

# 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

## The effect of moderate altitude training on physiological response during 200m swimming.

後藤 真二 (Shinji Goto)  
野村 孝路 (Takamichi Nomura)

群馬大学教育学部  
群馬県立敷島公園水泳場

### 〔要旨〕

To determine effects of moderate altitude training, several physiological parameters were examined in two male and ten female swimmers before, during, and after eight days swimming training at 1300m.

Blood lactate accumulation (La), heart rate (HR), and rating of perceived exertion (RPE) associated with 200m submaximal swimming were measured before, during and after moderate altitude swimming training. The speed that La accumulated 4mmol/l (VOBLA) was estimated visually.

The swim speed of 200m swimming during moderate altitude training was slower than that before training. La and RPE of submaximal swimming did not differ between before and during moderate altitude training. HR during 200m swimming was significantly lower than that of pre-altitude test.

VOBLA on early living at altitude was lower than that of pre-test. On late living at altitude, VOBLA approached pre-test value. After moderate altitude training, VOBLA was higher than pre-altitude training speed.

These results suggest that moderate altitude results in alter physiological responses during submaximal swimming, and eight days moderate altitude training make improve the endurance capacity.

◆キーワード：準高地、水泳、血中乳酸濃度、心拍数、自覚的運動強度

### I. 緒言

高地または高所トレーニングは、1968年のメキシコオリンピックに向けて注目され、近年では持久性スポーツの特にトップレベルの選手で広く行われている。高地トレーニングでは、高地に滞在することによる受動的効果（低酸素順化）と、トレーニングによる効果（積極的効果）とが合成され、平地以上のトレーニング効果が期待される<sup>1)</sup>。

ところでこれまで高地トレーニングに関する報告は、2000m程度あるいはそれ以上の標高で行われたものが多かった<sup>1,9)</sup>。しかしそれ以下の標高においても平地とは異なる生理的反応が示されることが報告されている。たとえばTerrados<sup>10)</sup>は、 $\dot{V}O_2\max$ に関して、非鍛錬者では1200mで有意に、さらに鍛錬者では900mにおいてもすでに7.5%の低下を示したとしている。したがって、1500mを下回る準高地であっても、平地とは異なるトレーニング効果が期待できると思われる。

そこで、本研究では標高約1300mの準高地におけるト

レーニングが水泳中の生理的応答に及ぼす影響を測定し、準高地トレーニングの可能性を検討することを目的とした。

### II. 方法

被験者はシドニーオリンピック選考会決勝あるいは準決勝進出者を含む全国大会出場レベルの、14～20歳の男子2名、女子10名であった。彼らの身体的特性は表1に示した。

表1 被験者の身体特性

		Age years	Height cm	Weight kg	%Fat %
Male	mean	18.0	177.6	67.9	10.6
	SD	2.8	8.2	10.3	0.4
Female	mean	16.3	161.1	55.2	20.0
	SD	1.6	5.5	5.0	1.8

準高地におけるトレーニングはThredbo（オーストラリア、標高1300m）で1999年12月22日から29日までの8日間実施した。トレーニングは原則として1日2回、1回5000～8000m程度であった。

トレーニング前(1999年12月11日)に平地(前橋市、標高115m)において形態測定、血液検査、および乳酸カーブテストを実施した。高地トレーニング中は滞在初期(2または3日目)および滞後期(7日目)、滞後5日目(Woolngong、オーストラリア、標高10m)に乳酸カーブテストを行った。さらに滞後9日目に血液検査および乳酸カーブテストを実施した(前橋市)。

