54(6) : 501.
- 11) 酒井健介, 加藤健志, 森藤雅史, 杉浦克己, 今村貴幸, 横山貴, 松田真幸, 寺尾保 (2003) 水泳選手を対象としたトレーニング期間中のCoQ10摂取の効果, 体力科学. 52(6) : 740.
- 12) Schauss AG, Wu X, Prior RL, Ou B, Huang D, Owens J, Agarwal A, Jensen GS, Hart AN, Shanbrom E. (2006) Antioxidant capacity and other bioactivities of the freeze-dried amazonian palm berry, *Euterpe*

- oleraceae mart. 54(22): 8604-10.
- 13) 白木孝尚, 大坪一政, 野村武男 (2005) CoQ10 摂取がエリート競泳選手のコンディションに与える影響, 体力科学. 54(6): 649.
  - 14) Tachi M, Okuno K and Wakayoshi K. (2003) Repeated high altitude training for the Sydney Olympic Games. *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*, 415-419.
  - 15) 立正伸, 高橋雄介, 森谷暢 (2007) 主観および客観的な指標を用いた高所トレーニング時のコンディションチェック, 中央大学保健体育研究所紀要. 25: 13-26.
  - 16) 高橋雄介, 森谷暢, 吉村豊 (2006) 競泳男子シニア短距離選手のトレーニングプログラム, 中央大学保健体育研究所紀要. 23: 37-76.
  - 17) 山地啓司 (2001) 高地・低酸素環境トレーニングに関するレビュー, 体育の科学. 51(4): 266-271.