

平成13年度 日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告

No.IV JOC 高地トレーニング医・科学サポート

— 第11報 —

財団法人 日本オリンピック委員会
選 手 強 化 本 部

平成13年度 日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告

No.IV JOC 高地トレーニング医・科学サポート

— 第11報 —

報 告 者 (財)日本体育協会・高地トレーニング医・科学サポート研究班
班 長 青木純一郎¹⁾
班 員 伊藤 雅充²⁾ 植木 真琴³⁾ 川初 清典⁴⁾
小林 寛道⁵⁾ 前嶋 孝⁶⁾ 村岡 功⁷⁾
米田 繼武¹⁾ 吉本 俊明⁸⁾ 若吉 浩二⁹⁾
担当研究員 青野 博¹⁰⁾ 加藤 守¹⁰⁾

目 次

1. 本報告の要約 — 最終報告を迎えて —	2
2. 競技種目別高地トレーニング医・科学サポート	
1) 陸上競技： 国内高地トレーニング場における短期的トレーニングと標高差に関する研究	4
2) 水泳競技： 世界選手権に向けた高地トレーニングにおけるトレーニング内容とその効果の分析と検討	13
3) スキー競技クロスカントリー： 自律神経機能からみた強化指定選手の高地への適応について	23
4) スキー競技ノルディック複合： ソルトレーク五輪、我が国スキー・ノルディック複合候補選手の 高地トレーニングの医科学的・運動学的評価	31
5) スケート競技スピードスケート： 高速リンクでの滑走中の生体応答とオーバートレーニングの回避	39
6) バイアスロン競技： 継続的ヘモグロビン測定および強負荷トレーニング時の生理・生化学的応答	44
3. 「常圧低酸素施設」に関する実験研究	
1) 低酸素室滞在に関する基礎研究： 低酸素室滞在において酸素濃度を漸減させた場合の生理・生化学的応答に及ぼす影響	54
2) 低酸素トレーニングに関する実験研究： (1)常圧・低酸素環境でのインターバルトレーニングの効果 (2)低酸素環境利用中のトレーニング強度がPerformanceに及ぼす影響 (3)低酸素環境運動時のアミノ酸摂取効果について	65 72 76

1) 順天堂大学 2) 日本体育大学 3) (株)三井化学ビーシーエル 4) 北海道大学 5) 東京大学
6) 専修大学 7) 早稲田大学 8) 日本大学 9) 奈良教育大学 10) (財)日本体育協会

1. 本報告の要約—最終報告を迎えて—

研究班長 青木純一郎¹⁾

JOC の委託事業として、日本体育協会スポーツ医・科学専門委員会が「高地トレーニング医・科学サポート班」(班長青木純一郎) を組織して以来11年が経過した。

10年前までのスポーツ医・科学研究の多くは、研究者が一方的に選手からデータを収集し、研究者個々の学問分野の観点からデータの分析や解析が行われ、研究者が所属する学会に発表されてきた。いわゆる現場と研究とは全く乖離していたと言っても過言ではない。

それに対して、高地トレーニング医・科学サポート事業は、現場と研究が一体となって、選手へのフィード・バックという観点から、データを集め、分析し、コーチを交えた三者が一体となったディスカッションを行いながら、選手のコンディションづくりや、競技力向上に貢献しようとするものであった。

スタート当初は、選手、コーチ、研究スタッフ間のコミュニケーションが必ずしも円滑ではなかった。しかし、サポート活動の数が重ねられるうちに、次第にお互いの理解も進み、事業にも慣れ、年々充実したサポート活動が展開されるようになり、そこから得られたデータも、スポーツ医・科学の見地から、学問的にも高く評価されるようになってきた。

10年を節目に、本事業にピリオドが打たれるが、この事業で醸成した医・科学サポートの精神が全ての競技団体に芽生え、成熟していくことを願って、最終報告(第11報)のまえがきとしたい。

なお、今年度は従来の競技種目別の医・科学サポート活動および常圧低酸素環境利用に関する実験研究に加えて、これまでの成果のエッセンスを集大成した『高地トレーニング・ガイドライン』を別冊としてまとめた。ジュニアからトップアスリートとまで広く活用されること、またそれらの経験から、本書の内容が一層精選され、競技力の向上に貢献することを期待したい。

I. 競技種目別高地トレーニング医・科学サポートの概要

陸上競技：

標高1,300, 1,800, 2,200および2,857m の自然環境を利用した高地で、大学生を対象に踏み台運動に対する生理的応答を比較検討した。標高の影響を最もよく反映する指標は、動脈血酸素飽和度(SpO_2)で、全ての被験者が2,850m 地点で最低値を示し、1,300m 地点で最高値を示した。一方、心拍数や血中乳酸濃度は、個人差が大きく、明確な指標とはならないことが示された。また、標高1,800m と2,200m 地点での運動応答には明らかな標高差は認められなかった。

水泳競技：

シドニーオリンピックに向けて行った高地トレーニング(於フラッグスタッフ)が好成績に繋がったことを受けて、翌年の世界水泳選手権(福岡)の前にも同様な高地トレーニングを行い、サポート活動を展開した。その結果、11名中7名(64%)が自己記録を更新し、また23種目中10種目(43%)で記録が更新された。これらの好成績の背景として、高地トレーニングによる赤血球数の増加が強く示唆された。

スキー競技クロスカントリー：

強化指定選手を対象として、オルトスタテイックテストが高地でも容易かつ有効に使えるかを検討し、

1) 順天堂大学

さらに自律神経機能（圧受容器反射機能）とトレーニングインパルスを指標に、高地への適応の過程を追った。その結果、Living high, training low の条件下では、高地適応が促進されること、および前記テストが、結果に若干のバラツキが見られるものの、簡易自律神経機能検査として有効であることが実証された。

スキー競技ノルディック複合：

ナショナルチーム 8 名を対象に、オーストリアーアルプスの中等高地（1,500m）に滞在し、クロスカントリースキーイングを中心とするトレーニングを2,700m 地点で行い、血中乳酸、動脈血酸素飽和度、心拍数、血液性状等を指標に、トレーニングの強度管理および運動生理学的評価を行った。なお、途中で、外国選手がガスボンベから高酸素ガスを吸入しながらスキー走行をしているのに遭遇し、その意義と活用についてが今後の、しかも急を要する研究課題であることが提起された。

スケート競技スピード・スケート：

予定された高地トレーニングが、同時多発テロ事件の影響で中止となったため、準高地であるソルトレークシティーおよびカルガリでの夏期合宿で医・科学サポートが行われた。狙いは高速リンクでの氷上トレーニング時の生理・心理的パラメータ（血中乳酸、心拍数、RPE）をモニターし、コーチあるいは選手に出来るだけ早くフィードバックすることであった。特に、現場からの強い要求であるオーバートレーニングを回避して、いかに質の高いトレーニング負荷をかけるかに意が注がれた。

バイアスロン競技：

選手のコンディションの指標にヘモグロビン（非観血的測定）を、トレーニングの生体負担度については心拍数と血中乳酸濃度を指標に、医・科学サポートが行われた。一年を通して継続して測定されたヘモグロビンの動向から、ほとんどの選手が身体的に良好な状態にあったことが推測された。また、コーチの感覚的トレーニング強度指示と血中乳酸濃度とがよく一致するようになり、コーチの意図するトレーニングが効率よく行われるようになってきたことが示唆された。

II. 「常圧低酸素施設」に関する実験研究の概要

低酸素室滞在に関する基礎的研究：

健常男性および競技者各 6 名を、低酸素室（前半 3 日 $O_2 = 16.3\%$ ；後半 3 日 $O_2 = 15.4\%$ ）に、10時間／日 × 6 日滞在させた。滞在期間に伴い両群とも動脈血酸素飽和度は 94% 前後に低下し、競技者群ではヘマトクリット値の増加が見られた。しかし、EPO、網状赤血球数、交感神経活動、尿量、飲水量、換気応答等の変化からは、1 日 10 時間程度の低酸素環境滞在はそれほど大きな影響を与えないことが推測された。ただし、一般人と競技者では反応に微妙な違いが見られ、今後の課題として残された。

低酸素トレーニング実験研究：

- 低酸素環境でのトレーニング実験は 3 班で行われた。
- ①常圧低酸素環境 ($15.6\% O_2$) でインターバルトレーニングを行い、有酸素および無酸素能力に及ぼす効果を検討した。常圧低酸素環境でのトレーニングは、乳酸を緩衝する能力の改善を促進し、無酸素能力を常圧常酸素環境と変わらない効率で向上させる可能性が示唆された。
 - ②平地に於ける高強度トレーニング中に、低酸素室を利用したトレーニングを付加した場合のパフォーマンスに及ぼす効果を検討した。結果的には、疲労の少ない状態でのトレーニングパターンに入れれば、身体的に大きなダメージを受けることなく、有効な生理的效果が得られることが明らかにされた。
 - ③常圧低酸素環境 ($14.5\% O_2$) で、12種類のアミノ酸を摂取して、自転車エルゴメータによる持久トレーニングを行わせた。その結果、被験者 7 名中 4 名において、動脈血飽和度の低下が抑制され、アルギニンによる血管内皮の弛緩作用への効果であることが推論された。

2. 競技種目別高地トレーニング医・科学サポート

1) 陸上競技

国内高地トレーニング場における短期的トレーニングと標高差に関する研究

研究責任者 小林 寛道¹⁾

研究協力者 松垣 紀子¹⁾ 八田 秀雄¹⁾ 井本 岳秋²⁾

はじめに

高地トレーニングは海外の施設や自然環境を利用して行われてきているが、近年では国内でも高地トレーニングが可能なトレーニング環境が整えられつつある。

国内の高地トレーニング場のうち、飛騨御嶽広域高地トレーニングエリアは、標高1300m, 1800m, 2200m および2857m の地区でトレーニングが可能である。

本研究は、短期間（4泊5日）の滞在中にこれらの標高において運動を実施した場合に標高が生体に与える影響を運動生理学的手法によってとらえ、高地トレーニングを実施する場合の指標とすることを目的に実施した。また、中高齢者の高地トレーニングや、コーチ等の帶同を勘案する場合の参考として、50歳代男性についての生理的反応についても検討することを目的とした。

方 法

被検者は、男子大学生5名(19~20歳)、女子大学生1名(19歳)、中高年男子2名(50, 58歳)である。

各被検者は、電気ブレーキ式自転車エルゴメータ HBE-760(オムロン社製)を用い、標高1300m, 1800m, 2200m にある屋内施設内で最大下の一定負荷(男子110W, 女子85W, 回転数60rpm)で10分間のペダリング運動を実施し、運動前、運動中、回復期3分間の心拍数、動脈血酸素飽和度(SpO_2)、組織血液酸素飽和度(StO_2)を連続して

モニターした。また、運動の前後に指尖血によって血中乳酸濃度を測定した。また、主観的運動強度(RPE:全身、呼吸、脚)をとらえた。

自転車エルゴメータテストとは別に、高さ31cmのステップ台を用いて、標高1300m, 1800m, 2200m および2857m で5分間のステップ台昇降運動(1分間に25回の昇降)を行い、心拍数、動脈血酸素飽和度(SpO_2)、血中乳酸濃度、主観的運動強度を調べた。

心拍数の測定にはハートレートモニター(アキュレックス・プラス Polar 社製)、動脈血酸素飽和度(SpO_2)は PULSOX-M24A(ティジン社製)、組織血液酸素飽和度(StO_2)は、レーザー組織血液酸素モニター BOM-L1TRW(オメガウェーブ社製)、血中乳酸はラクテートプロ(アークリエイ社製)を用いた。

結果と考察

1. 自転車運動に対する標高の影響

男子大学生5名が、標高1300m, 1800m, 2200mで、10分間の自転車運動を実施した時の心拍数、動脈血酸素飽和度(SpO_2)、組織血液酸素飽和度(StO_2)、血中乳酸濃度および主観的運動強度(RPE)の平均値と標準偏差を(図1)に示した。

運動中心拍数は、標高1800mの運動時に最も高く、標高2200mで相対的に低水準を示した。動脈血酸素飽和度(SpO_2)は、標高が高くなるほど低値を示し、運動中5~10分目では標高1300mでは94%, 標高1800mおよび2200mでは92~93%を示した。

組織血液酸素飽和度(StO_2)は、運動開始後一旦55%付近まで下降し、運動4~5分目から徐々に上昇する様子を示した。

1) 東京大学

2) 熊本スポーツ医科学研究所

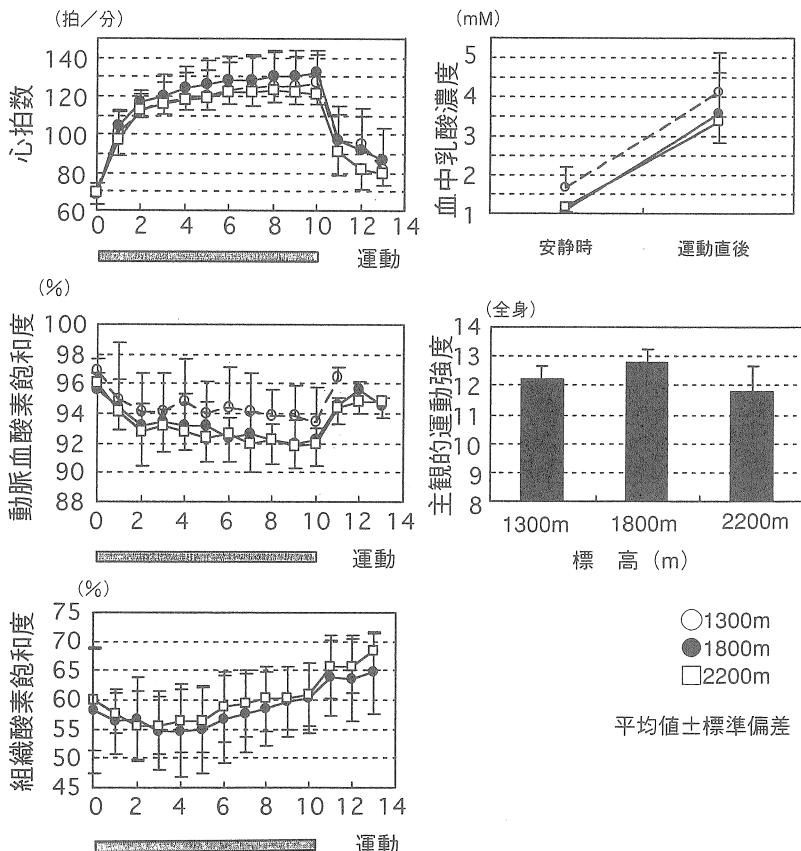


図1 標高1300, 1800, 2200mにおける自転車漕ぎ運動中の心拍数、動脈血酸素飽和度、組織酸素飽和度、血中乳酸濃度および主観的運動強度の変化 ($n = 5$)

標高1300mでの組織血液酸素飽和度 (StO_2) は測定できなかったが、標高1800mと2200mの比較では、標高1800mでやや低水準であった。血中乳酸濃度は、運動後に標高1300mで4 mM、標高1800mと2200mで3.4~3.6 mMの値を示した。

また、主観的運動強度 (RPE: 全身) は、標高1800mで最も高値であり、標高2200mでは標高1300mについて低値を示した。しかし、全体に11.8~12.8の指標内の変化であった。

これらの反応は、平均値に基づくものであるが、高地環境に対する生理学的反応は個人差が大きいため、個人別の観察が重要な意義を要する。

自転車運動に対する個人データを(図2~6)に示した。上から3段目までは男子大学生で、3段目右 (Subj.K.M.) は女子大学生、4段目は中高齢者で、Subj.I.T.は50歳、Subj.K.K.は58歳である。

自転車運動中の心拍数は、標高が最も低い1300mの場合に最も低水準であり、標高が最も高い2200mの場合に最も高い水準になると予想されたが、実際のデータは必ずしも当初予想の通りとはならない例がみられた。これは、標高1300mでの運動を高地到着当日の午後に行ったことによる影響があると考えられる。また、標高1800mと2200mの比較では、標高2200mでの心拍水準が標高1800mの場合より低水準となる例もみられた。このことは、標高1800mでの測定が高地到着2日間、標高2200mでの測定が高地到着3日目に行われたことにより、3日目には高地滞在の効果がすでにあらわれているのではないかと推察される。

動脈血酸素飽和度 (SpO_2) の測定では、ほとんどの被検者で標高1300mの時に値が最も高く、標高2200mで最も低値を示すなど、標高の影響を最

も良く反映した。運動中の値の低下の様子をみると、58歳の中高齢者が運動8～10分で急激な低下を示し、10分目の値は87%であった。運動負荷が相対的にきつくなると、動脈血酸素飽和度の低下が促進されることから、高地環境におけるコンディションチェックとして動脈血酸素飽和度(SpO₂)の数値を利用することが可能であると考えられる。

組織血液酸素濃度(StO₂)は、運動開始後一旦低下し、その後徐々に上昇するパターンが一般的である。下降から上昇に転じる運動時間には、個人によって大きな差がみられる。男子大学生では、運動開始後1～5分目に上昇に転じているが、女子大学生(Subj.K.M.)と58歳男性(Subj.K.K.)では、低下傾向が持続する様子がみられた。血中乳酸濃度には、標高による影響が明らかでなかった。運動後の血中乳酸濃度はSubj.F.Y., Subj.M.S.が標高1300mで最も高く、Subj.K.M., Subj.I.T.では、標高2200mで最も高値を示した。

全身に関する主観的運動強度(RPE)は、標高1800mの場合にわずかに高値を示す例が多く、標高2200mでは、標高1800mの場合よりむしろ低値を示す例が目立った。

2. 踏台昇降運動に対する標高の影響

5分間の踏台昇降運動に対する男子大学生5名の心拍数、動脈血酸素飽和度(SpO₂)、血中乳酸濃度、および主観的運動強度(RPE:全身、呼吸、脚)の平均値と標準偏差を(図7)に示した。

心拍水準は標高2857mで最も高く、標高2200mで最も低い値を示した。動脈血酸素飽和度(SpO₂)は、標高の影響を最も良く反映し、標高が高くなるに従って、低水準となる階層性を示した。標高2857mでは、85%と比較的低値を示した。血中乳酸濃度は標高2200mの時が最も低値を示し、必ずしも標高の差による影響はみられなかった。主観的運動強度(RPE)は、全身では標高2200mで最も高値を示したが、標高による差はあまり大きくなかった。脚については、標高が高くなるに従っ

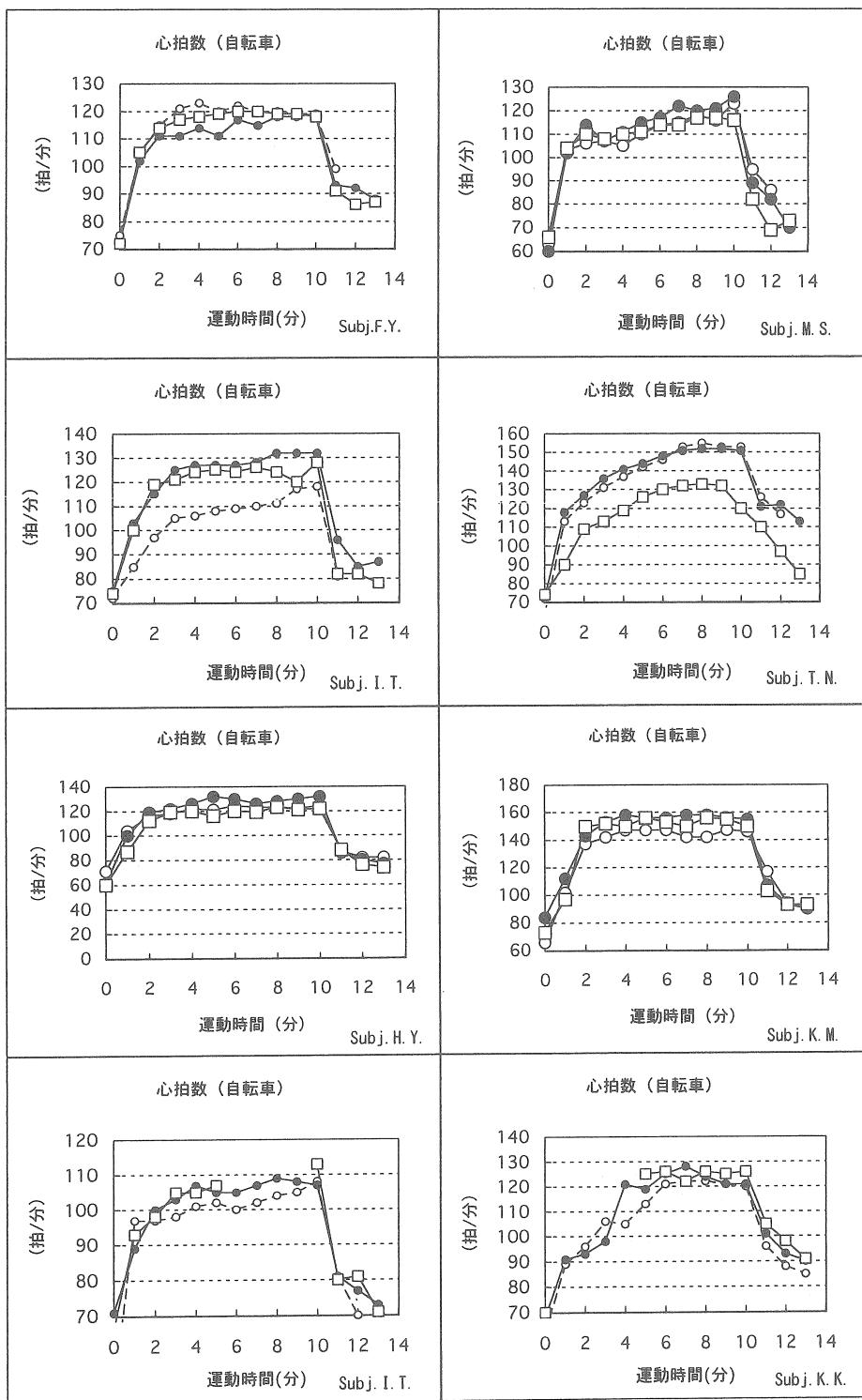
て、数値が高くなる傾向がみられた。

個人データの心拍数については、標高による影響が非常に良くあらわれる例と、あまりあらわれない例とがみられた。標高の影響が良くあらわれる例では、標高2857mにおいて最も高水準の心拍数を示した。動脈血酸素飽和度(SpO₂)は、標高2857mで最も低値を示し、標高1300mでは高値を示す様子が各個人例に明らかにあらわれている。標高2857mでは、動脈血酸素飽和度(SpO₂)が80～85%の範囲となる例が多かった。

血中乳酸濃度は、個人差が大きいことをあらわしている。運動前と運動後の値を結んだ直線の傾きの様子をみると、標高2857mの場合に傾きが緩やかである例が多く、標高1800mまたは2200mで傾きが急激である場合が多かった。主観的運動強度(RPE)には、男子および女子大学生では標高の影響が明らかではなかったが、中高年2名では標高2857mで最も高値を示した。

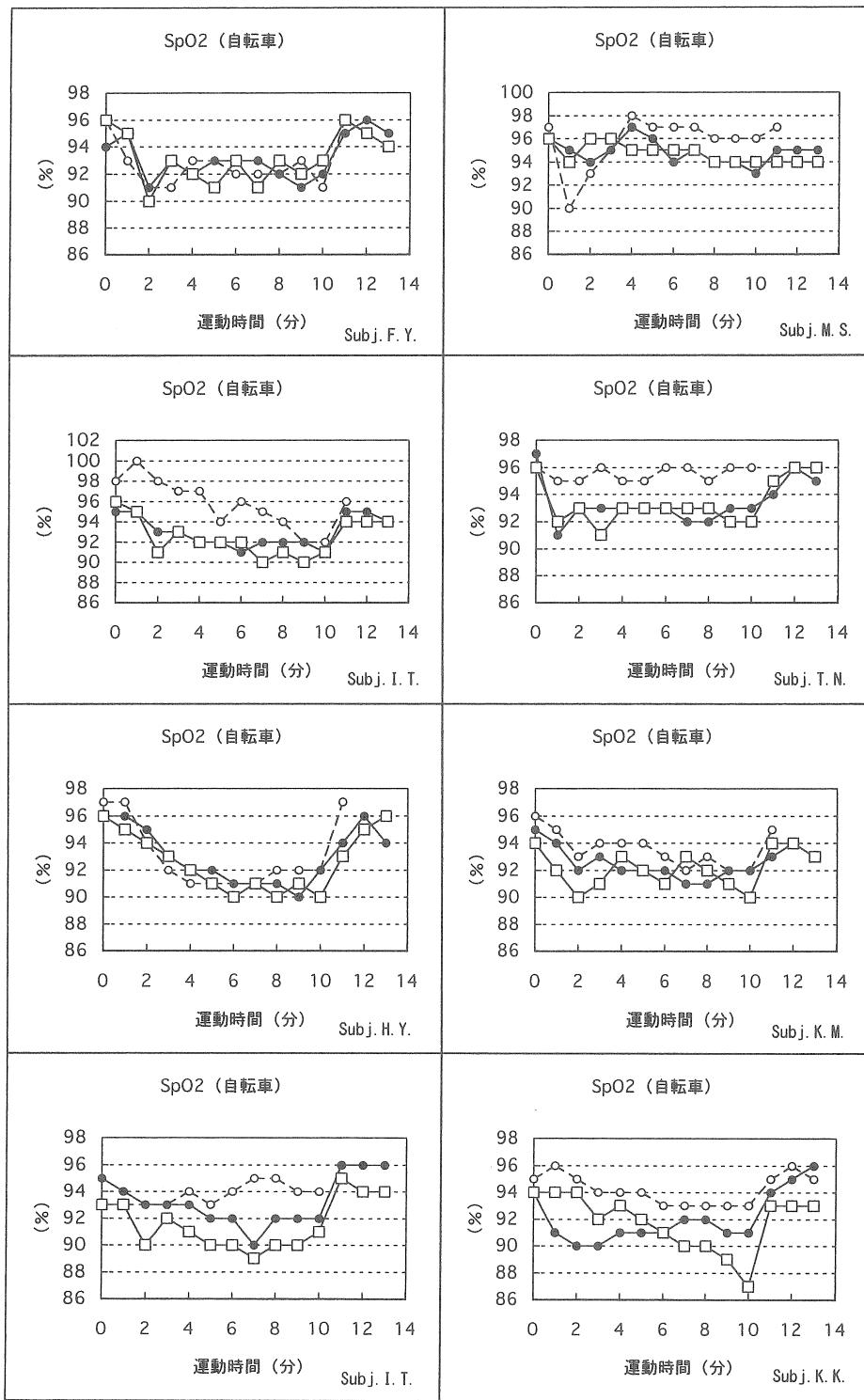
まとめ

- ①自然環境を利用してした高地トレーニングを実施する場合の標高による影響をとらえるため、標高1300m, 1800m, 2200mで自転車エルゴメータテストと踏台昇降運動、さらに2857mで踏台昇降運動を実施した。
- ②標高の影響は、動脈血酸素飽和度(SpO₂)に最も良く反映され、心拍数や血中乳酸濃度への影響はあまり明確ではなかった。
- ③運動中の組織血液酸素飽和度は、運動開始後一旦低下し、その後回復に向かうが、個人差が大きく、標高の影響は必ずしも明確ではなかった。
- ④今回の測定では標高1800mと標高2200mでの運動に対する生理学的反応には明らかな標高差を見い出しができなかった。このことから、標高1800mと標高2200mでの運動では、生理的反応にあまり大きな差違が生じないということが言えるかもしれない。



