

1 陸上競技

小林 寛道

近年、高地トレーニングへの関心は、長距離・マラソン・競歩などの持久的種目ばかりでなく、陸上競技のパワー系種目においても高地トレーニングへの取り組みが始まっています。昔から高地トレーニングは諸刃の刃と言われてきており、高地トレーニングによって、大きな成果がおさめられる場合と、逆に失敗する例もみられています。これまでの高地トレーニングに関する研究成果をまとめるとともに、高地トレーニングを行う際のガイドラインの医科学的背景を示すことにします。

1. 高地トレーニングへの関心と研究の経緯

高地トレーニングに対する関心は、エチオピアのアベベ・ビキラ選手が1960年ローマオリンピック大会のマラソンに優勝して、高地民族が持久能力に優れていると認識されたことや1968年のオリンピックが標高2,300mのメキシコ市で開催されることが決定されたことに端を発しています。

1960年代には、日本体育協会の研究班（班長朝比奈一男）が、世界に先駆けて高地トレーニングに関する先駆的な研究を実施しました。主な研究には、霧が峰高原研究（1961）、乗鞍岳研究（1963）、メキシコシティ研究（1965）、乗鞍岳・高山研究（1966）、高峰高原研究（1967）があります。諸外国では、Balke（1965）、Klausen（1966）らの研究が先駆けとなっています。

我が国における初の高地トレーニング研究である霧が峰高原研究（1961）では、長距離選手25名が標高1,600mで1ヶ月トレーニングしました。その結果、最大酸素摂取量は変化しませんでした。赤血球とヘモグロビンの増加、最大酸素負債量の増加があり、平地での成績向上をみました。乗鞍岳研究（1963）では、長距離選手20名が、体ならしのため、標高1,600mの霧が峰で6日間滞在合宿した後、標高2,700m（乗鞍岳）で2週間トレーニングしたところ、赤血球とヘモグロビンの増加、最大酸素負債量の増加（13%）があり、下山直後に10名、数日後に13名が好記録を出しました。

メキシコシティ研究（1965）では、陸上、水泳選手22名が標高2,300mで3週間トレーニングしたところ、赤血球とヘモグロビン、最大酸素摂取量の増加があり、平地での成績向上がみられました。乗鞍岳・高山研究（1966）は、長距離選手18名が対象となり、標高2,700m（乗鞍岳）と標高600m（高山）の異なる高地で交互にトレーニングする「インターバル高地トレーニング」と呼ばれる方法で3週間トレーニングし、赤血球とヘモグロビンの増加、平地での成績向上を得ました。高峰高原研究（1967）では、標高1,900mで1ヶ月間、メキシコオリンピック対策としてボートやレスリングなど、陸上長距離以外の種目の選手をトレーニングの対象としました。

これらの高地トレーニング研究を背景として、メキシコオリンピック大会に臨んだ陸上選手団は、マラソンで君原健二選手が銀メダルを獲得し、我が国の高地トレーニングの成果を示す結果となりました。

諸外国の研究例として、Balke（1965）の研究では、陸上選手5名が標高2,300m（メキシコシティ）

で10日間トレーニングした結果、最大酸素摂取量が7%増加し、平地での成績が向上しました。Klausen (1966) は、成人男子5名を標高3,800mで35日間トレーニングしたところ、最大酸素摂取量が14%増加し、平地での成績が向上したことを報告しました。

その後、1970～80年代には、我が国では陸上競技の高地トレーニングに関する研究はあまり行われませんでした。この間、諸外国では、高地トレーニングに関する関心が高地馴化という観点から離れて、平地で良い競技成績をおさめるためのトレーニング法として高地トレーニングを位置づけ、高地トレーニングを積極的に実施していく流れが定着してきました。高地民族が長距離、マラソン種目で目覚ましい活躍を示し、オリンピックでもメダルをほぼ独占するかに見えてきましたが、高地民族以外も高地でトレーニングすることによって、高地民族に匹敵した持続的能力を発揮することができるようになることが明らかになりました。その成果は、マラソンのフランク・ショーター選手(アメリカ)(1972年ミュンヘンオリンピック優勝)やドン・キャストセラ選手(オーストラリア)によって明らかにされています。

