

# 陸上競技・長距離走における高地居住競技者と我が国の競技者との身体能力についての考察

平塚 潤・櫛部 静二

## 1. 緒 言

今日、陸上競技・長距離走種目はケニア（標高 2,000 m）、エチオピア（標高 2,500 m）といった、幼少の頃から高地という環境下で生活をし、成長をしてきた競技者の活躍が目覚ましい<sup>(1)</sup>。2004 年にはアテネオリンピックが開催されたが、長距離走種目である 5,000 m、10,000 m の決勝進出者の内訳をみると、約 7 割以上の競技者が高地出身者であり、その強さは歴然としている。

このように高地出身の競技者は、長距離走種目において、高い競技パフォーマンスを発揮しているが、その要因として人種的要因と高地環境下に居住している環境的要因の 2 つが考えられている<sup>(17)</sup>。そして、環境的要因については、高地環境下出身の競技者（以下、高地競技者）と低地環境下出身の競技者（以下、低地競技者）の比較によると、筋繊維の種類や断面積、毛細血管数、クエン酸合成活性においては両者に大きな差がないものの、高地競技者では骨格筋の酸化酵素活性が有意に高く、そのため同一の仕事量であっても、血中乳酸値が低い値を示すことが報告されている<sup>(4)</sup>。この現象は、高地競技者の恒常的な適応というよりは、遺伝に負うとみならず報告も少なくないが、低地競技者は高地環境下にて一定期間トレーニングを行うと、高地競技者と同等に骨格筋の酸化酵素活性が向上し、血中乳酸の産生量が少なくなることから、遺伝と環境の両者の影響を受けているとみならず方が妥当であるとされている<sup>(4), (18)</sup>。

先行研究では、高地環境下での低酸素暴露を 3~4 週間継続すると赤血球数（以下、RBC）やヘモグロビン（以下、Hb）が増加することが報告されており<sup>(5), (6)</sup>、Hb が増えれば最大酸素摂取量が改善されることが示されている<sup>(6)</sup>。陸上競技の長距離走のような持久力を競うスポーツにおいて、最大酸素摂取量はそのパフォーマンスを決定する大きな要因であり<sup>(8), (13), (18)</sup>、高地に居住し、トレーニングすることが競技成績に対して優位に作用することは否定しがたい<sup>(16), (17), (18)</sup>。

現在、このような高地競技者や低地競技者における高地トレーニングに関する研究は多い<sup>(2), (6), (7)</sup>。しかし、高地に居住していた高地競技者が低地に移り住んでトレーニングや競技を行う場合と、低地競技者が長期間の高地トレーニングを行い、その後平地に戻りトレーニングや競技を行う場合とを比較し、その効果の違いを明らかにした研究はほとんどない。幼少の頃から

高地にて生活し、トレーニングを行ってきた高地競技者と、平地で生活し、トレーニングを行ってきた低地競技者が高地トレーニングを行なった場合とでは、最大酸素摂取量や走行時の血中乳酸値や心拍数の改善には差がみられることが考えられる。

そこで、本研究は、陸上競技・長距離走種目における高地競技者と低地競技者の低酸素環境への反応や平地馴化における差異と、低地競技者の高地トレーニング前から高地トレーニング1ヶ月後までの血液性状やパフォーマンスに関する生理学的変化を事例的に調査することを目的とした。

## 2. 方 法

### (1) 対 象

被検者は、陸上競技長距離種目を専門とする男子実業団選手2名を対象とし、うち1名は高地競技者A（エチオピア人。以下、Aとする）、1名は低地競技者B（日本人。以下、Bとする）であった。高地競技者はエチオピアより初来日であった。実験を行うにあたり、被検者には実験の目的、主旨、内容および危険性を説明し、参加の同意を得た。各被検者の身体的特徴は、表1に示した通りである。

### (2) 実験プロトコール

#### a. 実験①

図1は、被検者Aにおける実験プロトコールを示した。Aはエチオピア（標高2,500 m）から来日直後にプレテストを行い、その後日本（標高50~100 m）にて所属実業団チームでのトレーニングを2ヶ月間行い（平均月間走行距離910.0 km）、その後ポストテストを行った。

#### b. 実験②

図2は、被検者Bにおける実験プロトコールを示した。Bは高地トレーニング出発前にプレ

表1 被検者の身体的特徴

	高地居住競技者 H. G.	低地居住競技者 S. A.
年 齢 (歳)	19	26
競 技 歴 (年)	7	14
身 長 (cm)	166.0	174.5
体 重 (kg)	58.0	58.4
体脂肪率 (%)	10.3	5.8
骨 密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.254	1.166