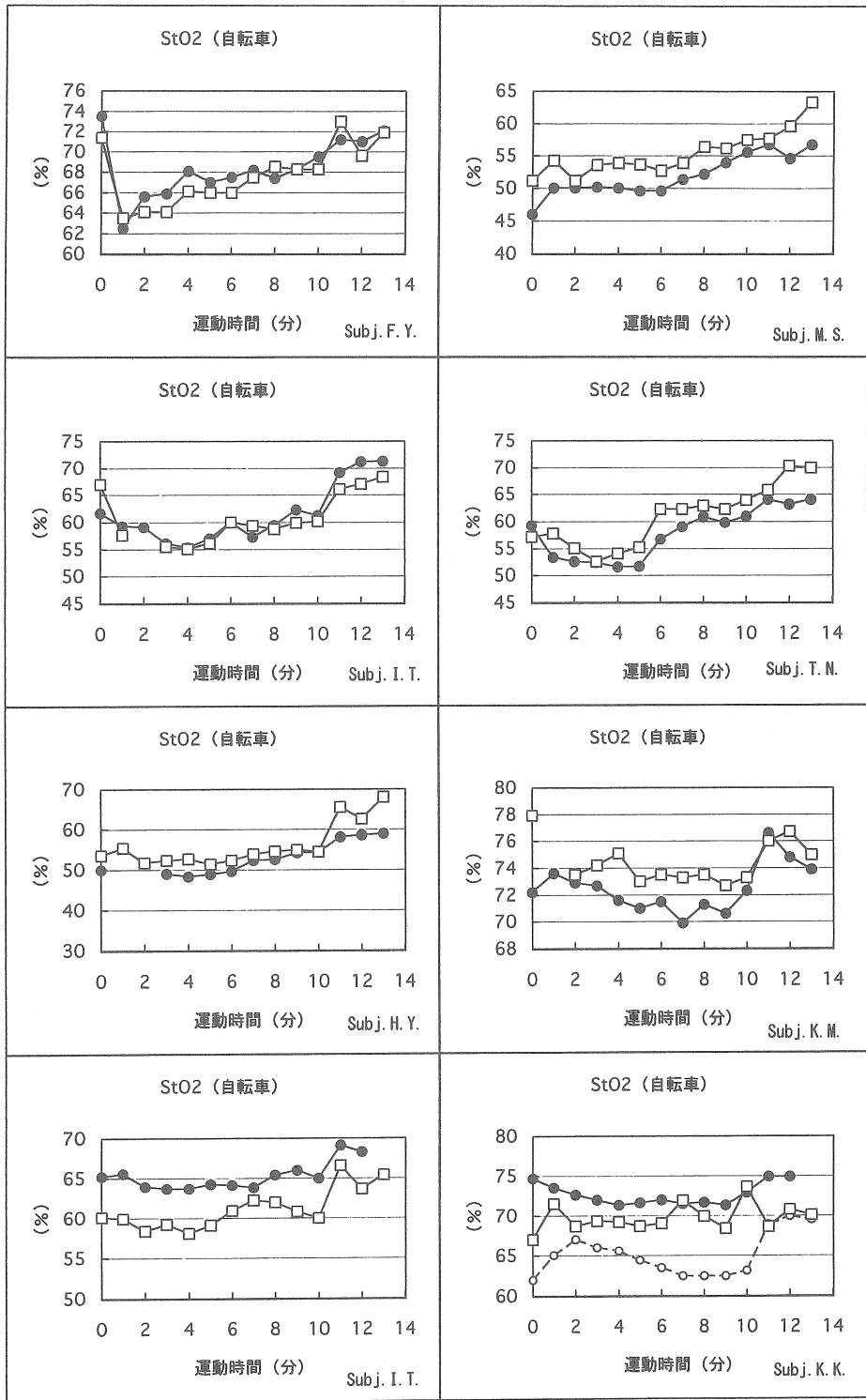
○1300m ●1800m □2200m

図2 心拍数



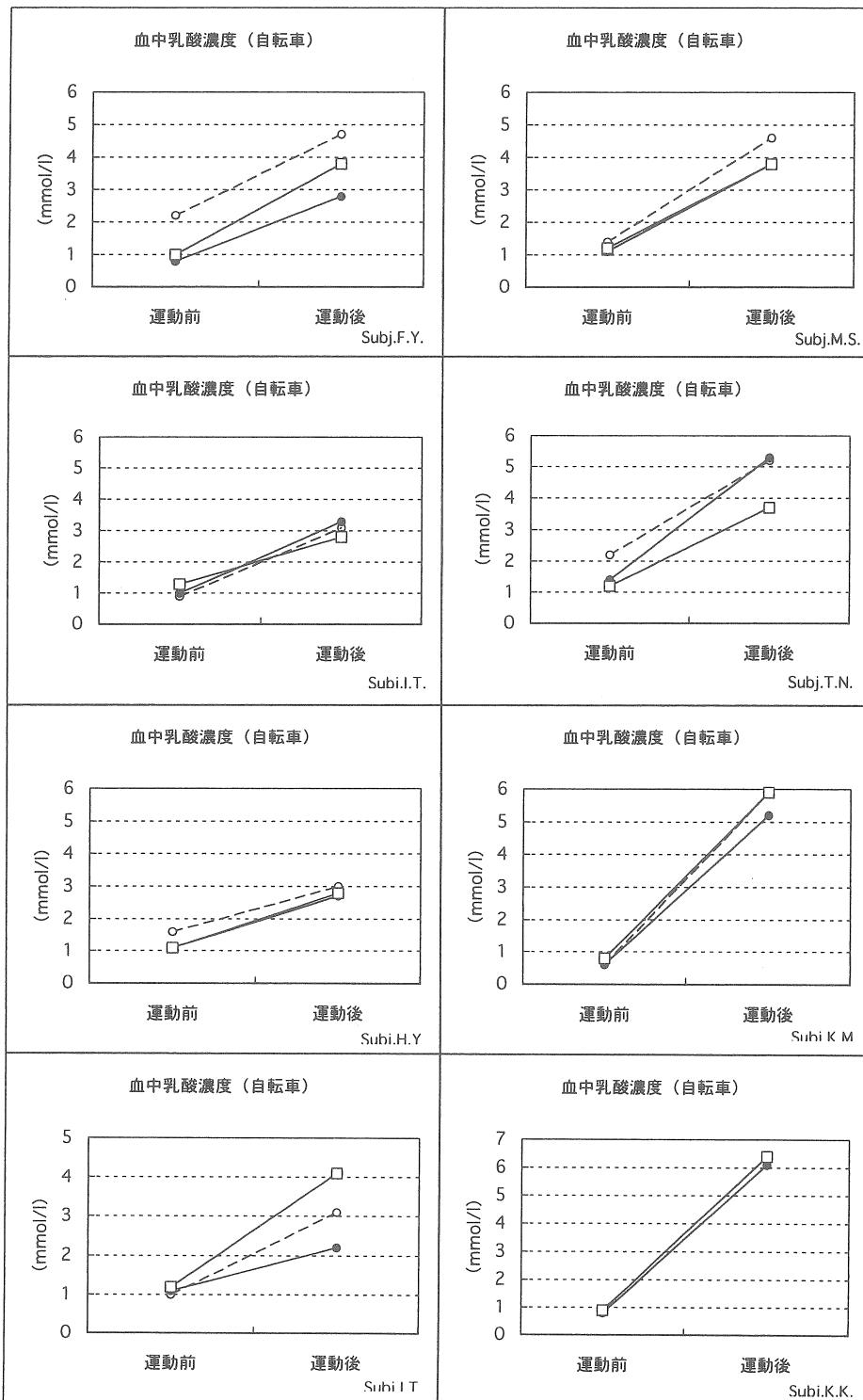
○1300m ●1800m □2200m

図3 SpO₂



○1300m ●1800m □2200m

図4 StO₂



○1300m ●1800m □2200m

図5 血中乳酸濃度

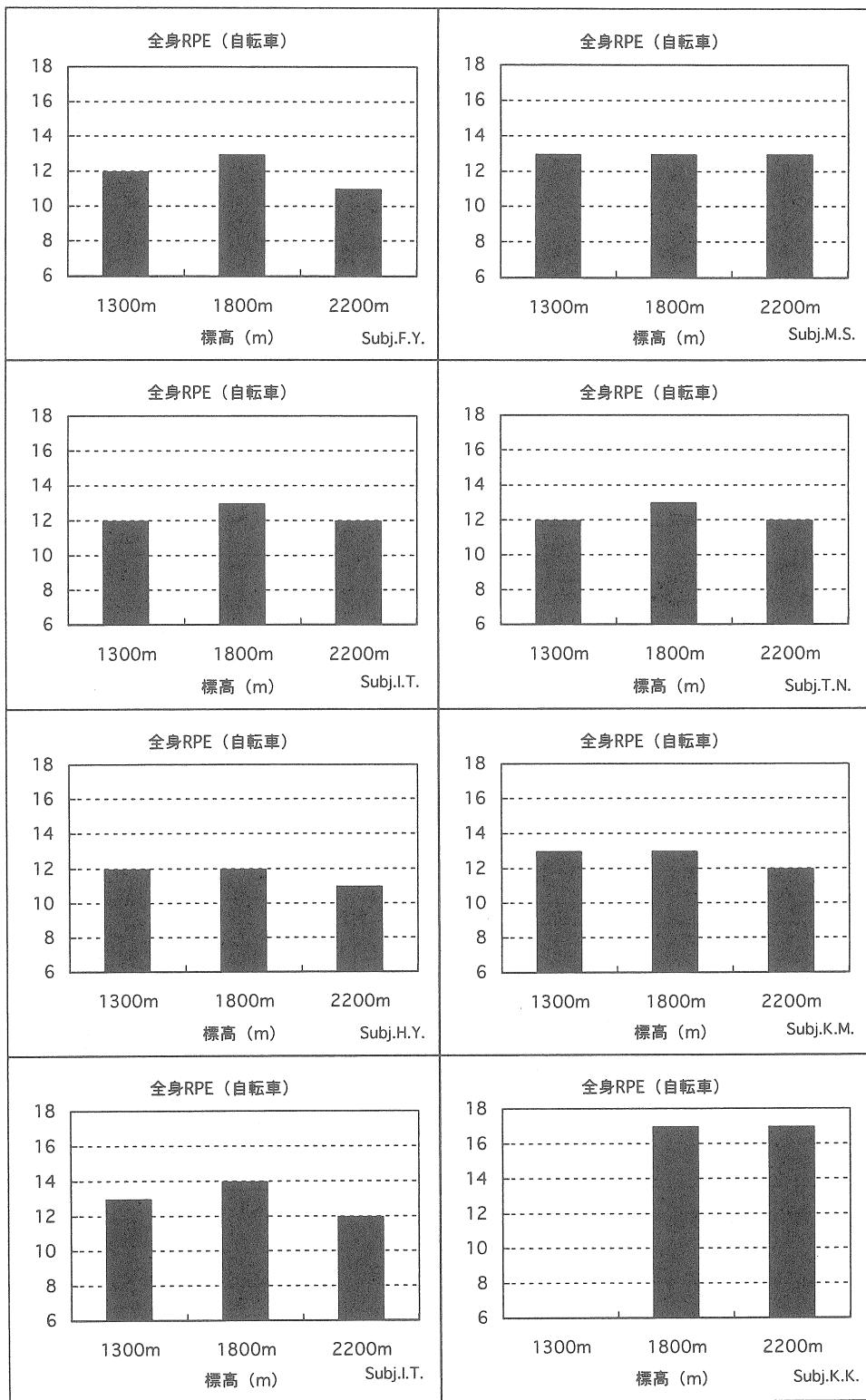


図 6 全身 RPE

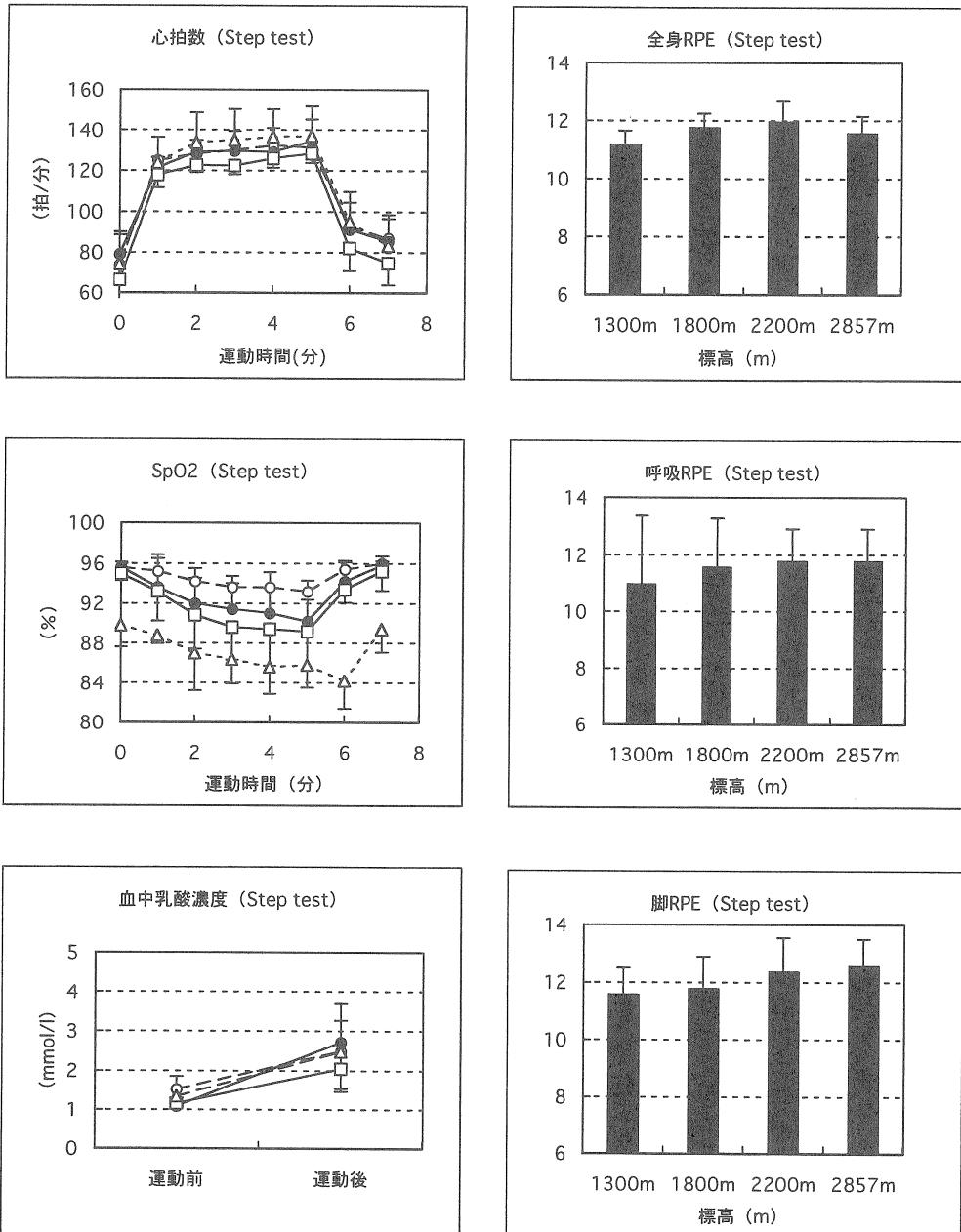


図 7 標高1300, 1800, 2200, 2857mにおけるステップテストの心拍数、動脈血酸素飽和度、血中乳酸濃度および主観的運動強度の変化 (n = 5)

2) 水泳競技

世界選手権に向けた高地トレーニングにおける トレーニング内容とその効果の分析と検討

報 告 者 若吉 浩二¹⁾ 金岡 恒治²⁾ 立 正伸³⁾

1. はじめに

水泳競技では、本年度7月に世界水泳選手権が福岡で開催された。選手達にとってシドニーオリンピックの翌年ということで、精神的にも肉体的にも2年連続して高い競技力を維持・発揮することは決して容易なことではない。しかしながら、世界選手権では、開催国としてシドニーオリンピック以上の好成績が期待される。シドニーオリンピックに向けて実施された高地トレーニングが良い成績をもたらしたことから、世界選手権に向けても同様にナショナルチームとして高地トレーニングが実施された。

ナショナルチームは、過去10年間、12回の高地トレーニングを実施し、その内11回が、アメリカ・アリゾナ州・フラッグスタッフで行われた。そして、本年度も、当地で実施された。その理由に北アリゾナ大学内に高地スポーツトレーニングコンプレックスという組織の存在が挙げられ、トレーニング・宿泊施設等、充実したサポート体制が確立されている。

本稿では、6～7月にフラッグスタッフで実施された高地トレーニングの医・科学サポートについて報告する。

2. 高地トレーニング参加選手と世界選手権福岡での競技成績

参加選手は、男子5名、女子6名の計11名であった（表1）。短距離選手（50～200m）は、男子4名、女子4名の計8名、長距離選手（200m～1500

m）は、男子1名、女子2名の計3名であった。今回は、これまで以上に多くの短距離選手が参加した（比率73%）。水泳競技時間とエネルギー代謝に関する先行研究によると、100mのレースでは、総エネルギー代謝の内、40～50%が有酸素性エネルギー供給であると報告されている¹⁾。したがって100mを専門種目とする選手においても、高地トレーニングに伴うその効果は、大いに競技力向上に反映されるものと思われる。

表1に高地トレーニング参加選手の、代表選手選考会である日本選手権での最高タイムと世界選手権での競技成績との比較を示す。記録更新を選手でみると11名中7名の64%，参加競技種目では23種目中10種目の43%となった。シドニーオリンピックでの同様な結果では、記録更新した選手は9名中4名の44%，種目は14種目中4種目の29%であった³⁾。また、ジュニア選手を主に対象とした高地トレーニングの成果では、記録更新のみられた種目は101種目中41種目、41%と報告されている²⁾。

さらに、選手個人でみても、北島選手が200m平泳ぎにて3位、大西選手が100mバタフライにて3位、萩原選手および永井選手が800m自由形リレーにて3位入賞となり、計4つの銅メダルを獲得した。

以上のことからも、本年実施された高地トレーニングは成功したものと判断できよう。これは、今回のトレーニングスケジュールおよびプログラムがこれまでの経験を活かした理想的な実施形態であったことがその理由として挙げることができる。

1) 奈良教育大学

2) 筑波大学

3) 東京大学大学院

表1 高地合宿参加選手の日本選手権での最高タイムおよび世界選手権での競技成績

名前	種目	日本選手権	世界選手権					変化種目	変化選手
			予選	準決勝	決勝	リレー種目			
伊藤俊介	50m自由形	23.40	23.60	38位					×
	100m自由形	50.84	51.29	28位					×
	200m自由形	1.50.84					1.51.64	×	×
藤田駿一	400m自由形	3.50.60	3.50.36	6位			3.52.11	8位	○
	1500m自由形	15.24.48	15.31.91	14位					×
北島康介	50m平泳ぎ	28.05	28.73	18位					×
	100m平泳ぎ	1.01.26	1.00.95	2位	1.00.61	3位	1.00.67	4位	○
	200m平泳ぎ	2.13.53	2.13.56	4位	2.12.21	2位	2.11.21	3位	○
高安亮	50mバタフライ	24.71	24.64	26位					○
	100mバタフライ	54.15	54.22	20位					○
錦織篤	50m背泳ぎ	26.13	26.34	18位					×
	100m背泳ぎ	55.96	56.39	19位				56.33	×
永井奉子	50m自由形	26.22	26.43	35位					×
	100m自由形	56.17	56.75	25位				56.00	○
	200m自由形	2.02.57						2.01.90	○
山田沙知子	400m自由形	4.12.36	4.15.14	14位					×
	800m自由形	8.34.10	8.37.27	6位			8.45.05	8位	×
大西順子	50mバタフライ	27.04	27.11	7位	27.17	11位			×
	100mバタフライ	59.26	59.30	3位	59.21	3位	58.88	3位	○
北田麻子	200mバタフライ	2.11.44	2.12.03	12位	2.13.05	14位			×
萩原智子	200m個人メドレー	2.16.71	2.15.47	7位	2.14.22	5位	2.14.93	7位	○
佐藤綾音	200m個人メドレー	2.20.49	2.18.83	15位	2.18.56	14位			○
	400m個人メドレー	4.48.44	4.46.05	8位			失格		○

更新：種目 10/23、選手 7/11

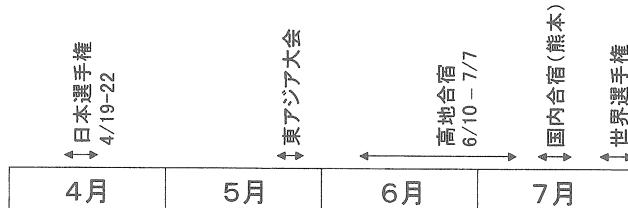


図1 日本選手権（代表選手選考会）から世界選手権までのトレーニングスケジュール

3. 世界選手権に向けた高地トレーニングスケジュール

図1に、日本選手権（代表選手選考会）から世界選手権までのトレーニングスケジュールを示す。日本選手権が4月19～22日に開催され、世界選手権の代表選手が選考された。その選手達は5月下旬の東アジア大会に出場し、その後、6月10日～7月7日までの4週間の高地トレーニングを実施し、世界選手権の開催約2週間前に帰国した。大会は1週間行われたことから、高地から平地に移動して3週間以内に大会が終了したことになる。これまでナショナルチームとしては、ほとんどの場合3週間の高地トレーニングが組まれ、レース前3週間に平地に移動していた。しかしながらシドニーオリンピックでは、400m個人メドレー銀メダリストの田島寧子選手が、直前合宿として4週間の高地トレーニングを実施し、2週間以内にレースを終えている。

また、4週間のスケジュールで高地トレーニングが実施された場合、3週間のスケジュールとは異なり、順応、鍛錬、そして調整といったそれぞれのトレーニングプログラムの期間を十分確保することができる。図2には、これまでの3週間と、今回採用された4週間のプログラムの比較を試みた。3週間の場合、順応期間に1週間を割いたならば、鍛錬期間は1週間から10日、また鍛錬期間を2週間確保したならば、順応期間は3～4日となり、それぞれ目的に応じたプログラムは、大変窮屈なスケジュールで組まなければならない。その点、4週間では、それぞれの期間が十分に確保できる。今後、水泳競技では高地トレーニングを

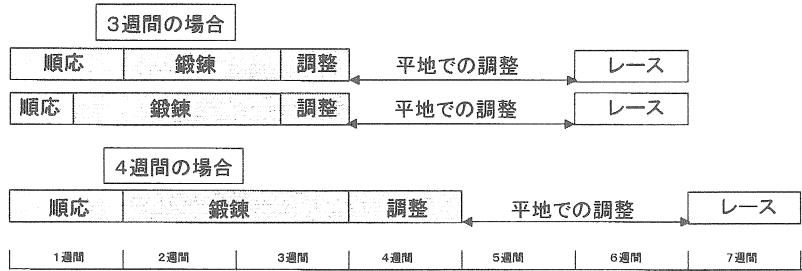


図2 高地トレーニング3週間または4週間のトレーニングプログラム内容

含むレース前のスケジュールは、4週間の高地トレーニング期間と、レース前2週間の平地での調整期間が最も望ましい組み合わせであると思われる。

4. 高地トレーニングの計画と内容の検討

高地滞在中のトレーニングスケジュールは、選手個別で多少の違いはあったものの、基本的には、月・火・木・金曜日が午前と午後の2回練習、水・土曜日が午前のみ、日曜日は休養日であり、合計週10回の練習を行った。

トレーニングスケジュールの詳細やトレーニング内容は各選手の担当コーチの計画に基づき、少々の差異がみられた。そこで、本報告ではこれまでに高地トレーニングを数多く経験してきた2名のコーチが担当した、以下の2グループのトレーニングスケジュールおよびトレーニング内容について検討した。

A：北島選手、萩原選手

B：錦織選手、高安選手、大西選手、永井選手

両グループの高地トレーニングのスケジュールを表2に示した。表中の○は水中トレーニング実施を表す。また、Fは自由練習(水中)、Wは通常の補強運動以外のマシン等を使った筋力トレーニングを表している。

表3は高地トレーニング期間中のトレーニング内容の分類方法を示したものである。トレーニング内容は両グループの担当コーチから情報提供を受け、担当コーチの考えるカテゴリー分けを基に集計した。

(1) Aグループ

表4はAグループ(北島選手、萩原選手)のト

表2 高地トレーニングにおける両グループのトレーニング計画

Group	A		B	
	Swimmer		北島	萩原
Date	AM	PM	AM	PM
2001/6/11 Mon	○	○	○	○
2001/6/12 Tue	○	○ W	○	○
2001/6/13 Wed	○		WF	
2001/6/14 Thu	○	○ W	○	○
2001/6/15 Fri	○	○	○	○
2001/6/16 Sat	○		WF	
2001/6/17 Sun				
2001/6/18 Mon	○	○ W	○	○
2001/6/19 Tue	○	○	○	○
2001/6/20 Wed	○		WF	
2001/6/21 Thu	○	○ W	○	○
2001/6/22 Fri	○	○	○	○
2001/6/23 Sat	○		WF	
2001/6/24 Sun				
2001/6/25 Mon	○ W	○	F	○
2001/6/26 Tue	○	○	○	○
2001/6/27 Wed	○		○	
2001/6/28 Thu	○	○	WF	○
2001/6/29 Fri	F	F	○	○
2001/6/30 Sat	○		WF	
2001/7/1 Sun				
2001/7/2 Mon	○ W	○	F	○
2001/7/3 Tue	○	○	○	○
2001/7/4 Wed	F		WF	
2001/7/5 Thu	○	○	F	○
2001/7/6 Fri	○		○	○ F

○=水中トレーニング、F=自由練習、W=筋力トレーニング

表3 トレーニングカテゴリーの分類

	カテゴリー	休息	心拍数
AE	エアロビック	A1	10~15秒 ~120
		A2	10~30秒 120~140
EN	エンデュランス	EN1	10~30秒 130~160
		EN2	10~30秒 140~170
		EN3	10~60秒 160~180
AN	アネロビック	AN1	1~3分 Max
		AN2	8~10分 Max
		AN3	30秒~ Max

表4 グループAのトレーニング内容 (m)

Date	A1	A2	EN1	EN2	EN3	AN1	AN2	AN3	Total
6/11 Mon	2800	4300	1000	0	0	0	0	100	8200
6/12 Tue	2400	5800	800	0	0	0	0	300	9300
6/13 Wed	1400	800	2600	800	200	0	0	100	5900
6/14 Thu	2900	6500	800	400	0	0	0	150	10750
6/15 Fri	2200	5100	2600	0	200	0	0	200	10300
6/16 Sat	2100	2500	1500	0	0	100	0	100	6300
6/17 Sun	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6/18 Mon	3000	4600	800	1600	1000	0	0	200	11200
6/19 Tue	4300	6100	0	400	800	0	0	200	11800
6/20 Wed	2000	2200	0	400	0	400	0	100	5100
6/21 Thu	3200	3200	1400	2200	200	0	0	200	10400
6/22 Fri	3100	5200	0	0	1200	0	0	100	9600
6/23 Sat	4600	0	0	0	0	0	300	0	4900
6/24 Sun	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6/25 Mon	1800	1200	2500	800	400	0	0	100	6800
6/26 Tue	3900	5000	200	1800	400	0	0	100	11400
6/27 Wed	2200	800	2800	0	0	0	0	100	5900
6/28 Thu	3900	3200	0	1200	1100	500	0	300	10200
6/29 Fri	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6/30 Sat	2200	1000	0	400	200	0	200	100	4100
7/1 Sun	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7/2 Mon	3100	2400	0	800	0	600	0	100	7000
7/3 Tue	2700	4800	600	0	1400	0	0	150	9650
7/4 Wed	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7/5 Thu	4300	5400	0	0	0	700	0	150	10550
7/6 Fri	1400	2200	1600	200	0	0	0	150	5550

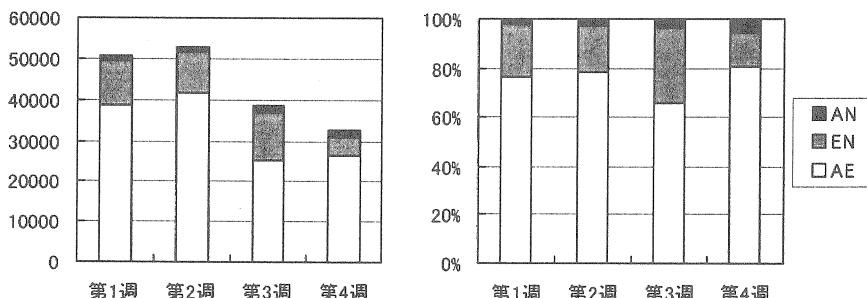


図3 グループAの1週間あたりのトレーニング内容：左—泳距離 (m)，右—割合 (%)

トレーニング内容の集計結果である。自由練習はトレーニング内容把握が困難なため今回の調査では集計から除く。集計したデータを週ごとにまとめたのが図3である。左の図はAN, EN, AEそれぞれのカテゴリー別の泳距離を表しており、右の図はそれぞれの割合を表している。合宿前半では、AE系を主に行っており、第2週では第1週よりも泳距離が増加していた。第3週では泳距離は減少したものENやANの練習が占める割合が増加しており、トレーニング強度が高くなっていたことがうかがえる。第4週目は、調整に入ったこともあり量・質ともに減少する傾向にあった。水中以外のトレーニングとして、練習前後に補強運動

を毎日行っていたが、その他にマシン等を使った筋力トレーニングを合宿前半は週2回、後半は週1回行っていた（表2）。

(2) B グループ

表5はBグループ（錦織選手、高安選手、大西選手、永井選手）のトレーニング内容の集計結果である。Aグループと同様に自由練習は集計から除く。集計したBグループのデータを週ごとにまとめたのが図4である。合宿第2週では第1週よりも泳距離が増加していた。また、第1週ではEN系の中ではEN1-2が主だったのが第2週にはEN-3が主になっており、トレーニング強度があがつ

表5 グループBのトレーニング内容 (m)

Date	A1	A2	EN1	EN2	EN3	AN1	AN2	AN3	Total
6/11 Mon	3800	1000	0	0	0	0	0	250	5050
6/12 Tue	3075	800	1500	1700	0	0	0	625	7700
6/13 Wed	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6/14 Thu	6690	600	500	500	500	0	0	1010	9800
6/15 Fri	4725	800	1200	1800	600	0	0	475	9600
6/16 Sat	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6/17 Sun	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6/18 Mon	3300	2150	400	1700	400	0	0	350	8300
6/19 Tue	4050	900	800	1200	300	0	0	550	7800
6/20 Wed	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6/21 Thu	3220	4600	0	200	0	0	800	180	9000
6/22 Fri	3900	2800	0	800	1300	400	0	0	9200
6/23 Sat	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6/24 Sun	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6/25 Mon	800	2000	0	0	0	0	550	0	3350
6/26 Tue	4650	2600	800	400	0	0	0	450	8900
6/27 Wed	2000	600	0	400	300	0	200	0	3500
6/28 Thu	2380	600	0	1200	0	0	0	620	4800
6/29 Fri	2450	3000	0	1800	0	0	450	150	7850
6/30 Sat	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7/1 Sun	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7/2 Mon	800	0	0	0	0	0	0	200	1000
7/3 Tue	5350	1000	0	3000	200	0	0	150	9700
7/4 Wed	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7/5 Thu	2500	0	0	0	400	0	0	100	3000
7/6 Fri	1700	400	0	1200	0	0	0	300	3600

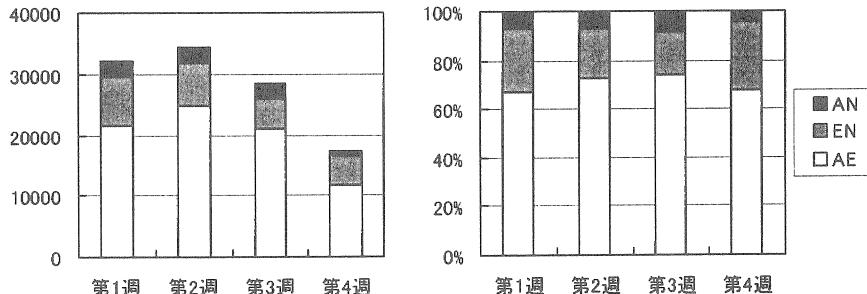


図4 グループBの1週間あたりのトレーニング内容：左－泳距離 (m), 右－割合 (%)

ていることがうかがえる。第3週では泳距離は減少したもののAN2などの非常に負荷の高い練習が回数多く入っており、より選手に与える負担は大きくなっていたのではないかと考えられる。第4週目は、調整に入ったこともあり量・質ともに減少傾向にあり、選手が各自に合わせた調整ができるよう自由練習の日も多くなっていた。合宿全期間を通じてAN系の練習が多めになっているがその多くはAN3などのパワー系のものであり、このグループが短距離選手で構成されていたため重要視されたと考えられる。また、筋力トレーニングは合宿最終週を除き週2回行っていた(表2)。筋力トレーニングへの集中、筋肉痛などの早期緩

和を考え、筋力トレーニング後の水中練習は自由練習としていた。

(3) まとめ

両グループとも高地合宿前半は強度が低めの練習を多く行い、第1週から第2週にかけて練習量を増やしていく傾向にあった。また、第3週では、量的には減少するものの強度の高いトレーニング内容が増えていった。これらのトレーニング内容の構成は、これまでの報告で提唱されてきたように、高地トレーニング当初は高地に慣れるために低強度のトレーニングの割合を多く設定し、徐々に強度を高めて実施するという方針と合致するも

表6 萩原選手の血中乳酸カーブテスト（2000年と2001年の比較）

日付	場所	回数	タイム	速度	血中乳酸濃度	心拍数
2001/6/21	フラッグスタッフ 高地	1st	160.0	1.25	6.0	157
		2nd	156.5	1.28	7.0	164
		3rd	143.0	1.40	11.8	167
		4th				
2001/6/26	フラッグスタッフ 高地	1st	155.9	1.28	5.6	156
		2nd	148.3	1.35	7.3	167
		3rd	138.2	1.45	14.8	179
		4th				
2000/8/5	フラッグスタッフ 高地	1st	151.2	1.32	7.2	163
		2nd	146.2	1.37	10.8	164
		3rd	144.4	1.39	12.3	183
		4th	143.0	1.40	16.3	174
2000/8/24	フラッグスタッフ 高地	1st	160.2	1.25	3.0	153
		2nd	152.6	1.31	4.4	164
		3rd	145.4	1.38	7.0	173
		4th	134.7	1.48	15.0	181

テスト方法:200m背泳ぎ × 3~4本 6分サークル

表7 北島選手の血中乳酸カーブテスト（2000年と2001年の比較）

日付	場所	回数	タイム	速度	血中乳酸濃度	心拍数
2001/6/21	フラッグスタッフ 高地	1st	173.8	1.15	5.1	157
		2nd	163.6	1.22	7.0	164
		3rd	152.7	1.31	10.9	167
		4th				
2001/6/26	フラッグスタッフ 高地	1st	170.8	1.17	5.0	169
		2nd	162.0	1.23	5.9	182
		3rd	148.5	1.35	12.4	188
		4th				
2000/6/2	フラッグスタッフ 高地	1st	175.3	1.14	2.9	156
		2nd	162.9	1.23	5	166
		3rd	156.5	1.28	7.3	177
		4th	153.1	1.31	8.6	178
2000/6/16	フラッグスタッフ 高地	1st	173.7	1.15	2.8	156
		2nd	168.3	1.19	3.3	164
		3rd	152.2	1.31	7.2	180
		4th	139.9	1.43	14.6	183

テスト方法:200m背泳ぎ × 3~4本 6分サークル

のであった。

ところで、水泳競技において高地合宿の成果を得るには平地と同等の技術で動作を行わなければならぬと考えられる。今回、検討した両グループでは短距離選手が多く、高地トレーニング前半からAN3系のトレーニング内容を多く取り入れ、また、筋力トレーニングも欠かさず行っており、高地でも平地で持っていた技術・パワーを落とさないような努力が図られていた。

(4) 今後の課題

今回の合宿では各コーチと連携し、トレーニング負荷の確認のため血中乳酸濃度などを用いトレーニング負荷の客観的なチェックをたびたび行った。今後は、生理的な指標だけでなく、泳技術を客観的に分析して練習に役立てられるようにして

いくことが重要であると考えられる。また、選手の年齢層も上がり今回のように自由練習として選手自身で考えて練習する機会が増えていくと考えられるので、コーチのみならず選手へも高地トレーニングに対する知識の啓蒙を行っていく必要がある。

5. 高地トレーニングと血中乳酸測定

(1) 乳酸カーブテスト

表6および7、図5および6に、萩原選手と北島選手の血中乳酸カーブテストの結果を示す。データにはシドニーオリンピック前の高地トレーニング中のものも掲載した。両選手とも、高地トレーニング開始10日後(鍛錬期間)に1回目の測定、その5日後に2回目の測定が実施された。短期間ではあるが、両者とも乳酸カーブは右側にシフト

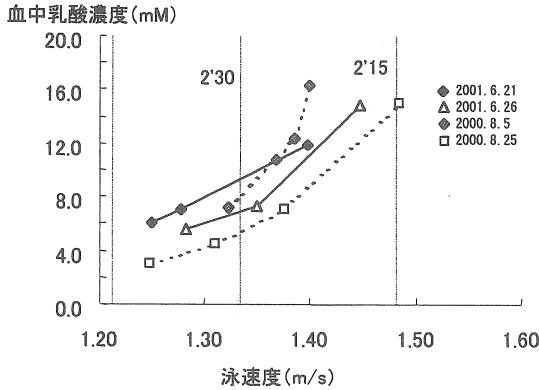


図5 萩原選手の血中乳酸カーブテスト結果

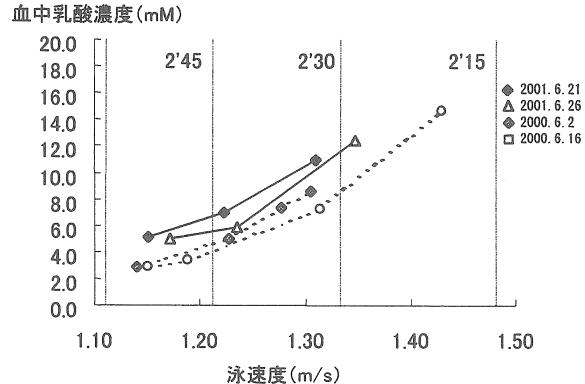


図6 北島選手の血中乳酸カーブテスト結果

表8 血中乳酸測定によるコンディショニングチェック（北田選手）

Date	AM/PM	状況	直後	3分後	5分後	ダウン後	備考
2001/6/13	AM	Down後				2.2	
2001/6/16	AM	200*3+4set Des	5.9			2.0	
2001/6/20	AM	50*4 SD	13.0	12.6		5.7	
2001/6/21	AM	Down後				1.4	
2001/6/23	AM	300*4 -6', 7', 8'	10.7			4.9	own追加 +400
2001/6/26	AM	Tube*3 -20"	11.4			1.6	
2001/6/27	AM	50*20 -50"	13.6	14.9			Fr
2001/6/28	PM	Down後				2.1	
2001/6/30	AM	50*8 -1'	14.2	16.2		2.0	
2001/7/3	AM	50*8 -1'30"	14.7	15.7			
2001/7/6	AM	50*6 -1'	10.6	14.9		1.7	

し、持久力の向上がみられた。これは、高地トレーニング順化に伴う変化であり、順調にトレーニングが行われたものといえよう。しかしながら、シドニーオリンピック前と比較すると、乳酸カーブは、両者ともまだ大きく左側に位置していることがわかる。今回、高地トレーニング後期である調整期のデータが得られなかったが、6月26日でのテスト結果よりも、乳酸カーブは右側にシフトしているものと推察される。

(2) 血中乳酸測定によるコンディショニングチェック

今回の合宿では、多くの選手が、メイン練習後およびクーリングダウン後に乳酸測定を実施した。表8は北田選手のデータを示す。メイン後の乳酸値はトレーニング進行に伴って高値を示す傾向がみられた。また、クーリングダウン後の乳酸値は2 mM レベルを基準に、それよりも顕著に高い場合は再度、ダウンの追加を実施した。

このようにメイン練習後の乳酸値は、タイムとその比較により、トレーニングの進行状況を確認することができ、クーリングダウン後においても、それが適切に行われたかどうかをチェックすることができた。長期にわたる高地トレーニングでは、特に環境が異なるため、常に高いレベルで良いコンディションを維持することが重要となることから、血中乳酸測定によるコンディショニングチェックは有効であるといえよう。

6. 高地トレーニングによる血液性状の変化

(1) はじめに

生体が低酸素状態にさらされ血液中の酸素濃度が低下すると、腎臓においてエリスロポエチンが産生され、骨髄中の赤芽球前駆細胞の分化増殖を促進し末梢血中の赤血球数を増加させ酸素運搬能力を高め組織の低酸素状態を改善する。この高地順化作用を用い主に有酸素系の運動能力を高めるために行う高地トレーニングは大きな国際大会前に

はほぼ恒例化してきている。

しかし、そのトレーニング効果の有無（本当にパフォーマンス向上に役立ったのか？），有効性の個人差（高地トレーニングに向く選手，向かない選手はどこが違うのか？），複数回トレーニングを行うことによる有効性（初回より複数回目の方がトレーニング効果が上がるらしい？）などをはじめとして不明な点が多い。これらの問題を明らかにし、今後本トレーニング方法をより有効なものにするため、また実際に実行しているトレーニングの効果を判定するために高地滞在中・帰国後に採血検査を行い、血液像の変化を調査したのでここに報告する。

(2) 対象

2001年7月に行われた世界水泳福岡大会に向け、同年6月10日から7月7日の期間、米国フラッグスタッフにおいて高地トレーニングを行った11名（男子5名、女子6名）の内、血液検査を実施した10名（男子4名、女子6名）を対象とした。10名の内、初めて高地トレーニングを行ったものは3名、複数回のものは7名（2回目：4名、3回目：1名、6、7回目：各1名）であった。

(3) 方法

出国前に血液検査を行い得たものは1名のみで4月7日に実施された。高地滞在後は、トレーニング開始後初期として6月11日に3名、6月18日に6名、6月20日に1名が検査を受けた。次いでトレーニング中期として6月25日に5名、6月28日に4名が、トレーニング後期として7月2日に5名、7月4日に1名、7月5日に4名が検査を受けた。高地滞在中の検査は滞在先の医療機関で行った。7月8日帰国後、熊本の合宿地において7月13日に10名の採血を行い民間検査機関(SRL, Inc)において検査を行った。