研究面では、DanielsとOldridge (1970) が、標高2,300mの高地に1～2週間滞在してトレーニングを行い、その後下山して平地で5～11日間トレーニングすることを交互に行う「インターバル高地トレーニング」によって、高地では主に持続的能力、平地では主にスピード能力を養成するという考え方を打ち出し、アメリカのエリート中長距離選手6名を70日間トレーニングしたところ、最大酸素摂取量の5%増加と成績向上がはかられたことを報告しました。この中には、中距離で世界記録を次々と更新したジム・ライアン選手が含まれていたことから、この方法が非常に注目されるに至りました。

また、Dill (1971) が高校陸上選手6名を標高3,090mで17日間トレーニングしたところ、最大酸素摂取量に4.2%の増加がみられたことなどが報告されています。3,000mを越える標高でトレーニングすることによって持久力が向上することを生理学的に実証しました。近年では、1997年にテキサス大学のLevineとStray-Gundersenが“Living High, Training Low”(高地滞在、低地トレーニング)という概念でのトレーニングの有効性を詳細なコントロール群を用いて実証しました。標高2,500mに4週間住んで、トレーニングは標高1,250mのところで行うと5,000mの競技成績が最も良く向上したということです。標高2,500mのところに住み、そこでトレーニングした群では、成績の向上がみられず、平地に住み平地でトレーニングした群も成績に変化なかった、と報告しています。

“Living High, Training Low”の考え方は以前から存在しましたが、コントロール群を用いて実証した点で大きな注目を浴びました。しかし、5,000m以上の種目については十分な研究が進められているわけではありません。

2. 高地トレーニング再開の背景

日本陸上競技連盟では、1990年から高地トレーニングに関する医科学サポート研究と高地トレーニングを組織的に再開しました。高地トレーニングを行うことになった背景として、次の2点があげられます。世界の一流ランナーは例外なく高地トレーニングに積極的に取り組んでおり、当時マラソン

の一線級ランナーを擁しながら高地トレーニングに取り組んでいないのは日本だけである。選手のトレーニング量の多さについては世界トップ水準であるが、トレーニング量を増加させることにもほぼ限界がみえてきた。

1960年代の日本の高地トレーニング研究は、高地馴化を目指したものであり、平地での競技成績を高める目的の高地トレーニングについては、未知な部分がありました。そこで、アメリカ陸連に高地トレーニングに関する専門家の紹介を依頼したところ、コロラド州アラモサにあるアダムス州立大学のジョー・ヴィヒル教授が適任であるとの回答を得ました。日本陸連では、ヴィヒル教授を招聘して日本青年館で「高地トレーニング」に関する講義を受けました。この時、国内の長距離・マラソンの強化にあたる監督・コーチが40名ほどが集まりました。ヴィヒル教授は、世界13ヶ国の選手について高地トレーニングのコンサルタントを行っており、1988年のアメリカ合衆国オリンピックコーチ、過去11回ナショナルコーチを歴任している人で、イカンガー、ポールデン、ワイツ、クリスチャンセン、トレーシーなど一流選手をはじめ、国際的規模で約200名の選手を指導中ということでした。

講演の中では、いわゆる一般的な高地トレーニングの生理学的説明と、高地環境という点では、標高2,300mで6週間のトレーニングが最も適切であるとししました。ヴィヒル教授の高地トレーニング理論は次のようです。

トレーニングパターンは平地と同様とし、運動強度は少し低くするが、トレーニング量は平地とほぼ同等にする。第1段階は順応期間で4～6日をとる。高地での最初のトレーニング負荷は軽度にする。

第2段階はトレーニング期間で12～14日間をとる。有酸素的トレーニングは量的に平地と同量にする。強度は10kmあたり2～3分程度遅いペースにする。無酸素的トレーニング(400m走など)も平地とほぼ同じ速度で行う。トレーニング2週目で量的に最大とし、5週目まで強度を漸増する。また、筋力トレーニングを取り入れる。第3段階は平地へ戻る前の回復期間で4～5日間をとる。平地にもどった後4～14日後に一流マラソン選手では好記録が出やすい。

3. 日本陸連の高地トレーニング

日本陸連のマラソン・長距離選手を対象とした高地トレーニングは、1990年を初年度とし、中国昆明(標高1,886m)で3週間、およびコロラド州アラモサ(標高2,300m)、ガニソン(標高2,350m)で6～8週間実施することにしました。