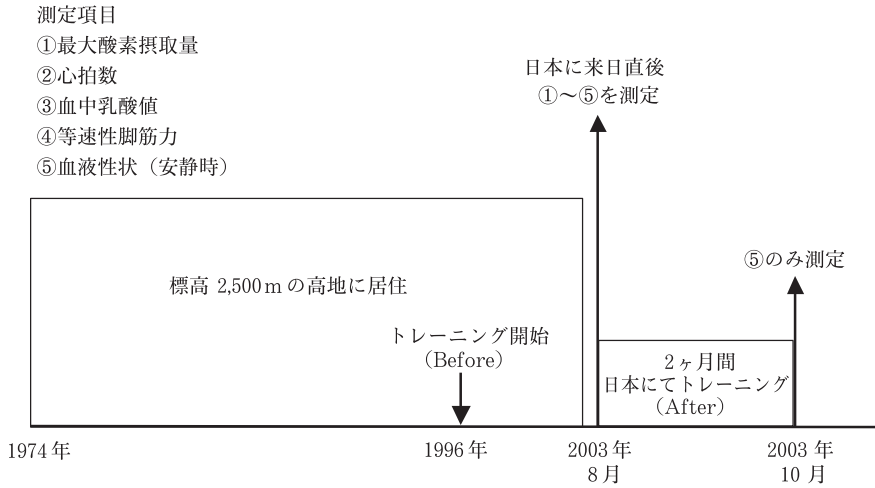


図1 高地居住競技者実験プロトコール

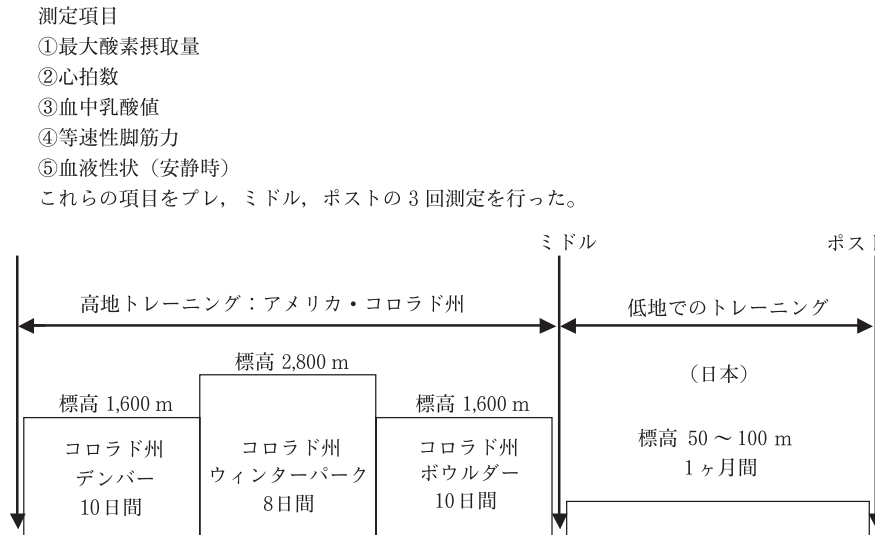


図2 低地居住競技者実験プロトコール

テストを行った。その後アメリカ合衆国コロラド州ボウルダーにて28日間の高地トレーニングを行った（走行距離1,002.0 km）。トレーニングの高度と滞在期間は、順応期間として標高1,600 mにて10日、2,800 mにて8日、1,600 mにて10日であった。そして帰国直後にミドルテスト（ミドル）を行い、その後低地で1ヶ月間のトレーニング後に再びポストテストを行った。

### (3) トレッドミル走プロトコール

図3は、トレッドミル走における最大酸素摂取量、血中乳酸値および心拍数の測定プロトコールを示した。トレッドミル走は、日本体育大学健志台トレーニングセンターに設置されているト

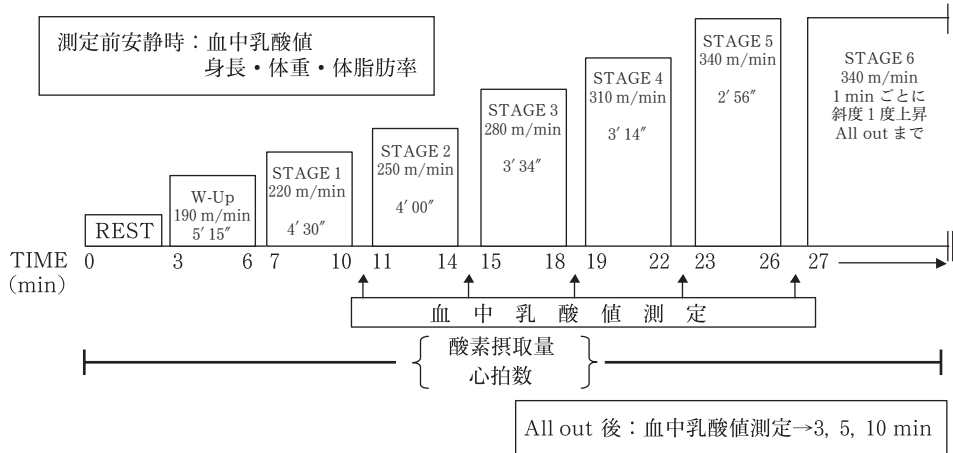


図3 トレッドミル走における最大酸素摂取量, 血中乳酸値および心拍数の測定プロトコール

レッドミル (BIOMILL 社製, BM 1000 シリーズ, Japan) において, 漸増的負荷を用いて行った。まず, 分速 190 m (以後 190 m/min とする) のスピードで 3 分間ウォームアップ (W-up) を行い, 1 分間の休憩の後測定を開始した。3 分間走行, 1 分間休憩の繰り返しを 5 回, STAGE 1~STAGE 5 まで行った。走スピードは STAGE 1 が 220 m/min で, ステージ毎に 30 m/min ずつ増加し, STAGE 5 では 340 m/min まで増加した。STAGE 5 の後, 走スピードを 340 m/min に固定し, 1 分間走行する毎に  $1^{\circ}$  ずつトレッドミルの斜度が増加し, 疲労困憊で走行できなくなるまで (本論文の中ではオールアウトと定義し, 以後オールアウトとする) 走行を続けた (STAGE 6)。以上の方法で, 走行中の被検者の最大酸素摂取量, 血中乳酸値, 心拍数を測定した。

最大酸素摂取量は, 走行時の被検者の呼気ガスを呼吸代謝装置 Vo 2000 (Medical Graphics Corporation, USA) にて採取し, 呼吸代謝分析ソフトである m-Graph (エスアンドエムイー社製, Japan) を用いて分析を行なった。

心拍数の測定にはハートレートモニター (POLAR 社製, Finland) を用いた。被検者の胸につけたトランスミッターからピックアップした心拍数を腕時計型の受信機で受信した。得られたデータはコンピューターに転送して解析した。

血中乳酸濃度は, W-up 前の安静時, 各ステージ間の 1 分間の休憩中, オールアウトの 3, 5, 10 分後にランセットを用いて指先より  $20\mu\text{l}$  を採血し, 得られた血液をラクテートアナライザー (BIOSREN 5040 L, EFK 社製) を用いて分析を行なった。

#### (4) 血液性状

採血は, 実験当日の被検者の朝食終了 3 時間後に医療従事者によって安静座位にて肘静脈より

約 8 ml の採血を行なった。血液の分析は血液分析請負サービス（エスアールエル東京メディカル, Japan）で行った。分析項目は 15 項目であり、分析方法は下記のとおりである。

総蛋白は Biuret 法で定量し、グルタミン酸オキザロ酢酸トランスアミラーゼ（以下 GOT）グルタミン酸ピルビン酸トランスアミラーゼ（以下 GPT）、クレアチンホスホキナーゼ（以下 CK）は JCSS 標準化対応法を用いて、定量した。白血球数（以下 WBC）はフローサイトメトリー、赤血球数（以下 RBC）と血小板数はシースフロー DC 検出方式、ヘモグロビン（以下 Hb）、ヘマトクリット（以下 Ht）は赤血球パルス波高値検出法、平均赤血球容積（以下 MCV）、平均ヘモグロビン赤血球数（以下 MCH）、平均赤血球ヘモグロビン濃度（以下 MCHC）、フェリチンと血清鉄（transferrin: Fe 以下 Fe）は EIA にてそれぞれ定量し、エリスロポエチン（以下 EPO）は RIA 2 抗体法にて測定した。

### (5) 等速性膝伸展・屈曲力

等速性膝伸展・屈曲力の測定には、等速性筋力測定器（Biodex-system 3, Biodex medical systems 社製, USA）を用いた。測定は左右脚行い、用いた角速度は 60, 120 および 180 deg/sec であった。被検者は測定器の椅子に座り、測定時に動かないよう肩、大腿部および腹部を専用ベルトにて固定した。ダイナモメーターの回転軸は、膝関節の運動軸と合うように調節し、アーム長は足関節用のパッドが足関節の前上部に当たるよう合わせた。測定の前には、疲労しない程度に 5~10 回の膝伸展・屈曲運動を実施した。測定は各角速度 3 回の等速性膝伸展・屈曲動作を最大努力で行い、各角速度の最大トルクを算出した。また、角速度 180 deg/sec において 50 回の等速性膝伸展・屈曲動作を最大努力で行い、筋持久力を測定した。