検査項目はトレーニング効果を推測するための指標として赤血球数（1ミリ立方メートルあたりの赤血球数）、ヘモグロビン値（血液1dlあたりのヘモグロビン量）、ヘマトクリット値（血液中の赤血球の占める割合）、MCV値（平均赤血球容量：赤血球1個あたりの容積）、MCH値（平均赤血球



写真1 血中乳酸測定のための採血



写真2 血液性状検査のための採血

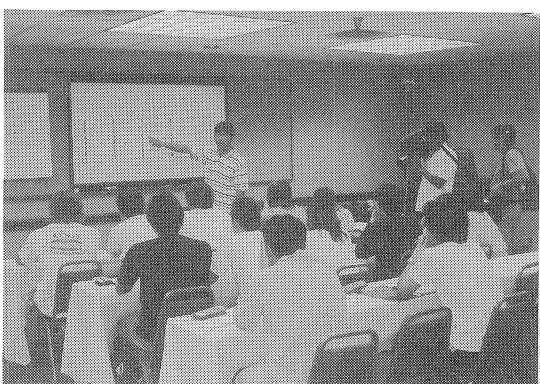


写真3 選手たちへの高地トレーニングについての講義

ヘモグロビン量：赤血球1個あたりのヘモグロビン量）、MCHC値（平均赤血球ヘモグロビン濃度：赤血球1個あたりのヘモグロビン濃度）について

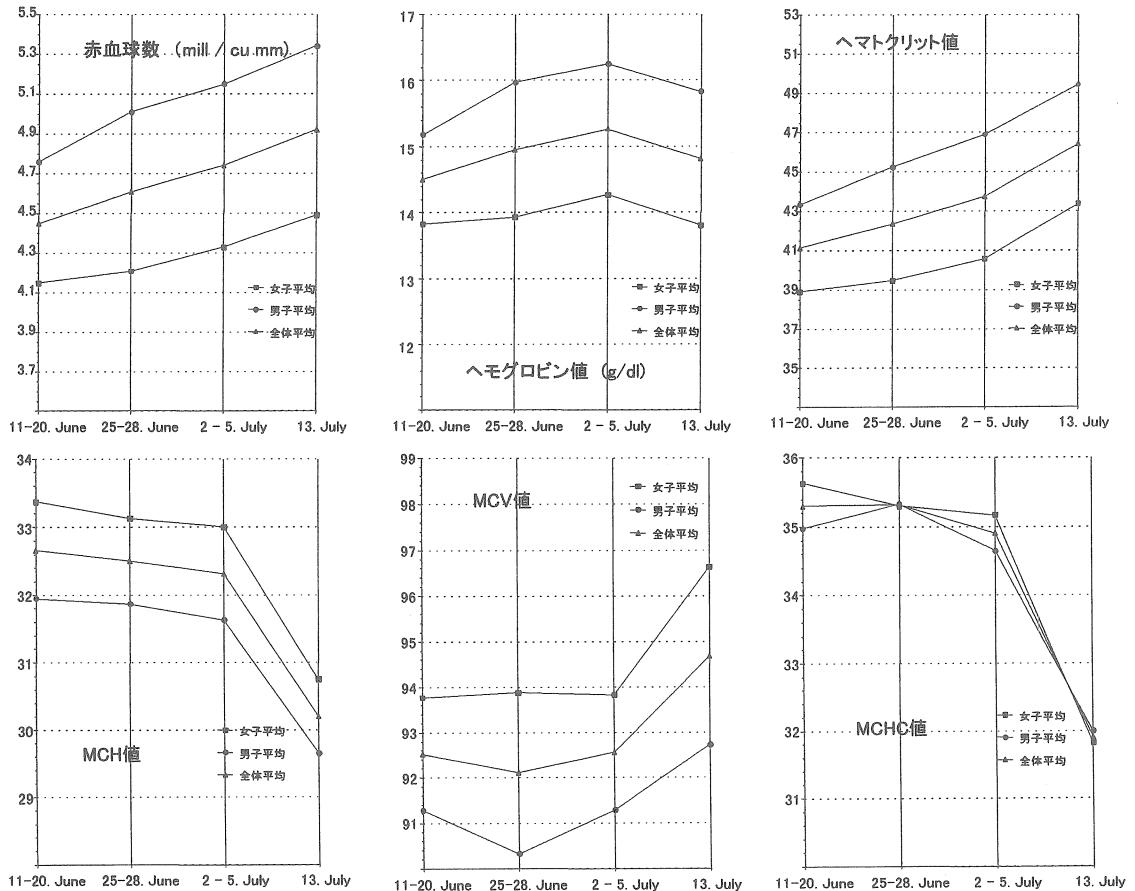


図 7 高地トレーニングによる血液性状の変化

男女別および全体での平均値の推移を調査した。

なお、高地トレーニング期間中はヘモグロビンの生合成に必要な鉄剤を投与した。

(4) 結果

図 7 に赤血球数、ヘモグロビン値、ヘマトクリット値、MCV 値、MCH 値、MCHC 値の変動を示す。

赤血球数はトレーニング開始初期から男女ともに増加を続け、大会直前の 7 月 13 日で最高値を示した。ヘモグロビン値はトレーニング開始からトレーニング後期の高地滞在中は軽度増加を示したが帰国後の 7 月 13 日には減少し男子ではトレーニング初期に比較して増加を示したが、女子はほぼ同値に戻っていた。ヘマトクリット値は男女ともトレーニング開始後から上昇し 7 月 13 日に最大値を示した。MCV 値は高地滞在中男子においてはト

レーニング中期に低下したが、帰国後 7 月 13 日には男女とも上昇していた。MCH 値、MCHC 値は共に男女とも帰国後の 7 月 13 日には低下した。

競技成績は高地トレーニング前に行われた日本選手権大会時のタイムと比較して良い記録を出したものが 7 名（男子 3 名、女子 4 名）で、逆に良くなかったものが 4 名（男子 2 名、女子 2 名）であった。高地トレーニング経験回数と競技成績の関係は初回 4 名の内 3 名、2 回目の 4 名の内では 1 名で競技成績が良く、3 回目以上の 3 名では 3 名全員が良い成績を残した。

(5) 考察

気圧の低い高地環境でトレーニングを行うことによる馴化反応としては前述のエリスロポエチン分泌を介した赤血球産生の亢進があるが、このエ

リスロポエチンの分泌から実際の末梢血中の赤血球数の増加がみられるまでには数週間の期間を要すると推察されている。このため赤血球数はトレーニング後帰国しても増加し続け大会直前に最高値を示したと考える。また血液中の赤血球の占める割合を表すヘマトクリット値も赤血球数の増加に伴って大会直前に最大値を示した。

これに対してヘモグロビン値はトレーニング後期を最大値としてトレーニング期間中は増加傾向を示していたが帰国後の7月13日には男子ではトレーニング初期と比較してわずかな増加、女子はほぼ同値にまで低下した。高地滞在開始初期の新しく赤血球が産生されるまでの期間は、組織の低酸素状態に対応して体内の赤血球分布が変化することによって順応すると考えられており、帰国後平地に戻ったためヘモグロビン値は低下したと考えるがこの反応の詳細な機序は明らかではない。

競技会での成績は様々な要因が影響するため、高地トレーニングがどの程度競技力向上に役立ったかは明らかではない。しかし競技成績の向上を認めなかった選手4名の内2名は腰部障害によるコンディション不良を有しており、他の2名は赤血球数の変化がトレーニング初期値と帰国後の値でそれぞれ4.4から4.6、4.2から4.1と他の選手に比べて上昇が少なかった。これらのことから高地

トレーニングを行い赤血球数を上昇させることができ競技力の向上につながっていたことが推察できる。

高地トレーニングを行うことにより競技力向上が得やすい選手、得にくい選手がいることは経験的に言われているがその違いがどこにあるのか明らかにはされていない。しかしトレーニングの方法をその選手にあったきめの細かいものにしていけばその効果を上げることが期待できると考える。血液検査は選手のコンディション、トレーニング効果を客観的に知る上で重要なデータとなるが、現場において検査結果を知り、解釈し、実際のトレーニング方法に反映させていく作業が必要でありその細かいフィードバック体制を整えていくことが今後の課題といえる。

引用文献

- 1) 萩田 太：水泳中の無酸素性エネルギー供給動態、水泳水中運動科学, 2, 47-56, 1999.
- 2) 若吉浩二, 有吉 謙, 宮下充正：競泳選手の高所トレーニング—フラッグスタッフ:2102mの場合一、体育の科学, 46, 575-579, 1996.
- 3) 若吉浩二：水泳競技—シドニーオリンピックに向けてー、平成12年度日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告, No.IV JOC 高地トレーニング医・科学サポート第10報, 8-23, 2001.

3) スキー競技クロスカントリー 自律神経機能からみた強化指定選手の高地への適応について

報 告 者 吉本 俊明¹⁾ 岩崎 賢一¹⁾ 鈴木 典¹⁾
水落 文夫¹⁾ 高橋 正則¹⁾ 塩澤 友規¹⁾
菅生 貴之¹⁾ 竹田 正樹²⁾

はじめに

高地トレーニングは、全日本スキー連盟クロスカントリースキー選手強化の一環として定着し、これまでかなりの成果をあげてきている。特に第19回オリンピック冬季競技大会（2002／ソルトレークシティー）の会場が標高1,700mの高地で行われるということから、単にトレーニングの一環としてではなく、まさにソルトレーキー対策として、各選手の高地への適応機能を明らかにするとともに、コンディショニングの方法についてサポートすることが不可欠となってきている。

これまでも、フリッカーバー値、尿蛋白検査、安静時・運動時および運動後の心拍数、血中乳酸値、更には疲労の自覚症状調べ、POMSと、生理的、心理的な多くの指標を用いて選手のコンディションを明らかにする試みを行ってきた。その結果、高地適応には個人差があり、数日間の短い期間に適応する選手もみられるが、多くの選手は1週間が一つの目安になる傾向にあることを明らかにしてきた。そして、これらの結果を指導スタッフを通して選手にフィードバックし、高地における各選手のトレーニング計画やコンディショニングに活かされるよう試みてきた。

昨年度からは、自律神経機能（圧受容器反射機能）およびTRIMP（Training Impulse）を指標として、各選手の高地への適応過程および高地トレーニングの活用方法について検討する試みを始めた。そして、これまでの結果と同様個人差があること、また宿舎とトレーニング場所が2,400mと

いう同じ標高にある living high and training high という条件下における合宿であったが、多くの選手にとってトレーニング場所が宿舎よりも低い living high and training low という条件下の方が効果が期待されることを報告した。

今回の合宿は、宿舎の標高が2,000m以上、トレーニング場所の標高が1,400～1,800mという、living high and training low という条件にあてはまるといえる。合宿時には昨年度同様、動脈血圧、心電図の継時の測定による圧受容器反射機能およびTRIMPの値を求めるとともに、ソルトレーキー対策という観点から、大掛かりな測定機材を必要としない簡易的な自律神経機能の測定法といえるオルトスタティック・テスト (Orthostatic Test) を合せて実施した。そして、今回の合宿における各選手の高地への適応過程について検討するとともに、圧受容器反射機能の測定結果とオルトスタティック・テストの結果の対応についても検討し、現地（ソルトレーキー）におけるオルトスタティック・テスト実施の有効性についての検討を行った。

方 法

1) 合宿期間

2001年7月11日から7月15日まで、および7月16日から7月24日までの計14日間である。

2) 場所

秋田県大潟村および長野県渋峠である。

3) 対象

全日本スキー連盟強化指定選手男子4名、女子5名の合計9名である。

4) 合宿の日程

前半の大潟村の合宿（7月11日～15日）は、標

1) 日本大学

2) 同志社大学

高がほとんど0mに近い低地であり、ローラースキー大会を兼ねた合宿である。また、後半の渋峠の合宿（7月16日～24日）は、宿舎が標高2,175m、ローラースキーおよび山間走を中心とする陸上トレーニングを行った標高は1,400～1,800mであり、いわゆる living high and training low の条件に相当する合宿である。

5) 調査・測定の実施

① 圧受容器反射機能の測定

昨年と同様、仰臥位および立位時における5分間ずつの動脈血圧、心電図の継時的測定によって圧受容器反射機能を求めた。なお、血圧についてはフィナプレス、心電図については AD Instruments 社製 Powerlab System を用いた。そして、低地の測定（大潟村）を実施するとともに、高地の測定（渋峠）については選手を合宿開始2日目・5日目・8日目の測定組と、3日目・6日目・9日目の測定組に分けて実施した。

② トレーニング中の心拍数測定

TRIMP はトレーニングによって心臓や血管などの循環器系にどの程度の負荷がかかっていたかを数量化するものである。その TRIMP の値を求めるため、仰臥位の安静時心拍数、トレーニング中の平均心拍数を POLAR 社製アキュレックス・プラスを用いて5秒間隔でサンプリングした。なお、この TRIMP の値を求めるため、あらじかめ最高心拍数を求めておくとともに、トレーニング時間（分）についてもチェックした。

③ オルトスタティク・テスト (Orthostatic Test) の実施

POLAR 社製アキュレックス・プラスを用い、5秒間隔で求めた仰臥位、立位の安静時心拍数を基に、上昇開始時点心拍数(拍/分)、最高時点心拍数(拍/分)、下降終了時点心拍数(拍/分)、上昇時間(秒)、上昇心拍数(拍/分)、下降時間(秒)、下降心拍数(拍/分)、仰臥位心拍平均(拍/分)、立位心拍平均(拍/分)、および体位心拍差(立位時と仰臥位時の差:拍/分)を求めた。

結果および考察

昨年に引き続き実施した自律神経機能の測定は、安静時（仰臥位、立位）における血圧、心電図の

継時的測定により圧受容器反射機能を求めるものであるが、この測定に脳血流の測定を加えることによって脳循環調節機能、下肢血流の測定を加えることによって体血管血流調節機能を評価することが可能になることについては、すでに前回報告した。また、この圧受容器反射機能を評価するためには、循環器系に対する負担度を数量化した TRIMP の値を考慮していかなければならない。合宿中は各測定間のトレーニング方法や回数が異なるため、各測定間における TRIMP の平均値を求めて示した。なお TRIMP の値をみる場合は、USA における大学生アスリートで140、トップアスリートで170～180程度の数値が得られていることが目安となろう。また、圧受容器反射機能を示す Gain-HF (msec/mmHg) は、血圧の変動に対して心拍がいかに速やかに反応しているかを示す数値であり、合宿期間中における個体内の変動が問題になるが、数値は高い方がよい状態と評価できる。このようにして求めた数値は、昨年度の立山における結果と比較して図に示すとともに、「立山(滞在、トレーニング標高2,400m : living high and training high 条件)」、「渋峠(滞在標高2,175m、トレーニング標高1,400～1,800m : living high and training low 条件)」および「ソルトレーキシティへの対応」というコメントをつけ、指導スタッフを通して選手に伝えられるようにした。

図1は、男子A選手の圧受容器反射機能と TRIMP の値との関係から、高地への適応過程を示したものである。この結果は、立山の際は高地入り3日目には低酸素、低圧の影響を受けているが、4～7日目には十分に回復していることから短期間でかなり高い適応を示すタイプであることを示している。また TRIMP の値については、前半で143、後半で100であったが、むしろ若干高めの値になるようにした方が、トレーニング効果が顕著に現れる可能性があったことを示している。渋峠の結果についてみると、立山に比べ高いレベルで変動しているが、その要因としては機能レベルが向上したことと living high and training low 条件により高地適応が促進されたことがあげられる。また前半137に対して後半181と高まった TRIMP の値も渋峠における高地トレーニングが適切であ

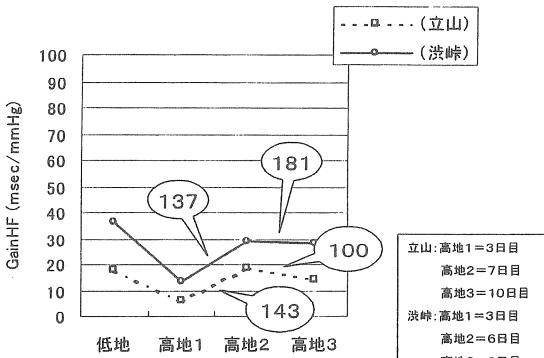


図1 圧受容器反射機能からみた男子A選手の高地への適応過程
＊ライン間の数値は、TRIMPの値

ったことを示している。この結果からA選手の場合、立山のような条件でも適応可能といえるが、低酸素、低圧の影響を受けやすいということを考慮すれば、むしろ living high and training low の条件において十分効果が期待できることが明らかになったといえる。したがってA選手の場合、ソルトレーキシティーにおいては渋峠における合宿に準じたコンディショニングを原則とすることが望ましいといえよう。

また表には示さなかったが、オルトスタティク・テストについてみると、合宿2日目に上昇時間、下降時間が延長し仰臥位の心拍数が67拍／分と増加したことによって体位心拍差が減少した点、その後から上昇時間、下降時間が短縮し仰臥位の心拍数が50～60拍／分に安定した点は、圧受容器反射機能とTRIMPの値から3日目には機能低下がみられるがその後機能が回復するという結果と一致する傾向がみられたといえよう。

図2は、男子B選手の高地への適応過程を示したものである。立山についてみると6日目にかけて機能低下がみられ、その後回復に向かっていることを示している。ただし、TRIMPが188、171と高いことは、1週間以上の期間を設定すれば高いパフォーマンスを発揮できることを示している。渋峠の結果は、立山に比べ早期の高地適応を示している。この合宿直後の機能の高さは直前に行われたローラースキー大会による循環器系に対する十分な負荷の影響と考えられる。また、9日目に

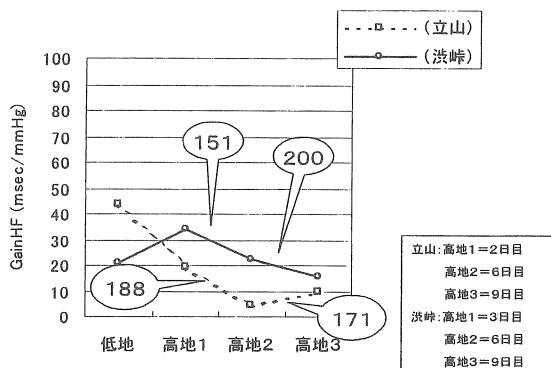


図2 圧受容器反射機能からみた男子B選手の高地への適応過程
＊ライン間の数値は、TRIMPの値

かけての低下はTRIMPの値が急激に高まったことの影響と考えられる。なおB選手についても、living high and training low の条件において効果を発揮することが明らかになったといえる。したがってソルトレーキシティーにおいては、渋峠前半のようなコンディショニングで早期の高地適応が可能であると同時に、TRIMPについては週平均で1日150～180の間での負荷を維持すればコンディショニングも順調に進むと考えられる結果である。

オルトスタティク・テストについてみると、上昇時間が安定している点が低酸素、低圧の影響を大きく受けないことを示し、途中の機能低下の傾向は下降時間の延長と仰臥位の心拍数の増加からくる体位心拍差の減少に現れているといえるが、上昇時間が安定しているので大きな機能低下ではないと判断される結果であった。したがって、この結果も圧受容器反射機能とTRIMPの値からみた傾向とほぼ一致するといえよう。

図3は男子C選手の高地への適応過程を示したものである。立山についてはあまり機能低下はみられないが、TRIMPの値がそれほど高くないことを考慮するとliving high and training high 条件が厳しいタイプといえる結果であったといえる。渋峠の結果では全体が高いレベルで変動しているが、機能レベルが向上したこととliving high and training low 条件であったことにより、高地適応が促進されたものと考えられる。また、高地に入

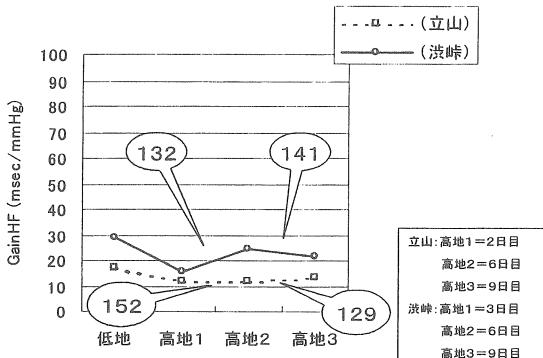


図3 圧受容器反射機能からみた男子C選手の高地への適応過程
＊ライン間の数値は、TRIMPの値

って3日目に機能低下がみられるが、その後早い時期に機能が回復傾向にある点は、TRIMPの値が後半に高まったことも含め、高地適応がスムースに行われたと判断できる。この結果から、C選手の場合標高2,000mでも高地の影響を受けるが4日～6日程度で機能回復が期待できるので、ソルトレーキシティーにおいてはその時期からTRIMPの値を高めるようにすることによってよいコンディショニングができると考えられる。

オルトスタティク・テストについてみると、低酸素、低圧の影響を受けている時期には下降時間の延長と立位心拍数の増加がみられ、機能の回復時期には上昇時間の短縮と立位心拍数の減少（体位心拍差の減少）がみられる点が、厳密な検査と一致した。

図4は男子D選手の高地への適応過程を示したものである。立山の結果については、低地における測定が行われずTRIMPの値も算出できなかつたため高地の値だけからは判断できないが、渋峠における値が高いレベルで変動しているという評価には結びつけられる。また、高地適応が促進した要因は前述したように機能レベルの向上とliving high and training low条件であったことによるといえよう。高地2日目にみられる著しい機能の向上は、直前のローラースキー大会で循環器系へ十分な負荷が与えた結果といえる。その後も低地並みの値が維持されているのは、低酸素、低圧の影響をあまり受けずに低地と同じようなトレーニン

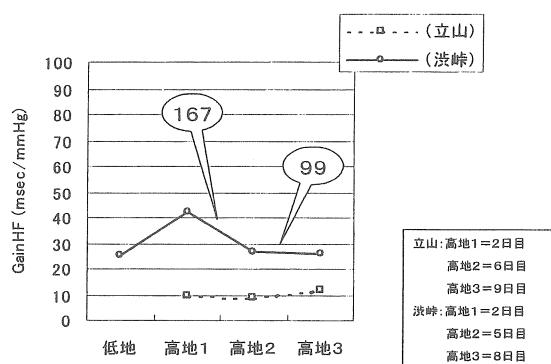


図4 圧受容器反射機能からみた男子D選手の高地への適応過程
＊ライン間の数値は、TRIMPの値

グが維持できたことを示している。したがって、ソルトレーキシティーにおいては渋峠の前半のようなコンディショニングにより早期の高地適応が達成されると考えられる。また、TRIMPについては、後半になるほど値を高めるようなトレーニングが基本となるといえる。

オルトスタティク・テストについてみると、上昇時間と下降時間が20秒前後で安定している点が低酸素、低圧の影響をあまり受けず、高地に適応している状態にあることを示した点が、厳密な検査と一致した。

図5は、女子E選手の高地への適応過程を示したものである。立山の結果から、高地適応が極めて速やかであり、TRIMPも非常に高い値を保持しており、高地に強く試合やトレーニングが環境に影響されない選手といえる。渋峠においても早期の高地適応が認められ、高地2日目の機能レベルが特に高いのは、直前のローラースキー大会で循環器系に十分な負荷が加わった影響と考えられる。またその後も、低地と同じレベルの機能を維持できており、TRIMPの値も195と十分な値が確保されていて、living high and training high条件、living high and training low条件のいずれにも適応可能な選手であるといえる。したがって、ソルトレーキシティーにおいても早期に高地への適応が可能といえるが、コンディショニングという観点からすると、最初の3～4日はTRIMPの値が200を超えないようにすることが望ましいといえる。

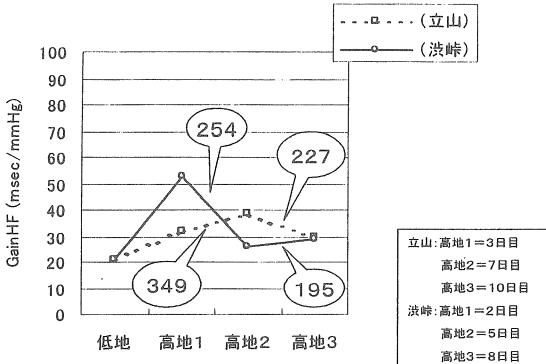


図5 圧受容器反射機能からみた女子E選手の高地への適応過程
＊ライン間の数値は、TRIMPの値

オルトスタティク・テストにおいても、高地入り2～3日目に上昇時間、下降時間が短縮しており、低酸素、低圧の影響をあまり受けていないと判断できる結果がみられ、圧受容器反射機能とTRIMPの値からみた傾向とほぼ一致するといえる。

図6は、女子F選手の高地への適応過程を示したものである。立山についてみると、このF選手の場合も早い時期に高地への適応を示すタイプといえる。また、TRIMPの値も前半181、後半194と循環器系に十分な負荷をかけたトレーニングを行っていたことを示している。しかし、自律神経機能を評価した数値がかなり低いところで変動しているが、この値が全体にもっと高いところで変動するようにする必要があるという結果であった。それに対して渋峠の結果についてみると、立山に比べ高いレベルで変動しているが、その要因としては機能レベルが向上したことと living high and training low 条件により高地適応が促進されたことがあげられる。また、TRIMPの値も前半175に対して後半197と後半にTRIMPの値が高まるようにコンディショニングできたことも機能向上に結びついたといえる。このように昨年度より自律神経機能が向上し、しかもソルトレーキシティーにおいても早期に高地への適応がみられる可能性が高いが、コンディショニングという観点からすると、E選手同様最初の4～5日はTRIMPの値が200を超えないように調整することが望ましいといえる。

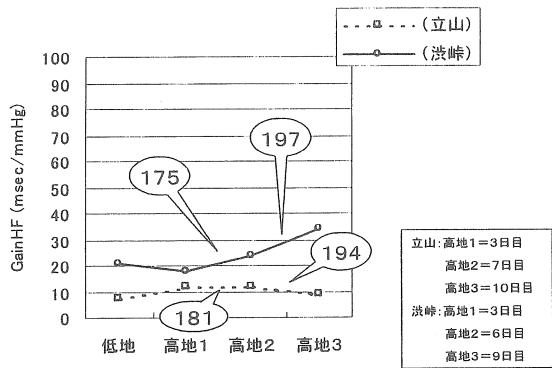


図6 圧受容器反射機能からみた女子F選手の高地への適応過程
＊ライン間の数値は、TRIMPの値

オルトスタティク・テストについてみると、高地入り2～3日にかけて上昇時間が20秒前後に安定し、仰臥位心拍数が64～65拍／分、立位心拍数も82拍／分、体位心拍差が17拍／分と短縮している点は、低酸素、低圧の影響を受けずに高地適応ができた状態が示されたといえるが、その後上昇時間が延長している点は、厳密な検査では機能回復がさらに進んだ時期であると判断できた点とは一致しない結果となった。

図7は、女子G選手の高地への適応過程を示したものである。立山の際は合宿開始から3日目と7日目の測定しか行なえなかったが、高地入り後はいずれも低地より低い値を示しており、高地の低酸素、低圧の影響を受けやすいタイプであり、適応には1週間以上を要するタイプであることを示していた。また、TRIMPからみると250と高い値を示し、循環器系に対して十分な負荷を加えるトレーニングがなされていることを示した。渋峠において立山の時より高いレベルで変動しているのは、他の選手と同様、機能レベルが向上したことと living high and training low 条件であったことにより、高地適応が促進された結果と考えられる。高地への適応過程という観点からみると、高地入り2日目には低酸素、低圧の影響を受けて機能低下がみられ、その後5日目にかけては立山と同程度のTRIMPの値で機能が維持され、さらに8日目にかけては165のTRIMPで機能を回復させているという結果になっている。この結果は、

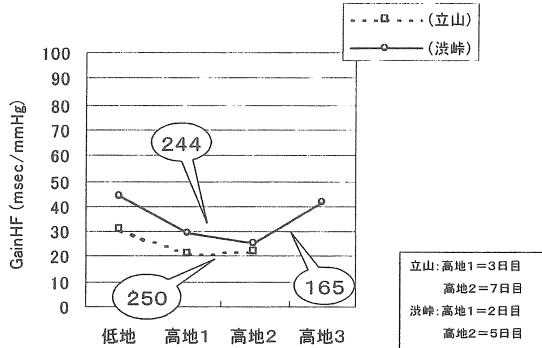


図 7 圧受容器反射機能からみた女子G選手の高地への適応過程
＊ライン間の数値は、TRIMPの値

living high and training low 条件であっても 1 週間程度のコンディショニング期間を要することを示しているといえる。しかし、前半より後半の TRIMP を高めるようにコンディショニングすることによって早期に機能の回復が可能になると考えられる。したがって、ソルトレーキシティーにおいては低酸素、低圧の影響を受けやすいことも考慮し、現地入り 5 日間程度は運動強度を低くしトレーニング時間を長くすることによって、5 日間の平均 TRIMP が 200 を越えないようにし、コンディションを高める必要があるといえよう。

オルトスタティク・テストについてみると、低酸素、低圧の影響を受ける高地入り 3 日～4 日目にかけての機能低下の時期には上昇時間、下降時間が延長し、その後の高地適応とともに上昇時間、下降時間の短縮がみられた。この結果は、厳密な検査である圧受容器反射機能と TRIMP の値からみた傾向と一致するものであった。

図 8 は、女子 H 選手の高地への適応過程を示したものである。立山については低地における測定結果がないため、living high and training high 条件で低酸素、低圧の影響を受けやすいかどうかを判断することはできないが、3 日目から 7 日目にかけて機能の向上がみられるので、早期に高地に適応できるタイプと判断できる。この選手についても、渋峠において立山の時より高いレベルでの変動がみられたが、他の選手と同様、機能レベルの向上と living high and training low 条件であ

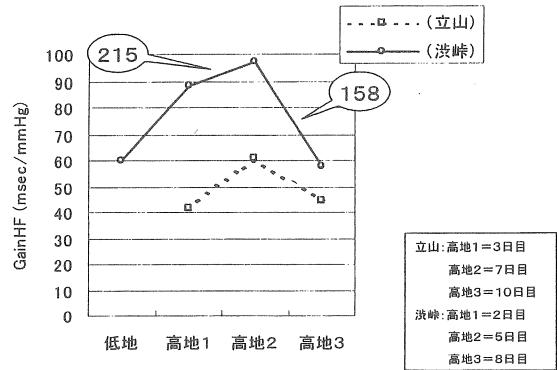


図 8 圧受容器反射機能からみた女子 H 選手の高地への適応過程
＊ライン間の数値は、TRIMPの値

ったことが要因として考えられる。また、高地入り 2 日目の著しい機能の向上は、直前に行われたローラースキー大会で循環器系に十分な負荷が加えられた結果といえよう。8 日目の測定で機能が低下した要因としては、前半の TRIMP が 215 であるのに対して、後半に 158 と低くなったことが考えられる。コンディショニングという観点からは、前半よりも後半に高くなるようにすることが望ましい。したがって、ソルトレーキシティーにおいては早期に高地適応ができる可能性は高いが、4 日程度は TRIMP の値が 200 を越えないようにすることがコンディショニングとして必要であるといえる。

オルトスタティク・テストについてみると、高地入り 4 日目の上昇時間を除き、上昇時間、下降時間が 20 秒前後に安定している状態が 7 日目まで続き、5 日目からは立位心拍数も減少した状態になっている。そして、8 日目になると立位心拍数が増加し、体位心拍差も大きくなっている。この結果は、厳密な検査である圧受容器反射機能と TRIMP の値からみられた早期の高地適応と、8 日目の測定でみられた機能低下の傾向と一致するものであった。

図 9 は、女子 I 選手の高地への適応過程を示したものである。立山の際は H 選手と同様、低地の測定がないため断定はできないが、living high and training high 条件では低酸素、低圧の影響を受けやすい可能性が高いが、8 日目以降高いレベルで

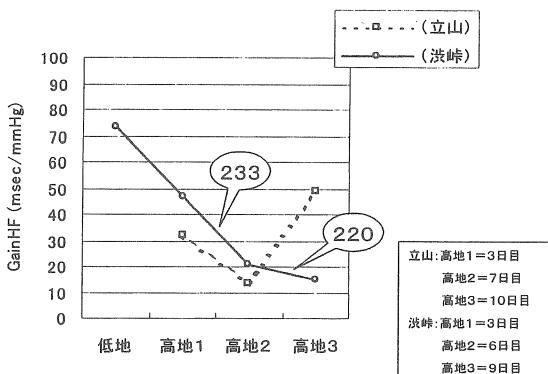


図9 圧受容器反射機能からみた女子I選手の高地への適応過程
＊ライン間の数値は、TRIMPの値

高地適応が進んだと考えられる。しかし、高地の低酸素、低圧の影響を受けやすいうことから、適応には10日間以上を要するタイプであるといえる。渋峠においても立山の時と同様、低酸素、低圧の影響を受け機能が低下しているということから今回の living high and training low 条件でも十分高地トレーニングの効果が期待されるといえる。また、渋峠の方が立山より標高が低いにも関わらず機能の回復がみられなかつたのは、TRIMPの値が233、220と高すぎた影響と考えられる。少なくとも前半の運動強度を低めに抑え TRIMPの値を低くすることが必要な結果であったといえる。したがって、ソルトレークシティにおいては低酸素、低圧の影響を受けやすいことも考慮し、現地入り8～10日間程度は運動強度を低く設定し、TRIMPを低く抑えることがコンディションを高めることに結びつくといえる。

オルトスタティック・テストについてみると、高地入り3日目には上昇時間や体位心拍差は安定しているが、立位心拍数が減少しないため下降時間が測定できない状態であり、4～6日目にかけては立位心拍数が増加し、体位心拍差が大きくなり、下降時間も延長するというよう、低酸素、低圧の影響をかなり受けている状態がみられた。その後一時的に上昇時間、下降時間、体位心拍差に安定の兆候がみられるが、9日目には再び上昇時間、下降時間が延長するというように不安定であった。これらの結果は、厳密な検査である圧受容器反射

機能と TRIMP の値からみた傾向と一致するものであった。

今年度は、大潟村で行われた低地における合宿中に選手全員の自律神経系機能の測定が行えた点が特徴といえる。また、昨年度は living high and training high という条件で行われた雪上トレーニング合宿であったのに対して、今年度は living high and training low の条件で行われた陸上トレーニング合宿であった点も特徴であったといえる。昨年度は、高地への適応過程をみると、トレーニングの場所が宿舎よりも低い living high and training low 条件の方が効果的な選手が多い可能性について報告したが、個人差はみられるものの、今回の方が明らかに高地における機能回復の早い選手が多くみられた。また、TRIMP の値という観点からみると、女子選手の方に合宿前半から200を越える選手が多くみられ、それが高地合宿における機能回復の遅れと結びついている傾向がみられた。

今回のもう一つの目的であるソルトレーキー対策という観点からオルトスタティック・テスト(Ortho static Test)について検討してみると、一部には厳密な検査と異なる傾向がみられる結果もあったが、心拍数の上昇時間、下降時間、あるいは立位の心拍数や体位心拍差を中心に、厳密な検査とかなり対応する傾向がみられ、現地でも簡易的に行える自律神経機能の検査としての有効性が確認できたといえよう。

まとめと今後の展望

今年度は、2001年7月に秋田県大潟村で行った低地の合宿、および長野県渋峠で行った高地の合宿において、全日本スキー連盟のクロスカントリースキー強化指定選手を対象として、自律神経機能（圧受容器反射機能）と TRIMP の値から高地への適応過程を調べるとともに、ソルトレーキー対策という観点から、現地でも測定可能なオルトスタティック・テストの簡易的な自律神経機能検査としての有効性についての検討を行った。

その結果は、つぎのようにまとめられる。

- 1) 圧受容器反射機能からみると高地での機能が高いレベルで変動していた。その要因としては、1年間のトレーニングで機能が向上したことと、

living high and training low の条件によって高地適応が促進されたことがあげられる。

- 2) 高地における機能回復には個人差がみられるが、living high and training low の条件で行った今年度の合宿においては、昨年度以上に多くの選手が早期に高地適応する傾向がみられるようになった。
- 3) TRIMP の値からみると、女子選手において合宿に入ってからのトレーニング強度が高過ぎ、特に前半の値が高い傾向がみられ、それが合宿後半における機能低下に結びついていた。
- 4) オルトスタティック・テストについてみると、一部には厳密な検査と異なる結果もみられたが、厳密な検査と対応する結果が多く、現地での簡易的な自律神経機能の検査として、有効であることが確認された。

また、今後の展望としては、次のような点があげられる。

- 1) 循環器系の機能を向上させるためには、高地トレーニングが有効であることは明らかになったが、その効果を高めるためにも自律神経機能の測定をさらに充実し、圧受容器反射機能だけではなく、脳循環調節機能、体血管血流調節機能に関わる測定についても実施し、より詳細な資料で選手のサポートに役立てていく必要がある。
- 2) 上述した厳密な検査が望ましいが、海外などにおける合宿においては、オルトスタティック・テストでもかなり有効であり、機能面のチェックに利用することが望ましい。
- 3) 高地トレーニングにおいては、合宿前半のトレーニング強度を押さえ気味にし、後半の強度を高めることが望ましい。そこで、TRIMP の値を求めるこことによってトレーニング強度のチェックや、トレーニング計画の修正に役立てるようにしていく必要がある。

引用文献

- 1) 吉本俊明：クロスカントリーにおけるサポート 高

所トレーニング中の体重、フリッカー値、自覚症状、尿蛋白、POMS からみたコンディションの変化、JOC 高所トレーニング医・科学サポート第3報、平成5年度日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告、72-80, 1994.