(1) 中国昆明での高地トレーニング

第1回の高地トレーニングは、1990年3月7日から4月3日まで、中国雲南省昆明市の高地トレーニングセンターで行われました。参加者は男子11名、女子4名、この合宿には日本陸連科学部から10日間交代で医学担当(川原、河野、渡会)、科学担当(江橋、桜井、浅野、小林)、栄養担当(石島、畠山、滝井)が派遣されました。

各選手は個人ファイルに毎日次の項目の記入を行い、自己コンディションチェックを行うことにしました。この個人ファイルは、その後、整形外科的内容を加味して継続的に用いられるようになりました。

記入項目は次のとおりです。

前日の就寝時間、睡眠時間、起床時脈拍、起床時血圧、起床時体温（舌下温）、起床時体重（精密体重計10g単位で計測）、本練習前後の体重、練習内容、走行距離、自己評価項目（練習時主観、練習意欲、全身の疲労、筋疲労：筋肉痛、頭痛、立ちくらみ、不眠、食欲不振、食事、生理、便通、全般的体調）、痛み、その他の自覚症状。

医科学班は次のような活動を行いました。

選手との面接と健康チェックおよび健康管理・指導……起床時脈拍、血圧測定、検尿検査の結果を毎朝食事にコーチに報告、心理・コンディション調査（POMS）を1週間間隔で実施し、問題例についての対策をコーチと検討。

本練習前後の体重、本練習後の検尿検査結果を毎夕食時にコーチに報告。

選手を3班に分け、自転車エルゴメータで最大下負荷3段階の生体反応をチェック。

血液検査（10日ごとに実施）などの検査結果についての解説やセミナーの開催。

心電図記録と判定。

練習時ビデオの撮影とビデオ説明。

栄養担当者は、厨房に入り現地の料理担当者とともに共同して選手への食事提供を行い、栄養指導および生活上の相談相手としての役割を担いました。

この合宿後の選手の成績を<表1>に示しました。

表1 第1期高地トレーニング（中国昆明）後の競技成績

帰国日	選手名	試合日	帰国後の日数	種目	競技成績	備考
1990年						
3/24	浅利純子	4/1	8	ハーフマラソン	1 ^h 13'27"	自己新・14秒短縮
3/28	秋山幸恵	4/1	4	ハーフマラソン	1 ^h 14'02"	予定より3分良好
	"	5/13	46	10,000m	33'30"	自己新
	篠原 太	4/1	4	ハーフマラソン	1 ^h 03'25"	初めて予定より1分良好
	"	4/16	(19)	マラソン	2 ^h 14'10"	(ボストンマラソン)
	橋本 康	4/1	4	ハーフマラソン	1 ^h 04'10"	自己新
4/3	武田裕明	4/9	6	5,000m	14'15"	自己新
	"	5/13	40	5,000m	13'52"	自己新
	幸保雅信	4/20	17	10,000m	28'54"	自己新・28秒短縮
	早田俊幸	4/29	26	10,000m	28'55"	自己新・2秒短縮
	"	5/6	33	5,000m	14'02"	自己新・4秒短縮
	"	5/13	40	5,000m	13'54"	再自己新・8秒短縮
	深井 剛	4/26	26	10,000m	29'23"	自己新・8秒短縮
	"	5/13	40	5,000m	14'05"	自己新
	鈴木尚人	5/13	40	5,000m	13'50"	自己新・15秒短縮

このような医科学サポート体制のなかで実施したトレーニングでは、身体コンディションの変化がかなり明確にあらわれてきます。このことが、極めて困難とされてきた「コンディショニング」の科学研究や実践面での応用に有効な資料を提供してくれることになりました。また、「栄養サポート」というかたちで栄養担当者を合宿に派遣したことが、この後大きな成果を生む基盤ともなりました。

(2) コロラド州アラモサとガニソンでの高地トレーニング

中国雲南省昆明での第1回高地トレーニングは、標高1,880mということであり、高地トレーニングと銘打つにはやや高さが足りないのではないかと、という懸念をよそに、実に多くの選手が好成績を記録しました。高地トレーニングの効果は平地に戻った約2週間程度しか持続しない、というそれまでの通説とは異なり、帰国後しばらくたって、なお自己記録を更新する選手が目立ちました。高地トレーニングは少なくとも好記録を生み出すための引き金の役割を果たしたことは確かでした。

この成果に勢いづいて、1990年6月19日から8月19日の2ヶ月間にわたって米国コロラド州で行われた第2回高地トレーニングには男子15名、女子13名が参加しました。