### (6) 競技記録

競技記録は、競技会または記録会における 5,000 m および 10,000 m の記録を採用した。A は、高地居住時および平地移住直後より 2 ヶ月の間に出場した際の記録を採用した。B は、高地トレーニング前、高地トレーニング直後および高地トレーニング終了から 1 ヶ月後に出場した際の記録を採用した。

## 3. 結 果

### (1) トレッドミル走における最大酸素摂取量, 血中乳酸値, 心拍数の測定値

トレッドミル走において、A は STAGE 6 の 3 分でオールアウトであり、B はブレ、ミドルテストにおいて STAGE 6 の 3 分でオールアウトであったが、ポストテストにおいては STAGE 6 の 4 分でオールアウトであった。

図4は、トレッドミル走におけるプレ、ミドル、ポストテストの最大酸素摂取量の変化を示した。Aの最大酸素摂取量は79.4 ml/kg/minであった。Bの最大酸素摂取量は、プレテストにおいて75.6 ml/kg/min、ミドルテストにおいて74.5 ml/kg/min、ポストテストにおいて77.0 ml/kg/minであり、ミドルテストにおいて低値を示した。最大酸素摂取量においてAとBとを比較すると、Aが顕著に高い値を示した。

図5は、トレッドミル走における各ステージおよびオールアウト後の血中乳酸値の変移を示し

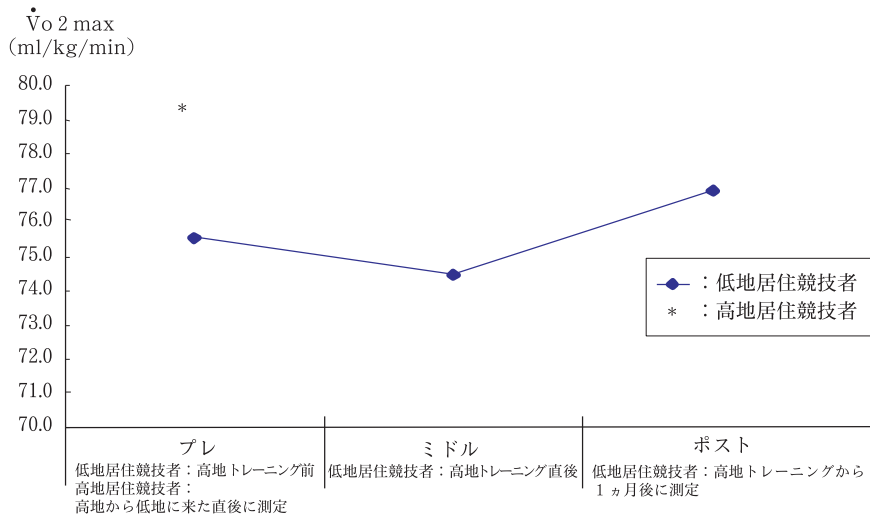


図4 トレーニングによるプレ、ミドル、ポストの最大酸素摂取量の変化

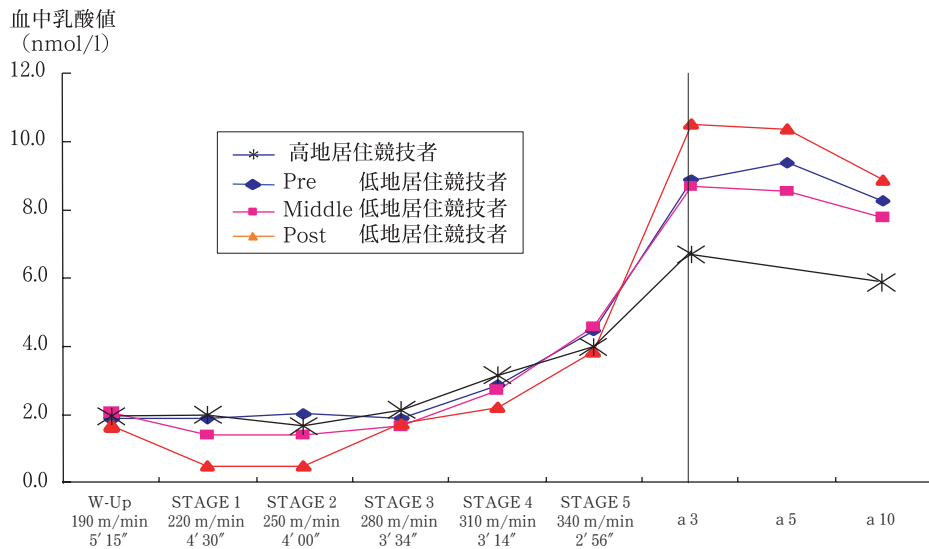


図5 トレッドミル走における各ステージおよびオールアウト後の血中乳酸値の変移

た。Aの血中乳酸値は、安静時において2.0 mmol/lであり、STAGE 3までは2.1 mmol/lと変化はなかったが、STAGE 4において3.2 mmol/l, STAGE 5において4.0 mmol/lと増加した。また、オールアウト5分後において6.8 mmol/lであり、10分後において5.8 mmol/lであった。Bの血中乳酸値は、プレテストの安静時において1.9 mmol/lであり、STAGE 3までは1.9 mmol/lと変化はなかったが、STAGE 4において2.9 mmol/l, STAGE 5において4.5 mmol/lと増加した。また、オールアウト3分後において8.9 mmol/l, 5分後において9.4 mmol/l, 10分後において8.3 mmol/lであった。ミドルテストの安静時において2.1 mmol/lであり、STAGE 3において1.7 mmol/lとほぼ同値であり、STAGE 4において2.7 mmol/l, STAGE 5において4.6 mmol/lと増加した。オールアウト3分後において8.7 mmol/l, 5分後において8.6 mmol/l, 10分後において7.8 mmol/lであった。ポストテストの安静時において1.7 mmol/lであり、STAGE 4までは2.2 mmol/lとほぼ同値であったが、STAGE 5において3.9 mmol/lと増加した。オールアウト3分後において10.5 mmol/l, 5分後において10.4 mmol/l, 10分後において8.9 mmol/lであった。血中乳酸値は、AおよびBともにSTAGE 4もしくはSTAGE 5の時点で顕著な値の増加が見られた。血中乳酸値においてAとBとを比較すると、STAGE 5までは両者に差はほとんど見られなかったが、オールアウト後の値はAの方がBに比べて顕著に低い値を示した。