形態測定は、身長、体重、インピーダンス法(タニタ社製 TBF-102)による体脂肪率、および皮脂厚(上腕背部、肩胛骨下部)をキャリパーにより測定した。

血液検査は早朝空腹時に正中静脈より採血し、ヘマトクリット、ヘモグロビン、赤血球、白血球数を測定した。

乳酸カーブテストは、被験者に8分毎に200mを自分の得意とする泳法でできるだけ一定速度で泳いでもらった。最初のテストの際に、1回目は「楽に」、2回目は「ややきつい」、3回目は「きつい」、4回目は全力で泳ぐように指示した。2度目以降の200m泳テストにおいては、準高値滞在前のテストとできるだけ同じ記録で泳ぐように指示をした。水泳中の心拍数は5秒ごとに心拍メモリー(Polar社製 Accurex Plus)により測定した。泳ぎ終わった直後に自覚的運動強度をBorgのスケールにより<sup>3)</sup>、また脈拍数は被験者自身が触診法により測定した。血中乳酸濃度は運動終了1分後に指先より採血し簡易乳酸測定装置(Arkray社製 Lactate Pro)にて測定した。なお、トレーニング前後の測定を除いては、トレーニングの妨げにならないように、乳酸カーブテストは200mを2回、2番目と3番目の速度で泳ぐように指示した。

得られたデータから、横軸に速度を縦軸に血中乳酸濃度および心拍数をとり作図し、血中乳酸濃度が4mmol/lに相当する速度(以下VOBLAと略す)およびその際の心拍数を視覚的に求めた。なお、被験者が指定通りの速度で泳げなかったためにVOBLAを内挿法で決定できなかった場合は、外挿法によりそれぞれのパラメータを決定した。

測定結果は全て平均値±標準偏差で示した。準高値滞在前、滞在初期、滞在後期、滞在後5日目、および滞在後9日目の泳速度、血中乳酸濃度、心拍数、自覚的運動強度は一元配置の分散分析を、滞在前後の血液性状に関しては、対応のあるt-testを行い、いずれも危険率は5%とした。

### Ⅲ. 結果

表2に準高値トレーニング前後の血液性状の変化を示した。男子では有意な変化が認められなかったが、女子では、赤血球数、ヘモグロビン、ヘマトクリットは準高値滞在後有意に増加した。

表2 準高地トレーニング前後の血液性状の変化

		WBC( $\times 10^3/\mu l$ )		RBC( $\times 10^3/\mu l$ )		Hb(g/l)		Hct(%)	
		Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
MALE	mean	6.82	5.88	5.29	5.18	15.0	15.0	44.9	45.0
	SD	1.27	1.05	0.46	0.21	0.8	0.2	1.6	0.3
FEMALE	mean	5.41	5.92	4.43	4.85 *	13.7	14.2 *	40.2	42.7 *
	SD	0.76	2.42	0.16	0.22	0.3	0.2	1.1	0.8

\*:p<0.05

図1に200m泳テストの典型例を示した。血中乳酸濃度は準高値滞在初期には滞在前に比べて左傾化を示した。滞在後期にはほぼ滞在前の状態になり、滞在後5日目には右傾化が見られた。そして滞在9日目にはわずかに右にあるものの、ほぼ滞在前の状態に回復した。