- 2) 吉本俊明：クロスカントリーにおけるサポート 高所トレーニング中におけるコンディションの変化、JOC 高所トレーニング医・科学サポート第4報、平成6年度日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告、33-51, 1995.
- 3) 吉本俊明：クロスカントリースキー・ジュニア強化指定選手の高所トレーニング合宿中のコンディション、JOC 高所トレーニング医・科学サポート第6報、平成8年度日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告、97-108, 1997.
- 4) 吉本俊明：クロスカントリースキー強化指定選手の高所トレーニング合宿中のコンディションについて、JOC 高所トレーニング医・科学サポート第7報、平成9年度日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告、31-43, 1998.
- 5) 吉本俊明：クロスカントリースキー選手の高地トレーニング中の心拍数および合宿中のコンディションについて、JOC 高地トレーニング医・科学サポート第8報、平成10年度日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告、59-76, 1999.
- 6) 吉本俊明、鈴木 典、水落文夫、菅生貴之：オーストリアアルプスにおける高地トレーニング中のコンディションについて、JOC 高地トレーニング医・科学サポート第9報、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、20-32, 2000.
- 7) 吉本俊明、鈴木 典、岩崎賢一、水落文夫、高橋正則、佐藤紀子、菅生貴之、竹田正樹：スキーマンシップ・クロスカントリー：自律神経機能からみた高地への適応過程および高地における合宿中のコンディションについて、JOC 高地トレーニング医・科学サポート第10報、平成12年度日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告、32-38, 2001.

4) スキー競技ノルディック複合 ソルトレーク五輪、我が国スキー・ノルディック複合候補選手の 高地トレーニングの医科学的・運動学的評価 —選手の自己評価方式を加えて—

報 告 者 川初 清典¹⁾

緒 言

～高地トレーニングの最適化を目指して～

JOC 高地トレーニング医・科学サポート事業が11年間継続され、本年の事業終了年に至った。この事業には我が国の多数の競技団体の科学関係者が招請され、それぞれの種目に固有な競技力を向上させるべく独自の支援活動を実施してきた。

スキーノルディック複合では、この過程で高地トレーニングの最適化を目指して、段階的に以下の発展・進展をみて本年の報告に至った。

1. 医・科学サポート事業の開始期：高地トレーニング前およびその後における最大運動能力の比較
2. 同手法の開発期：心拍数と血中乳酸濃度によるトレーニング強度の管理手法の確立
3. 同：上記2.の強度管理に基づくトレーニング状況の評価手法の確立
4. 同手法の改善期：トレーニング強度の管理とトレーニング状況の指標として動脈血酸素飽和度 (SpO_2 ：無侵襲) を加味したトレーニング手法の改善

等である。

今、本事業としてその終了期にさしかかった。従来は高地トレーニングによるオーバーユースや高山病などの副作用の併害を克服する事を重要な目的に位置づけて客観的なスポーツ生体情報を取得・活用してきた。本年度の実施報告になる本報では、従来の指標に、更に選手自身が主観的にチェックする自己評価のフォームを構成して加味す

ることを試みた。これによって、指導や管理の側からの1方向的な評価判定に対して、選手側からの情報をより加味して双方向性を強くした評価判定を得た指導を期したものである。この自己評価のフォームを本研究では「自己Check Sheet」と称し、従来のトレーニング体験から、体調・疲労の状況、不安・自信の程度、体力・スキ 技術、等について問い合わせ、高地トレーニング合宿の開始前、その開始時、同中間時、同終了時、および終了後に各々適当と考えられた質問項目を設定して調査した。

本研究では、我が国スキー・ノルディック複合ナショナルチーム選手が2001年10月に実施した高地トレーニングの強度管理およびトレーニング状況を運動生理学的に行って評価することを第1の目的とした。また、上記した、選手自信によるトレーニング状況の主観的評価を試み、将来的により優れた管理や評価の手法による高地トレーニングのための基礎的検討資料を提供することを第2の目的とした。そして最後に、今般のオーストリー・アルプスの高地において、フィンランド国のクロスカントリースキー・ナショナルチーム選手が高酸素トレーニングに取り組んでいる様子を調べたので報告資料に加えた。

方 法

1. 高地滞在および高地トレーニング態様

全日本スキー連盟ノルディック複合ナショナルチーム選手はオーストリー・アルプスの中等高地(標高1500m域)に2001年10月5日に到着し、同月16日に帰国の途に就くまで滞在した。トレーニングはクロスカントリースキーイングが主であり、標

1) 北海道大学

表1 全日本スキー連盟ノルディック複合'01日本チームの秋季オーストリー・アルプス高地トレーニングにおける安静時血液性状など

選手	合宿トレーニング開始時					中間時					終了時				
	HR (bpm)	SPO ₂ (%)	Hb (g/dl)	CK (a.u)	SU (a.u)	HR	SPO ₂	Hb	CK	SU	HR	SPO ₂	Hb	CK	SU
A	53	98	17.3	176	5.92	54	99	14.7	186	4.67	58	98	15.8	271	7.39
B	57	97	16.7	238	6.46	54	96	16.4	236	5.28	55	97	16.5	273	5.66
C	51	94	15.8	104	7.80	58	96	14.6	302	6.46	57	95	14.6	263	7.79
D	66	96	15.1	103	6.69	67	99	15.7	186	6.05	59	97	16.1	154	7.74
E	63	95	16.5	182	8.15	60	96	17.6	181	6.12	57	97	17.0	146	8.42
F	71	97	16.5	115	6.20	67	98	16.5	108	4.76	69	97	17.1	120	7.14
G	73	97	16.4	118	5.24	67	99	13.9	253	4.79	72	97	15.9	433	6.67
H	73	97	16.8	119	6.41	75	97	17.8	140	6.34	63	98	16.8	114	8.90

HR：分時心拍数、SPO₂：動脈血酸素飽和度、Hb：ヘモグロビン量、CK：クレアチニンキナーゼ、SU：血中尿素

表2 ヘモグロビン量の対前年度比 (g/dl)

選手	開始時		終了時	
	'01	'02	'01	'02
A	17.2	17.3	15.2	15.8
C	15.9	15.8	14.5	14.6
D	15.9	15.1	15.0	16.1
F	16.7	16.5	16.0	17.1

高2700m 域で実施された。この期間のスキー走行距離は延300km 程度になった。他に滞在地で陸上走、ウエイトトレーニング、スキージャンピングが行われた。トレーニングの詳細は前々報に同じである。

2. 対象選手

支援対象は全日本スキー連盟ノルディック複合'01-'02ナショナルチーム(B)8名であり、来るシーズンのインターベンタル杯転戦チームとして支援し、'02ソルトレークシティー五輪チーム参入を目指した。選手名は、正木栄二、竹本和也、竹田元、佐藤純、正木誠、一戸剛、高沢公治、萩原貴典であった。

3. 計測の項目および方法と調査方法

計測およびその評価の項目は、1) 血中乳酸、2) 動脈血酸素飽和度(SpO₂)、3) 心拍数、4) 血液性状、であった。これらの計測方法は前々報に同じであった。次に選手自身による体調やトレーニング状況の自己評価では、調査・検査の量的

負担を少なくするために、選択肢を設定して単純選択する方法とした。設問内容は結果の項で記す。この質問調査は5回実施したが、「開始前」の調査は開始前日に、トレーニング時の3回は各当該日に、また「終了後」は終了日の夕刻に各々実施した。

結 果

1. 安静時血液性状など

本報では高地トレーニングの開始時、中間時、および終了時にクロスカントリースキー走時の心拍数、血中乳酸、SpO₂を計測した。これら3回の計測日翌早朝に滞在宿舎にて安静時の心拍数、SpO₂、ヘモグロビン量(Hb)、クレアチニンキナーゼ(CK)、血中尿素(SU)等の血液性状を計測した。これら血液性状の計測値を一覧にして表1に示した。また、本報が対象とする選手8名中4名がHbのこのトレーニングにおける前年度値を有しており、その比較を表2に示した。先ず表1の結果を検討する。心拍数ではいずれの選手でも滞在期間を通して留意を要する変動は認められなかった。計測値を分類すると大略50拍台が3名、60拍台が2名、70拍台が3名であった。SpO₂では選手C、Eにおいて基準値を1~2%下回る計測が示されているが高地滞在中のことでこれを低値としては解釈しない。他の6選手では高地滞在中にも常に高率の飽和度であり、その多くは低地の計測値と差がない。Hb量では、いずれの選手も栄養管理がゆき届いていたこと、事前トレーニングにおいて

その異化による影響が心配されない状況であったこと等によって相対的高値である。特に一般健常人における基準値が13.5~17.6g/dlながら、国際スキー連盟の禁止薬物規程でその上限値を17.5g/dlと規程している。表1の結果は多くの計測値がこれに迫る値である。選手CおよびGではチーム内で相対的低値である。前年度に同様の計測値を有する4選手について検討する。表2において、前年度と今年度の値を比較すると選手AおよびCでは殆んど同値であり、他の2選手でも差は1g/dl程度である。従ってこの計測項目は個人に相当に安定な指標と考えられる。CK値では計測値200以上の高値は、筋組織等への負荷が強過ぎる指標値とする。選手B, C, Gで高値と言える。これらの値のスキー走行能に対する関連性の検討価値は高いと思われる。同様にSU値では選手C, E, Fで高値であり、またこの高地トレーニング合宿終了時値はいずれの選手でも相対的高値を示しており、終盤期の負担度を示している。

2. 血中乳酸一心拍数関係、および動脈血酸素飽和度一心拍数関係

本研究で医・科学支援した氷河上クロスカントリースキーコース周回走の高地トレーニングで10kmの毎周回の血中乳酸値、心拍数、動脈血酸素飽和度(SpO_2)の全計測値を、このトレーニング期間の開始時、中間時、終了時別に表3~5に示した。これらの計測値から前報に詳述した評価判定基準に基づいて検討を加える。つまり、1) 開始時には、高地トレーニングの急性適応状況、および各周回時負荷強度の適否を、2) 中間時および終了時には、高地適応の進行状況、および各周回時の負荷強度の適否を、更に3) 各時期の過年度の同様計測値に対する比較・検討と今年度の適応状況の特徴を、各々判定評価する。先ず開始時では選手A, E, F, Hは走行距離が延びるに従って心拍数が上昇または一定傾向であるのに対し、血中乳酸値が低下もしくは一定傾向を示した。つまり、心拍数で見る負荷強度に対し乳酸の代謝が既に亢進を見せて、初期適応が良好であった。選手EとFでは SpO_2 に負荷限界域を認めていた。選手Eでは乳酸値が低く、 SpO_2 も低い点は生理学的に

不整合な点を指摘させる。逆に心拍数に対して乳酸値に上昇傾向を示したのが選手Bであり、以後のトレーニングによる馴化を期待した。選手C, D, Gでは両項目の関係が不整であり、体調調整を経て高地馴化の結果を目指す手法が勧められた。選手Cの SpO_2 の著しい低値、同Gの負荷限界域の値などが留意項目であった。本報では全日本スキー連盟に提出した報告書の選手個別の判定評価報告例を割愛する。続いて中間時の計測値を検討する。この期は適応が順調であるか逆に疲労が進行・蓄積しているかの視点になる。開始時に初期適応が良好と評価された選手のうち、Aでは依然として快調な改善が判読され、本項の計測値間の関係が良好なまま、開始時より更に乳酸値が低下している。EもAと同様の評価になる。乳酸値が依然として低値であると共に、開始時に低かった SpO_2 値が高値に改善された。これは30km時点になって低下を示した。Fも乳酸値が低く良好な計測値間関係が期待されているが、20km時点の SpO_2 の低値はこの期の疲労蓄積を不安視させる。HはAと同様、依然好調と評価される。開始時に乳酸値が上昇したBではこれが改善され逆に減少傾向へ転じたこと、その値が低いことが評価された。 SpO_2 は適正負荷の下限であり、この面での改善とそれによる強度増強化が期待された。開始時に計測値間関係が不整であったC、およびDは依然として同様の状況が続いた。乳酸値は高値に過ぎたし、選手に自覚されていたが、その以前の滑走技術の要因に支配された結果であった。Gには計測値間関係の好転を認めたが乳酸の高値の課題はなお残った。

次に終了時の計測値を検討する。中間時まで好調な高地トレーニング馴化を示したAは低心拍数・高乳酸となってこの翌朝ではCKと尿素に高値を認め、疲労状態を示した。E、およびFでは乳酸に見る負荷強度が適正化し、計測値が順調に好転してこのトレーニングで好適な効果を獲得した。Hでは中間時までと異って、負荷強度は適正なもの乳酸代謝が少しづつ遅れる計測値となって疲労が予測された。尿素はこの期間内の全選手中の最高値を示した。以上は開始時に急性適応が良好であった選手の結果である。次に、Bでは乳酸値にお

表3 全日本スキー連盟ノルディック複合'01日本チームの秋季オーストリー・アルプス高地トレーニング合宿開始時におけるスキー実滑走中の酸素運搬系指標の計測値

選手	(開始時)								
	I			II			III		
	HR (bpm)	SPO ₂ (%)	LA (mmol)	HR	SPO ₂	LA	HR	SPO ₂	LA
A	134	92	3.87	138	88	3.71	140	92	3.77
B	121	83	2.21	142	83	3.38	149	89	3.52
C	130	78	3.05	142	77	3.12	130	74	1.45
D	130	89	0.65	160	84	3.33	—	—	—
E	148	88	1.88	156	80	1.70	164	80	1.65
F	140	86	3.01	149	90	3.50	152	86	2.98
G	125	86	1.45	138	84	1.91	139	82	1.33
H	152	88	4.87	159	85	4.59	155	84	3.59

I: 第1周回 (10km) 時、 II: 第2周回 (20km) 時、 III: 第3周回 (30km) 時、

HR: 分時心拍数、 SPO₂: 動脈血酸素飽和度、 LA: 血中乳酸

表4 全日本スキー連盟ノルディック複合'01日本チームの秋季オーストリー・アルプス高地トレーニング合宿中間時におけるスキー実滑走中の酸素運搬系指標の計測値

選手	(中間時)											
	I			II			III			IV		
	HR (bpm)	SPO ₂ (%)	LA (mmol)	HR	SPO ₂	LA	HR	SPO ₂	LA	HR	SPO ₂	LA
A	120	90	2.31	138	91	3.02	139	90	3.07			
B	130	88	1.90	125	86	1.80	134	82	1.55			
C	133	84	4.47	155	82	5.97	148	80	5.63			
D	159	89	4.04	176	81	7.80	174	83	5.28	154	93	1.56
E	150	88	2.92	140	89	2.55	150	82	2.72			
F	138	89	2.53	130	83	2.91	136	88	2.95			
G	148	88	5.05	149	84	4.07	150	87	3.58			
H	140	95	3.23	150	86	3.45	153	93	3.44			

表の見方は表3に同じ、 IV: 第4周回 (40km) 時

表5 全日本スキー連盟ノルディック複合'01日本チームの秋季オーストリー・アルプス高地トレーニング合宿終了時におけるスキー実滑走中の酸素運搬系指標の計測値

選手	(終了時)											
	I			II			III			IV		
	HR (bpm)	SPO ₂ (%)	LA (mmol)	HR	SPO ₂	LA	HR	SPO ₂	LA	HR	SPO ₂	LA
A	118	91	4.61	112	88	3.29	130	92	5.01	134	92	4.62
B	120	89	2.30	130	86	3.07	132	86	3.06			
C	124	87	3.59	139	83	3.96	109	86	2.86			
D	131	92	3.88	132	92	2.27	126	84	1.97	132	91	1.83
E	129	85	3.22	139	87	4.99	138	88	3.17			
F	138	89	3.24	141	89	3.57	136	85	2.98			
G	139	88	4.52	142	84	4.48	133	88	3.76	127	90	2.58
H	120	90	3.27	127	90	3.49	125	92	3.91			

表の見方は表4に同じ

表6 秋季オーストリー・アルプス高地トレーニング合宿開始前における選手自己チェック
(全日本スキノルディック複合'01日本チーム) (開始前)

高地トレーニング							
	過去歴		体験の評価	今回の事前の体調	事前の安心度	サプリメント剤の準備	
	昨年	本年 総計				鉄剤の服用	準備品の品
A	1	9	良好	快調	良好	-	- 水
B	3	-	普通	快調	良好	- +	-
C	4	10	良好	不調	良好	- +	水
D	2	10	良好	快調	良好	- -	-
E	0	0	-	快調	良好	- -	-
F	1	1	普通	普通	普通	- +	-
G	0	3	普通	普通	普通	- -	-
H	0	3	普通	普通	普通	- + +	-

いて適度な負荷強度を示し、好適なトレーニングが行われたと判断された。今後、心拍数を高めてこの水準の乳酸値で走行できる基礎的向上が期待される。Cではこの期間スキー走行技術のトレーニングが主眼になったが、終了期になって適正負荷での走行ができている。高地馴化を狙ううえで最適域の負荷期間が少なかったがスキー走行の向上効果の合宿として位置づいた。Dではこの終了時には計測値間関係が好適化した。走行に伴う乳酸値の低下が堅固に示されている。Gにも同様的好適化を中間時にも増して認めた。しかし乳酸の高値の課題は残り続けたままであった。

当支援の対象のうち4選手は昨年度の同様の計測値を保有する。高心拍数・低乳酸値かつ高SpO₂値という三項目の計測値関係を前提に置き、走行に伴ってこの関係が強化されるのを適応指標として比較・検討を試みる。Aの昨年値は大略、分時心拍数が135~150に対し乳酸値が1.5~2.5ミリモルで、昨年値が好状況と評価される。Cでは、昨年と本年で同傾向、同程度の計測値であって、状況も同様と評価される。Dでは上記Aと同様、昨年度に好状況を示した。本年は開始時に体調不調があったが中間時以後復調して昨年度と同様な状況に好転したと判断される。Fでは昨年度は殆どを分時心拍数140台で走行し乳酸値は2.0~3.0回りで好状況であった。本年はそれに対して心拍数が低目

である。若年選手として心臓の発育も考えられるので留意しておく選手とする。

3. 選手の自己評価の検討

本支援事業の終了年ではあるが、初めて試みた選手の自己チェックを評価検討する。先ず、高地トレーニング開始に先立つ体調や諸準備の状況を調べ表6のようにまとめた。これらの状況から高地トレーニングを開始した時のフィーリング状況や疲労・滑走・運動強度感を各項について複数設問し、項目毎に表7にまとめた。この表からは高地トレーニングを開始してみて、選手の生活やトレーニングへの抑圧感の有無、疲労を覚える状況、滑走感、自覚的負荷状況等が解る。これらに基づいた高地馴化の良否判定をより客観的に行える評価法の整序が重視されよう。次いで中間時にはトレーニング効果をどのように覚えるか、また対開始時の比較も加えて同様のとりまとめを表8に示した。これらの資料と生理学的計測値、及びコーチング所見をつき合わせる評価指針の作成も具体的に課題となるところと考える。終了時には対中間時の比較を問う以外は中間時と同様の質問を設定した。表9の結果から概ね、各選手ともトレーニング負荷の観点では負荷感や疲労感を覚え、その部位等の特定もできているようであり、スキー滑走については改善が進行する結果となっていた。

表7 秋季オーストリー・アルプス高地トレーニング合宿開始時における選手自己チェック

(全日本スキー連盟ノルディック複合'01日本チーム) (開始時)

高地トレーニング								
生活 状況	トレーニング遂行 感覚	疲労		滑走状況		運動強度の自覚		コーチ グボイン ト対応
		部位	回復	全般	時間変化	時間変化	部位	
A	良好	普通	肩・背	良好	不調	改善	軽快化	心・肺 別件
B	良好	普通	肺・全身	不变	不变	改善	増強化	腕・脚 OK
C	普通	普通	大腿後面	不变	不变	不变	軽快化	心肺 OK
D	普通	不調	全身	不变	快調	悪化	増強化	全身 OK
E	不良	不調	心臓	不变	不变	改善	不变	- 指示なし
F	良好	不調	肺・上腕	不变	不变	悪化	不变	- OK
G	普通	普通	大腿前面	不变	快調	改善	軽快化	腕・脚 OK
H	普通	不調	大腿前・ 後面	不良	不調	悪化	増強化	腕・脚 努力

滑走状況および運動強度自覚の時間変化は、10km周回を重ねる毎の変化状況。自覚的強度の軽快化は適応状況良好と評価される。コーチ指導への対応では、OK：克服可、努力：克服努力、別件：別のポイント克服を優先、の選手判断

表8 秋季オーストリー・アルプス高地トレーニング合宿中間時における選手自己チェック

(全日本スキー連盟ノルディック複合'01日本チーム) (中間時)

高地トレーニング												
生活 状況	トレーニング 遂行感	部 位	疲 労		滑走状況		運動強度の自覚		運動強度		滑走状況	
			部 位	回復	精神	全般	時間	時間	部 位	感 覚	部 位	滑走
			疲 労	變化	疲 労	變化			部 位	滑走	技術	
A	良好	普通	大腿前・ 後面、肺	肩・背	良好	無	不変	改善	軽快化	心・肺	軽快化	心・肺 改善
B	良好	普通	精神性	腰・大腿	不变	有	不变	改善	増強化	腕・脚	増強化	腕・脚 改善
C	普通	快調	全身	大腿後面	良好	無	快調	改善	不变	-	不变	- 改善
D	普通	普通	- 大腿前面	気管、大 腿前面	良好	無	快調	改善	不变	-	不变	- 改善 ポーリング・ キック、バランス
E	普通	快調	心・肺	肩	不变	有	快調	改善	増強化	腕・脚	軽快化	心・肺 改善
F	良好	普通	全身	全身	不变	無	不变	不变	不变	-	軽快化	心・肺 改善
G	不良	普通	全身	上腕・目・背	不变	有	不变	改善	軽快化	心・肺	軽快化	心・肺 改善
H	普通	不調	- 大腿前・ 後面	大腿前	不良	有	不調	悪化	不变	-	軽快化	心・肺 改善

記号および表の見方は開始時の表に同じ

これらを選手個別的に、高地トレーニングの側面から総合評価できる大系化を目指したいものである。

この強化合宿を終えて、終了後の感覚的評価を更に実施した結果が表10である。表中、具体的な

目は持久力、滑走技術、精神的充実についてであり、他に総合的なトレーニングの達成感や高地トレーニングとしての意義等の認識度を加えてトレーニングの手応え感覚を調べた。

表9 秋季オーストリー・アルプス高地トレーニング合宿終了時における選手自己チェック

(全日本スキー連盟ノルディック複合'01日本チーム) (終了時)

高地トレーニング														コーチ ングポ イント	
生活 状況	トレーニング		対中間時変化												
	遂行 感	部位	疲	労	滑走状況	運動強度の自覚	運動強度	滑走状況							
		部位	回復	精神	全般	時間	時間	部位	感覚	部位	滑走	技術			
			疲労		変化	変化	変化								
A	良・カゼ	普通	精神・心臓	肩	不变	有	不变	改善	増強化	腕・脚	増強化	カゼ、疲労性	改善	ポーリング、リズム・バランス	O.K
B	良好	快調	全身	腰・上腕	不变	無	快調	改善	軽快化	心・肺・腕・脚	不变	-	不变	-	O.K
C	普通	普通	上腕	精神・大腿前・後面	不变	有	不变	不变	不变	-	増強化	感覚的	改善	ポーリング	O.K
D	良好	普通	精神	大腿前面	良好	有	快調	改善	軽快化	腕・脚	軽快化	心・肺・腕・脚	改善	キック	O.K
E	普通	快調	全身	上腕・肩・下腿	不良	有	快調	悪化	軽快化	スキー安定	増強化	腕・脚	不变	-	O.K
F	良好	普通	全身	全身	不变	有	不变	不变	不变	-	不变	-	改善	リズム	O.K
G	良好	快調	全身、上腕・背	上腕・背・目	不变	有	不变	改善	軽快化	心・肺	軽快化	心・肺	改善	バランス	O.K
H	良好	快調	心・肺	大腿前・後面	不良	無	快調	不变	不变	-	軽快化	心・肺	改善	キック・リズム	O.K

記号および表の見方は開始時の表に同じ

表10 秋季オーストリー・アルプス高地トレーニング合宿終了後における選手自己チェック

(全日本スキー連盟ノルディック複合'01日本チーム)

(終了後)

高地トレーニング実施後の自己評価						
達成感	持久力向上	滑走技術向上	精神的充実	高地トレーニングの認識度		感想
				A	B	
A	A	B	B	A	A	期間が短い
B	A	B	B	A	A	充実度獲得
C	A	B	A	A	B	疲労感・充実感が大
D	A	B	A	A	A	順調の認識
E	C	?	A	C	B	不足感が残った
F	A	A	A	A	C	軽快化に満足
G	A	A	A	A	A	満足感の認識
H	A	A	A	A	A	満足感の認識

A : 手応えが大

B : 予想どおり

C : 不足

4. 「高地トレーニング」中の高酸素トレーニング

当医・科学サポート実施中に、山岳氷河クロスカントリースキーコースで、ガスボンベからパイプを連ないでマウスピースで吸気してスキーワークをしている外国選手を認めた(図1, 2)。この手法が、高地トレーニングに付随する不都合、つまり

高速・ハイパワー系トレーニングの不能状況を克服する考案と考えられた。また、これを前提に置いて、我が国チームのコーチや海外招聘コーチ、海外の協力ドクター達と検討した。要約すると、1) コーチ達には、この高酸素ガスを吸入しながら行う高地トレーニングを2年前に初めて認めた

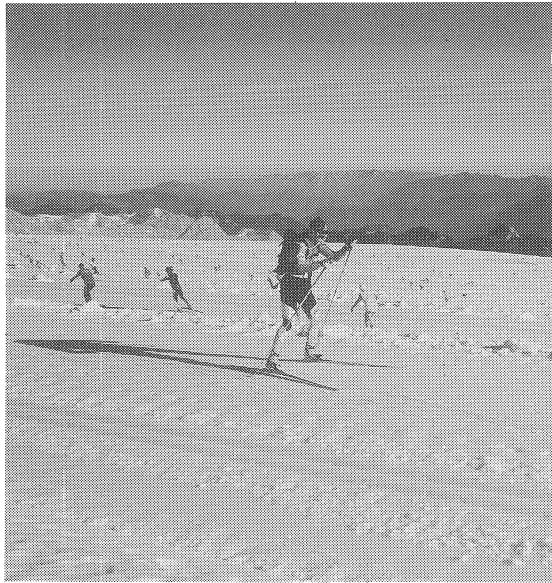


図 1

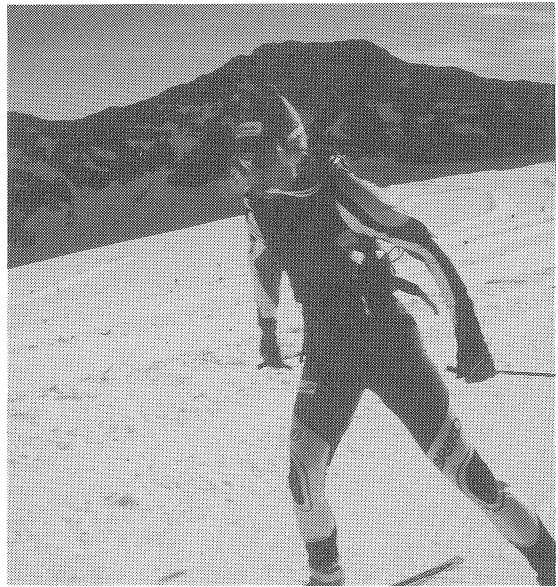


図 2

記憶があること、2) 海外チームのコーチ達との社交的会話内において、その試みの目的が高地における選手の疲労回復にあると聞かされていること、3) 吸入酸素濃度は35%であること、4) 吸入ガスは大気と混合されているかは解らぬこと、5) 大型の親ポンベを山岳氷河スキーコース脇まで運搬して、携帯用ポンベに補充詰めして実用していること、等が解った。また、現地で筆者は、6) 選手は登りと折り返しの下り斜面各500mを相対的に高速走行すること、7) 1回の上記折り返し走行が終ると、マウスピースと携帯ポンベを次の選手が装着して走行すること、8) 午前中のトレーニングとして行う約2時間のセッション中、後半の時間帯でなされていること、等を認めた。

このトレーニングの意義を検討する。第1の意義はスピードトレーニングとハイパワートレーニングであろう。高地トレーニングでは酸素不足と

高山病症状の不安のためにこれらのトレーニングができない。長期合宿期間中のその能力低下が予防され、更に能力向上が期待されよう。第2の意義は、高地トレーニングでありながら、これとは別に十分な酸素を得て、競技シーズン直前の期間に競技と同条件の雪上コース上のスキーイングでスキルや戦術上のトレーニングが実践化されることであろう。第3の意義には、高地トレーニングの前半の時間帯に蓄積した疲労物質の代謝を促し、コーチ達が知らされたように回復を進めよう。この点は高山病症状の発現の予防にもなると考えられる。第4の意義としては不確かながら、カーボ・ローディングと同じ原理によって、酸素ローディングとも言えるような酸素利用の量、速度、効率などが高まる可能性も考えられる。そうであれば、選手達が低地のコースで競技するときの競技力は大いに高まると思われる。

5) スケート競技スピードスケート

高速リンクでの滑走中の生体応答とオーバートレーニングの回避

報 告 者 前嶋 孝¹⁾ 伊藤 静夫²⁾ 石幡 忠雄³⁾

日本スケート連盟では、ソルトレークシティー・オリンピックに向けて高地トレーニングの導入を計画し、1998年7月はアリゾナフラッグスタッフ、2000年7月はパークシティにてそれぞれ2週間の強化合宿を行った。これらの合宿において、コーチと医科学スタッフとの間で最も議論した内容は高地滞在中のトレーニング強度の問題であったようと思われる。

スピードスケートは、その運動特性から、たとえ長距離種目であっても、脚筋に酸素不足状態を生じ、競技直後の血中乳酸濃度が15~20mmol/lに達する。このような特性をもった競技に対するトレーニング内容は、当然、乳酸に対する耐性を高める、あるいは、筋の緩衝能力を高めるために、強度の高い運動形態が必要となる。従って、高地において、運動強度を抑えた、しかも、ランニングなど運動様式の違ったもっぱら有酸素的運動のみでは、たとえ酸素運搬能力が高まったとしてもスケート選手としての体力的特性を高めることにはならないであろう。

従って、毎朝の安静時SpO₂あるいはトレーニング中の血中乳酸濃度を測定することによって、疲労の状態あるいはトレーニング強度をチェックしながら、ある程度強度の高いハードなトレーニングを行うという方法をとなることになる。これまでフラッグスタッフおよびパークシティで行ったような、Living High & Training High方式によって、選手の筋緩衝能力が向上することが示唆されているが、2週間という期間は、運動強度の不足に繋がることが懸念された。

今年度は、ソルトレークシティー、カルガリー

あるいは長野Mウェーブにおけるトレーニング中およびレース後の血中乳酸濃度を測定し、フィードバックするとともに、最終的にソルトレークシティー・オリンピックにおいて高地をどのように利用するかを確認しなければならなかった。

このように、スピードスケート選手のための高地トレーニングは、その期間と運動強度に関してさらに検討の余地はある。これまで、実験的に行ってきました常圧低酸素を利用したトレーニングの結果を考慮すれば、パークシティに滞在しながらトレーニングをする期間はソルトレークシティー・オリンピック直前の2週間前から約1週間程度が良いだろうと思われた。しかし、高地トレーニングの期間がたとえ、1週間であっても高地トレーニングに入る前のトレーニング内容と身体的状態をどの程度にすべきかなどは検討しておかなければならない。そして、このような検討に関しては、実験的研究が必要である。そこで、今回実施した低酸素環境における研究結果については、3.-2)-(2)「低酸素環境利用中のトレーニング強度がPerformanceに及ぼす影響」にて報告する。

1. スピードスケートにおける氷上トレーニング中の血中乳酸濃度について

伊藤 静夫、原 孝子、湯田 淳
前嶋 孝、石幡 忠雄

(1) 夏期合宿における科学サポート

本年度、日本スケート連盟は秋期にパークシティにおいて高地トレーニングを計画したが、残念ながらテロ事件の影響で中止された。しかしそれに先立つ準備期間として、オリンピック会場であるソルトレークシティー(米)およびカルガリー(カナダ)において7月下旬から8月上旬にかけて夏期合宿を行った。オリンピック前に当該リンクを体験でき、準高地での氷上トレーニングが