図6は、トレッドミル走における心拍数の変移を示した。Aの最大心拍数は、STAGE 6の2分で現れ、値は204拍/分であった。Bの最大心拍数は、プレ、ミドル、ポストテストのすべての測定において、STAGE 6の3分に現れ、値は、プレテストにおいて187拍/分、ミドルテストにおいて189拍/分、ポストテストにおいて184拍/分であった。心拍数は、プレ、ミドル、ポストともに顕著な値の変化は見られなかった。心拍数においてAとBとを比較すると、両者にほとんど差は見られなかったが、STAGE 6の3~4分にかけてAの方がBよりも高い値を示

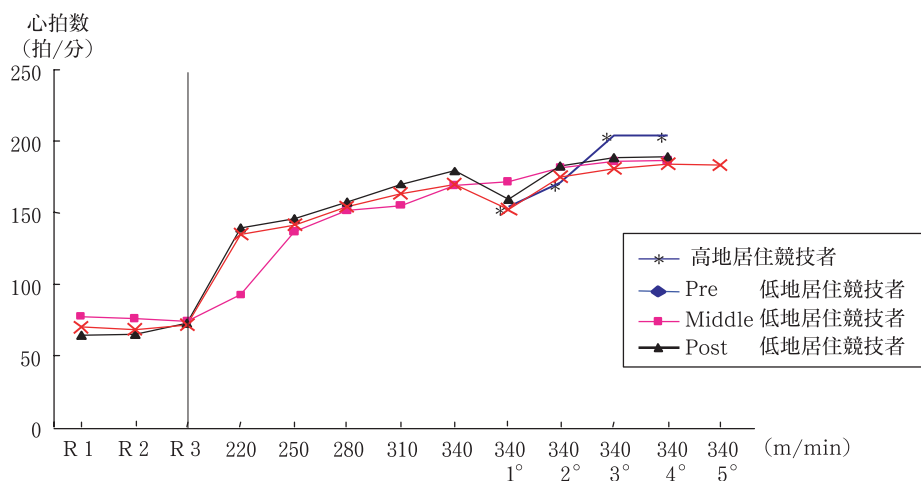


図6 トレッドミル走における各ステージおよびオールアウト後の心拍数の変移

した。

## (2) 血液性状

表 2, は各被検者における血液性状の変化を示した。A は, 総蛋白, 血小板数, MCHC, EPO はプレテストに対してポストテストで増加の傾向が見られ, GOT, GPT, CK, RBC, Ht, MCV, MCH, フェリチンはプレテストに対して, ポストテストで低下が見られた。

B のプレ, ミドルテストについては, 総蛋白, GOT, GPT, CK, Fe, WBC, Hb, 血小板数, MCH, MCHC において増加が見られ, フェリチン, EPO において低下が見られた。RBC, Ht, MCV は変化が見られなかった。ミドル, ポストテストについては, GOT, GPT, Fe, MCV, フェリチン, EPO において増加が見られ, 総蛋白, CK, WBC, RBC, Hb, Ht, 血小板数, MCH, MCHC, において低下が見られた。

A の平地移住直後 (プレテスト) と, B の高地トレーニング直後 (ミドルテスト) を比較すると, 総蛋白, GPT, CK, MCH, MCHC は B の方が高値を, GOT, WBC, RBC, Hb, Ht, 血小板数, MCV, フェリチン, EPO は A の方が高値を示した。両者におけるその後の血液性状の変化 (ポストテスト) を比較すると, 総蛋白, GOT, GPT, CK, Fe, MCV, MCH, EPO は B が, RBC, Ht, 血小板数, MCHC, フェリチンは A が高値を示した。

## (3) 等速性脚筋力

図 7, 8, 9 は, 各角速度における両脚の等速性膝伸展力の変化を示した。角速度 60 deg/sec に

表 2 各被検者における血液性状の変化

測定項目	基準値	高地居住競技者		平地居住競技者		
		Pre	Post	Pre	Middle	Post
総蛋白	6.7~8.3 g/dl	6.2	6.4	7.3	7.4	6.8
AST	10~40 IU/l/37°C	40	36	37	38	53
ALT	5~45 IU/l 37°C	40	31	35	46	62
CK	60~270 IU/l 37°C	437	275	298	446	311
血清鉄	50~200 ng/dl	186	72	55	66	134
白血球数	3300~9000/ $\mu$ l	5040	6500	4800	4900	3,700
赤血球数	430~570 $\times 10^4$ / $\mu$ l	503	477	498	499	442
ヘモグロビン	13.5~17.5 g/dl	15.9	15.3	15.5	15.8	13.9
ヘマトクリット	39.7~52.4%	47.0	43.4	45.5	45.5	42.5
血小板数	14.0~34.0 $\times 10^4$ / $\mu$ l	19.5	21.3	17.0	18.0	17.7
MCV	85~102 fl	93	91	91	91	96
MCH	28.0~34.0 pg	31.6	31.3	31.1	31.7	31.4
MCHC	30.2~31.5%	33.8	34.4	34.0	34.9	32.7
フェリチン	18.6~261 ng/ml	187.5	97.8	37.2	33.9	35.3
EPO	9.1~32.8 mIU/ml	22.8	23.6	19.3	15.6	28.2



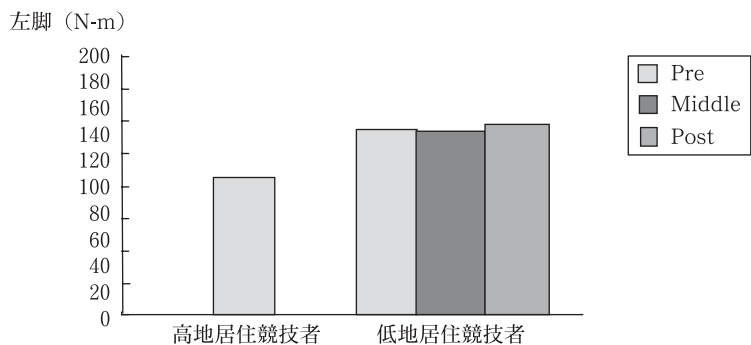
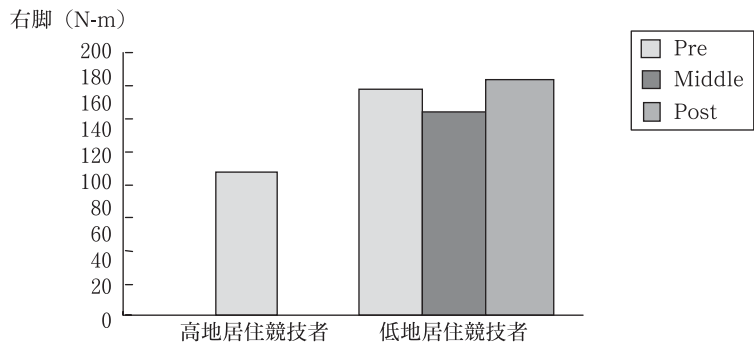