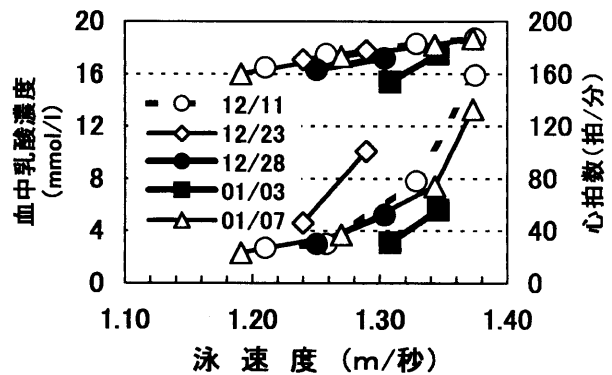


図1 被験者N.N.の200m泳における血中乳酸濃度および心拍数の変化

表3 第2泳速および第3泳速と各パラメータの比較

		2nd speed					3rd speed				
		Pre	H1	H2	Post1	Post2	Pre	H1	H2	Post1	Post2
Speed	mean	1.332	1.284	1.302	1.308	1.331	1.391	1.351	1.365	1.377	1.389
	SD	0.102	0.093	0.094	0.084	0.084	0.099	0.097	0.095	0.099	0.081
Lactate	mean	3.3	3.4	3.2	2.3	3.2	6.0	6.1	5.3	4.2	5.3
	SD	1.0	1.7	1.1	0.8	1.1	2.0	2.2	1.4	1.6	1.9
Heart Rate	mean	179.2	167.7	165.7	158.7	173.9	186.3	179.7	174.6	171.8	183.0
	SD	6.8	6.4	4.5	6.6	7.2	4.7	7.9	4.2	6.5	5.9
RPE	mean	13.3	13.5	13.0	11.3	12.5	15.6	16.7	15.8	15.1	14.5
	SD	0.9	1.0	1.8	1.7	1.7	1.3	1.4	1.5	1.6	1.4

Preは準高値滞在前を、H1およびH2は高地滞在中の測定を、Post1およびPost2は低地回復後をそれぞれ表す。

表3に全5回の200m泳テストを完遂した9名の第2および第3泳速度とその際の血中乳酸濃度、心拍数、および自覚的運動強度を示した。

どちらの泳速度も滞在初期において最も遅く、滞在後期では初期よりは速かったものの高地滞在前よりは遅かった。滞在後5日目ではいずれの泳速もわずかに遅く、滞在後9日目では準高地滞在前とほぼ等しかったが、いずれの条件間にも有意な差は認められなかった。

第2、第3泳速における血中乳酸濃度は、滞在初期においては泳速度が遅かったにも関わらず、滞在前よりも高い傾向を示した。滞在後期にも同様の傾向が認められたが、その程度は滞在初期に比べ軽微であった。滞在後5日目においては、滞在前に比べ第2泳速では0.9mmol/l、第3泳速では1.5mmol/l低かった。滞在後9日目では滞在前とほぼ同様の値を示した。(図2)

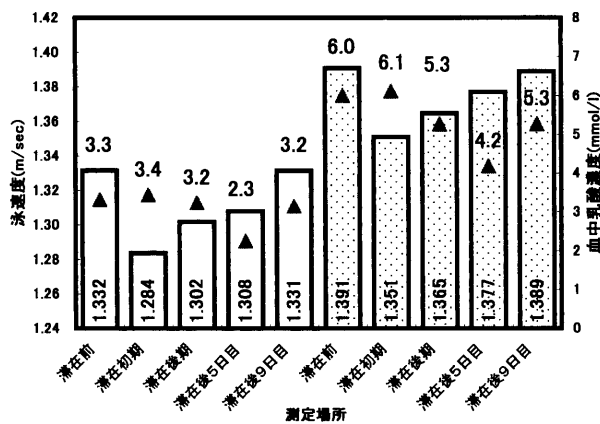


図2 第2および第3速度およびその時の血中乳酸濃度の比較

200m泳テスト中の心拍数は、滞在前に比べてその初期には第2泳速で、後期および滞在後5日目では両泳速で有意に低い値を示したが、滞在後9日目では第2泳速では低い傾向を示したものの、第3泳速ではほぼ同じ値となった。(図3)

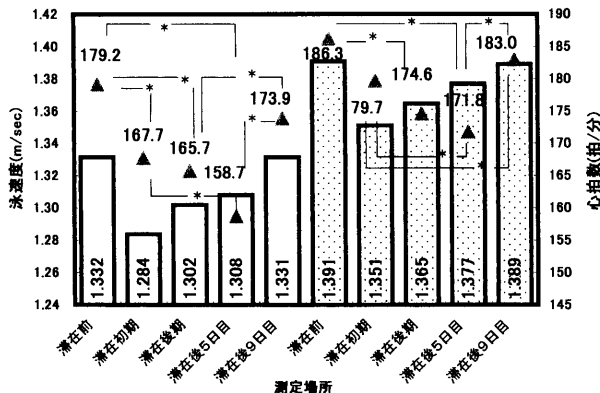


図3 第2および第3速度における心拍数の比較

自覚的運動強度は、滞在初期および後期に泳速度が遅いにもかかわらず、滞在前のそれと同程度であった。第2泳速においては、滞在後5日目に滞在前よりも、また第3泳速においては、滞在後9日目に滞在前よりも有意に低かった。(図4)