1) 専修大学

2) 日本体育協会スポーツ科学研究所

3) 日本スケート連盟強化委員長

表1 氷上トレーニング時のトレーニング内容と血中乳酸、RPE、心拍数=男子長距離選手へのフィードバック事例

2001.7.23~8.14 スピードスケート夏季海外合宿（ソルトレイク、カルガリー）

training	distance	Time	sec /400m	v(m/sec)	lactate (mM)	RPE	HR (/min)
7. 26 AM							
ウォーミングアップ						1.53	16.0
7. 28 AM							
13周ペース滑走	5,200m	8.04.00	37.23	10.74	2.33	12.0	164
5000m；後続	5,000m	8.05.00	38.80	10.31	1.19	11.0	140
5000m；後→先頭	5,000m	8.01.00	38.48	10.40	1.45	12.0	165
7. 29 AM							
5000m；先→後続	5,000m	7.55.00	38.00	10.53	2.02	12.0	165
700m；(29~30)	5,000m	7.55.00	38.00	10.53	5.05	13.0	171
5000m	5,000m	7.56.00	38.08	10.50	1.83	12.5	164
8. 1 AM							
5000ペース滑走；後続→先頭	5,000m	7.33.00	36.24	11.04	4.30	12.0	
1100m, 26.7, 27.0	1,100m	1.17.70	28.25	14.16	8.93	14.0	
5000m；先頭→後続	5,000m	7.29.00	35.92	11.14	6.45	13.0	
700m(29.2)	700m	54.8	29.20	12.77	6.88	12.0	164
8. 6 AM							
1100m(29.4, 29.7)	1,100m		29.55	13.54	5.46	13.0	172

実施できたという意味では、結果的にはこの夏合宿が貴重な経験になったといえよう。

科学サポート班はこの夏期合宿に帯同し、サポート活動を実施した。ソルトレークシティーはカルガリーとならんで高速リンクという定評があり、この高速リンクにいかに適応できるかもソルトレーキシティー・オリンピックへ向けての重要な課題といわれた。このような意図から、今回のサポート活動は、ソルトレーキシティー及びカルガリ一両リンクでの氷上トレーニング時の生理的パラメータをモニターし、その結果を選手及びコーチにいちはやくフィードバックするというものであった。

測定項目は、昨年、一昨年の高地合宿と同様、血中乳酸、心拍数、RPEである。血中乳酸は、おもに Lactate-Pro を用い、一部 Biosen 5040L を併用した(P 42 参照)。心拍数測定は、選手がみずから携行している心拍カウンターを利用した。

(2) トレーニングのモニター

この夏期合宿におけるトレーニングは、ナショナルチームとしてまとまって同じトレーニングを行うのではなく、各チーム単位で実施するものであった。したがって、各選手の日々のトレーニングメニューは異なるので、乳酸測定のタイミングもそれぞれの選手が希望するときに行うこととした。昨年、一昨年の高地合宿では、一定のトレーニングメニューに対する個々の選手の応答を評価するものであったが、今回はそれぞれの選手が実践したトレーニングがどのような生理的特性を持つかを検証するという点で意義あるものと考える。

表1は、ある男子長距離選手についての結果の一例である。このような形式でプリントアウトしたものを持ち、トレーニング終了後に選手とコーチにフィードバックした。なお、表中に記されたトレーニング内容は乳酸をモニターしたときのものであり、必ずしもその日のトレーニングメニューの全てではない。この選手の場合、合宿の序盤から中

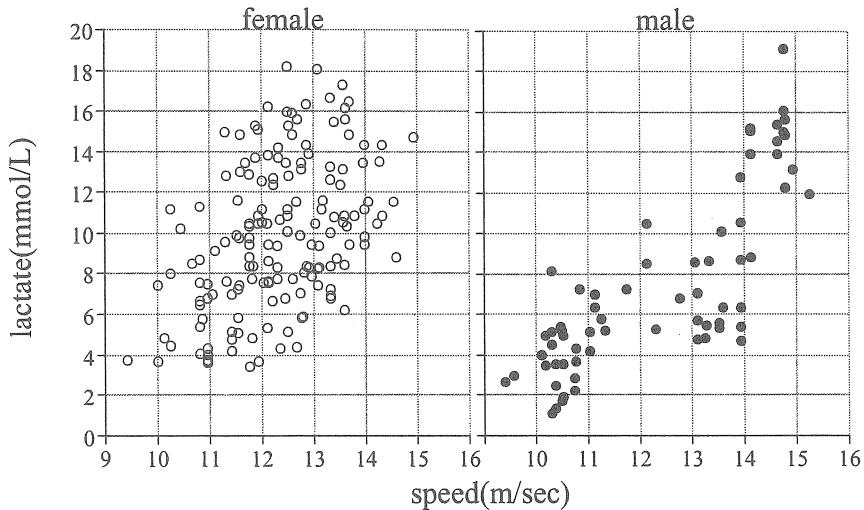


図1 氷上トレーニング時のトレーニング強度（滑走スピード）と乳酸の関係

盤にかけて次第にトレーニング強度を上げて行き、それにともない血中乳酸、心拍数、RPEといった生理的応答も変化している様相が読みとれる。

図1は、男子8名、女子12名について主なトレーニング時の滑走スピードと乳酸値の関係をあらわしたものである。運動様式としては一定ペースでのペース走からインターバル形式の滑走、さらにスピードを増したレペティション形式の滑走まで各種含まれるが、そのときの滑走距離を所要時間で除したものを滑走スピードとし、そのときの乳酸値との関係をみた。男女でサンプル数がかなり異なるため、単純な比較はできないが、滑走スピードに対する血中乳酸値が男子では逆L字型の傾向にあり、トレーニング内容をエネルギー出力系で区分すれば、総じてロー・パワー、ミドル・パワー、ハイ・パワーの区分けが明瞭になっている印象を受ける。これに対して女子では、比較的ミドル・パワーにトレーニング内容が集中し、したがって質的（高い滑走スピード）よりも量的（インターバルの本数）に充実している印象を受ける。

ある程度データがまとまったところで、表1及び図1のような形式の図表を各個人ごとにも作成し配布した。また、合宿中のコーチ会議などを利用して、こうしたデータを報告し、トレーニングに関するディスカッションをおこなった。昨年度の本報告書で、石幡強化委員長は高地でのトレ

ーニングにおける課題の一つとして、オーバートレーニングを回避しつついかに高いレベルのトレーニングができるかを上げている。今回のサポート活動がその一助になればと願っている。また、こうした目的に添えるように、データの評価法、フィードバックの仕方により一層の工夫が必要であると考える。

(3) Lactate-Pro の使用について

今回のソルトレークシティー、カルガリー夏合宿における氷上トレーニングの乳酸分析には、主に Lactate-Pro を用いた。今回の測定では不定期に採血が行われることになり、しかも多人数が一時に集中することも少なくなかった。こうした状況では、採血量が少なく（5 μl）、採血から結果出力までの時間が短い（1分間）Lactate-Pro がもっとも適している。ただし、スケートリンクのように外気温が低い条件下では、Lactate-Pro の測定値は低めにでることが経験的に知られている。そこで今回、Lactate-Pro のほかに一部 Biosen 5040L での測定も同時にを行い、Lactate-Pro の Biosen 5040L への回帰式を求め、Lactate-Pro の測定値を補正して使用することとした（図2）。通常の気温では、Biosen との回帰式は $Y = X$ の等量線近くに位置するが（未発表資料）、気温が低くなると（10~12°C），10~15%低い値を示すようになり、

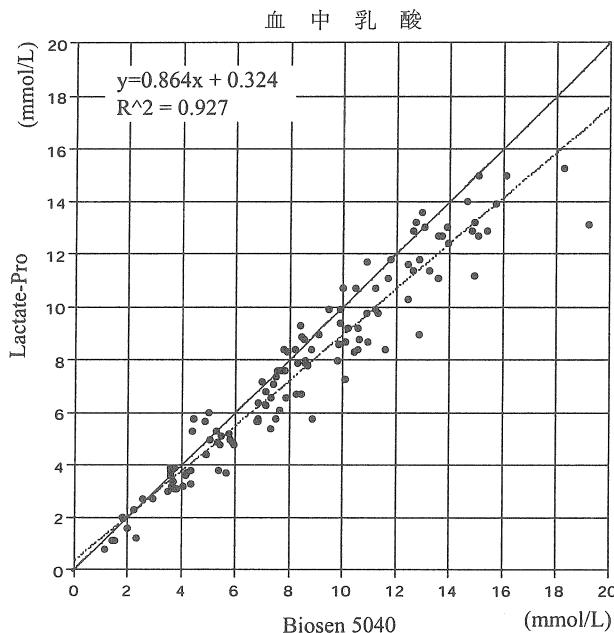


図2 氷上採血時（10~12°C）における血中乳酸分析器、Biosen 5040とLactate-Proでの測定値の比較

このような補正をしなければならない。

なお、今回はLactate-Proの測定値を補正して対応したが、測定器そのものを冷やさないような工夫も必要であり、こうした観点からの同装置の改善が望まれる。

2. スピードスケート選手のための高地トレーニングへの長期的取り組み

石幡 忠雄、前嶋 孝

高地トレーニングは、振り返ってみれば筆者の選手時代に行っていたトレーニングの中に自然に取り入れられおり、その効果も実感していた。言ってみれば、これは古くて新しいテーマである。コーチと医科学スタッフとの間で議論していると、筆者が数十年前に実施していた高地トレーニングの裏付けがなされる感がある。

科学的裏付けを持った高地トレーニングをスピードスケート選手のためのトレーニングとしてあらためて導入しようという動きは、1994年、JOC高地トレーニング医・科学サポート研究班の中ではじまった。

最初の研究は、1995年1月、標高1500mのダボス（スイス）におけるW-Cup大会に参加する選手

の生理・心理的応答を調べることであった。その後、スピードスケートにおける競技特性を考慮し、高地滞在一平地トレーニングや人工的低酸素トレーニングといったトレーニング方法について見当がなされてきている。そして、高地でのトレーニングの効果が期待される生理学的データが得られている。これらの成果を踏まえ、1999年、全日本強化選手のトレーニングの一貫として、高地トレーニングを計画的に取り入れることになった。

各国のソルトレークシティー・オリンピック対策

今回のソルトレークシティー・オリンピックは、スケート会場が標高1400mの準高地にあることから、各国が様々な対策を講じていた。

ドイツ：1999年7月、日本スケート連盟がはじめて高地トレーニングを行ったアメリカ・アリゾナ州フラッグスタッフにおいて、ドイツは、フランケコーチの下、グンダニーマン、ペヒシュタイン等、世界のトップレーサーの集団が、日本より1年前から同じ場所で高地合宿を行っている。

オランダ：オランダを中心とするコマーシャルチームは、以前から年間のトレーニング計画の中に、スイスやフランスの高地を利用したトレーニ

ングが計画的に取り入れられている。

アメリカ：アメリカナルチームは、今回のソルトレーキシティ・オリンピックの1年半前から、オリンピック直前まで、パークシティー（標高2200m：ソルトレーキシティから車で約45分）を生活のベースとしてトレーニングを行っている。

ISU：ISU コーチコミッショナリでも、旧東ドイツにおいて実施していた高地トレーニングの過去20年間における研究成果や、上述したフランケコーチの行っているコーチトレーニングの実際について、報告を受けるなど、スピードスケート選手のための高地トレーニングに关心が寄せられている。

日本：日本スケート連盟としては、ソルトレーキシティ・オリンピック向け、1999年はフラッグスタッフ、2000年にはパークシティーにおいて夏季合宿を実施した。さらに、2001年9月、パークシティーにおいてオリンピック本番をシミュ

レートした形の高地トレーニングを計画したが、残念ながらアメリカニューヨークにおけるテロの影響により中止となった。

この間、コーチと医・科学スタッフとの間で様々な議論がなされた。スピードスケート選手のための高地トレーニングは、研究および現場での経験も含めて、まだ追求していくなければならない部分は多いが、これまでの医・科学サポート団体との基での現場での経験と人工的低酸素室を利用したトレーニング研究の結果などから、総合的判断の基に、ソルトレーキシティ・オリンピック対策として、オリンピック直前の2週間前から1週間、パークシティー滞在—ソルトレーキシティートレーニング（氷上）を決めた。

高地トレーニングあるいは低酸素トレーニングについては、日本スケート連盟としてもさらに研究し、スケート競技の体力的特性にあったトレーニング法を追求し、その効果に注目したい。

6) バイアスロン競技

継続的ヘモグロビン測定および強負荷トレーニング時の 生理・生化学的応答

報告者 米田 繼武¹⁾ 青野 博²⁾ 小館 操³⁾
石岡 勝宏³⁾ 山口 繁³⁾

1. 本年度サポートのねらい

本年度は昨年度²⁾同様、1) ヘモグロビン (Hb) 測定によるコンディション把握、2) トレーニング、特に強負荷設定時の生体負担度の把握、の2点を課題として継続された。前者の課題は、シーズンを通じて全身状態の反映する指標としてその変動を観察することと、特にワールドカップ (W杯) 転戦期間中に高地滞在合宿トレーニングが実施されることから、その効果を検証するという目的をもっていた。また後者の課題はコーチの意図するトレーニング負担度が選手に課せられていたかをトレーニング中の心拍数、血中乳酸測定から検討するものであった。

2. サポート期間と対象選手

'01～'02シーズンのW杯2戦終了後にあたる2001年12月23日から日本ナショナル・チームは恒例のRidnaun (Italia) での高地合宿トレーニングを行った。今年はここで後半のW杯出場選手の選考会もおこなわれた。測定はこの期間を利用してこの合宿終了の翌年1月4日までの間におこなわれた。対象選手はナショナル班所属の選手に強化選手を加えた男子8名、女子7名であった。

3. 測定方法

1) ヘモグロビン (Hb) 測定

Hbは赤血球中にある酸素及び炭酸ガスの運搬物質である事は良く知られている。生体内では骨

髓幹細胞から分化して発達し、その数値的な増減は生体適応の観点から興味深く、特に低酸素環境下では様々な造血因子が作動し、特に造血ホルモンといわれるエリスロポエチン (EPO) の分泌促進が起こって赤血球の増産が行われる。造血とは赤血球の增量の事を言うのである。赤血球の增量はそのままガスの運搬能力増大につながるのでパフォーマンスの改善に重要である。高地トレーニングは低酸素下の環境を求めてさらに生体に刺激を与える方法として、そこへ赴く労苦はあっても歴史的に最も一般的なものであるということが出来る。赤血球に含まれるHbは肝臓を中心とした内臓諸器官の良好な機能を前提に安定した量が作られる。その意味でHb測定は全身状態の把握という意味も併せ持つのである。

測定は前年より一貫してASTRIM (Sysmex社；神戸) を使用した。この原理と特性については前年の報告²⁾にゆずる。測定は5回おこなって最大最小を棄却し残り3回の値を平均して代表させた。一回の測定時間は前年までは40秒を要していたが、今回は装置のバージョン・アップにより時間短縮が実現し半分の20秒で可能となった。

2) 運動中の心拍数測定

心拍数はHeart rate monitor (Accurex Plus: Polar社製)により5秒毎に記録し、専用読み取り・変換装置 (Interface plus) を用い測定データをコンピュータに転送し、後で整理・分析を行った^{1,2)}。

3) 血中乳酸濃度測定

血中乳酸濃度はLactate Pro (アーカレイ) で行った。本測定器は測定時の気温が10°C以下になると測定値が低く表示されてしまうため、温度環

1) 順天堂大学

2) 日本体育協会

3) 陸上自衛隊冬季戦技教育隊



写真1

境をコントロールする必要がある。前年度測定²⁾も厚紙箱に使い捨てカイロを装着する方法で一応の目的は達したが、そのままだと採血時は外気温下であり、さらに機器を出し入れする際に生ずる保温箱の温度差は以外に大きく実際には10°C以下の場合も生じていた。そこで、今回は登山用のテントをコース横に設置し、その中に検者が待機しさらに前述の保温箱の中で測定を行った(写真1)。測定時は、換気口から選手の腕だけを入れてもらい、テント内で採血および測定を行った。この方法で外気温が0°C以下でもテント内の保温箱では概ね15°Cを保つことができた。

4. 結果と考察

1) ヘモグロビン(Hb)測定結果

今回の測定によって結局、バイアスロン・ナショナルチームにおけるHb測定は同一手法下のもと一年を通じて継続した事になった。つまり2000年10月Vuokatti, 2001年1月Ridnaun, 2月Salt Lake-City, 9月Ramsau(但し記録媒体の不調によりデータ読み取り未完), さらに今回12月~2002年1月のRidnaunの4期に於いてであった。図1-Aは今期(Ridnaun)の男子各選手(8名)の期間中6回測定の平均値で、Bにはその変動を逐一示した。同様に女子(7名)について図2-A, Bに示した。この図によってまずHb値は日によって変動があること、また個人差もあるということが理解できる。B図によって各選手はそれぞれ変動を示しながら期間中は一定以内の安定した幅で推

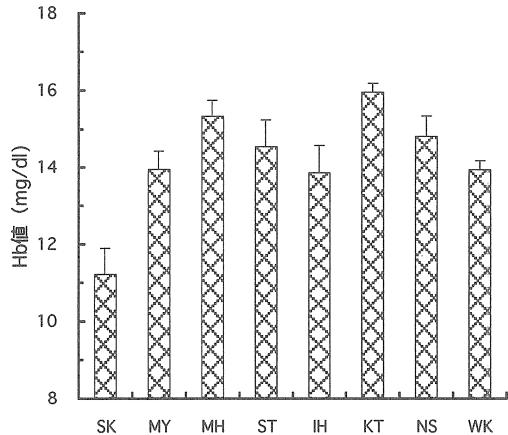


図1-A ヘモグロビン値測定結果(男子)

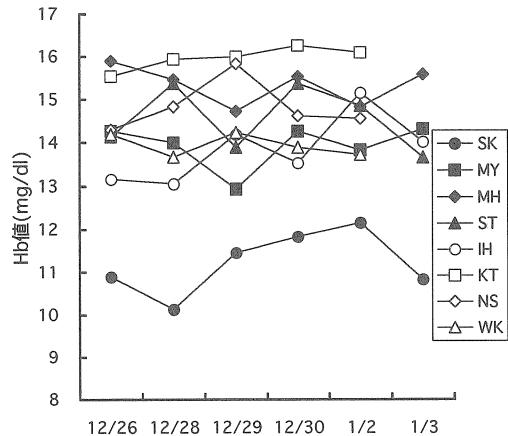


図1-B ヘモグロビン値の変動(男子)

移したといえる。とはいっても期間中男子1名、女子2名に正常値範囲より低い値の者が見出された。男子1名と女子のそのうちの1名はチームの中でもともと低値を示す傾向の選手なことは後(図3)で理解される。それ以外の選手はほとんど良好な範囲にあった。これら男女選手群のうち男子4名、女子4名は4期すべてで、さらに男女1名ずつが1期欠けただけの3期において測定がなされていた。図3-Aには男子の、同Bには女子のこれら反復測定された選手たちの結果が示されている。ほとんどの選手が良好な値でシーズンに至っていた中で、男子SK選手は正常範囲外の低値を示す傾向が明瞭に見られた。採血法による測定でも貧血範囲と判定される場合が多い(12.0~13.0)

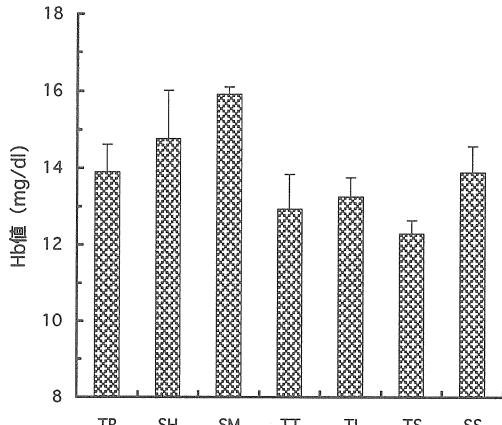


図 2-A ヘモグロビン値測定結果（女子）

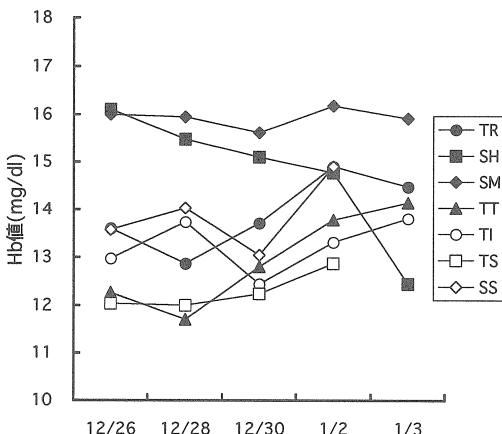


図 2-B ヘモグロビン値の変動（女子）

選手であるが、本測定法ではさらに低値を示したことは実際の貧血傾向に加えて、検出の方法上の考慮点を示唆しているかもしれない。しかし、他の選手と同様個人的変動範囲は正常であった。この様な長期の低値傾向は女子の TT 選手も見られた。この場合は低下傾向とみなすことも可能であり、より一層の観察が必要と考えられた。全体的にはチームの全身状態は一年を通じて良好であり、半数は本期のここ Ridnaun で上昇の傾向が見られた。

2) レース時の生体負担度測定結果

今回の合宿ではW杯参加メンバーの一部を決める選考レースが3日間にわたり行われたため、男子については2回、また女子については1回レー

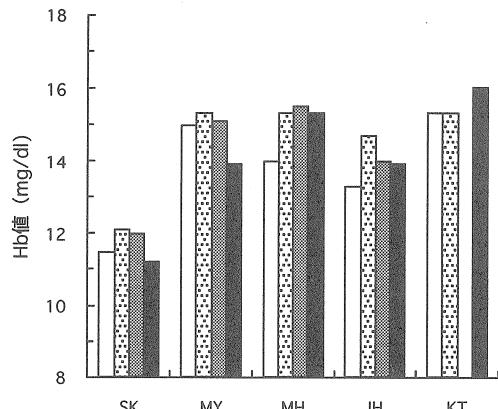


図 3-A 男子測定値

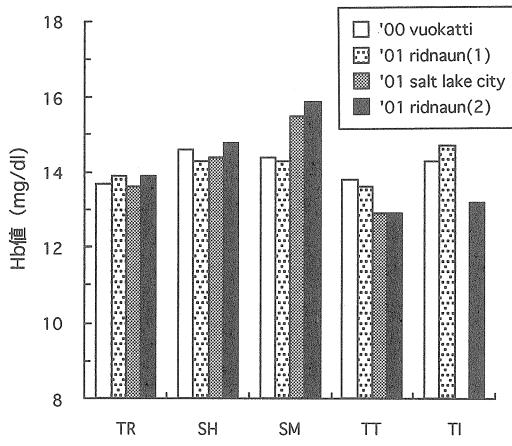


図 3-B 女子測定値

スにおける生体負担度の測定が行われた。すなわち、最大運動時の心拍数変動、乳酸産生量およびその除去能力を測定した。

心拍数は、タイムレコードから滑走時および射撃時の平均値を周回毎に算出した。また、滑走時の最大値および射撃時の最小値も算出することにより、滑走中の最大負荷を測定するとともに、射撃時における心拍数の低下状況も評価した。

血中乳酸濃度は朝食前の安静時 (rest)、ウォーミングアップ後のスタート約5分前 (-5')、ゴール直後 (+0') およびその後5分毎 (+5', +10', +15') に測定した。

(1) 男子測定結果

男子は12月28日 (2.0km×5) および12月29日 (2.5km×3) の2日間測定を行った。コースは

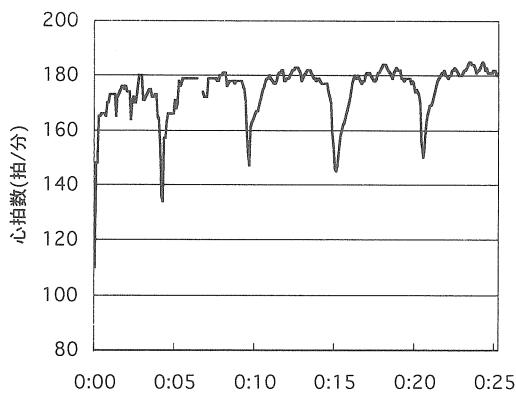


図 4-A 心拍数の変動 (12/28; IS)

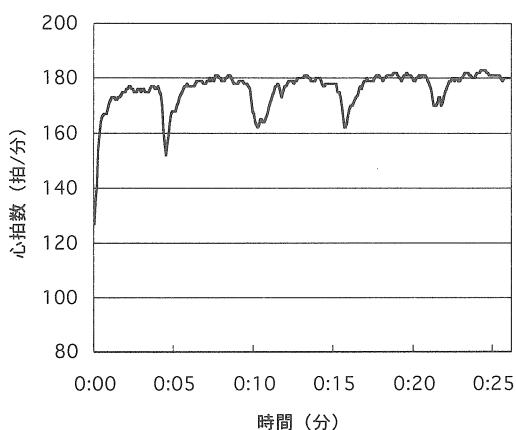


図 4-B 心拍数の変動 (12/28; NS)

いずれのレースにおいても射場周辺を周回するコースを設定したため、標高差など距離以外の条件はほぼ同じであった。

図 4-A, B および 5-A, B に心拍数変動の例を示す。これまでも報告されてきたように、滑走中は常に心拍数の変動が見られるものある一定の高い値が維持されており、逆に射撃時は急激な心拍数の低下が見られる。表 1 および表 2 は、滑走時平均心拍数・最大心拍数並びに射撃時の平均心拍数・最低心拍数およびペナルティ（的を外した回数）を示した一覧表である。今回は選考会という条件も相まって、この距離における最大強度での運動が継続されたと考えられる。また、ほとんどの選手で周回を重ねる毎に滑走時の心拍数が上昇し、射撃時は心拍数の低下が抑えられてい

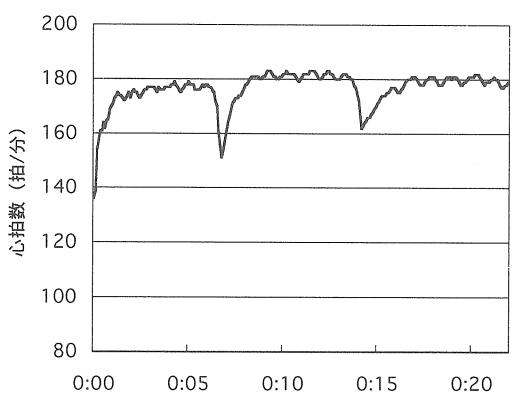


図 5-A 心拍数の変動 (12/29; NS)

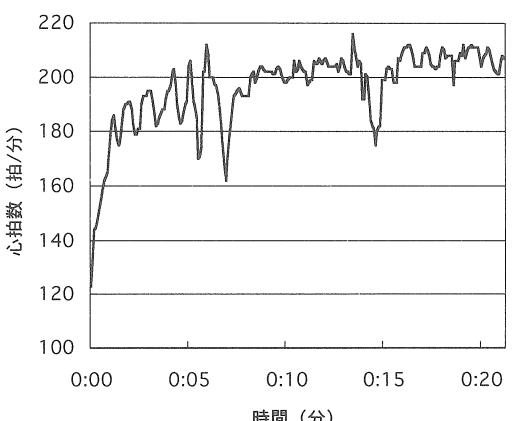


図 5-B 心拍数の変動 (12/29; WK)

た。

図 6-A は 12 月 28 日に測定された血中乳酸濃度の変動を示したものである。今回は全力運動直後の最大乳酸値とその回復過程における変動を測定することにより、乳酸産生およびその除去能力を評価した。ゴール直後の値は 12.3~17.6mM とかなり高く、昨年度報告された強負荷トレーニング直後の値よりも高い値であり、全力運動であったと十分評価される。その後の回復過程では、多少個人差は見られるものの全ての選手においてゴール 10 分後までは急激な低下を示した。昨年度の測定結果ではゴール直後よりもその 5 分後の値が高い選手が見られたが、今回はそのような傾向は見られず、チーム全体としての強化・レベルアップが評価できる測定結果であったと思われる。ただ

表1 心拍数一覧 ('01.12.28)

SK	Run		Shoot		
	Mean	Max	Mean	Min	penalty
total	161.9	174	154.5		4
1st					1
2nd	163.2	174	156.0	153	2
3rd	160.8	172	151.8	149	1
4th	162.4	167	155.8	153	0
5th	161.3	167			
IH	Run		Shoot		
	Mean	Max	Mean	Min	penalty
total	176.3	185	158.9	134	8
1st	171.0	180	150.8	134	2
2nd	175.9	181	157.5	147	2
3rd	177.8	183	160.0	145	3
4th	177.3	184	167.4	150	1
5th	179.6	185			
NS	Run		Shoot		
	Mean	Max	Mean	Min	penalty
total	177.1	183	166.6	152	7
1st	171.6	177	159.8	152	1
2nd	176.9	181	166.0	162	4
3rd	177.7	181	169.0	162	0
4th	178.8	182	171.8	170	2
5th	180.3	183			
WK	Run		Shoot		
	Mean	Max	Mean	Min	penalty
total	205.2	213	170.1	143	10
1st			152.3	146	2
2nd	205.0	212	163.0	143	4
3rd	205.5	213	175.0	163	2
5th	205.2	211	190.0	178	2

表2 心拍数一覧 ('01.12.29)

SK	Run		Shoot		
	Mean	Max	Mean	Min	penalty
total.	163.6	168	157.2	147	3
1st	163.0	167	156.4	147	3
2nd	163.3	168	158.0	153	0
3rd	164.7	167			
MH	Run		Shoot		
	Mean	Max	Mean	Min	penalty
total	182.2	199	173.5	149	3
1st	174.1	185	172.1	149	3
2nd	181.3	191	174.8	164	0
3rd	191.1	199			
KT	Run		Shoot		
	Mean	Max	Mean	Min	penalty
total	177.7	193	160.5	126	6
1st	172.9	183	155.5	126	3
2nd	182.5	193	165.4	150	3
3rd					
NS	Run		Shoot		
	Mean	Max	Mean	Min	penalty
total	176.9	183	168.8	151	5
1st	173.7	179	165.7	151	1
2nd	179.4	183	171.8	162	4
3rd	177.7	182			
WK	Run		Shoot		
	Mean	Max	Mean	Min	penalty
total	197.1	216	186.2	162	2
1st	184.4	212	183.4	162	1
2nd	201.2	216	189.0	175	1
3rd	205.8	212			

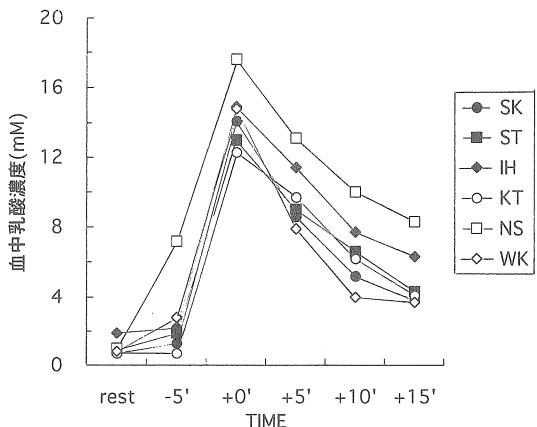


図6-A 血中乳酸濃度の変動 (12/28; 男子)

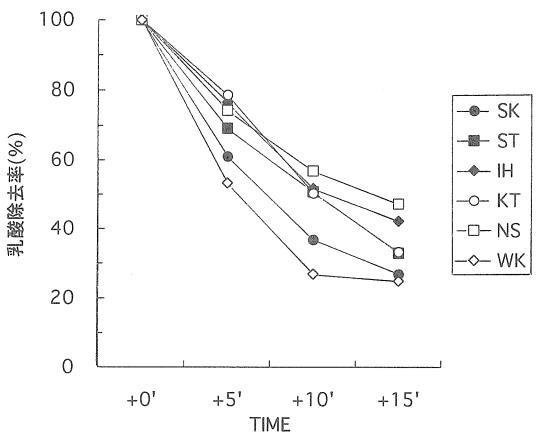


図6-B 血中乳酸除去率 (12/28; 男子)

しゴール15分後の値は10分後からさらにスムーズに低下する選手とそうでない選手とに分かれてしまったようである。そこで、図6-Bはゴール直後の値を100%とし、その後の回復過程をパーセンテージで示したものである。上述の通り、ゴール後10分以降も直線的に乳酸値が低下する選手と、それ以後は低下率が抑えられてしまった選手(IH, NS)とに分けられる。この2名については、ゴール15分後でも7 mM前後(6.3および8.3 mM)までしか低下しておらず、低下率は約45% (42.3および47.2%)であった。また、今回は全力運動からの回復過程を測定したということもあり、スタート前の値まで低下した選手はいなかった。

図7-AおよびBは12月29日に行われた血中乳酸濃度の測定結果を図示したものである。前日同

表3 心拍数一覧 ('01.12.30)

TR	Run		Shoot		
	Mean	Max	Mean	Min	penalty
total	179.9	191	162.9	130	2
1st	173.3	182	157.3	130	2
2nd	180	187	168.5	155	0
3rd	186.4	191			
SH	Run		Shoot		
	Mean	Max	Mean	Min	penalty
total	178.4	187	165	135	6
1st	172.8	179	153.6	135	3
2nd	179.8	186	176.3	156	3
3rd	182.5	187			
SM	Run		Shoot		
	Mean	Max	Mean	Min	penalty
total	176	185	161	140	2
1st	170.1	178	156	140	0
2nd	178	183	166	143	2
3rd	179.7	185			
TT	Run		Shoot		
	Mean	Max	Mean	Min	penalty
total	176.1	184	168.3	149	1
1st	172.3	178	165.4	149	0
2nd	177.2	182	171.2	160	1
3rd	178.9	184			
TI	Run		Shoot		
	Mean	Max	Mean	Min	penalty
total	179.4	195	158.3	125	2
1st	170.1	179	151.2	125	1
2nd	181.9	191	165.4	144	1
3rd	186.1	195			
TS	Run		Shoot		
	Mean	Max	Mean	Min	penalty
total	180.7	194	136.2	91	4
1st	173.7	184	123.9	91	1
2nd	181.5	189	148.6	132	3
3rd	186.9	194			

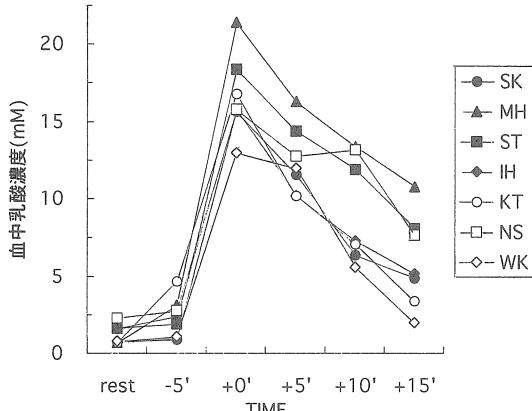


図7-A 血中乳酸濃度の変動 (12/29; 男子)

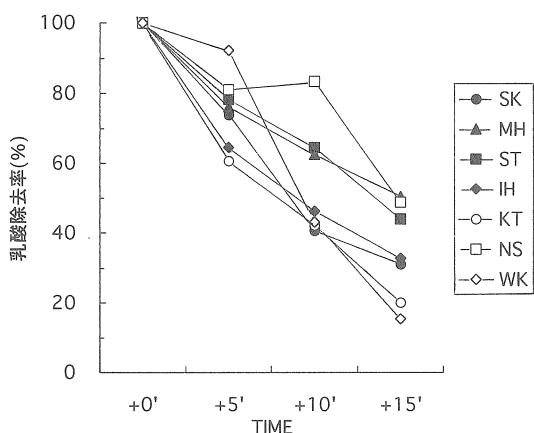


図7-B 血中乳酸除去率 (12/29; 男子)