図7 両脚の等速性膝伸展力 60 deg/sec の変化 (実測値)

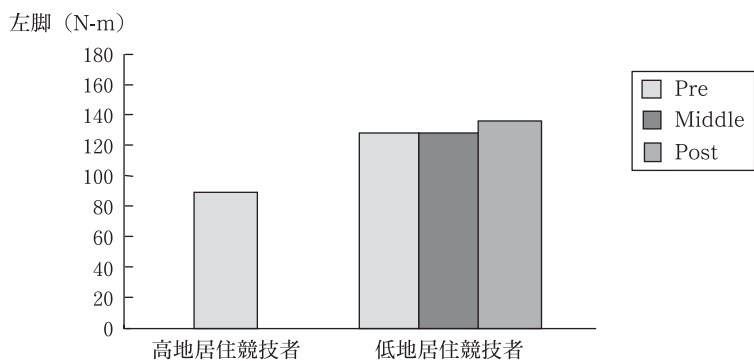
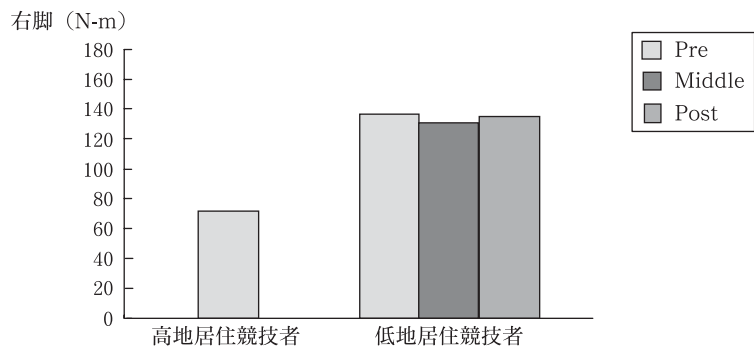


図8 両脚の等速性膝伸展力の 120 deg/sec の変化 (実測値)

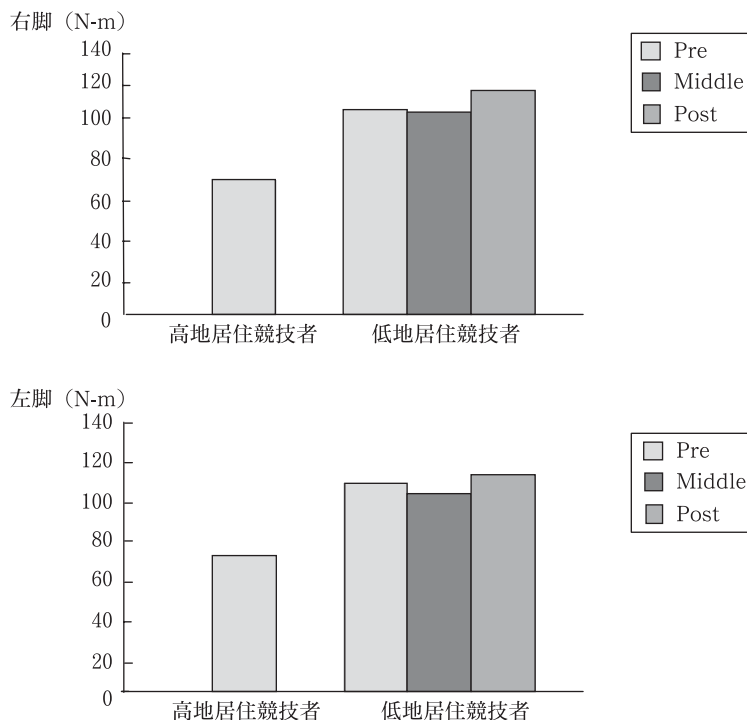


図9 両脚の等速性膝伸展力の 180 deg/sec の変化 (実測値)

において A は、右膝伸展力において 109.1 N-m, 左膝伸展力において 124.1 N-m であった。B は、プレテストの右膝伸展力において 172.1 N-m, 左膝伸展力 168.6 N-m であり、ミドルテストの右膝伸展力において 155.0 N-m, 左膝伸展力において 166.9 N-m であり、ポストテストの右膝伸展力において、179.5 N-m, 左膝伸展力において 172.8 N-m であった。角速度 120 deg/sec において A は、右膝伸展力において 71.6 N-m, 左膝伸展力において 89.3 N-m であった。B は、プレテストの右膝伸展力において 136.2 N-m, 左膝伸展力において 128.1 N-m であり、ミドルテストの右膝伸展力において 131.1 N-m, 左膝伸展力において 128.1 N-m であり、ポストテストの右膝伸展力において 134.8 N-m であり、左膝伸展力において 136.1 N-m であった。角速度 180 deg/sec において A は、右膝伸展力において 71.4 N-m であり、左膝伸展力において 70.3 N-m であった。B は、Pre の右膝伸展力において 107.7 N-m, 左膝伸展力において 108.2 N-m であり、ミドルテストの右膝伸展力において 106.6 N-m, 左膝伸展力において 102.8 N-m であり、ポストテストの右膝伸展力において 118.1 N-m, 左膝伸展力において 112.6 N-m であった。

図 10, 11, 12 は、各角速度における両脚の等速性脚膝屈曲力の変化を示した。角速度 60 deg/sec において A は、右膝屈曲力において 63.6 N-m, 左膝屈曲力において 52.0 N-m であった。B は、プレテストの右膝屈曲力において 72.5 N-m, 左膝屈曲力において 87.4 N-m であり、ミドルテストの右膝屈曲力において 87.2 N-m, 左膝屈曲力において 83.9 N-m であり、ポストテスト

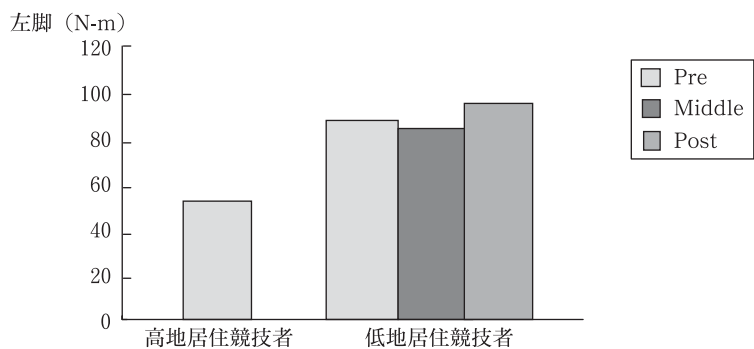
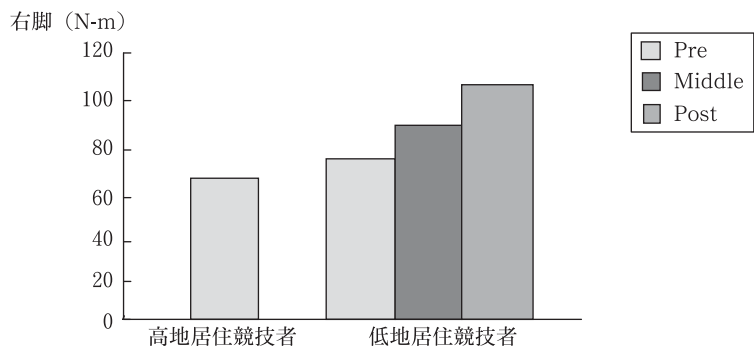