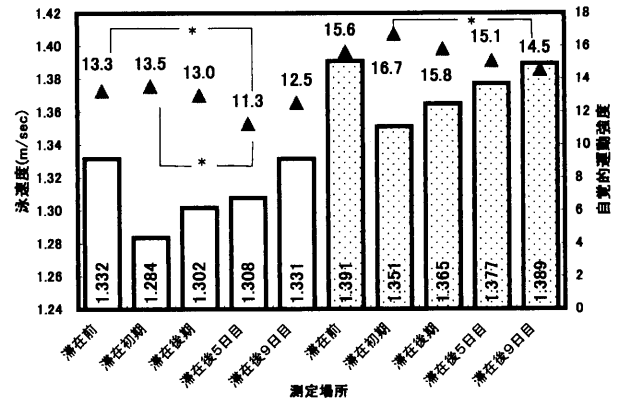


図4 第2および第3速度における自覚的運動強度比較

表4にVOBLAおよびその時の心拍数を、5回の測定全てのデータを得られた9名について示した。VOBLAは、準高地滞在初期に1名を除いて低下し、滞在後期には回復傾向を示したものの滞在前の値より低かった。滞在後5日目では、全員準高地滞在前よりも高値を示した。しかし滞在後9日目には、準高地滞在前の値と同程度となった(図5)。また、その際の心拍数は、滞在中および滞在後5日目で滞在前よりも有意に低値を示した。つまり滞在後5日目において、VOBLAはトレーニング前よりも高かったにも関わらず、その際の心拍数は有意に低い値を示した。(図6)

表4 VOBLAのおよびその際の心拍数の比較

		Pre	H1	H2	Post1	Post2
VOBLA	mean	1.366	1.322	1.344	1.392	1.370
	SD	0.088	0.065	0.083	0.073	0.079
	%	100.0	96.8	98.4	101.9	100.3
Heart Rate	mean	180.4	168.4	168.9	167.7	176.2
	SD	7.8	7.0	7.1	5.3	7.3
	%	100.0	93.3	93.6	92.9	97.7