様、この測定結果についてもゴール直後の値は1名 (WK) を除いて15mM以上とかなりの高値が得られた。回復過程については特徴的な変動が見られたが、ゴール後の状況までコントロールされていたわけではないので、この原因については不明である。ただ、NSについては、前日と同様にやや高値で推移していた。また、WKについては、前日の測定結果ではゴール直後から速やかな乳酸の低下を示したが、本測定ではゴール5分後まではほとんど低下が見られず、さらにゴール直後の値も前日ほど上昇していなかったように、乳酸産生・除去の傾向が大きく異なっていた。昨年度の報告において、主力級の選手は最大努力時に生体の化学的応答が繰り返される可能性ある²⁾と示唆されたことと関連づけると、興味深い結果であった。

(2)女子測定結果

12月30日に行われた2.0km×3のスプリントレースにおいて測定を行った。このレースには本サポート班によるフィールド測定を行うということもあり、すでにW杯参戦が決定しており選考会が免除されていた選手も参加した。

表3は心拍数測定結果の一覧である。また、図8-A, Bに心拍数変動の例を示す。全ての選手において周回を重ねる毎に、滑走時の平均・最大心拍数および射撃時の平均・最小心拍数が上昇した。3周回を通しての滑走時平均心拍数は176拍/分以上であり、最高心拍数は190拍/分前後まで上昇しており、男子同様最大運動時の心拍数を示していると思われる。

図9-Aはスタート前からゴール後の回復過程

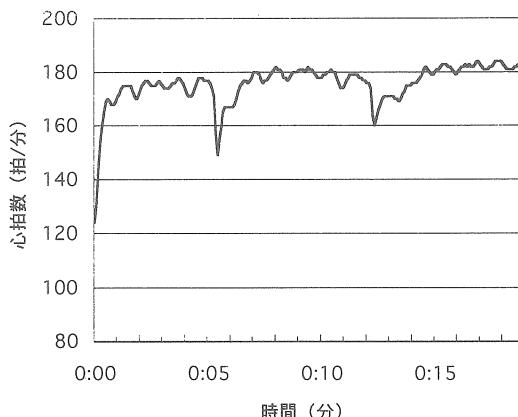


図 8-A 心拍数の変動 (12/30; TT)

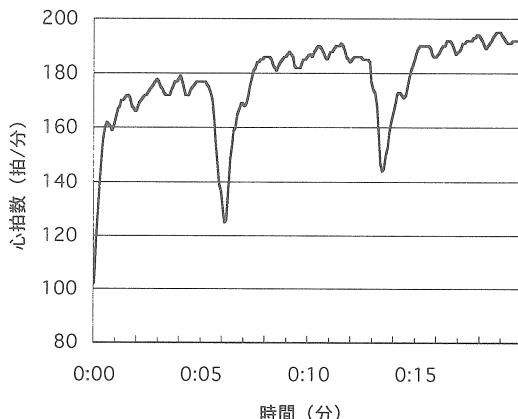


図 8-B 心拍数の変動 (12/30; TI)

における血中乳酸濃度の変動を示し、図 9-B では回復期についての乳酸除去率を示した。安静時からウォーミングアップ後の値はいずれの選手も一定範囲内の値を示していた。一方、ゴール直後の値については、5名の選手が15mM以上を示したが、残る2名は10mM前後(TI;11.9mM, SS;9.8 mM)までしか上昇しなかった。ゴール後の回復過程については、10分後まではいずれの選手もほぼスムーズな消長を示したが、その後TR, TT の2名においては低下率が緩やかになり、15分後でもピーク時の50%程までしか低下しなかった。また、男子同様、本測定は最大強度での運動だったこともあり、比較的スムーズな低下が見られた選手においてもスタート前の値まで低下した選手は見られなかった。

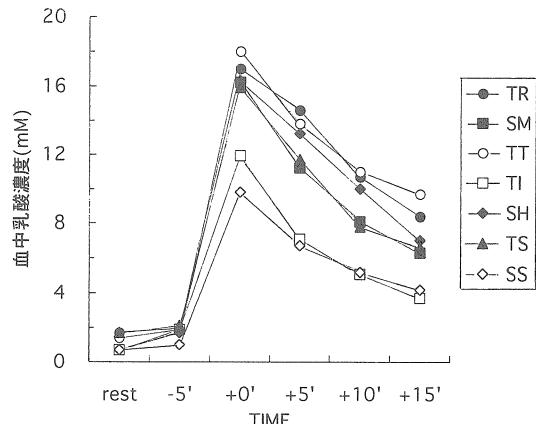


図 9-A 血中乳酸濃度の変動 (12/30; 女子)

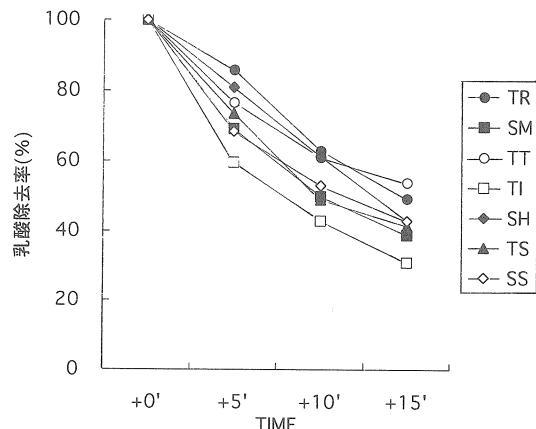


図 9-B 血中乳酸除去率 (12/30; 女子)

3) 強負荷トレーニング時の生体負担度測定結果

強負荷トレーニング中の生体負担度を把握するため、 $2.0\text{km} \times 5$ の周回コースを用いて、レースをシミュレートしたトレーニング中に各周回の射撃直後に血中乳酸測定を行った。また、ハートレートモニターによって運動中の心拍数も連続的に記録した。なお、本測定はコーチの意向により、一部の女子選手だけ行った。

表4は各選手の心拍数を示したものである。また、図10-A, Bに心拍数変動の例を示した。滑走時的心拍数は170~180拍/分程度で推移しており、周回毎の平均値・最大値に大きな変動は見られなかった。このことから、選考会での測定では周回毎に心拍数の上昇が見られたことと比較すると、強負荷とはいえる程度のペース配分がされてい

表4 心拍数一覧 ('01.12.28)

TR	Run		Shoot		
	Mean	Max	Mean	Min	penalty
total	178.9	191	166.4	126	4
1st	173.5	182	156.3	126	0
2nd	179.6	189	169.6	156	1
3rd	180.8	191	169.7	148	0
4th	181.2	189	169.8	160	3
5th	179.5	188			
SM	Run		Shoot		
	Mean	Max	Mean	Min	penalty
total	169.9	182	153.3	124	8
1st	167.4	174	147.1	129	0
2nd	170.1	180	158.0	135	3
3rd	171.2	181	149.3	124	2
4th	167.9	179	158.6	137	3
5th	172.9	182			
TT	Run		Shoot		
	Mean	Max	Mean	Min	penalty
total	170.4	179	165.4	141	7
1st	162.8	173	162.7	142	0
2nd	171.7	179	166.4	148	3
3rd	172.9	179	163.7	141	2
4th	172.5	179	168.7	158	2
5th	171.9	179			
TI	Run		Shoot		
	Mean	Max	Mean	Min	penalty
total	174.6	190	155.3	125	6
1st	175.3	184	158.9	139	2
2nd	176.9	187	154.1	133	3
3rd	170.8	183	149.4	125	1
4th	172.3	189	158.7	137	0
5th	177.7	190			

た可能性が示唆される。

スタート前、運動中および回復過程における血中乳酸濃度の変動を図11に示した。心拍数の測定結果からも推測されるように強負荷とはいえ、要所にペース配分がなされた可能性があり、ほとんどの選手はある一定の値で推移していた。また、今回は射撃後に乳酸測定を行ったため、射撃中に血中乳酸濃度がある程度まで低下してしまった可能性も考えられる。このような条件ではあったものの、選手によって周回毎の血中乳酸濃度の変動には大きな差が見られ、実際のレース中における生化学的応答を推察させる測定結果となった。ゴール後の回復過程については、15分後の時点でも7~8 mMまでしか低下していない選手もあり、特にTRについてはゴール直後の値からほとんど低下が見られなかった。これは、前述した選考会レースでの測定結果とは異なった傾向を示しており、当日のコンディションやゴール後の状況についてなど併せて考慮する必要があると思われる。

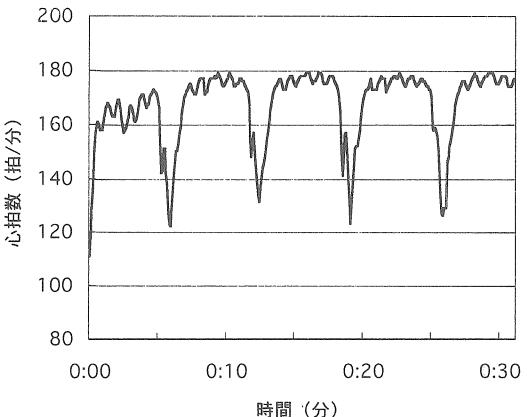


図10-A 心拍数の変動 (12/28; TT)

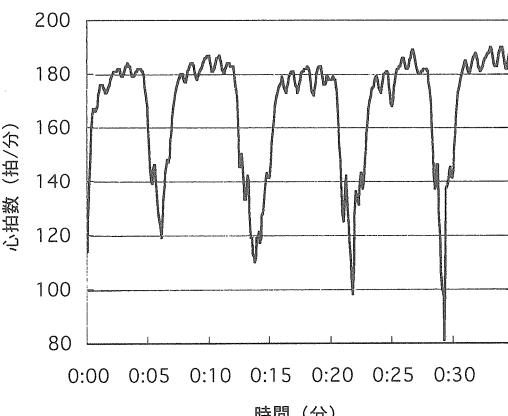


図10-B 心拍数の変動 (12/28; TI)

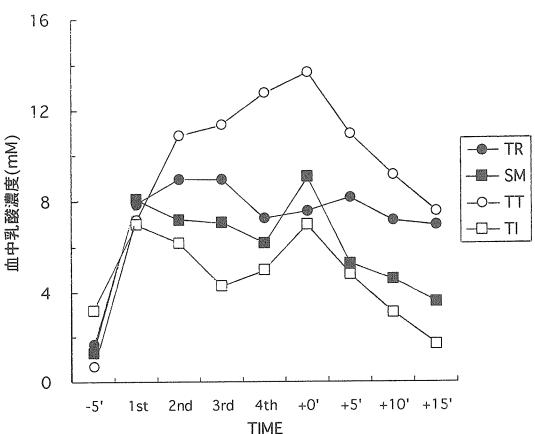


図11 血中乳酸濃度の変動

表5 心拍数一覧 ('01.12.26)

	TR	SM	TT	TI
total	168.4	164.6	168.0	158.2
1st	163.8	158.7	163.6	156.2
2nd	171.4	170.8	168.9	158.2
3rd	170.0	164.2	171.6	160.2

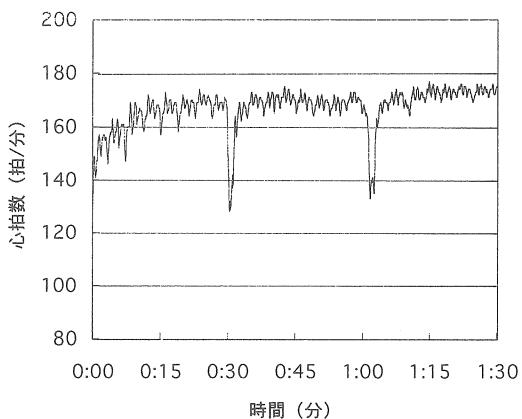


図12-A 心拍数の変動 (12/26; TT)

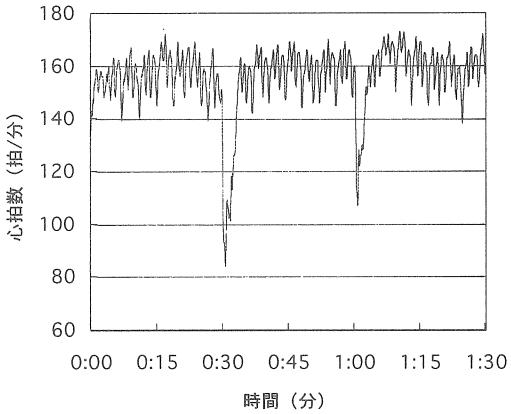


図12-B 心拍数の変動 (12/26; TI)

4) 中負荷トレーニング時の生体負担度測定結果

強負荷トレーニングの検討のために、従来から観測していた中負荷トレーニング時の生体反応も測定した。バイアスロン競技の滑走トレーニングで設定される中負荷とは、血中乳酸濃度で2~4 mMとされ、これまでのサポート活動でも度々確認してきた。そこで、今回は90分間の滑走トレーニングにおいて30分毎に血中乳酸測定を行い、設定強度を確認しながらトレーニングを行った。

表5は平均心拍数の一覧を示したもので、図12

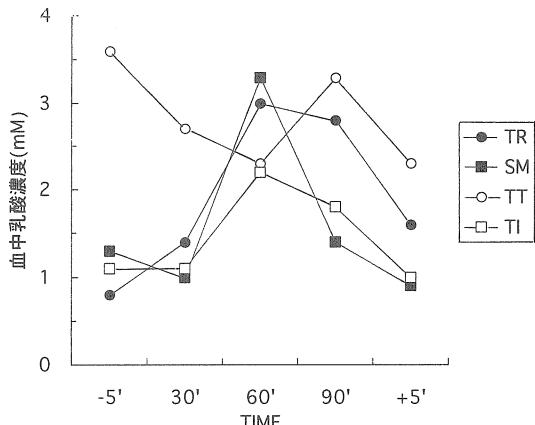


図13 血中乳酸濃度の変動 (12/26; 女子)

-A, B にはその変動例を示した。

図13に血中乳酸濃度の変動を示した。4名中3名の選手はスタート30分後に約1 mM程度しか示しておらず、コーチからはその時点でペースを上げるようにとの指示が出された。このようにトレーニング中、乳酸濃度を基に選手へのペース配分について指示が出された。コーチからの指示もあり、60分の時点では意図する強度でトレーニングが行われていたが、その後、持久的能力が劣る、もしくはコンディションが万全ではなかったと思われる選手は、設定された乳酸濃度を維持することができなかった。選手自身も本人の意志とは反してペースを上げることができなかつたとのことで、今回の測定結果からトレーニング強度を確認するだけでなく、持久的能力やコンディション評価の一貫としてこのような測定は有効であることが、これまでのサポート研究と同様に示唆された。

5. まとめ

継続的Hb測定によって、シーズン中のHb動態が個人別差異を示しながら良好な状態が保たれた事を観察した。採用した非観血的な測定方法はコンディショニング把握に有益な資料をもたらすことが出来た。その点から高地トレーニング効果は明瞭に判定できなかったが、多くの選手はこのRidnaun合宿の際にHb値を上昇させたと見ることが出来る。

血中乳酸値測定では、強負荷トレーニングでは

男女とも直後の血中乳酸値にこれまでにない高い値が観察された。この傾向はナショナル班選手に顕著であった。これらの選手にはコーチの意図するトレーニング強度がよく負荷されていたと考えられる。女子の回復傾向がばらついたのは直後からのクーリング・ダウンの過程を測定にかなうよう統制しなかった事に依るだろうが、その点で良好におこなわれた男子の回復曲線はナショナル班選手において鋭い低下傾向をみせた。一層高い負荷強度の繰り返し刺激に対応できる身体的状況が準備されたと考えてよい。

引用文献

- 1) 米田継武, 青野 博, 出口弘之: 中負荷トレーニング時の生理生化学応答と主観的運動強度. 平成11年度 JOC スポーツ医・科学研究報告, №IV JOC 高地トレーニング医・科学サポートー第9報ー, 33-44, 2000.
- 2) 米田継武, 青野 博, 小館 操, 石岡勝宏, 山口繁: コンディション把握のためのヘモグロビン測定及び強負荷トレーニング時の生理生化学的応答. 平成12年度 JOC スポーツ医・科学研究報告, №IV JOC 高地トレーニング医・科学サポートー第10報ー, 39-47, 2001.

3. 「常圧低酸素施設」に関する実験研究

1) 低酸素室滞在に関する基礎研究

低酸素室滞在において酸素濃度を漸減させた場合の 生理・生化学的応答に及ぼす影響

報 告 者 村岡 功¹⁾ 青木純一郎²⁾ 矢澤 誠¹⁾
内丸 仁²⁾ 前嶋 孝³⁾ 植木 眞琴⁴⁾
小倉 裕司²⁾ 高橋 光平²⁾

I. はじめに

高地トレーニングは、低酸素環境下において一定期間居住することによる受動的效果（低酸素順化）と、トレーニングによる効果（積極的效果）との合成効果によって、平地でのトレーニング以上に競技力を向上させるものとして期待される方法である¹⁾。しかし、高地すなわち低酸素環境下では、平地と比較してトレーニングの質的・量的低下は免れないこと、また体調管理が難しいといった悪影響も予想される。そのため、高地でコンディションを維持することばかりではなく、ひいては平地での競技力の維持や向上が困難な可能性もある^{7,9,11,14)}。

これに対して Levine らは、高地に滞在して、トレーニングをより高度の低いところで行う方法（Living High, Training Low 法）を提唱した。そして、その実験的研究において、高度2,500mに滞在しながら、トレーニングを高度1,300m 前後で行うことによって、最大酸素摂取量が約 5 % 増加し、5,000m 走タイムにも向上がみられたと報告している。このことから、低地でトレーニングを行うことによって運動強度の質的低下を抑制することができ、加えて高地、低酸素順化によって平地でのパフォーマンスの向上が期待できるとしている^{6,8)}。

さらに、フィンランドの Rusko は、大気中の窒素を分離して適度に空気に混合し、常圧下で低酸素環境を作る “altitude house”，すなわち低酸素室を開発した。そして、競技者を対象として、酸素濃度を 15.3%（高度2,500m 相当）に設定した低酸素室に 1 日 14~18 時間滞在させ、トレーニングを平地で行わせたところ、血清エリスロポエチン（EPO）濃度や網状赤血球数が増加し、このことから、赤血球新生が示唆されたことを報告している¹⁶⁾。

山岳地帯でのトレーニング施設が少ないわが国では、高地トレーニングに適した場所を確保することも難しく、日常のトレーニングに簡便に取り入れるのは困難な状況にあるが、低酸素室を利用することによって、Levine らの提唱した “Living High, Training Low” 法が適用できると考えられる。

しかし、これまでの低酸素室を用いた研究では、1 日の滞在時間が 14~18 時間と長く、選手の 1 日の生活を大幅に制約する可能性が高い。また、トレーニング現場の実情を考えると、この滞在時間を確保することはかなり困難であるようにも思われる。一方、最近になって、より短時間の低酸素室滞在の影響についての研究も散見されるようになった。しかし、1 日 12 時間の 7 日間に及ぶ滞在で、EPO 濃度、網状赤血球数および 2, 3-DPG に有意な増加をみたとする報告⁵⁾があるのに対し、オーストラリアの AIS のグループでは、1 日 8~11 時間の 12~15 日間に及ぶ低酸素室滞在によって、EPO 濃度に有意な増加は認められたが、網状赤血球数や Hb 濃度を増加させるには至らなかったとす

1) 早稲田大学

2) 順天堂大学

3) 専修大学

4) 三菱化学ビーシーエル

る報告^{2,3)}があるなど、これまで必ずしも統一的な見解が得られている訳ではない。

このように、低酸素室の利用に関する研究は緒についたばかりであるが、わが国でも、国立スポーツ科学センターに低酸素室が設置されたことから、早急に日本人アスリートに対する「利用の指針」を明らかにすることが求められている。

そのため、高地トレーニング医・科学サポート研究班では、一昨年度より、その基礎的なデータ収集を目的として、常圧低酸素室を利用した滞在研究を行ってきた^{12,13)}。その結果、高度2,500m相当での1日10時間、6日間の低酸素室滞在によって、血清EPO濃度は平均1.64倍へ増加し、網状赤血球数についても有意な増加を観察したことから、この滞在方法は赤血球新生を刺激するという点で効果的であると考えられた¹³⁾。

ただし、われわれがこれまでに行ってきました研究は一般被験者を対象としたものである。しかし、競技力の向上を目的として低酸素室を用いる以上、競技者を対象としてその影響を検討することが必要であると思われる。特に、低酸素環境においては体調管理が問題となるが、日常のトレーニングに低酸素室居住を付加した際の体調変化を観察することは重要であろう。また、高地トレーニングの現場においては、順化を目的として開始時にやや低い高度からのトレーニングまたは滞在を行う例がみられる。国立スポーツ科学センターに設置された低酸素室においては、多段階に酸素濃度を設定できることから、低酸素室滞在においても、このような条件での検討も必要であるように思われる。

そこで本年度は、一般被験者と競技者を対象とした低酸素室滞在において、酸素濃度を減少（設定高度を増加）させた場合の生理・生化学的応答について検討し、昨年度に行った一定酸素濃度での結果とあわせて比較することを目的とした。

II. 方 法

A. 被験者

被験者は年齢19.7±1.1（平均±SD）歳、身長171.2±6.1cm、体重66.6±5.0kgの健康な男子大学生12名であった。そのうち6名は、日常的に適度な運動習慣はあるものの、専門的なトレーニン

表1 被験者の身体的特徴

		年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)
一般群	c-1	19	170.6	58.1
	c-2	22	173.8	69.9
	c-3	20	168.8	67.8
	c-4	18	174.6	67.9
	c-5	19	165.0	59.1
	c-6	19	164.1	69.2
	平均	19.5	169.5	65.3
競技者群	SD	1.4	4.4	5.3
	a-1	20	183.0	70.8
	a-2	20	170.0	65.4
	a-3	19	168.9	65.3
	a-4	21	166.0	72.0
	a-5	19	168.0	60.3
	a-6	20	182.0	72.9
競技者群	平均	19.8	173.0	67.8
	SD	0.8	7.5	4.9

グを行っていない群（一般群）であり、もう一方の6名は、自転車およびトライアスロン競技を専門とし、日常的にトレーニングを継続している群（競技者群）であった（表1）。

測定に先立ち、被験者は研究の主旨およびそれに伴う危険性について説明を受け、十分にその内容を理解した上で、同意書に署名した後に研究に参加した。

B. 方法

1. 低酸素室

本研究は、順天堂大学さくらキャンパス内の常圧低酸素室を利用して行われた。この低酸素室は低酸素発生装置を用いて低酸素気を発生し、それを通常大気と混合させて酸素濃度を調整するようになっている（写真1、2）。

2. 測定プロトコル

1) 滞在時間および期間

低酸素室での滞在時間は1日10時間とした。被験者は22時から翌朝8時まで室内に滞在することを原則とした。

滞在期間は7日間としたが、1日目はコントロール日として通常酸素濃度（約20.9%）下で宿泊させた。そして、2日目以降を低酸素室滞在日としたが、前半の3日間は、酸素濃度を16.3%（高度2,000m相当）、そして後半の3日間は酸素濃度を15.4%（高度2,500m相当）に設定した（図1）。

室内滞在中は必要時以外の退室を避けるように

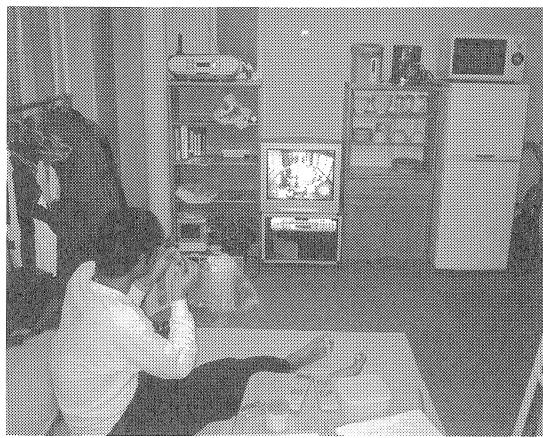


写真1 低酸素室内部

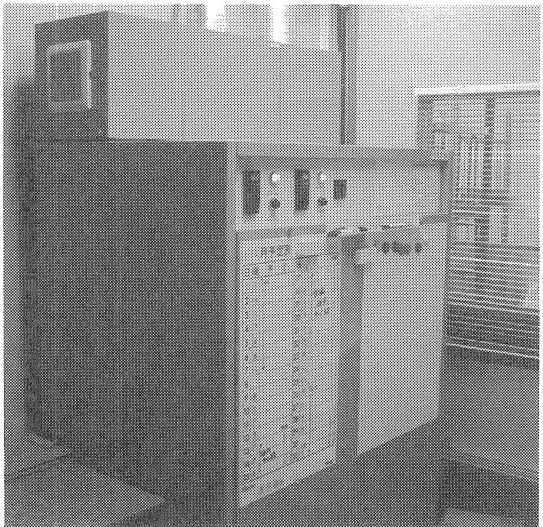


写真2 低酸素発生装置

指示した。

2) 測定項目

a. 血液性状

通常酸素濃度滞在後、低酸素濃度滞在1日後(2,000m相当滞在1日後)、3日後(2,000m相当滞在3日後)、4日後(2,500m相当滞在1日後)、および6日後(2,500m相当滞在3日後)に、真空採血管(ベノジェクトII、テルモ社製)を用いて肘前静脈より13mlの血液を採取した。そのうち2mlは血球算定用に用い、残りを3000rpmで10分間遠心分離し、得られた血清および血漿を分析まで凍結保存した。分析項目は、赤血球数(RBC)、ヘモグロビン濃度(Hb)、ヘマトクリット値(Hct)、網状赤血球数、白血球数(WBC)、血清エリスロポエチン濃度(EPO)、クレアチニナーゼ活性(CK)、血清鉄濃度(Fe)および抗利尿ホルモン濃度(ADH)であった。なお、これらの分析はすべて株式会社三菱化学ビーシーエルにて行った。

b. 動脈血酸素飽和度(SpO_2)

10時間の室内滞在中、被験者は指先にパルスオキシメータ(PULSOX-3 si、ミノルタ社製)を装着し、動脈血酸素飽和度(SpO_2)を測定し、10分ごとに平均値を算出した。その際、体動などによる異常値と判断されるものについては除外した。

c. 低酸素換気応答

低酸素刺激に対する換気応答(HVR: Hypoxic Ventilatory Response)の測定を、通常酸素濃度滞在後、低酸素室滞在3日後(2,000m相当滞在3日後)および6日後(2,500m相当滞在3日後)に行った。測定に際しては、ダグラスバッグに通常空気(酸素濃度20.9%)、および酸素濃度が15%、

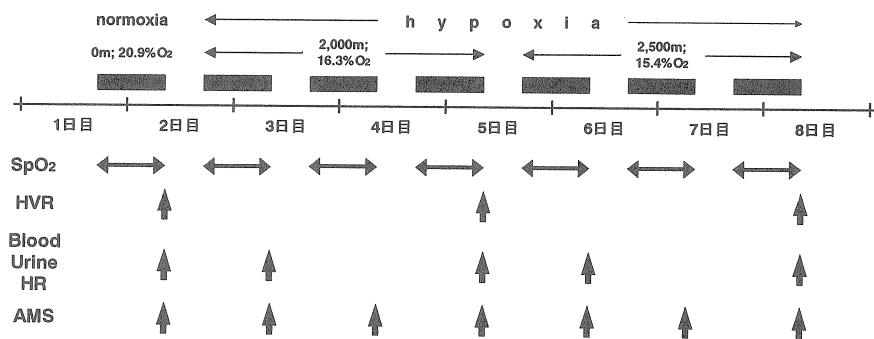


図1 実験プロトコル

12%, 10%の窒素でバランスを取った混合気を用意し、椅子座位安静状態を保った被験者に吸入させた。各混合気の吸入時間はそれぞれ最長5分間とし、その時の分時換気量 (\dot{V}_E) をレスピロモニタ (RM-300, ミナト医科学製) で、動脈血酸素飽和度 (SpO_2) をパルスオキシメータ (PULSOX-3 si, ミノルタ社製) によって測定した。そして、 SpO_2 の低下に対する \dot{V}_E の増加量 ($\Delta\dot{V}_E/\Delta\text{SpO}_2$) から HVR を評価した。

d. 交感神経活動

通常酸素濃度滞在、低酸素濃度滞在 1 日目 (2,000m 相当滞在 1 日目)、3 日目 (2,000m 相当滞在 3 日目)、4 日目 (2,500m 相当滞在 1 日目)、および 6 日目 (2,500m 相当滞在 3 日目) のそれぞれ退室前に、胸部双極誘導法による心電図記録を行った。測定に際しては、被験者に仰臥位姿勢をとらせ十分な安静状態を確認した後、心電計 (BSM-1101, 日本光電製) によって 5 分間の計測を行い、データレコーダ (PC-108M, SONY 製) に記録した。

交感神経活動を評価するために、得られた心拍数記録から RR 間隔の時系列データを求め、周波数解析を行った。このとき、0.05Hz～0.15Hz を低周波数成分 (Lo), 0.15Hz～0.4Hz を高周波数成分 (Hi) とし、Lo/Hi を交感神経活動 (SNS) の指標とした。

e. 尿量、飲水量

通常酸素濃度宿泊後、低酸素室滞在 1 泊目、3 泊目、4 泊目および 6 泊目について、10 時間の滞在時間内に排泄した尿を採集し、その量を計測した。また、その間に摂取した水分量を各自に記録させ、室内滞在中の飲水量とした。

f. AMS スコア

急性高山病の程度を判定するために、滞在 7 日間のそれぞれ退室前に、被験者に自己評価スコア (AMS スコア) の記入を行わせた。今回は、1991 年に国際低酸素シンポジウムで提唱された Lake Louise 自己評価スコアを用いた^{15,17)}。これは、頭痛、消化器症状、倦怠感・脱力感、めまい・ふらつき、睡眠障害の 5 項目に関して 0 (まったく感じない) から 3 (ひどく感じる) の範囲で点数化し、その合計が 3 点以上の場合を陽性と評価するものである。

C. 統計処理

SpO_2 以外の測定結果は、それぞれ平均土標準偏差で表した。 SpO_2 については、平均土標準誤差で表した。分析には繰り返しのある一元配置分散分析を行った。その際、分散分析で有意なものに対しては、Dunnet の多重比較によって、低酸素室滞在前の値を基準に検定を行った。そして、危険水準が 5 %未満をもって有意と判断した。

III. 結 果

a. 血液性状

表 2 に低酸素室滞在に伴う血液性状の変化を一覧にして示した。白血球数、血清鉄については、異常値は観察されなかった。

CK については、一般群では被験者 c-5, 競技者群では被験者 a-1 および a-3 を除く 4 名で変動が散見された。被験者 c-5 については実験期間中を通して常に高い値を示していたが、この原因については不明である。競技者群については、日中に継続的に行っていたトレーニングによる影響のためと考えられる。しかし、その変化に一定の傾向は見られず、両群とも低酸素室滞在による有意な変化は観察されなかった。

赤血球数の変化を図 2-a に示した。一般群で低酸素室滞在 3 日目に、競技者群では 4 日目および 6 日目に、低酸素室滞在前と比較して有意に高い値を示した。また、Hb 濃度についても同様の結果であった (図 2-b)。しかし、3～6 日間という期間は赤血球数の増加を引き起こすには短いと考えられる。図 2-c にみられるように、ヘマトクリットも、赤血球数、ヘモグロビン濃度と同様の変化を示しており、それゆえ、この現象は血漿量の一時的な減少による、見かけ上の増加である可能性が考えられた。

血清 EPO 濃度の変化を図 2-d に示した。変化的パターンは赤血球数やヘモグロビン濃度と同様であり、血漿量の一時的な減少による影響が大きいように思われる。ただし、前述した血漿量減少の影響を除くために、ヘマトクリットによって補正¹⁸⁾しても、一般群の滞在 6 日目 (2,500m 滞在 3 日目) の値は統計的に有意な上昇を示していた。一方で、競技者の EPO 濃度に対する効果は少なかったと考えられた。

表2 低酸素滞在中の血液性状の変化

一般被験者群

低酸素室

	WBC /μl	RBC *1000/μl	Hb g/dl	Hct %	CK IU/l/37°C	reticulo %	EPO mU/ml	Fe pg/dl	ADH pg/ml
c-1	6500	506	15.4	44.3	120	1.2	19.1	123	1.75
c-2	3900	491	15.8	45.1	138	1.4	22.3	115	3.79
c-3	7700	504	15.3	42.6	196	1.9	18.9	72	1.96
c-4	6100	519	15.1	43.1	109	1.0	25.8	89	0.56
c-5	4700	447	14.0	40.0	890	1.1	22.4	115	3.30
c-6	5400	513	15.8	44.5	188	1.3	21.1	84	0.70
平均	5716.7	496.7	15.2	43.3	273.5	1.3	21.6	99.7	2.01
SD	1351.2	26.1	0.7	1.8	304.1	0.3	2.6	20.7	1.32

競技者群

pre

	WBC /μl	RBC *1000/μl	Hb g/dl	Hct %	CK IU/l/37°C	reticulo %	EPO mU/ml	Fe pg/dl	ADH pg/ml
a-1	4900	452	14.1	41.2	202	0.9	19.7	82	3.22
a-2	4600	432	13.4	39.3	310	0.8	18.3	60	7.20
a-3	6700	503	15.4	45.2	154	0.9	14.8	118	3.29
a-4	3700	463	14.7	42.5	244	1.0	17.7	106	1.24
a-5	7500	473	14.1	41.0	206	1.6	19.1	80	3.44
a-6	6000	463	14.8	44.0	836	1.1	16.6	87	2.73
平均	5566.7	464.3	14.4	42.2	325.3	1.1	17.7	88.8	3.52
SD	1419.4	23.5	0.7	2.2	255.5	0.3	1.8	20.5	1.98

低酸素室宿泊1日後 (2,000m 1泊後)

	WBC /μl	RBC *1000/μl	Hb g/dl	Hct %	CK IU/l/37°C	reticulo %	EPO mU/ml	Fe pg/dl	ADH pg/ml
c-1	6500	506	15.3	44.0	155	1.0	23.8	160	3.95
c-2	3700	467	14.6	42.9	140	1.4	39.9	166	7.37
c-3	6900	511	15.4	43.4	168	1.7	24.0	71	1.99
c-4	6500	529	15.1	43.8	120	0.9	25.7	73	1.27
c-5	5000	445	13.9	39.6	761	0.9	19.5	60	10.50
c-6	6700	513	15.6	44.2	213	1.4	23.7	101	1.34
平均	5883.3	495.2	15.0	43.0	259.5	1.2	26.1	105.2	4.40
SD	1265.6	32.1	0.6	1.7	247.7	0.3	7.1	46.8	3.77

低酸素室宿泊1日後 (2,000m 1泊後)