最初の6日間は、身体馴染みの意味でコロラドスプリングス(標高1,500m)に滞在し、その後、男子はアラモサ(標高2,300m)、女子はガニソン(標高2,350m)と男女別々の合宿となりました。

医科学サポートは、最も練習のきつい期間について、昆明よりやや簡略化したかたちで実施することになりました。合宿が長期間にわたると、心身面でさまざまな影響が生じやすくなります。医科学サポートスタッフは、医科学、栄養面でのサポートを行うことともに、いろいろな問題に緩衝剤の役割も果たすことによって、より深いレベルで選手やコーチとのかかわりをもつことになりました。

コロラド合宿が8月19日に終了して、選手は帰国し、このうち男女5名が1990年8月26日に札幌で行われた北海道マラソンに出場しました。この大会は、'91世界陸上選手権大会のマラソン代表選考会として行われ、国内の有力選手が勢揃いしました。

高地トレーニングを積んだ篠原太選手は、先行するジョーンズ選手を抜き、さらに猛烈なラストスパートで40kmを過ぎて渋谷選手をとらえ、2時間15分32秒で優勝しました。高地トレーニングを行った同僚の北島克己選手も5位に入賞しました。

女子ではやはり高地トレーニングから帰国した山下佐知子選手が、ワイデンバック選手(アメリカ)には及びませんでしたが、2時間35分41秒で2位に入賞しました。吉田光代選手が5位、峰岸里江選手も6位に入り、高地トレーニングに参加した5選手が夏のマラソンで全員好成績を収めました。

北海道マラソンに出場した選手以外にも、高地トレーニングに参加した多くの選手が自己記録を更新したり、好記録を出すことに成功しました。

コロラドでの第2回高地トレーニングは、翌年の1991年5月28日から8月7日までの正味70日間にわたって実施されました。最も長期間合宿したのは、荒木久美選手の71日間(移動日を含む)ですが、

他の選手は42～59日間の合宿で、男子20名、女子8名、それに監督・コーチ16名、トレーナー4名（交代）という大世帯の男女合同合宿となりました。高地トレーニングの効果について認識が高まった結果です。

この年は、第3回陸上競技世界選手権大会（'91世界陸上東京大会）が8月24日から9月1日まで行われました。

8月24日には女子マラソン、9月1日には男子マラソンが行われ、女子は山下佐知子選手2位、有森裕子選手4位、荒木久美選手9位、男子マラソンでは谷口浩美選手1位、篠原太選手5位という好成績を収めました。

マラソンの好成績には、高地トレーニングばかりでなく、暑さ対策の効果も大きかったといえます。

バルセロナオリンピックの年である1992年には、コロラド州ガニソンで山下佐知子選手が練習パートナーとともに5月14日から7月2日までの60日間、およびマラソン補欠選手である篠原太選手、谷川真理選手とそれぞれの練習パートナーが40日間の高地トレーニング合宿を行いました。有森裕子選手はコロラド州ボルダー（標高1800m）、小鴨由水選手はパートナーの浅利純子選手とともにニューメキシコ州グランツ他でチーム別の高地トレーニングを行いました。

日本陸連の高地トレーニングは、1990年の昆明以来、1992年バルセロナオリンピック直前のコロラド合宿に至る4回をもって一応の区切りとし、1993年から新しい段階の高地トレーニングが開始されました。1993年の高地トレーニングには、38名の選手（実業団を中心）が参加して、標高1800mのボルダーを本拠地にして実施されています。

<図1、2>に1990年（女子）、1991年（男子）に実施したコロラドでの高地トレーニングのヘモグロビン濃度の推移を示しました。トレーニング前の値と比較して、高地到着後は、みかけのヘモグロビン濃度の上昇があり、これがおさまった後に9日以後からヘモグロビン濃度の上昇が生じるパターンが一般的です。選手は鉄剤を摂取している場合があり、ヘモグロビン濃度の上昇が必ずしも高地環境による効果であるとはいえません。しかし、ある程度馴化の進んだ2週間目以後では、高地環境とともに、トレーニングの質（強度）や量によってヘモグロビン濃度の推移が大きく影響される様子がみられました。

すなわち、高地で激しくトレーニングした選手ではヘモグロビン濃度の低下が生じ、トレーニングが比較的軽かった選手では、ヘモグロビン濃度が上昇するか、ほぼ安定した水準を示しました。高地で体調を崩した選手では、トレーニング途中でヘモグロビン濃度の低下がみられました。一方、高地トレーニングによってヘモグロビン濃度があまり変化しない選手もみられましたが、平地に戻ったタイムトライアルの結果では、これらの選手の成績が必ずしも悪いわけではありませんでした。