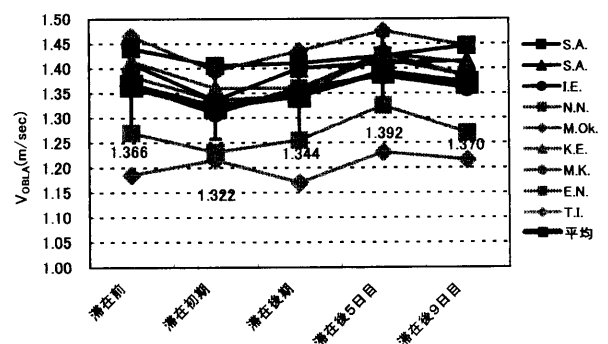


図5 VOBLAの変化

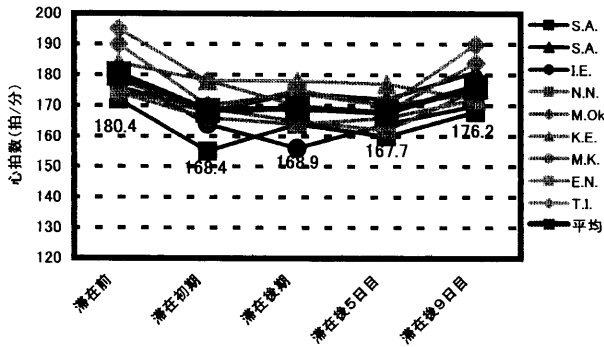


図6 VOBLAにおける心拍数の変化

#### IV. 考察

準高地滞在初期以後の200m泳テストにおいては、被験者に、高地滞在前のテスト時と同じ速さで泳ぎように指示をした。しかし第2および第3泳速とも、準高地滞在初期には全ての被験者で低かった。第2泳速では平均で0.048m/sec、第3泳速では0.040m/sec遅く、それは100m当たり2.8秒および2.1秒に相当した。しかしその際の自覚的運動強度は滞在前の13.3および15.6と同程度の13.5と16.7であった。またそれぞれの200m泳後の血中乳酸濃度は、いずれの速度でも滞在前とほぼ同じであったことから、被験者の感覚としては滞在前と同様の速さで泳いだものと推察される。なお、滞在初期における200m泳中の心拍数は、第2泳速では滞在前よりも有意に低く、第3泳速でも低い傾向を示した。したがって、標高1300m程度であっても、運動中の生理的応答に影響を与えることが示された。

滞在中においても両泳速は、滞在前よりも低い傾向を示したが、滞在初期よりも速く、滞在前とほぼ同じあるいはわずかながら速くなった者もいた。第2泳速の自覚的運動強度および血中乳酸濃度は滞在前より滞在初期とほぼ同様の値を示したが、第3泳速におけるそれらはやや低くなった。また心拍数は滞在初期よりさらに低かった。したがって、滞在中においても滞在前に比べると200m泳中の身体負担度はやや大きかったと考えられるが、その程度は滞在初期に比べるとかなり軽減されており、標高1300mに対する適応は比較的速やかに獲得されるものと考えられる。

棚屋ら<sup>9)</sup>は、標高1300mにおける6日間の水泳トレーニング中に、毎日今回の200m泳の第1および第3泳速に相当する速度での200m泳を行った。その結果、泳速度に有意差は認められなかったが、心拍数は滞在1～3日目に高く、その後滞在前の値と同程度を示し、自覚的運動

強度は滞在中高かったとしている。また血中乳酸濃度には変化がなかったと報告しているが、測定は滞在初日のみであった。

前嶋ら<sup>7)</sup>はスケート選手を対象として自転車エルゴメーターによる負荷漸増テストを行って、運動強度と血中乳酸濃度の関係を報告しているが、それによると高地滞在により同一負荷に対して血中乳酸濃度が増加した者が5名、変化しなかった者が5名、不明が2名であった。

一方Grassi<sup>4)</sup>らによると高地滞在中により、同一強度における最大下自転車運動中の血中乳酸濃度は高くなり、それは滞在期間の延長とともに軽減することを示した。またGreen<sup>5)</sup>らも、急性の高所暴露により、同一負荷における筋中乳酸濃度にも同様の変化が認められたとしている。彼らは加えて高地滞在中に高濃度の酸素を呼吸させて同じ運動を行った場合は、同一負荷における血中乳酸濃度の上昇が認められなかったことから、この現象は活動筋への酸素供給の低下によって起こると指摘した。

本研究では、泳速度が滞在中で最も遅くなり、滞在中後期ではそれよりは速かったものの、滞在前よりは遅かった。したがって、同一泳速度における血中乳酸濃度比較はできなかったが、両者の関係から見ると、同一泳速度においては、血中乳酸濃度は高く、その程度は滞在中に進んで軽減され、滞在中後期にはかなり滞在前に近づいていたと考えられる。したがって標高1300mにおいても200m泳中の生理的応答に影響を与え、それは主に酸素分圧の低下による、活動筋への酸素供給の低下によってもたらされて無酸素エネルギー利用増加のためと考えられる。特に水泳では呼吸をストロークのリズムに合わせる必要があるために、他のスポーツよりも酸素分圧低下の影響が顕著で、その結果全ての被験者で同様の傾向が認められたものと考えられる。

VOBLAは滞在前の1.366m/secに比べ滞在中初期では1.322m/sec、滞在中後期では1.344m/secと滞在中初期よりは速くなったものの滞在前よりは遅かった。その後平地に戻ると1.392m/secと滞在前を上回り、滞在中後9日目には1.370m/secとほぼ滞在前の値と等しくなった。つまり準高地滞在中後、平地に戻ると同じ速度で泳いでも血中乳酸濃度、心拍数ともに低くなった。したがって、この時期にはより高いパフォーマンスを発揮する可能性が考えられる。これまで高地トレーニングは、身体機能、特に持久能力の向上を目的として行われてきたが、本実験の結果は、準高地における比較的短期間の滞在中は、身体機