	WBC /μl	RBC *1000/μl	Hb g/dl	Hct %	CK IU/l/37°C	reticulo %	EPO mU/ml	Fe pg/dl	ADH pg/ml
a-1	5200	471	14.7	43.2	236	1.0	24.8	32	3.59
a-2	6200	484	15.6	45.9	910	1.2	17.0	48	2.73
a-3	6400	499	15.1	44.7	121	0.8	20.5	53	2.20
a-4	4200	471	14.8	43.6	311	1.1	22.8	126	0.59
a-5	8500	470	14.0	41.1	339	1.9	23.9	79	1.10
a-6	5700	455	14.0	41.5	388	1.0	25.2	86	8.21
平均	6033.3	475.0	14.7	43.3	384.2	1.2	22.4	70.7	3.07
SD	1443.1	14.9	0.6	1.8	273.9	0.4	3.1	33.7	2.74

低酸素室宿泊3日後 (2,000m 3泊後)

	WBC /μl	RBC *1000/μl	Hb g/dl	Hct %	CK IU/l/37°C	reticulo %	EPO mU/ml	Fe pg/dl	ADH pg/ml
c-1	7000	506	15.6	44.5	114	0.9	26.2	36	3.21
c-2	4600	491	15.8	45.3	149	1.4	49.7	61	8.31
c-3	7300	519	15.5	44.0	136	1.5	22.7	34	2.37
c-4	5600	580	16.7	48.8	167	0.9	23.5	83	1.02
c-5	5100	482	15.0	43.2	879	0.9	19.5	91	5.31
c-6	5800	537	16.3	46.8	117	1.5	22.3	135	1.55
平均	5900.0	519.2	15.8	45.4	260.3	1.2	27.3	73.3	3.63
SD	1058.3	35.7	0.6	2.1	303.7	0.3	11.2	38.2	2.74

低酸素室宿泊3日後 (2,000m 3泊後)

	WBC /μl	RBC *1000/μl	Hb g/dl	Hct %	CK IU/l/37°C	reticulo %	EPO mU/ml	Fe pg/dl	ADH pg/ml
a-1	4900	479	15.0	43.8	131	1.0	21.6	97	3.14
a-2	6300	449	13.9	41.2	234	1.2	29.9	62	11.40
a-3	7800	512	15.9	46.2	105	1.0	17.5	135	2.24
a-4	4200	473	15.0	43.4	392	1.3	22.0	117	0.65
a-5	5300	477	14.4	41.3	190	2.0	16.7	64	1.77
a-6	6000	487	15.9	46.6	447	1.1	20.4	127	1.39
平均	5750.0	479.5	15.0	43.8	249.8	1.3	21.4	100.3	3.43
SD	1256.6	20.5	0.8	2.3	140.0	0.4	4.7	31.6	3.99

低酸素室宿泊4日後 (2,500m 1泊後)

	WBC /μl	RBC *1000/μl	Hb g/dl	Hct %	CK IU/l/37°C	reticulo %	EPO mU/ml	Fe pg/dl	ADH pg/ml
c-1	7300	517	15.6	45.2	118	1.1	29.1	126	2.64
c-2	4500	485	15.4	44.4	234	1.4	47.3	81	4.80
c-3	6700	508	15.4	42.9	174	1.4	27.0	73	2.27
c-4	6000	526	15.1	43.9	165	0.9	26.8	109	0.97
c-5	6000	473	14.7	42.0	706	1.1	18.4	77	3.69
c-6	6500	524	16.1	45.1	169	1.5	23.4	93	1.08
平均	6166.7	505.5	15.4	43.9	261.0	1.2	28.7	93.2	2.58
SD	950.1	21.8	0.5	1.3	221.1	0.2	9.9	20.7	1.49

低酸素室宿泊6日後 (2,500m 3泊後)

	WBC /μl	RBC *1000/μl	Hb g/dl	Hct %	CK IU/l/37°C	reticulo %	EPO mU/ml	Fe pg/dl	ADH pg/ml
c-1	7600	500	15.4	45.0	102	1.3	42.5	38	2.80
c-2	4700	478	15.2	44.9	219	1.2	54.0	55	2.12
c-3	7900	508	15.6	43.7	145	1.6	24.1	49	1.11
c-4	7400	516	14.8	44.1	162	1.0	28.1	48	1.01
c-5	5900	456	14.4	41.6	952	1.0	28.8	71	1.55
c-6	6300	512	15.9	45.6	252	1.4	35.5	96	0.75
平均	6633.3	495.0	15.2	44.2	305.3	1.3	35.5	59.5	1.56
SD	1225.8	23.4	0.5	1.4	321.3	0.2	11.1	20.9	0.78
平均	5066.7	497.2	15.6	45.2	227.3	1.4	23.2	97.7	4.98
SD	665.3	26.2	0.6	1.4	92.9	0.4	2.1	42.4	4.97

WBC; 白血球数, RBC; 赤血球数, Hb; ヘモグロビン濃度, Hct; ヘマトクリット値, CK; クレアチニンキナーゼ, reticulo; 網状赤血球数, EPO; エリスロポエチン, TP; 総タンパク, Fe; 血清鉄, ADH; 抗利尿ホルモン

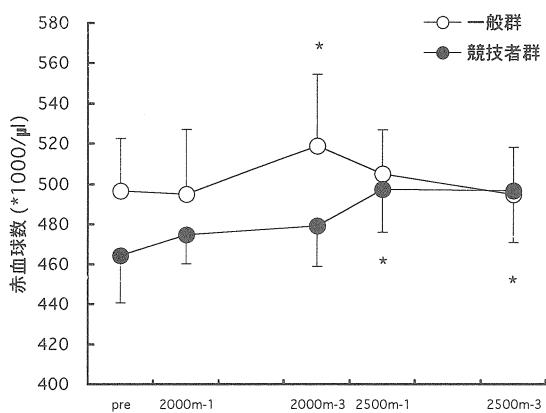


図 2-a 低酸素室滞在に伴う赤血球数の変化
(低酸素室滞在前との比較 *…p<0.05)

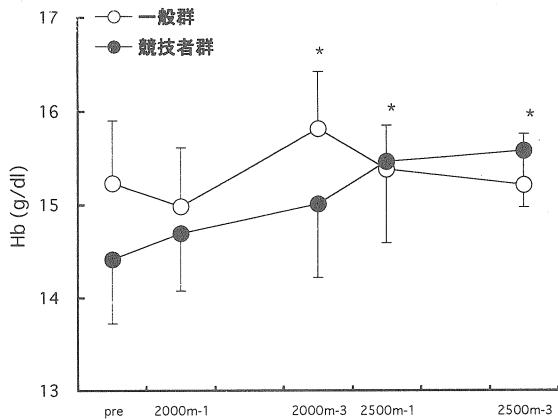


図 2-b 低酸素室滞在に伴うヘモグロビン濃度の変化
(低酸素室滞在前との比較 *…p<0.05)

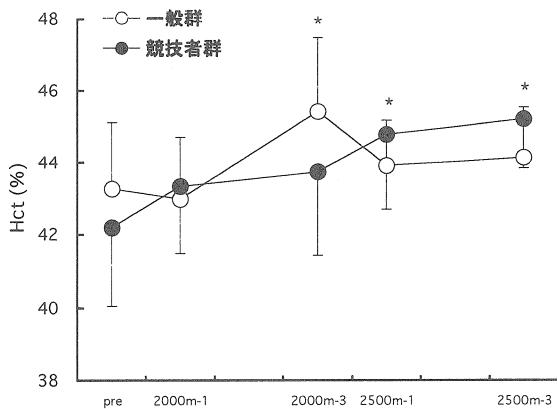


図 2-c 低酸素室滞在に伴うヘマトクリットの変化
(低酸素室滞在前との比較 *…p<0.05)

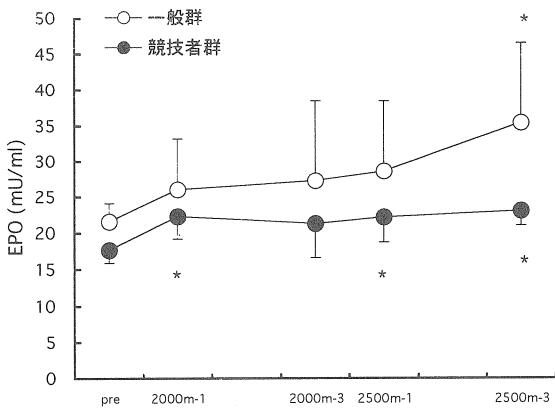


図 2-d 低酸素室滞在に伴う血清 EPO 濃度の変化
(低酸素室滞在前との比較 *…p<0.05)

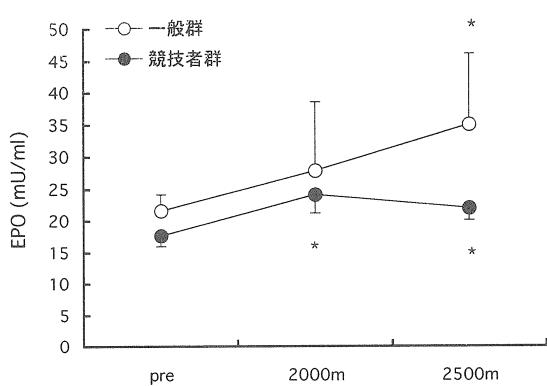


図 2-e 低酸素室高度の違いによる血清 EPO 濃度の変化
(低酸素室滞在前との比較 *…p<0.05)

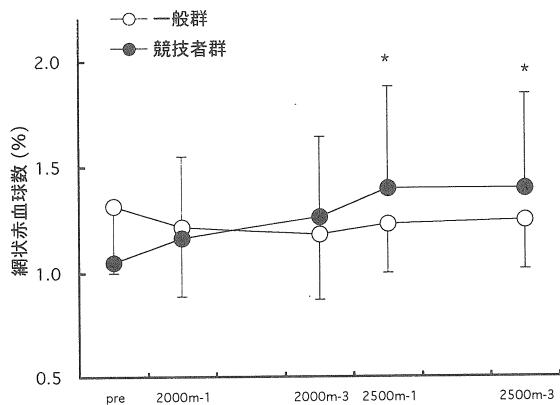


図 2-f 低酸素室滞在に伴う網状赤血球数の変化
(低酸素室滞在前との比較 *…p<0.05)

えられる。しかし、血清 EPO 濃度の応答には増加のピークを示す時期に個人差が認められたため、それぞれの高度でのピーク値の平均を求めた（図 2-e）。その結果、高度2,000m 相当の低酸素室滞在では、一般群では有意な変化は認められず、競技者群でのみ滞在前と比較して有意な増加が認められた。その後、高度を2,500m 相当に増加させることにより、血清 EPO 濃度は競技者群でその値を維持する一方で、一般群では高値を示し、両群とともに滞在前と比較して有意な変化が認められた。

網状赤血球数の変化を図 2-f に示した。一般群では有意な変化はみられなかったが、競技者群では滞在前に $1.1 \pm 0.3\%$ であったものが、低酸素室滞在 6 日目に $1.4 \pm 0.4\%$ へと有意な増加を示した。

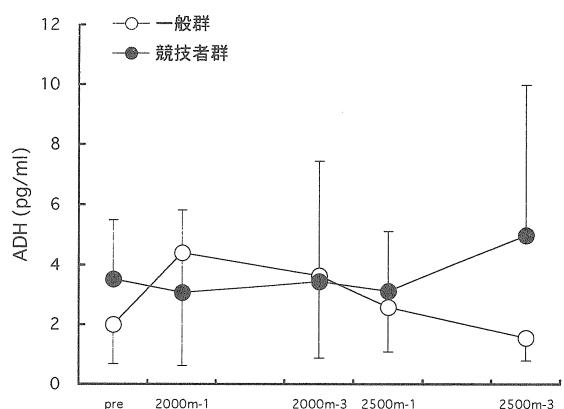


図 2-g 低酸素室滞在に伴う抗利尿ホルモンの変化
(低酸素室滞在前との比較 *…p<0.05)

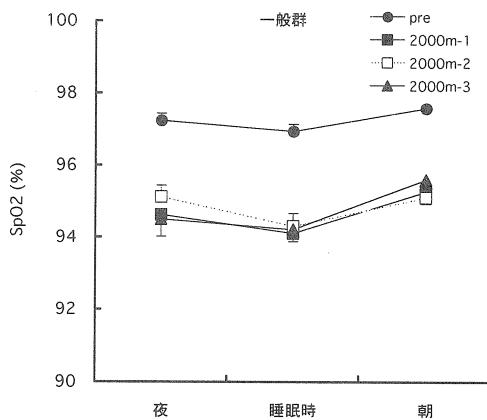


図 3-a 低酸素室滞在における動脈血酸素飽和度の時間帯別変化 (2,000m 滞在時)

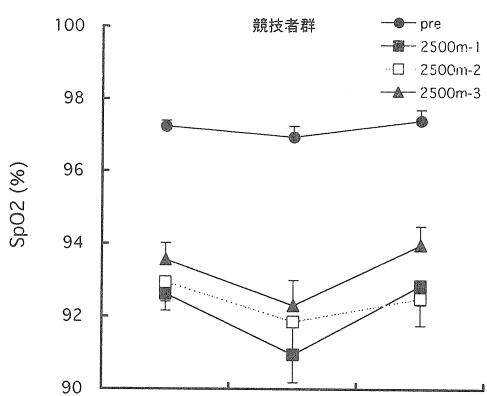
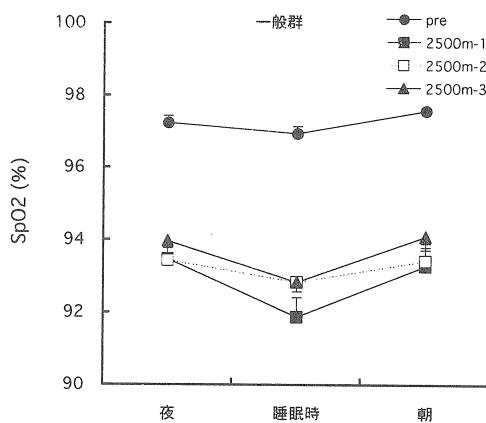
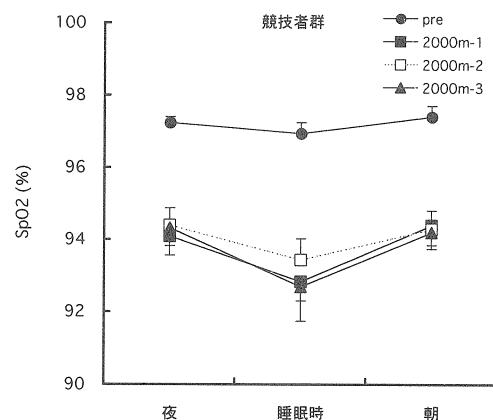


図 3-b 低酸素室滞在における動脈血酸素飽和度の時間帯別変化 (2,500m 滞在時)

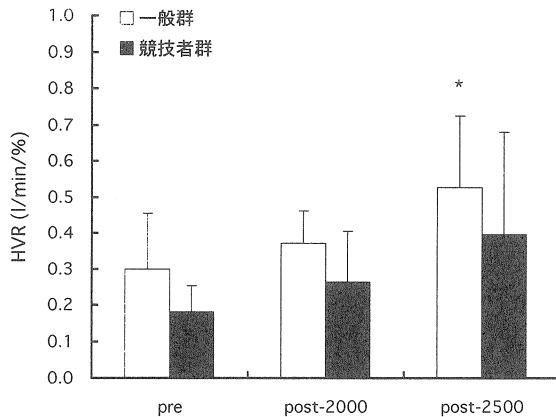


図4 低酸素室滞在に伴う低酸素換気応答の変化
(低酸素室滞在前との比較 *…p<0.05)

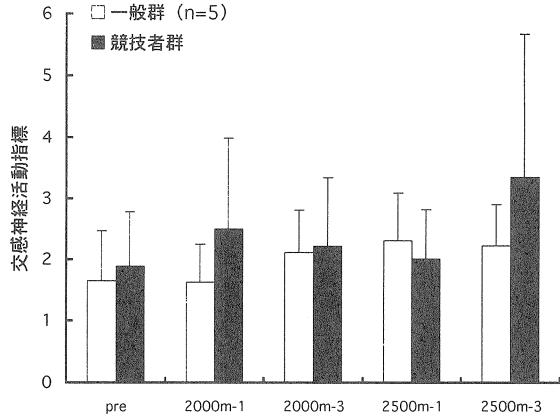


図5 低酸素室滞在に伴う交感神経活動の変化

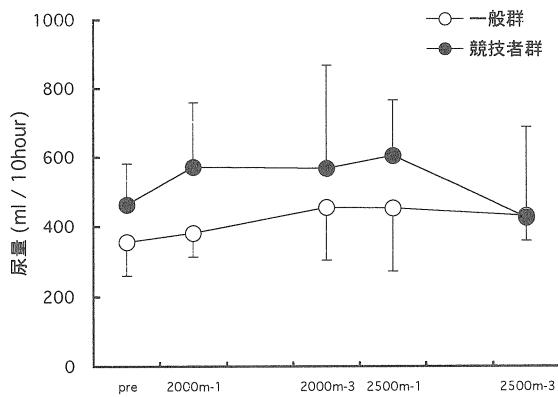


図6 低酸素室滞在に伴う尿量の変化
(○：一般群, ●：競技者群)

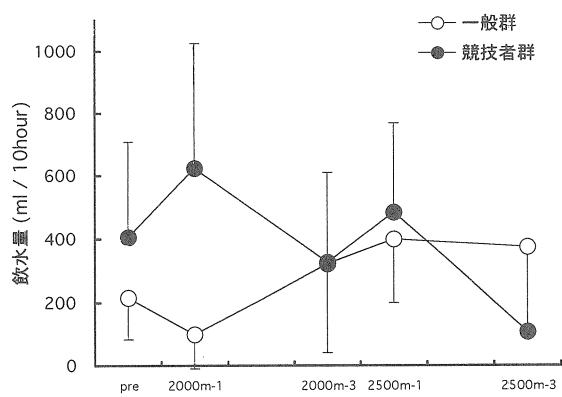


図7 低酸素室滞在に伴う飲水量の変化
(○：一般群, ●：競技者群)

抗利尿ホルモンの変化を図2-gに示した。被験者によっては基準値を逸脱する場合も見られたが、一定の傾向は認められなかった。

b. 動脈血酸素飽和度 (SpO_2)

図3-a, bに、低酸素室滞在中の時間経過に伴う動脈血酸素飽和度 (SpO_2) の変化について、夜、睡眠中、朝の時間帯ごとに平均値を示した。

通常酸素濃度下では覚醒時の SpO_2 は97%前後であり、睡眠時でもほとんど変化しなかったが、高度2,000m相当の低酸素室滞在1日目では、夜間の値は両群ともに有意に低下した（一般群：平均94.6%，競技者群：94.1%）。しかし、昨年度行った高度2,500m相当での滞在1日目の SpO_2 の値（平均92.3%）と比較すると高い値であった（図

3-a）。

高度を2,500m相当に増加することで、 SpO_2 の1日目の値は2,000m滞在時より低下した（一般群：平均93.5%，競技者群：92.6%）。また、睡眠時にはより低下する傾向が窺えた。その後、滞在を重ねることで、1日目と比較して SpO_2 の低下は緩やかとなる傾向にあった（図3-b）。

なお、一般群と比べて競技者群では、2,000m, 2,500m滞在時のいずれにおいてもわずかに低い値を示す傾向にあったが、有意な差は認められなかった。

c. 低酸素刺激に対する換気応答 (HVR)

低酸素刺激に対する換気応答 (HVR) の変化を図4に示した。両群とも低酸素室滞在により、HVRは増加する傾向を示したが、高度2,000m相当での

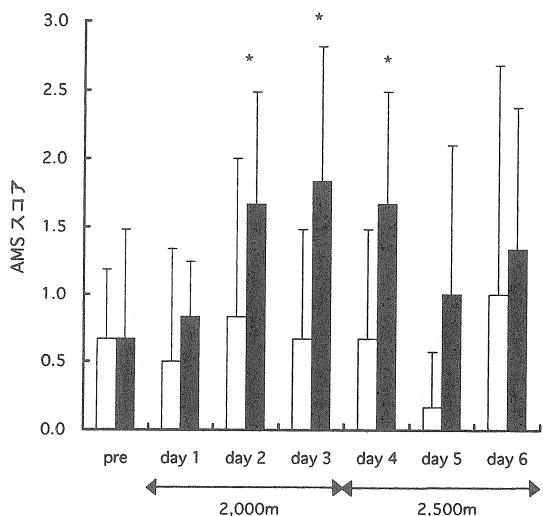


図 8 低酸素室滞在に伴う AMS スコアの変化
(○:一般群, ●:競技者群)

3日間滞在後の値には有意差はみられなかった。一方、高度2,500m 相当に3日間滞在させた後の値では、一般群でのみ滞在前と比較して有意な増加を示した。

なお、一般群と比べ競技者群の HVR は低値を示す傾向にあったが、両群間に有意差は認められなかった。

d. 交感神経活動

交感神経活動の変化を図 5 に示した。一般群について、1名に異常値が見られたため、それ以外の5名の平均値として表している。両群ともに低酸素室滞在に伴い、値が増加する傾向は認められるものの、個人差が大きく、系統的な変化は観察できなかった。また、両群間の値にも有意差は認められなかった。

e. 尿量、飲水量

低酸素室滞在10時間中の尿量および飲水量の変化を図 6 および図 7 に示した。尿量については、低酸素室滞在に伴って増加するようにも見受けられるが、統計的に有意な差ではなかった。また、一般群と比較して競技者群で高い値を示す傾向にあったが、両群間にも有意差は認められなかった。さらに、飲水量についても、個人差が大きく、系統的な変化は観察されなかった。

f. AMS スコア

急性高山病の自己判定スコア(AMS スコア)の変化を図 8 に示した。一般群では実験期間を通して大きな変化は認められなかつたが、競技者群では、低酸素室滞在に伴つて増加し、滞在 2 日目から 4 日目においては、滞在前と比較して有意に高い値を示した。そのうち AMS 陽性と判断される 3 点以上を記録した者は、一般群で 1 名、競技者群で 2 名であった。しかし、特に深刻な体調不良を訴える者はいなかつた。

IV. まとめ

本年度の研究結果を要約すると以下の通りである。

①被験者として一般健常男性 6 名と競技者 6 名を用い、1 日 10 時間の常圧低酸素室に滞在させた。滞在期間は 7 日間とし、1 日目をコントロールとして通常酸素濃度(20.9%)にて、2 日目以降の前半 3 日間は酸素濃度 16.3% (高度 2,000m 相当)、後半 3 日間は酸素濃度 15.4% (高度 2,500m 相当) にて宿泊させた。

②測定項目は、血液性状(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、白血球数、血清エリスロポエチン濃度、クレアチニナーゼ活性、血清鉄および抗利尿ホルモン)、動脈血酸素飽和度、低酸素に対する換気応答、自律神経系活動、尿量・飲水量、および急性高山病(AMS) 自己判定スコアであった。

③低酸素室滞在に伴い、競技者群ではヘマトクリット値に増加がみられ、血液濃縮の可能性が示唆された。血清 EPO 濃度は、一般群では滞在 6 日目(2,500m 滞在 3 日目)で有意な上昇を示したのに対し、競技者群では顕著な変化は認められなかつた。しかし、血清 EPO 濃度の応答には増加のピークを示す時期に個人差が認められたため、それぞれの高度でのピーク値で検討した結果、高度 2,000m 相当の低酸素室滞在では、一般群では有意な変化は認められなかつたが、競技者群で滞在前と比較して有意な増加が認められた。その後、高度を 2,500m 相当に増加させることにより、血清 EPO 濃度は競技者群でその値を維持する一方で、一般群では高値を示し、両群ともに滞在前と比較して有意な変化が認められた。網状赤血球数については、競技者群の 2,500m 滞在で

のみ、有意な増加がみられた。

④動脈血酸素飽和度は2,000m相当の低酸素室滞在によって、94%前後に有意に低下した。さらに2,500m相当での滞在では93%前後となり、睡眠時にはより顕著に低下する傾向が窺えた。また、一般群に比べ競技者群では、両高度において有意ではないものの、低値となる傾向がみられた。

⑤低酸素刺激に対する換気応答については、2,000m相当滞在後では有意な増加は認められなかった。しかし、続く2,500m滞在後には一般群でのみ有意な増加が観察された。また、一般群に比べ競技者群では有意ではないものの、低い値を示す傾向がみられた。

⑥交感神経活動、尿量・飲水量については、個人差が大きく系統的な変化はみられなかった。

⑦急性高山病(AMS)自己判定スコアは、低酸素室滞在に伴い、競技者群で有意に高い値を示した。

以上の結果から、1日10時間の滞在においては、高度2,000m相当の低酸素環境は、生理・生化学的応答にそれほど影響を及ぼさないと考えられた。Hinojosaらは、異なる酸素濃度下での血清EPO濃度の変化を検討し、7,000フィート(高度約2,100m)以下の酸素濃度下では、腎での低酸素化は持続せず、EPO分泌の亢進も制限されると推察している⁴⁾。また、前嶋は、高度2,000m相当での1日10時間の低酸素室滞在のみでは、パフォーマンスに有意な向上を認めなかっとしている⁹⁾。これらの報告からも、高度2,000m相当の低酸素環境それ自体は至適な条件とは言い難く、低酸素室滞在による受動的効果を期待するのであれば、高度2,500m相当の方がより適当と思われる。

一方、競技者群のHVRは、有意ではないものの一般群よりも低い値を示す傾向にあった。宮村は持久的トレーニングを積んだ競技者の換気応答は、一般人と比較して低値であるとしている¹⁰⁾。また、低酸素室滞在中のSpO₂についても一般群と比較してわずかに低値を示していた。これらのことから、競技者群では低酸素刺激に対する応答が一般人と比べて異なっていると推測される。また、AMSスコアは、競技者群において高度2,000m相当の低酸素室滞在中から有意に高値を示した。高地トレーニングの競技力向上への影響については、その効

果と悪影響の差によって決定されるとも考えられ、一方で、低酸素室滞在による体調の変化はトレーニングを実施する上で大きく影響すると思われる。

これらのことから、競技者を対象として低酸素室を利用した“Living high, training low”法を行った際には、導入として比較的低い相当高度から開始し、高地順応を図ることが望ましいと思われる。また、競技者においては、低酸素刺激に対する応答の時間や程度に大きな個人差が生じる可能性も示唆された。従って、今後、その個人の応答の違いによる設定酸素濃度や滞在期間の調整、ひいては低酸素室滞在の可否などを検討する必要があると考えられる。
(村岡 功, 矢澤 誠)

引用文献

- 1) 浅野勝巳：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, 1991.
- 2) Ashenden MJ., Gore CJ., Martin DT., Dobson GP., Hahn AG. : Effects of a 12-day “live high, train low” camp on reticulocyte production and haemoglobin mass in elite female road cyclists. Eur.J.Appl.Physiol., 80 : 472-478, 1999.
- 3) Ashenden MJ., Gore CJ., Dobson GP., Boston TT., Parisotto R., Emslie KR., Trout GJ., Hahn AG. : Stimulated moderate altitude elevates serum erythropoietin but does not increase reticulocyte production in well-trained runners. Eur.J.Appl.Physiol., 81 : 428-435, 2000.
- 4) Hinojosa J.R., Sivieri M.V., Karlsen T., Ge R. L., Fong W., Stray-Gundersen J., Levine B.D. : Dose response relationship between altitude and erythropoietin release. Med.Sci.Sports Exerc. 32 (Suppl) : S47, 2000.
- 5) Koistinen PO., Rusko H., Irijala K., Rajamaki A., Penttinen K., Sarparanta V.-P., Karpakka J., Leppaluoto J. : EPO, red cells, and serum transferrin receptor in continuous and intermittent hypoxia. Med. Sci. Sports Exerc., 32(4) : 800-804, 2000.
- 6) Levine BD., Stray-Gundersen J., Duhaime G.,

- Snell PG., Friedman DB. : "Living high-training low" : the effect of altitude acclimatization/normoxic trained runners. *Med.Sci.Sports Exerc.*, 23 (Suppl) : S25, 1991.
- 7) Levine BD., Stray-Gundersen J. : A practical approach to altitude training : Where to live and train for optimal performance enhancement. *Int. J. Sports Med.*, 13 : S209–212, 1992.
- 8) Levine BD., Stray-Gundersen J. : "Living high-training low" : effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J. Appl. Physiol.*, 83(1) : 102–112, 1997.
- 9) 前嶋 孝 : 低酸素トレーニング. *体育の科学*, 49(5) : 417–423, 1999.
- 10) 宮村実晴 : 低酸素環境における換気応答. *体育の科学*, 51(4) : 281–285, 2001.
- 11) 村岡 功 : 高地トレーニングの問題点. *Jap. J. Sports Sci.*, 15(5) : 315–320, 1996.
- 12) 村岡 功, 青木純一郎, 前嶋 孝, 川初清典, 植木眞琴, 内丸 仁, 矢澤 誠, 青野 博, 河原弥生, 岩川孝志 : 低酸素室利用に関する実験研究. 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, No.IV JOC 高地トレーニング医・科学サポート－第9報－. 73–87, 2000.
- 13) 村岡 功, 矢澤 誠, 青木純一郎, 前嶋 孝, 植木眞琴, 内丸 仁, 青野 博, 河原弥生, 岩川孝志 : 低酸素室滞在に関する基礎研究. 平成12年度日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告, No.IV JOC 高地トレーニング医・科学サポート－第10報－. 55–65, 2001.
- 14) 村岡 功 : リビングハイ・トレーニングロウの考え方. *体育の科学*, 51(4) : 286–289, 2001.
- 15) Roach RC., Loeppky JA., Icenogle MV. : Acute mountain sickness : increased severity during simulated altitude compared with normobaric hypoxia. *J.Appl.Physiol.* 81(5) : 1908–1910, 1996.
- 16) Rusko HR. : New aspects of altitude training. *Am.J.Sports Med.*, 24(6) : S48–52, 1996.
- 17) Savourey G., Guinet A., Besnard Y., Garcia N., Hanniquet A.M., Bittel J. : Evaluation of the Lake Louise acute mountain sickness scoring system in a hypobaric chamber. *Aviat.Space Environ.Med.* 66 : 963–967, 1995.
- 18) Van Beaumont W. : Evaluation of hemoconcentration from hematocrit measurements. *J. Appl. Physiol.*, 32(5) : 712–713, 1972.