これらの結果を他の要因とあわせて考えてみると、ヘモグロビンの推移は持久力の大きな指標ではありますが、必ずしも絶対的な指標とはならないことがみえてきました。

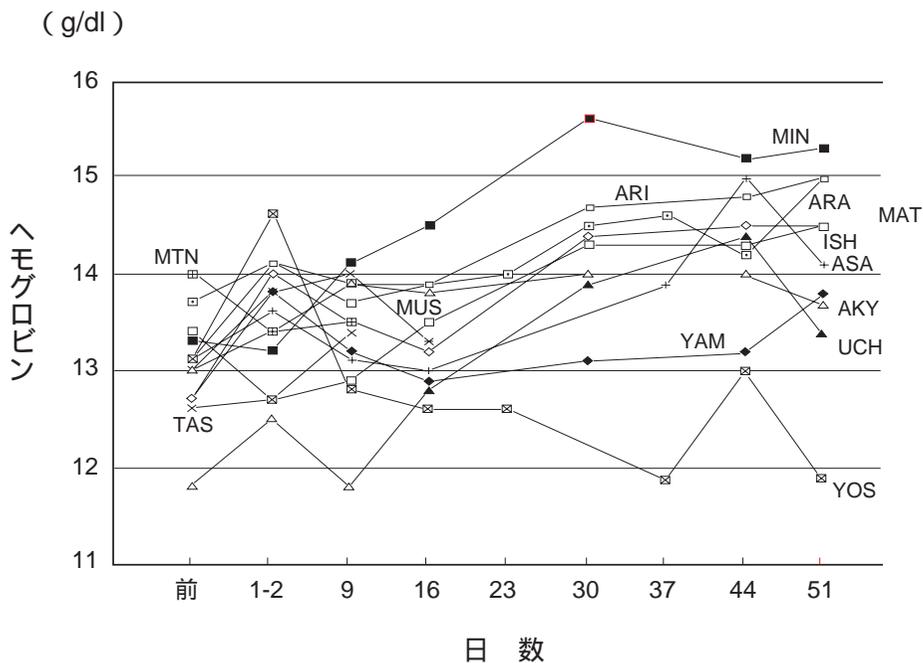


図1 '90マラソン高地トレーニング：コロラドヘモグロビンの推移（女子）

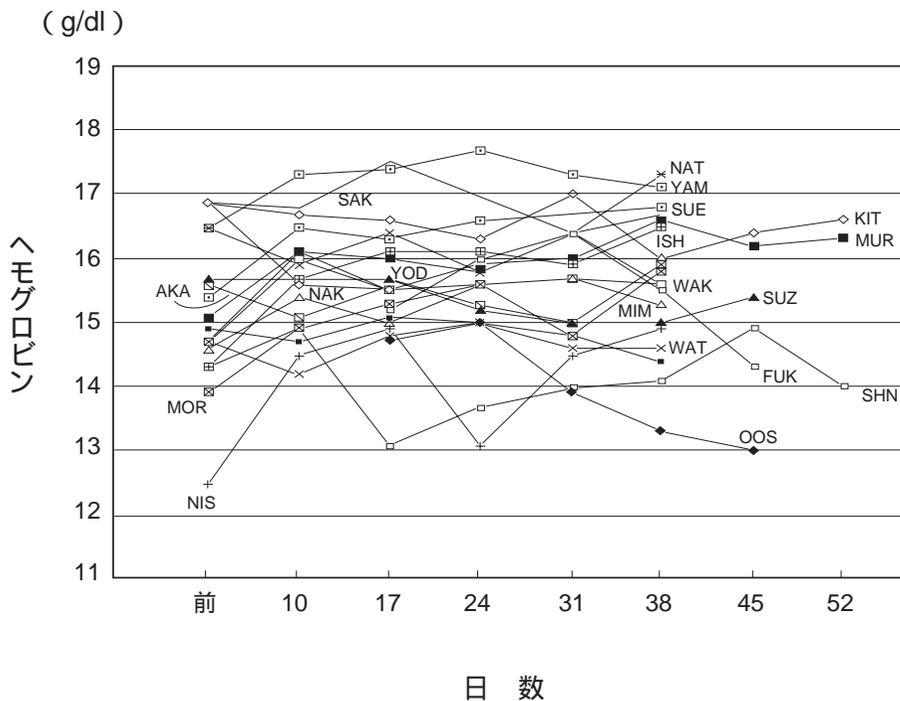


図2 '90マラソン高地トレーニング：コロラドヘモグロビンの推移（男子）

4. 競歩の高地トレーニング

1993年8月13日～9月9日の28日間（移動日を含む）にわたって、中国青海省多邑高原訓練基地（標高2,300m）を中心に、日中共同研究として若手有望競歩選手男女20名（日本10名、中国10名）の高地トレーニングを実施しました。トレーニングは最初の7日間を標高2,300m（多邑）でトレーニングし、その後標高3,200m（青海湖）で2日間、再び標高2,300m（多邑）に戻り、4日間トレーニングした後、標高1,500m（蘭州）で3日間滞在し、標高2,300m（多邑）に戻り4日間トレーニングした後、帰国しました。これは、標高を変化させた高地トレーニングです。調査測定項目は、形態、体温、血圧、心電図、心機図、心エコー図、血算、血液生化学検査、尿検査、血液ガス、血中および尿中エリスロポエチン、定速競歩時の心拍数と血中乳酸濃度、心理テスト（TSMI、POMS）、サイベックスによる筋力測定などでした。

赤血球の分化を促進する造血ホルモンであるエリスロポエチン（EPO）は、尿サンプルでは標高2,300mの高地到着後の翌朝には有意な上昇がみられ、その後4～5日程度で徐々に低下しました。標高3,200mの青海湖に行くと、再びEPOの上昇がみられました。

EPOは低酸素環境に対して敏感に反応する様子がみられました。しかし、高地滞在の地元中国競歩選手では、標高の異なる場所への移動によってEPOの変化が生じることはありませんでした。日本選手では帰国後20日を経過してもトレーニング後半に多邑で検出されたEPOのレベルを超えた高水準の値が維持されました。