能の向上よりもむしろ、試合前の調整に有効に利用できる可能性を示唆するものといえる。

このような変化には、血液性状の変化も影響していると考えられるが、今回は滞在の前後でしか血液検査を行えなかったために、血液性状と最大下水泳中の血中乳酸および心拍数との関係については検討できなかった。

Grassi<sup>4)</sup>らは、同一負荷における血中乳酸濃度は、高地滞在中は高くなるものの、滞在後平地に戻ると滞在前よりも低くなることも報告しており、これらの結果は今回の結果と類似したものであった。その原因としてカテコールアミンレベルの変化による糖新生制御の変化。トレーニングにより得られる効果、つまり乳酸生産の減少あるいは乳酸の取り込み増加。ミトコンドリアへの酸素拡散の向上。ピルビン酸から乳酸への酵素活性の変化等をあげているがいまだ不明な点も多い。

以上、12名の競泳選手を対象として、標高1300mの準高地における8日間のトレーニング前を行った結果、最大下の200m泳速度は、被験者に滞在前と同一速度で泳ぐように指示したにもかかわらず遅かった。ただしその際の血中乳酸濃度および自覚的運動強度は滞在前とほぼ同じ値を示したことから、標高1300mであっても水泳中の生理的応答に影響することが示された。そのような変化は、滞在期間が進むとともに軽減され、平地に戻ると同じ速さで泳いでも血中乳酸濃度が低くなった。したがって、標高1300mにおける1週間程度のトレーニングは、試合への調整として有効な可能性が示唆された。

#### 【参考文献】

- 1)浅野勝己(1991)、高地トレーニングの基礎、臨床スポーツ医学、8:585-592
- 2)Bailey,D.M., B.Davies, L.Romer, L.Castell, E.Newsholme, G.Gandy. (1998)Implications of moderate altitude training for sea-level endurance in elite distance runners. Eur.J.Appl.Physiol., 78(4):360-368
- 3)Borg,G.A. (1982)Psychophysical bases of perceived exertion. Med.Sci.Sports Exerc., 14:377-388
- 4)Grassi,B., M.Marzorati, B.Kayser, M.Bordini, A.Colombini, M.Conti, C.Marconi, and P.Cerretelli. (1996)Peak blood lactate and blood lactate vs. workload during acclimatization to 5,050m and in deacclimatization. J.Appl.Physiol. 80(2):685-692, 1996
- 5)Green,H.J., J.R.Sutton, E.E.Wolfel, J.T.Reeves, G.E.Butterfield, and G.A.Brooks. (1992)Altitude acclimatization and energy metabolic adaptations in skeletal muscle during exercise. J.Appl.Physiol. 73(6):2701-2708
- 6)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—、東京大学教養学部体

育学紀要、26；89-94

- 7)前嶋孝、伊藤静夫、高尾良英(1999)、スピードスケート中・長距離選手のアリゾナ合宿における医・科学サポート —ソルトレークシティー・オリンピックに向けて—、平成11年度日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告 JOC高地トレーニング医・科学サポート—第9報—、45-60
- 8)Mazzeo,R.S., G.A.Brooks, G.E.Butterfield, A.Cymerman, A.C.Roberts, M.Selland, E.E.Wlferl, and J.T.Reeves. (1994)β-Adrenergic blockade dose not prevent the lactate response to exercise after acclimatization to high altitude. J.Appl.Physiol. 76(2):610-615
- 9)瀬屋光男、杉田正明、川本竜史、渡會公治、川原真、(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
- 10)Terrados,N., M.Mizuno, H.Andersen. (1985)Reduction in maximal oxygen uptake at low altitudes; role of training status and lung function. Clin.Physiol., 5(Suppl 3):75-79
- 11)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—高地トレーニングの是非論について—、体育の科学、51(4):266-271