図 10 両脚の等速性膝屈曲力 60 deg/sec の変化 (実測値)

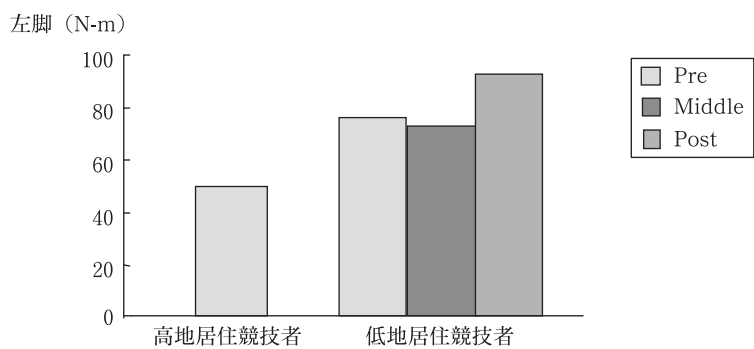
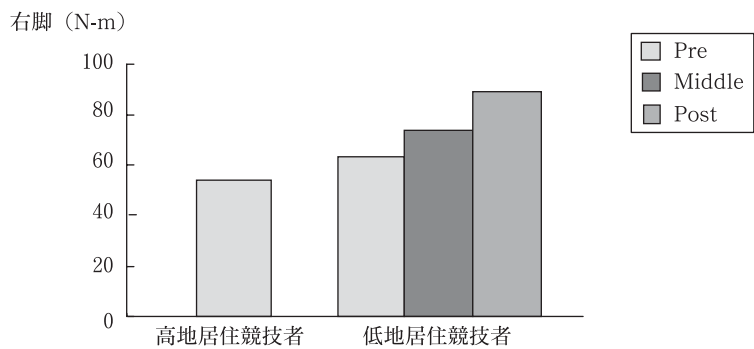


図 11 両脚の等速性膝屈曲力 120 deg/sec の変化 (実測値)

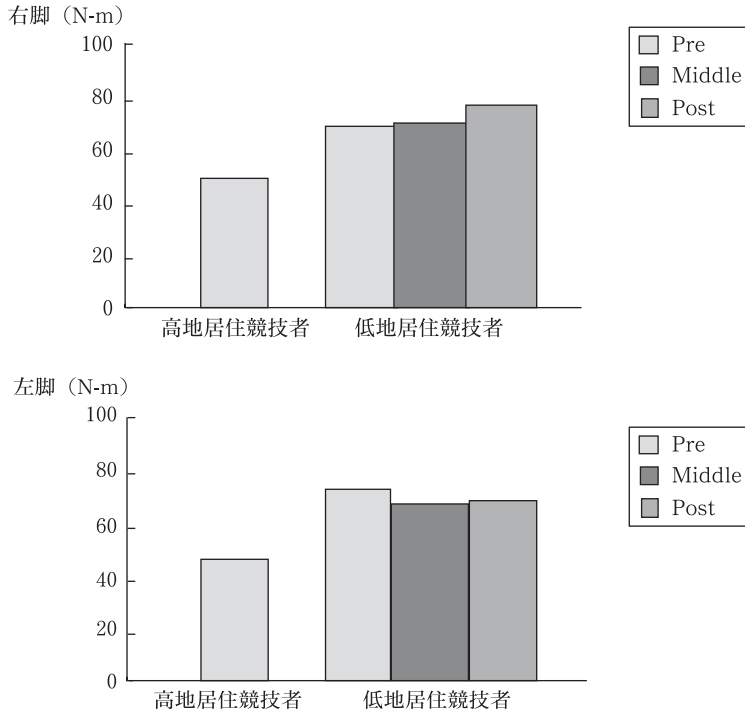


図 12 両脚の等速性膝屈曲力 180 deg/sec の変化 (実測値)

の右膝屈曲力において 105.9 N-m, 左膝屈曲力において 94.8 N-m であった。角速度 120 deg/sec において A は, 右膝屈曲力において 54.3 N-m, 左膝屈曲力において 40.9 N-m であった。B は, プレテストの右膝屈曲力において 63.2 N-m, 左膝屈曲力において 74.3 N-m であり, ミドルテストの右膝屈曲力において 73.9 N-m, 左膝屈曲力において 78.8 N-m であり, ポストテストの右膝屈曲力において 89.5 N-m であり, 左膝屈曲力において 85.3 N-m であった。角速度 180 deg/sec において A は, 右膝屈曲力において 48.9 N-m であり, 左膝屈曲力において 46.1 N-m であった。B は, プレテストの右膝屈曲力において 68.5 N-m, 左膝屈曲力において 72.6 N-m であり, ミドルテストの右膝屈曲力において 69.7 N-m, 左膝屈曲力において 67.3 N-m であり, ポストテストの右膝屈曲力において 76.7 N-m, 左膝屈曲力において 68.5 N-m であった。

図 13 は, 180 deg/sec における等速性膝伸展力の筋持久力の変化を示した。A は, 右膝伸展力において 69.1 W であり, 左膝伸展力において 76.0 W であった。B は, プレテストの右膝伸展力において 97.4 W, 左膝伸展力 96.0 W であり, ミドルテストの右膝伸展力において 93.6 W, 左膝伸展力において 88.0 W であり, ポストテストの右膝伸展力において 105.4 W, 左膝伸展力において 90.8 W であった。

図 14 は, 180 deg/sec における等速性膝屈曲力の筋持久力の変化を示した。A は, 右膝屈曲力において 38.5 W であり, 左膝屈曲力において 34.4 W であった。B は, Pre の右膝屈曲力にお