EPOの消長は低酸素環境、貧血状態に強い影響があり、栄養面でのサポートが極めて重要です。高地トレーニングによって最大酸素摂取量は、7名で増加しました。一定速度での競歩中の心拍数および血中乳酸濃度は、高地トレーニングによって有意に低下しました。

高地トレーニングでは、筋力低下が生じる可能性があるといわれていることから、サイベックスによる等速性脚筋力と脚筋持久力について測定したところ、高地でかなり充実した内容のトレーニングを行ったにもかかわらず、等速性最大脚筋力が低下する傾向がみられました。しかし、男子の脚伸展筋群には顕著な筋持久能力の向上がみられた。高地トレーニング帰国後3週間以内の国内大会で、10名中5名が自己記録を更新し、2ヶ月以内では9名が自己ベストを記録しました。

5. 短期的高地トレーニング

DanielsとOldridge（1970）は、7～14日の高地トレーニングを5～11日間の平地でのトレーニングと組み合わせて繰り返す方法を提唱しました。高地馴化は平地に戻っても消失しないというだけでなく、高地でのパフォーマンスは、繰り返して行われる高地トレーニングで促進されるという結果を得ました。長距離選手にとって高地滞在の第1日目を過ごすことは高地でのその後の数日を過ごすことに匹敵することが一般的です。高地では最初の数日で脱水の状態が進みやすいです。高地滞在では3～5日目で最も大き

なストレスを引き起こす可能性が大きいといえます。

これらの事柄は、短期的な高地トレーニングを繰り返すことによって、長期滞在の高地トレーニングを行う以上に競技成績に向上をもたらす可能性を示しています。このことから、短期的高地トレーニングの効果を把握することが必要であり、小林（1997）は、国内の高地トレーニング環境<図3>を利用した3泊4日の短期的高地トレーニング効果についての研究を進めました。



図3 高地トレーニングの標高

富山県立山地区（標高2,300～2,450m）を利用して3泊4日の短期的高地トレーニング研究を実施しました。対象は、実業団陸上長距離選手男子4名、女子4名、高校クロスカントリー選手男子4名でした。高地トレーニングの効果を、トレーニング前後に異なる3速度での3分間ペース走を実施した時の血中乳酸濃度、心拍数、RPE（自覚的運動強度）、および血液検査結果から考察してみました。

その結果、トレーニング前後でヘモグロビン濃度には変化がみられませんでした。3分間ペース走による血液乳酸濃度には、トレーニング後で明らかな低値（高校生では $p < 0.01$ ）がみられ、RPEも低くなる傾向がみられました<図4>。また、運動中の心拍数も低水準になる様子がみられました。これらのことから、3泊4日の短期的高地トレーニングは、従来からの高地トレーニングに準ずる効果があると判定されました。

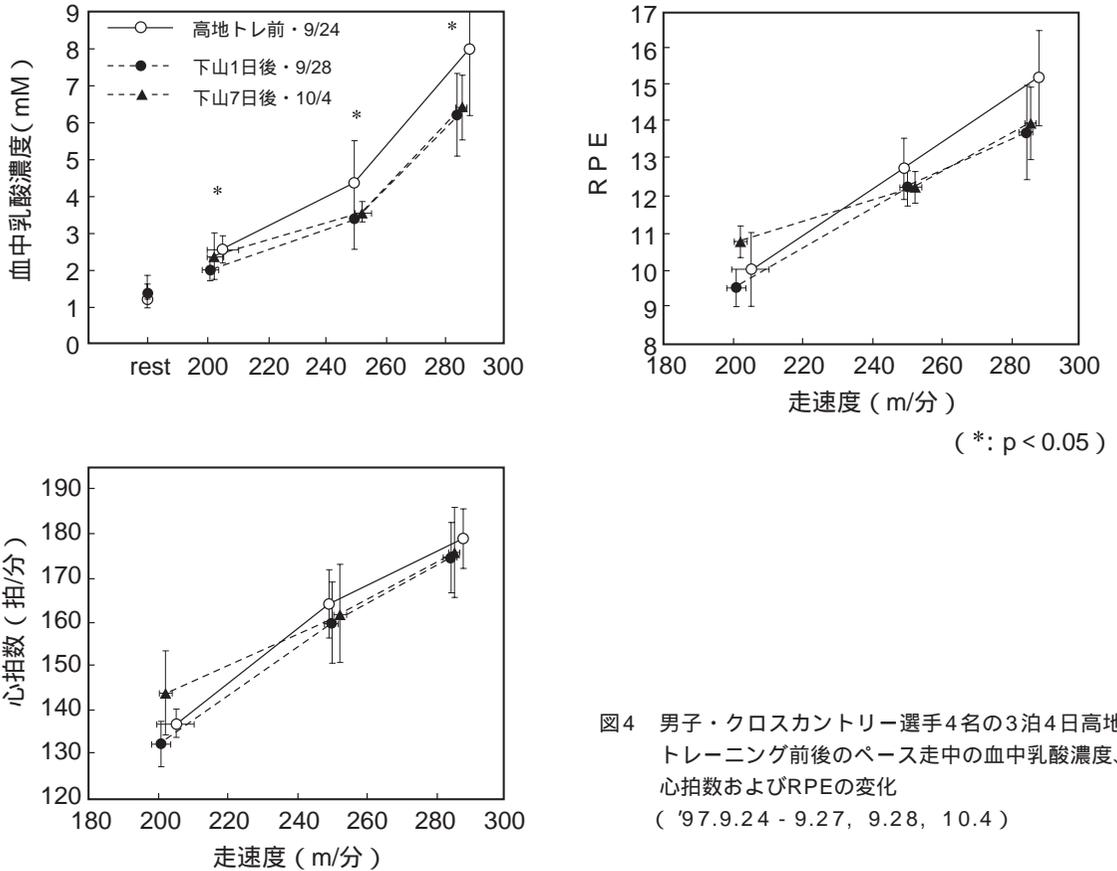


図4 男子・クロスカントリー選手4名の3泊4日高地トレーニング前後のペース走中の血中乳酸濃度、心拍数およびRPEの変化
('97.9.24 - 9.27, 9.28, 10.4)

2000年に高校長距離選手男女32名、実業団長距離選手男子22名、女子9名を対象に、飛騨御嶽高原高地トレーニング場（標高1,300m、1,800m、2,200m）で実施した短期的高地トレーニング（3～10日）では、3分間ペース走においてトレーニング3日後では走行中の心拍数、血中乳酸濃度の低下がみられ、動脈血酸素飽和度（SpO₂）の低下の割合が小さいことが確認されました。このことは、短期的高地トレーニングが持久的生理機能に有効な刺激となることを示しています。ただし、赤血球数やヘモグロビン濃度には変化がみられませんでした。