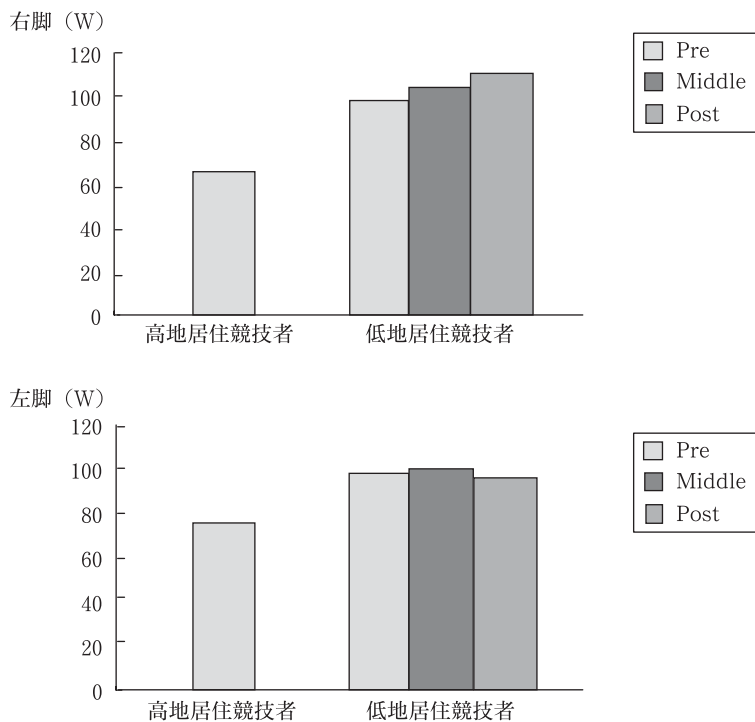


図 13 両脚の等速性膝伸展力 180 deg/sec での筋持久力の変化 (実測値)

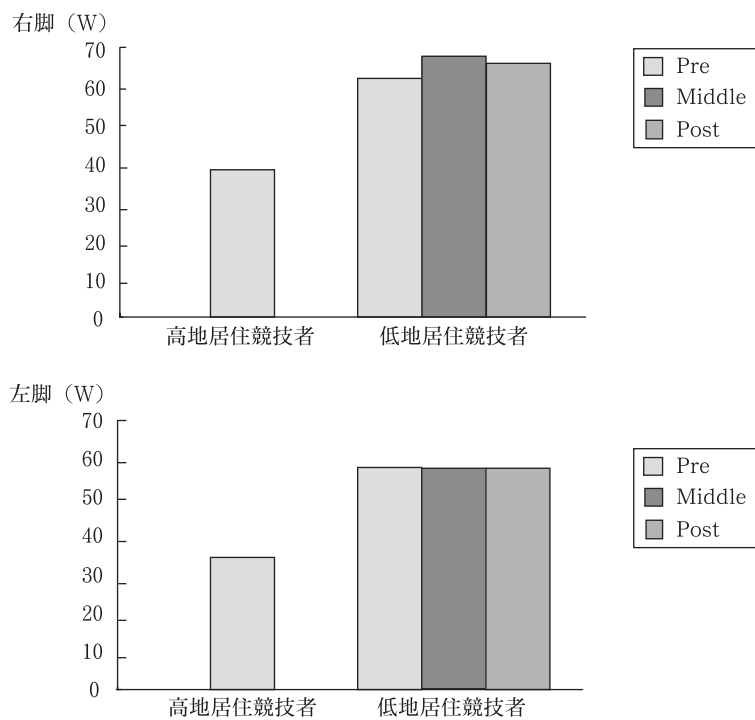


図 14 両脚の等速性膝屈曲力 180 deg/sec での筋持久力の変化 (実測値)

表3 5000 m および 10000 m における記録の変化

	5000 m (Before)	5000 m (Sfter)	10000 m (Before)	10000 m (Sfter)
高地居住競技者 H. G.	13 分 31 秒	14 分 10 秒	28 分 20 秒 (標高 2600 m: エチオピアにて)	29 分 08 秒
	5000 m (高地トレーニング前)	5000 m (高地トレーニング直後)	5000 m (高地トレーニングから 1 カ月後)	
	13 分 52 秒	14 分 07 秒	14 分 05 秒	
低地居住競技者 S. A.	10000 m (高地トレーニング前)	10000 m (高地トレーニング直後)	10000 m (高地トレーニングから 1 カ月後)	
	28 分 52 秒	29 分 22 秒	29 分 05 秒	

いて 62.1 W, 左膝屈曲力において 57.7 W であり, Middle の右膝屈曲力において 69.3 W, 左膝屈曲力において 57.3 W であり, Post の右膝屈曲力において 68.9 W, 左膝屈曲力において 57.4 W であった。

両者のプレテストの値を比較すると, 全ての角速度において A が B よりも低い値を示した。

#### (4) 競技記録

表 3 は, 5,000 m および 10,000 m における記録の変化を示した。A の高地居住時における記録は, 5,000 m 13' 31" (平地での記録), 10,000 m 28' 20" (高地での記録) であったのに対し, 平地移住直後から 1 ヶ月の間に出場した際の記録は, 5,000 m 14' 10", 10,000 m 29' 08" であった。B の高地トレーニング前の記録は, 5,000 m 13' 52", 10,000 m 28' 52" であったのに対し, 高地トレーニング直後の記録は 5,000 m 14' 07", 10,000 m 29' 22", 高地トレーニング終了から 1 ヶ月後の記録は 5,000 m 14' 05", 10,000 m 29' 05" であった。

## 4. 考 察

今まで高地に居住していた高地競技者が平地に移り住んだ時点 (プレテスト) と, 平地で 2 ヶ月間トレーニングや競技を行った時点 (ポストテスト) での血液性状を比較した結果, RBC は 503 から 477 に, Ht は 47.0 から 43.4 に低下していた。これは平地に移ったことで酸素分圧が増加し (標高 2,500 m では 117 mmHg, 標高 0 m では 159 mmHg)<sup>(12)</sup>, 高地に比べ全身への酸素運搬能力が容易になったためであると考えられる。

しかし, 高地から平地に移り住み, 長期間に渡り平地でトレーニングや競技を続けてきた高地

競技者が、1996年および2000年に行われた夏季オリンピックの男子マラソンにおいて2大会連続のメダル獲得をしたケースをはじめとして、平地に居住する高地競技者の活躍は目覚ましい。Aは、平地に移って日が浅いものの、EPOがプレテストの22.8からポストテストにおいて23.6に増加したことから、低地であってもトレーニングが継続されれば、RBCやHbなどの最大酸素摂取量に影響する血液性状の改善を期待することもできる。

平地競技者の長期間にわたる高地トレーニング前（プレテスト）と高地トレーニング直後（ミドルテスト）の血液性状を比較すると、RBCはほとんど変化せず、Hbはわずかに増加、EPOは低下していた。先行研究において、トレーニング後に赤血球、Hbは増加しているにもかかわらず、EPOが低下することが報告されている<sup>(6), (8), (13)</sup>。しかしEPOの分泌が低酸素暴露直後に一過性に増加すること、また低酸素レベルに応じて、その増加率も多いことが報告されていることから<sup>(9), (11), (12)</sup>、RBC、Hbの増加に連動しないEPOの低下は、EPOの測定時（採血時）と赤血球産生増大時期との間のタイムラグに起因するものと考えられている<sup>(6)</sup>。先行研究と本研究の違いは、高地トレーニング直後において赤血球数、Hbに顕著な増加がみられなかったことである。赤血球数増加に及ぼす高地トレーニングの影響は先行研究によって必ずしも一致しておらず、その原因として標高、栄養摂取、トレーニング内容など種々の要因が関与することが考えられており<sup>(6)</sup>、本研究においても同様のことが考えられる。

また、1ヶ月後（ポストテスト）の値を見ると、赤血球数は低下したが、EPOは増加した。赤血球数の低下は、それまでのトレーニング内容や栄養摂取の不十分によって起こったと考えられる。そして、赤血球数が低下したため、酸素運搬能力を高めようと造血作用を亢進するEPOの分泌量が増加したと考えられる。

また、トレッドミル走における血中乳酸値、心拍数に顕著な変化は見られず、最大酸素摂取量はミドルテストにおいて低下していた。Bは、ミドルテスト測定時はやや体調不良であり、それが最大酸素摂取量にも影響を及ぼした可能性があると考えられる。ポストテストにおいてトレッドミル走のオールアウト時点がブレ、ミドルテストよりも1分伸びたが、血液性状に改善は見られないことから、高地トレーニングの効果ではないと考えられる。

また、等速性膝伸展力および屈曲力において、AはBよりも顕著に低値であった。競技記録において、AはBよりも高いレベルであることから、高い等速性脚筋力が競技記録に反映しない可能性が示唆された。

本研究では、1ヶ月の高地トレーニングを行っても、競技パフォーマンスへ好影響を与える赤血球数の増加などが現れなかった。先行研究では1ヶ月以上の長期間に渡る高地トレーニングがパフォーマンスの改善したことを報告しているものが多くある<sup>(16)</sup>。しかし、一方では効果がなかったり、逆にパフォーマンスの低下を招いたりという報告もある<sup>(11)</sup>。本研究では、高地でのトレーニング内容や疲労状態など様々な要因により影響があったことが考えられるが、今回の高

地トレーニングは競技記録の改善に影響を与えなかったと考えられる。

Aが平地移住（プレテスト）し、トレーニングを積んだ後（ポストテスト）と、Bが高地トレーニング後（ミドルテスト）から平地でトレーニングを積んだ後（ポストテスト）の血液性状の変化を比較すると、両者の変化に顕著な差は見られなかった。低地競技者は高地トレーニング後、徐々に平地での値に戻っていくが、高地競技者が今後引き続き平地でトレーニングを続けていくと血液正状にどのような変化が生じてくるのか、引き続き調査を行うことが必要であると考えられる。

## 5. 総 括

本研究は、陸上競技・長距離走種目における高地競技者と平地競技者の低酸素環境への反応や平地馴化における差異と、平地競技者の高地トレーニング前から高地トレーニング1ヶ月後までの血液性状やパフォーマンスに関する生理学的変化を事例的に調査することを目的とした。

結果は以下の通りである。

① 高地競技者は、平地馴化の結果、赤血球数が低下した。また、脚筋力は低地競技者よりも顕著に低い値を示した。

② 1ヶ月の高地トレーニングでは赤血球数の増加、最大酸素摂取量の増加、血中乳酸濃度の抑制など、パフォーマンスにプラスに影響する効果は得られなかった。また、高地トレーニング1ヶ月後において赤血球数は低下した。

③ 高地競技者が平地移住し、トレーニングを積んだ後と、低地競技者が高地トレーニング後から低地でトレーニングを積んだ後の血液性状の変化に顕著な差は見られなかった。

以上のことから、高地競技者と平地競技者の低酸素環境への反応や平地馴化における差異は見られなかった。また、本研究の高地トレーニングでは競技パフォーマンスにプラスに影響する効果は得られなかった。今後、高地居住競技者の血液性状やパフォーマンスに影響を及ぼす生理学的変化が今後どのように変化していくかさらなる調査が必要である。

### 参考文献・引用文献注

- (1) 浅野勝巳：高所トレーニングの動向と実際. 臨床スポーツ医学. Vol. 16, No. 5. 文光堂, pp. 505-524, 541-547, 1999
- (2) 藤村信子, 三村寛一：女子マラソンと高所トレーニング. 体力科学 Vol. 51, No. 5. pp. 562, 2002



- (3) Frisanchó AR, Velasquez T, Sanchez J.: Influence of developmental adaptation on lung function at high altitude. *Hum Biol.* Vol. 45, No. 4, pp. 583-94, 1973
- (4) 八田秀雄: 乳酸を活かしたスポーツトレーニング. 講談社, pp. 41-52, 2001
- (5) 宮地勇人: 血液の知識——しくみと働き. 東海大学出版会, pp. 8-11, 2002
- (6) 宮村実晴: 高所運動生理学的基礎と応用. ナップ, pp. 121-130, 179-182, 204-207, 237-243, 2000
- (7) 宮村実晴, 古賀俊策, 安田好文: 呼吸——運動に対する応答とトレーニング効果——. ナップ. pp. 217-228, 1998
- (8) 宮村実晴: 最新運動生理学——身体パフォーマンスの科学的基礎——. 真興交易(株)医書出版部, pp. 335-345, 1996
- (9) 日本体育協会: 高地トレーニング——ガイドラインとそのスポーツ医科学的背景——. ホクエツ印刷, pp. 26-35, 2002
- (10) Richalet J-P. et al: Control of erythropoiesis in humans during prolonged exposure to the altitude of 6, 542 m. *AM J Physiol* 266 (Regulatory Integrative Comp Physiol 35), pp. 756-764, 1994
- (11) 臨床スポーツ医学編集委員会: 臨床スポーツ医学 Vol. 16 臨時増刊号. スポーツ医科学キーワード. 文光堂, pp. 181-182, 1999
- (12) 関 邦博, 坂本和義, 山崎昌廣: 人間の許容限界ハンドブック. 朝倉書店, pp. 355-365, 1991
- (13) Stary-Gundresen J.: "Living high and training low" can improve sea level performance in endurance athletes. *Proceeding of 2nd International Symposium on High Altitude Training* '99, Tsukuba, pp. 8-15, 1999
- (14) 飛岡健: おもしろくてためになる 血液の雑学事典. 日本実業出版社, pp. 208, 1990
- (15) Ward MP. et al: Altitude and erythropoiesis. n: *High Altitude Medicine and Physiology*. Chapman and Hall Medical, London, pp. 168-170, 1989
- (16) 山地啓司: 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* Vol. 51, No. 4. 杏林書院, pp. 266-271, 2001
- (17) 山地啓司: 高地トレーニングの様々な疑問に答える. *Training Journal* December 2001. ブックハウスHD, pp. 76-78, 2001
- (18) 山地啓司: 最大酸素摂取量の科学. 杏林書院, pp. 55-61, 83-87, 121-141, 146-157, 192-201, 208-225, 1994