2) 低酸素トレーニングに関する実験研究

(1) 常圧・低酸素環境でのインターバルトレーニングの効果

報 告 者 伊藤 雅充¹⁾ 宮本英美子²⁾ 奥村 真理²⁾

1. 緒論

高地トレーニングに対する取り組みは1950年代後半から行われるようになった。当時の高地トレーニングの目的は、高地でのパフォーマンス向上であったが、近年では、主に低地でのパフォーマンス向上に主眼がおかれるようになった。しかし、高地トレーニングが高地でのパフォーマンスに効果的であるとは認識されているものの、低地でのパフォーマンス向上に関しては、一致した見解が得られているわけではない⁷⁾。

従来の高地トレーニングは、高地に滞在し高地でトレーニングを行う living high, training high であるため、トレーニング量をこなせない、疲労が抜けない、体調を崩しやすいなどの欠点があり平地と比較してトレーニングの質的、量的低下がある⁷⁾といわれている。この問題を解消する目的で、Levine らにより、高地に滞在し低地でトレーニングを行う Living high, training low が提唱された。その結果、最大酸素摂取量やパフォーマンスの向上がみられたという報告¹¹⁾をしている。また、Rusko らは、常圧下で低酸素環境を作る低酸素室を開発し、エリスロポエチン濃度、2,3ジホスホグリセリン酸、赤血球数が有意に増大したという血液性状の変化を報告⁸⁾している。しかし、Living high, training low を用いた研究は、長時間の滞在をすることで効果がみられ、比較的短時間の滞在では効果がみられないといわれている。そこで、短時間で効果を得ることができるのでないかと、用いられるようになったのが Living low, training high である。Boning¹⁾は、持久性パフォーマンスの向上は Living high, training low よりも Living

low, training high の方が効果的であり、呼吸筋の強化、低酸素換気応答の増加、心拍数の減少、赤血球と血漿量の増加、緩衝能力の強化といった生理的な変化がみられたと報告している。しかし、これまでの低酸素環境でのトレーニングに関する研究では、コントロール群と比較した研究が少ないことからトレーニングの有効性に関しては明確にされていない。また、有酸素性能力の効果に関する報告が多く、無酸素性能力への影響に関する研究は少ない。伊藤ら²⁾は、低圧・低酸素環境下での8週間の自転車スプリントトレーニングで最大酸素摂取量の増加がみられなかったが、平均パワーおよびピークパワーの増加が低酸素暴露4週以後でみられたと報告している。

本研究では、酸素濃度を15.6% (2400m相当) に設定した常圧・低酸素環境下でインターバルトレーニングを行わせ、最大酸素摂取量、換気量などの有酸素性能力、最大無酸素性パワー、酸素借入量などの無酸素性能力のトレーニング効果について検討した。

2. 方 法

1) 低酸素室および被験者

本研究は、日本体育大学健志台キャンパスに設置されている常圧・低酸素室で行った。

被験者は、体育大学運動部（トライアスロン）男子学生13名であり、これまでに呼吸循環器系に既往症のない者とした。全ての被験者には本実験の目的、方法などを説明し実験に参加することの同意を得た。なお、本実験は日本体育大学倫理委員会の承認を得ている。これらの被験者は各群の最大酸素摂取量の平均が等しくなるよう、常圧・低酸素室内にてトレーニングを行う群(低酸素群)と常酸素下でトレーニングを行う群(常酸素群)とに分けた。実験開始時の低酸素群の身長、体重、

1) 日本体育大学

2) 日本体育大学大学院

最大酸素摂取量の平均及び標準偏差は、173.4±4.71cm³, 64.4±3.82kg, 61.2±5.13ml/kg/min であり、常酸素群はそれぞれ170.9±7.52cm³, 63.7±4.86kg, 61.1±4.33ml/kg/min であった。

2) 実験プロトコール

①測定項目

測定は、酸素濃度20.9%（以下、常酸素環境とする）、温度23°C、湿度55%に設定した室内にて行った。

a. エアロビックテスト

トレーニング前後に自転車エルゴメーター（232 CXL Computoronic, Combi）を用いて、最大酸素摂取量の測定を行った。回転数を60rpmに固定し、100Wから30W/分ずつ負荷を漸増させる漸増負荷法により疲労困憊に至るまで自転車駆動をさせた。呼気ガスは、K4b²（Cosmed）を用いて測定し、同時にハートレートモニター（Accurex Plus, Polar）を用いて心拍数の測定を行った。呼気ガスと心拍数は、K4b²用のデータ分析ソフト（K4b² Data management Software, Cosmed）を用いて一呼吸ごとに計測されたデータをコンピューターに取り込み、30秒毎に1分間値を算出した。最大酸素摂取量は、30秒毎に算出した酸素摂取量のうち最も高い値とした。その時の換気量を最大換気量とした。最大心拍数は、酸素摂取量同様30秒毎に算出した心拍数のうち最も高い値とした。

血中乳酸濃度は、安静時、各ステージ終了時に耳朶より採血し、ラクテート・プロ（ARKRAY）を用いて測定した。耳朶をアルコール綿で消毒し乾燥させ、採血用穿刺器具で穿刺し血液を得た後、ラクテート・プロに挿入したラクテート・プロセンサーの先端に血液を接触させ血液約5 μlを吸引し、表示された測定値を記録した。

動脈血酸素飽和度（SpO₂）は、パルスオキシメーター（NPB-290、マリンクロット社）を用いて測定した。第3指の指尖にプローブを装着した。プローブからでている可視光と赤外線からなる2つの光の吸光度から計測された測定値をコンピューターで1秒毎に記録した。

b. アネロビックテスト

自転車エルゴメーター（PowerMax V-II,

Combi）を用いて、トレーニング前後に測定を行った。被験者は、体重の7.5%の負荷で30秒間全力自転車駆動（以下、ウイングートアネロビックテストとする）を行った後、20分間座位にて安静状態を保った。自転車駆動中、発揮されたパワー、回転数を計測し、0.1秒ごとにコンピューターに記録した。得られたパワーから、30秒間の平均値およびピーク値とそれを体重で除した値（以下、体重あたりの平均値、体重あたりのピーク値とする）を求めた。

安静時より運動終了20分後まで呼気ガス、心拍数およびSpO₂をエアロビックテストと同様の方法で測定した。血中乳酸濃度は、安静時、運動直後、5分後、20分後に測定した。得られた呼気ガスより酸素借および酸素負債量を求めた。酸素借は、酸素需要量からウイングートアネロビックテスト中の酸素摂取量を引いた値とし、酸素需要量は、エアロビックテストを行った時の運動強度と酸素摂取量の回帰線上にアネロビックテストの平均パワーを外挿することにより酸素需要量を推定し、それに時間をかけることにより算出した。酸素負債量は、運動終了直後より20分間の回復期の酸素摂取量とした。

c. 血液性状

トレーニングを行う前、トレーニング期間中の1回目、2回目および6回目の翌日、全トレーニング終了後の計5回採血を行った。血液を正中静脈からシリングで10ml採取し、そのうち2 mlを血液算定用に冷蔵保存した。1 mlは5 mlの除蛋白液と混合し、3000回転で5分間遠心分離機にかけた後、上清を2.5~3 ml採取し冷凍保存した。残りの7 mlは3000回転で10分間遠心分離機にかけ、血清1 mlをセーラムチューブに入れ冷凍保存した。得られた血液よりエリスロポエチノン濃度（EPO）、網状赤血球数（Ret）、赤血球数（RBC）、ヘモグロビン濃度（Hb）、ヘマトクリット値（Hct）、2,3ジホスホグリセリン酸（2,3-DPG）を測定した。分析に関しては、すべて三菱化学BCLに依頼した。

②トレーニング

低酸素群は酸素濃度15.6%（2400m相当）に設定した常圧・低酸素室内にて行い、常酸素群は常酸素環境にて行った。温度、湿度は両群ともに23°C、

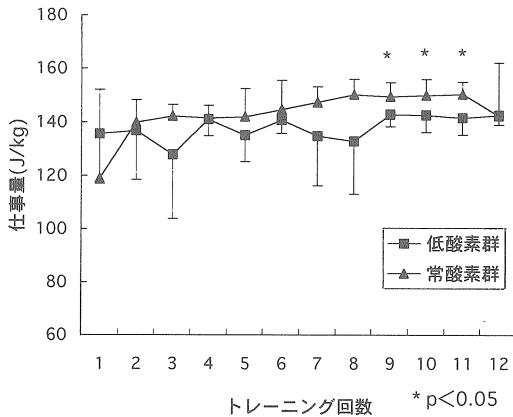


図1 トレーニング中の仕事量の変化

55%に設定した。

トレーニングには自転車エルゴメーター(PowerMax V-II, Combi)を使用した。体重の7.5%負荷を最大努力で30秒間自転車駆動、4分30秒間の休息を6セット繰り返すインターバルトレーニング(以下、ITとする)を、週3回の頻度で4週間、合計12回のトレーニングを行った。トレーニング中は、ハートレートモニターおよびパルスオキシメーターを装着し、心拍数、SpO₂を測定した。ハートレートモニターで得られた心拍数はインテラフェイスにて読み取り、コンピューターへ転送して記録した。また、自転車駆動中に発揮されるパワーおよび回転数を0.1秒ごとにコンピューターで記録した。

低酸素群は、低酸素の暴露時間を一定にするため warm up10分, cool down 24分30秒と時間を設定し、主運動(25分30秒)と合わせて1時間低酸素室内に滞在した。

3) 統計処理

それぞれの測定結果はすべて平均値±標準偏差で表した。トレーニング前後の測定結果の統計処理は二元配置の分散分析を行い、有意な効果が認められた場合のみ、多重比較(LSD)を行った。いずれも危険率5%をもって有意とした。

3. 結 果

本研究では、ITの効果を比較するとともに、常

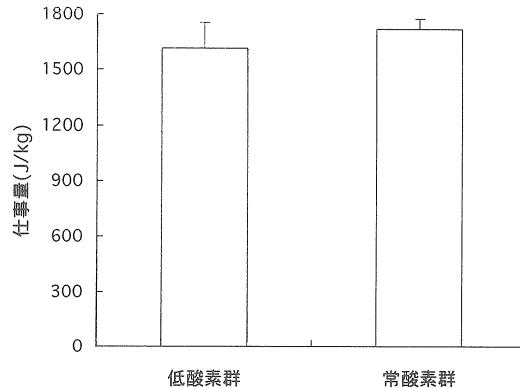


図2 体重あたりのトレーニング総仕事量

*トレーニング1回ごとの体重あたりの仕事量を算出し、12回の合計を総仕事量として算出

圧・低酸素環境がトレーニング効果にどのような影響を及ぼすかをみた。

4週間にわたるITのトレーニング量の変化を図1に示した。トレーニング期間後半、常酸素群のトレーニング量が低酸素群に比べ有意に多くなった。また、全トレーニングの総仕事量は、群間での差が有意傾向を示した(図2)。

エアロビックテストの測定結果を表1に示した。最大酸素摂取量は、低酸素群は2.2ml/kg/min、常酸素群は2.4ml/kg/min増加したが、その変化は有意ではなかった。最大換気量、換気当量、最大心拍数も同様に、有意な変化はみられなかった。乳酸の上昇開始点であるLT強度では、低酸素群のみ有意な増加がみられた(16.7watt, p<0.05)。また、全ての項目を群間で比較したが有意な差は認められなかった。

ワインゲートアネロビックテストの結果を表2に示した。平均パワーは、低酸素群、常酸素群とともに有意に增加了(低酸素群: 32watt, 常酸素群: 43.3watt, p<0.05)。ピークパワーは、低酸素群のみ24.6wattの有意な增加(p<0.05)を示したが、常酸素群の変化(21.9watt)は有意でなかった。また、体重あたりの平均パワーは、低酸素群、常酸素群ともに有意な増加を示したが、ピークパワーには、両群とも有意な変化がみられなかった。

アネロビックテストで得られた平均パワーの、トレーニング前後の増加分を求め、図3に示した。

表1 低酸素群および常酸素群のトレーニング前（pre）後（post）におけるエアロビックテスト測定結果

	低酸素群		常酸素群	
	pre	post	pre	post
最大酸素摂取量 (ml/kg/min)	61.2±5.13	63.4±4.39	61.1±4.33	63.5±3.96
最大換気量 (l/min)	126.7±24.03	139.6±9.82	133.6±30.89	134.6±24.05
換気当量	31.1±4.64	33.4±2.99	32.9±4.64	32.0±4.07
1回換気量 (l)	2.3±0.20	2.3±0.14	2.1±0.23	2.3±0.41
最大心拍数 (bpm)	185.4±7.61	187.9±8.36	189.2±6.24	189.5±9.27
LT強度 (watt)	181.1±24.73	197.8±22.54*	185.6±23.50	196.2±25.62
				平均±標準偏差

* p<0.05

表2 低酸素群および常酸素群のトレーニング前（pre）後（post）のウィーンゲートアネロビックテスト中に発揮された無酸素性パワー

	低酸素群		常酸素群	
	pre	post	pre	post
平均パワー (watt)	547.6±30.50	579.6±51.16*	550.2±61.32	593.5±72.14*
ピークパワー (watt)	706.1±66.81	730.7±77.65*	704.8±64.92	726.7±73.19
体重あたりの平均パワー (watt/kg)	8.5±0.40	8.9±0.58*	8.6±0.38	9.2±0.62*
体重あたりのピークパワー (watt/kg)	10.9±0.64	11.2±0.71	11.1±0.34	11.3±0.50

平均±標準偏差

* p<0.05

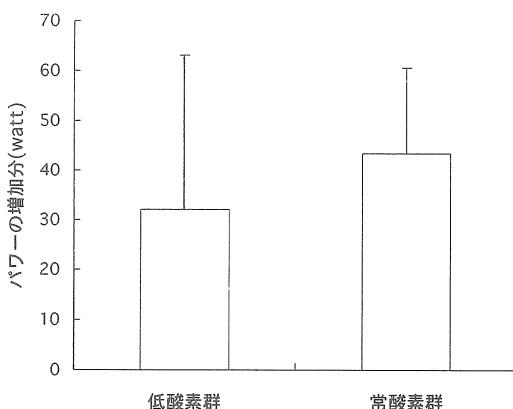


図3 平均パワーの変化

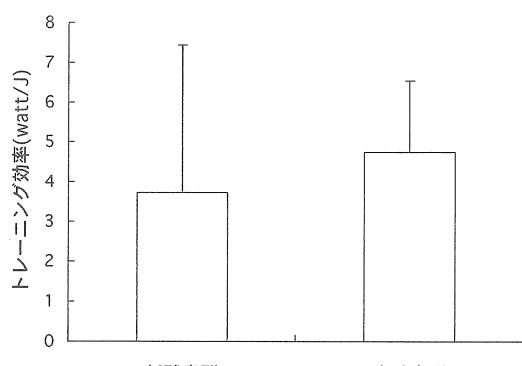


図4 トレーニング効率

※ ウィーンゲートアネロビックテストで得られた平均パワーの増加分をトレーニングの総仕事量で除して算出した

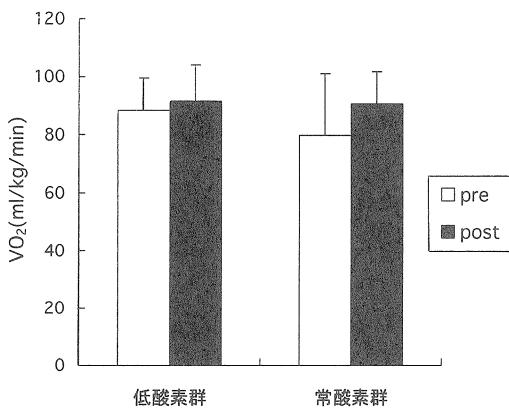


図 5 低酸素群および常酸素群のトレーニング前 (pre) 後 (post) の酸素借

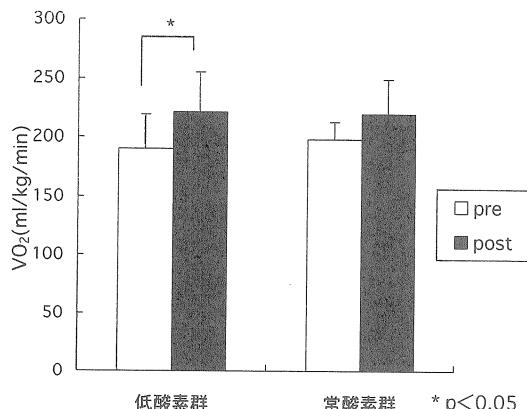


図 6 低酸素群および常酸素群のトレーニング前 (pre) 後 (post) の酸素負債量
* p<0.05

表 3 低酸素群および常酸素群のトレーニング前 (pre), 6回目の翌日 (mid), 終了後 (post) における血液性状

	低酸素群			常酸素群		
	pre	mid	post	pre	mid	post
EPO (mIU/ml)	18.5±5.50	16.9±6.47	19.0±3.56	18.6±4.06	17.4±4.14	20.1±4.57
Ret (%)	12.0±3.74	10.9±1.77	11.1±1.68	11.3±3.20	10.7±2.42	11.3±2.73
Hb (g/dl)	15.1±0.85	15.1±0.98	14.9±0.92	15.1±1.03	15.1±0.86	15.2±0.80
Hct (%)	45.4±2.62	46.5±1.48	46.0±2.58	45.4±2.41	46.8±1.74	46.9±2.45
RBC ($10^1/\mu\text{l}$)	492.7±21.54	496.4±11.76	491.4±19.33	502.8±29.89	505.3±16.68	506.7±25.52
2,3-DPG ($\mu\text{mol}/\text{ml}$)	3.8±2.60	2.0±0.25*	2.1±0.55*	2.4±0.65	2.0±0.33	2.2±0.46

平均±標準偏差

* p<0.05

また、30秒間の平均パワーの增加分をトレーニング1日あたりの仕事量で除して算出したトレーニング効率を図4に示した。どちらも群間に有意な差は認められなかった。

酸素借では、有意ではないものの低酸素群は3.1 ml/kg/min、常酸素群は11.0ml/kg/min増加した(図5)。酸素負債量は、低酸素群が30.8ml/kg/min、常酸素群が20.9ml/kg/min増加したが、低酸素群の増加のみが統計的に有意($p<0.05$)なものであった(図6)。アネロビックテストのすべての項目において低酸素群と常酸素群との間には有意な差がみられなかった。

血液性状の分析結果を表3に示した。EPO, Ret,

RBC, Hb, Hctに有意な変化がみられなかった。2,3-DPGは、低酸素群のみトレーニング前との比較で、トレーニング6回目の翌日、全トレーニング終了後に有意な減少がみられた。

4. 考 察

本研究の目的は、常圧・低酸素環境でのインターバルトレーニングが有酸素能力および無酸素能力の改善を促すかどうかを検討することであった。そこで本研究では、活動的な男子学生を対象として、低酸素環境、常酸素環境のそれぞれにおいてITを週3回、4週間行わせ、酸素摂取量およびパワーに及ぼす影響を検討した。

低酸素環境での最大酸素摂取量は、常酸素環境に比べ減少し、本研究で設定した2500m相当では10%低下するといわれている³⁾。そこで低酸素群の最大酸素摂取量を10%減少させた値を求め、低酸素群および常酸素群それぞれのトレーニング中発揮されたパワーより、最大酸素摂取量の何%でトレーニングを行っているかを算出したところ、低酸素群は195% VO₂max、常酸素群は176% VO₂maxで行っていたと推定できた。また、トレーニング中の仕事量は、各回のトレーニングを群間で比較するとトレーニング期間の後半で常酸素群の方が有意に多かった。総仕事量においても低酸素群に比べ常酸素群の方が多かった。これらのことから、トレーニング中の負荷が低酸素群のほうが高いため、仕事量が常酸素群と比較して少なくなったと考えられる。

低酸素環境を利用したトレーニングは有酸素性能力の効果について報告しているものが多い。Levineらは、2400mの高地で Living high, training low, Living high, training high を用いた4週間のトレーニングを行った結果、最大酸素摂取量が増加したと報告している¹¹⁾。また、低酸素環境での最大酸素摂取量を向上させる要因として、最大換気量の増大が挙げられている⁶⁾。本研究では、トレーニング前後の最大酸素摂取量に有意な変化がみられなかったことから、ITは有酸素性能力を高めるほどのトレーニングではなかったと考えられる。また、最大換気量の増加もみられなかったため、呼吸筋が強化されることもなかったといえる。常酸素群と低酸素群を比較すると、表1に示しているLT強度を除いた全ての項目において有意な差はみられなかった。LT強度が低酸素群で有意に増加したのは、低酸素群が常酸素群に比べ高負荷のトレーニングを行っていたことが、その原因のひとつであると考えられる。常酸素群が、低酸素群と同等の運動負荷（およそ195% VO₂max）でトレーニングを行っていないため、明確な解答は得られないものであるが、本研究のようにITを低酸素室内で行うことにより、乳酸の緩衝能力の向上がより期待できるのかもしれない。

アネロビックテストの結果、低酸素群、常酸素群ともに平均パワーおよび体重あたりの平均パワ

ーが有意に增加了ことから、ITは、ウイング一トアネロビックテスト中の特に後半部分のパワー発揮に大きな改善をもたらしたと考えられる。ピクパワーは、低酸素群のみ有意な増加を示した。トレーニング効率は群間に差がなかったことから、常酸素環境での同様のトレーニングに比較して、同程度のトレーニング効果しか期待できないといえる。

4週間のITの結果、酸素借に有意な変化がみられなかった。常酸素環境において170% VO₂max強度で20秒間の運動と10秒間の休息を疲労困憊まで繰り返すインターバルトレーニングを行うと、3週間以内に酸素借は有意に増加することが報告されている⁹⁾。本研究では、常酸素群は運動負荷がほぼ同等であり、低酸素群は先行研究よりも高強度であるにもかかわらず酸素借が増加しなかったことから、運動時間、頻度などトレーニングそのものに要因があると考えられる。酸素負債量は、低酸素群のみ有意な増加を示した。トレーニング後、低酸素室で約25分間 cool down を行ったため、回復期における低酸素暴露が何らかの影響を及ぼしていると考えられるが具体的にはわからない。

本研究では、酸素濃度を15.6%に設定した常圧・低酸素室で1日1時間、週3回断続的に低酸素の刺激をうけていた。15.4%に設定された常圧・低酸素室で1日12時間、7日間連続的に低酸素の刺激をうけることで、EPO、Retが増加し、3週間以上経過するとRBC、Hb、Hct、2,3-DPGが増加するという報告がある⁴⁾。本研究では、2,3-DPGが低酸素群のみトレーニング前と比較してトレーニング6回目の翌日およびトレーニング後に有意な減少が認められたが、トレーニング前の値が基準値の範囲を超えていたためこのような現象がみられたのではないかと考えられ、常圧・低酸素環境の影響であるかどうかは定かではない。他の全ての項目では、有意な変化は認められなかったことから、1日1時間×週3回×4週間の低酸素暴露は、血液性状には影響を与えないといえる。

以上より、常圧・低酸素環境での当インターバルトレーニングは、有酸素性能力は、LT強度の向上から緩衝能力の改善を促すと考えられる。無酸素性能力は、平均パワーは両群ともに有意に増加

し、ピークパワーおよび酸素負債量は低酸素群のみ有意に増加したことから、常酸素環境と変わらないトレーニング効率で無酸素性能力を向上させる可能性を示している。しかし、本研究では、常圧・低酸素環境がインターバルトレーニングに及ぼす影響について明確な結果を得ることができなかつたため、今後は、酸素濃度およびトレーニング内容について、さらに検討する必要があると思われる。

5. まとめ

本研究は、常圧・低酸素環境でのインターバルトレーニングが有酸素性能力および無酸素性能力に与える影響について検討することを目的として、活動的な男子学生13名を対象に、低酸素群および常酸素群の2群に分け週3回、4週間のトレーニングを行った。また、トレーニング前後に、エアロビックテストおよびアネロビックテストの測定を行った。

測定結果は以下のとおりである。

1. トレーニングの総仕事量は、常酸素群に比べ低酸素群の方が少ないが、アネロビックテストのトレーニング効率(トレーニング効率/トレーニング量)は変わらない
2. LT強度は、低酸素群のみ有意に増加した。
3. ピークパワーおよび酸素負債量は、低酸素群にのみ有意な増加が認められた。

以上のことより、常圧・低酸素環境でのインターバルトレーニングは、乳酸の緩衝能力の改善を促し、無酸素性能力を常酸素環境と変わらないトレーニング効率で向上させる可能性があると考えられる。

6. 引用文献

- 1) Boning D. Altitude and hypoxia training—a short review. Int J Sports Med 18(8) : 565—70, 1997.
- 2) 伊藤 穣. 鈴木 康弘. 山崎 一彦. 高松 薫. 低酸素トレーニングによる緩衝能の改善が高強度運動パフォーマンスに及ぼす影響. デサントスポーツ科学 22 : 117—126, 2001
- 3) Wilmore JH, and Costill DL. Exercise in hypobaric, hyperbaric, and Microgravity Environments. In : Physiology of sport and exercise (2nd edition), edited by Jack H. Wilmore, David L. Costill, 1999, p344—375.
- 4) Koistinen PO, Rusko H, Irajala K, Rajamaki A, Penttinen K, Sarparanta VP, Karpakka J, and Leppaluoto J. EPO, red cells, and serum transferrin receptor in continuous and intermittent hypoxia. Med Sci Sports Exerc 32(4) : 800—4, 2000.
- 5) Levine BD, and Stray-Gundersen J. “Living high-training low”: effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. J Appl Physiol 83(1) : 102—12, 1997.
- 6) Mizuno M, Juel C, Bro-Rasmussen T, Mygind E, Schibye B, Rasmussen B, and Saltin B. Limb skeletal muscle adaptation in athletes after training at altitude. J Appl Physiol 68(2) : 496—502, 1990.
- 7) 村岡 功. 高地トレーニングの問題点. Jpn J Sports Sci 15(5) : 315—320, 1996.
- 8) Rusko HR. New aspects of altitude training. Am J Sports Med 24(6 Suppl) : S48—52, 1996.
- 9) Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M, Hirai Y, Ogita F, Miyachi M, and Yamamoto K. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and $\dot{V}O_{2\max}$. Med Sci Sports Exerc 28(10) : 1327—30, 1996.

(2)低酸素環境利用中のトレーニング強度が performance に及ぼす影響

報告者 前嶋 孝¹⁾

1. はじめに

スピードスケート選手における高地トレーニングの期間は前述（2.-5）「スケート競技スピードスケート」したように、スピードスケートの運動特性を考慮して、ソルトレークシティー・オリンピック直前2週間前からパークシティー（標高2200m）滞在は約1週間程度とすることにした。この場合でもトレーニング強度については慎重でなければならないであろう。

本研究の目的は、低酸素環境の利用を1週間にした場合のトレーニング強度と performance の関係を明らかにし、ソルトレークシティー・オリンピック直前にパークシティーで行う高地トレーニングの資料とすることである。

2. 方 法

被験者は、オリンピック強化選手2名を含む5名であった。

低酸素環境は、人工的常圧低酸素室を利用した。トレーニングの期間は5月下旬から7月上旬にかけて、平地での中・高強度のトレーニング中に、常圧低酸素室に1週間滞在および低酸素気を吸入しながらの40分間の負荷運動（自転車エルゴメータによる）を加えることを、2週間の間隔を置いて3回繰り返した。ただし、平地でのトレーニングは、2週間、中あるいは高強度で行った後、1週間低い強度で行うというパターンを繰り返した。このトレーニングに参加した選手のうち3名は、休養を含めた低い強度での1週間を過ごした後、高強度のトレーニングの開始とともに低酸素室を利用した。他の2名は、高強度のトレーニングを1週間行った後に、低酸素室を利用した（表1）。すなわち、前者（以後グループA）は、疲労のない状態で低酸素環境を利用したが、後者（以後グ

ループB）は、高強度のトレーニングを1週間行い、十分な疲労回復がない状態で低酸素室に入り、しかも、低酸素室を利用しながら引き続き1週間の高強度トレーニングを行った。

トレーニング強度	低酸素環境の利用 グループA	低酸素環境の利用 グループB	測定日
1週間目 中	○		5月26日(土)
2週間目 強		○	6月2日(土)
3週間目 弱			6月9日(土)
4週間目 強	○		6月16日(土)
5週間目 強		○	6月23日(土)
6週間目 弱			6月30日(土)
7週間目 中	○		7月7日(土)
8週間目 中		○	7月14日(土)

低酸素環境を利用したトレーニングは、スピードスケート選手が次のシーズンに向けて、徐々に強度の高いトレーニングを始める5月下旬から開始され、7月中旬まで実施された。この間、AおよびBの両グループともに1週間の低酸素室利用の後、2週間は平地における通常生活をしながらトレーニングを行うことを3回繰り返したことになる。

低酸素環境利用は、夜9時から朝7時までの10時間を原則とし、1日の中で低酸素室から退室中、任意の時間に酸素濃度16.4%の低酸素気において7分間運動（自転車エルゴメータによる）+4分間休息を4セット行った。7分間の運動における負荷強度は、体重×0.06~0.075kpm×60rpmの範囲とした。この負荷強度は、経験的に、4セット目の7分間運動時においてRPEが18から20程度となり、血中乳酸濃度は15~19mmol/lを示す。

低酸素室での滞在は、上述の方法で日曜日から土曜日の朝までとし、performance の変化を見るために毎週末自転車エルゴメータを用いて最大努力による平均パワーを測定した。自転車エルゴメータ・テストの負荷は、選手の体重×0.08kp×60

1) 専修大学

rpmにおいて6分30秒間こいだ後、同じ負荷で30秒間全力ペダリングを行わせた。結果で示すperformanceは、6分30秒から7分までの30秒間全力ペダリングの平均パワーとした。

3. 結果と考察

1) 低酸素トレーニング第1回目

毎週末に実施した自転車エルゴメータによる測定の結果、2週間の強化トレーニングにおいて、低酸素室を1週目に利用したグループおよび2週目に利用したグループとともに2週目の平均パワーが低下した。そして、低酸素室を利用せずトレーニング強度も落とした3周目の週末における平均パワーが両グループともに1週目の値を上回ったが、その増加傾向はグループBよりグループAにおいて大きかった。

自転車エルゴメータにおける一定負荷ペダリング中の血中乳酸濃度は、グループAは3周目に低下傾向を示したが、グループBには変化が認められなかった。さらに、最大ペダリング後の最高血中乳酸濃度において、グループAは1週ごとに増加する傾向を示したが、グループBでは、2週目に低下し、3周目で増加したもの、1週目の値を下回り、平均パワーと近似した変化を示した。

以上の結果から、2週間の強化トレーニングの中で、疲労回復が不十分な状態で2週目に低酸素を利用したグループの疲労回復は遅れることが唆された。

2) 低酸素トレーニング第2回目

4週目と5週目は、高い強度のトレーニングを行った。4週目に低酸素トレーニングを付加したグループAには、4および5週目の自転車エルゴメータによる最大努力時の平均パワーにほとんど変化は認められなかつたが、1および2週目より高いレベルを維持した。また、同一負荷における血中乳酸濃度、最高血中乳酸濃度および最高心拍数もまた大きな変化は認められなかつた。

一方、5週目に低酸素トレーニングを付加したグループBの5週目週末の平均パワーは極端に低下した。生理的現象としても最大血中乳酸濃度および最高心拍数に大きな低下が認められ 身体的に

疲労した状態を示した。しかし、6週目にトレーニング強度を低めて、コンディショニングを行った結果、3周目あるいは4週目の値まで回復している。

3) 低酸素トレーニング第3回目

第2回目の低酸素トレーニング付加においてグループBのperformanceが極端に低下したため、7週目および8週目のトレーニング内容は4～5週目よりやや低い強度とした。

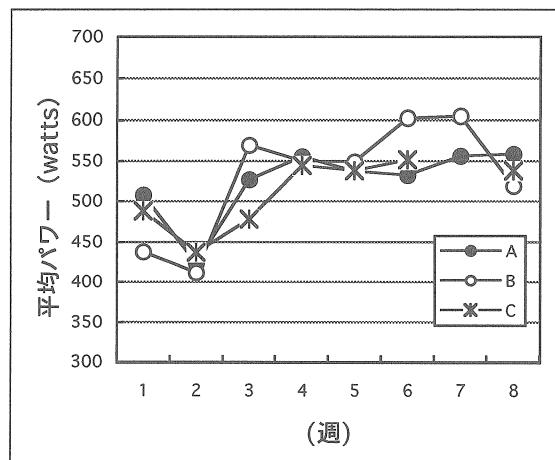
その結果、グループBのperformanceは8週目に最高値を示した。同じ内容でトレーニングを行ったグループAのperformanceもグループBと同様に増加傾向を示した。

8週間のトレーニングにおける全体の生理的現象を見ると、グループAは、一定負荷運動に対する血中乳酸濃度が徐々に低下し、最大努力における最高血中乳酸濃度および最高心拍数が徐々に増加傾向を示した。それに対して、グループBは、一定負荷運動中の血中乳酸濃度、5週目を除く最高血中乳酸濃度および最高心拍数などに顕著な変化を示さなかつた。ただし、同一負荷運動中の心拍数のみ第5週目以降大幅に低下したことは、グループAとは異なった効果といえよう。

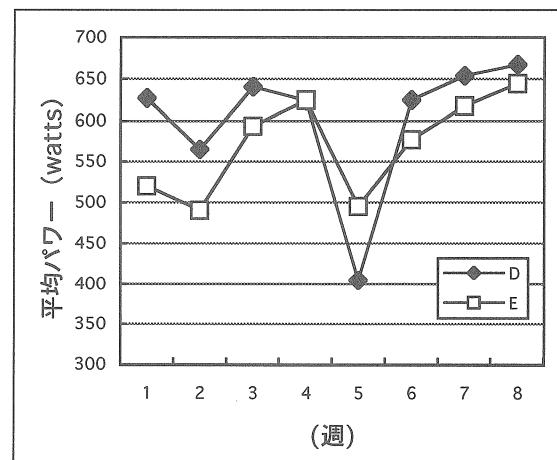
以上の結果、低酸素環境における利用の効果は、平地におけるトレーニング強度および利用時の身体的状態と関連していることが示唆される。すなわち 疲労状態での高強度の低酸素トレーニング付加は、一時的に大きなperformanceの低下を招く。しかし、低酸素トレーニング期間が1週ならば、その後のコンディショニングによって回復し、より高いperformanceを得る可能性もあるが、血中乳酸濃度および心拍数の変化から疲労の回復の遅延が推察される。一方、疲労の少ない状態で高強度のトレーニングとともに低酸素トレーニングを開始した場合には、身体的に大きなダメージがなく、生理的効果をもたらしていることが推察された。

4. まとめ

1) 平地における高強度のトレーニング中に低酸素トレーニングを付加した場合のperformance

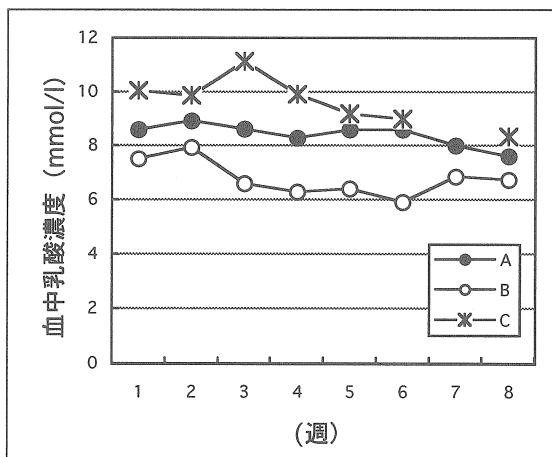


グループA



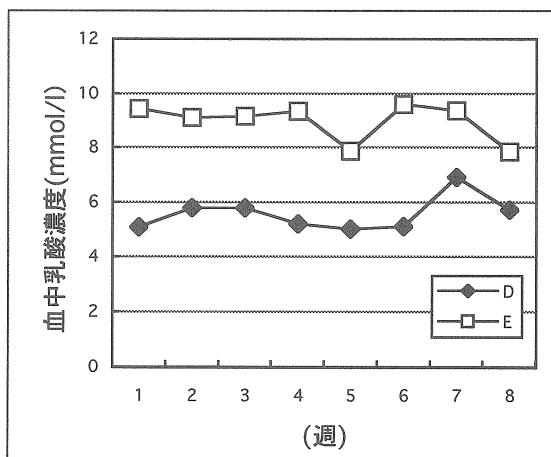
自転車エルゴメーターによる最大運動中の平均パワー

グループB

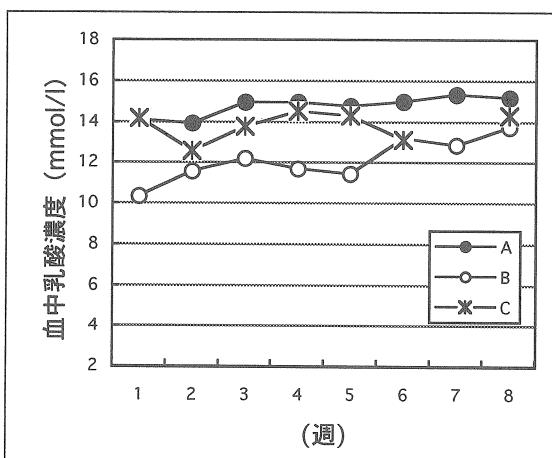


グループA

一定負荷運動中の血中乳酸濃度

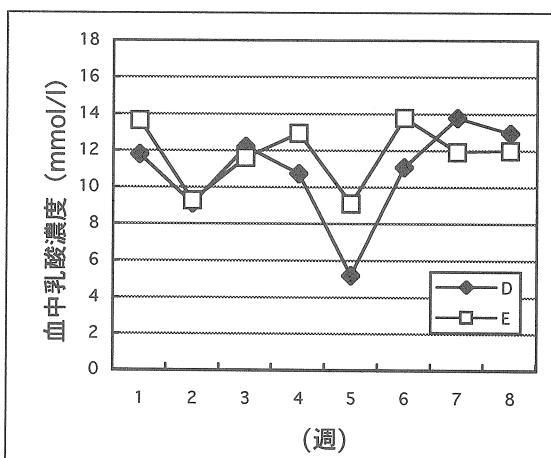


グループB

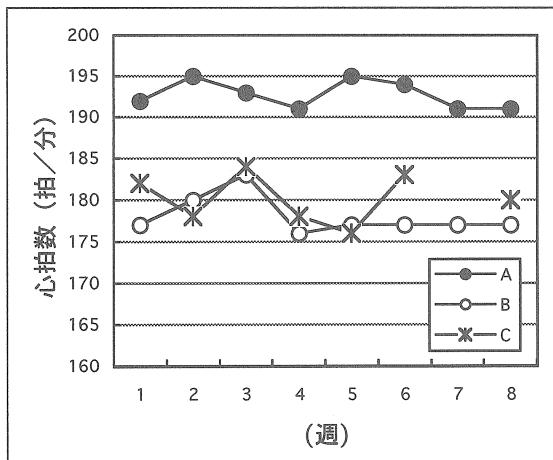


グループA

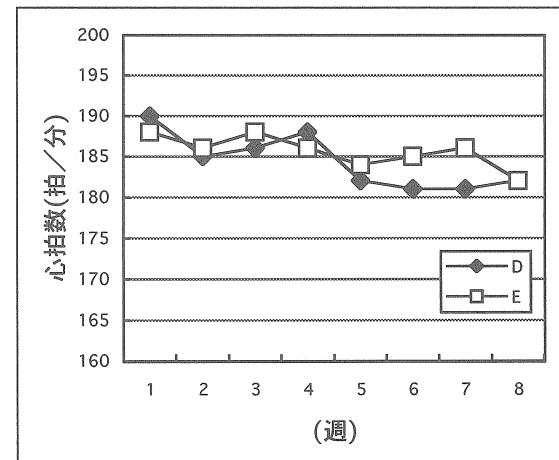
最大負荷運動時の血中乳酸濃度



グループB

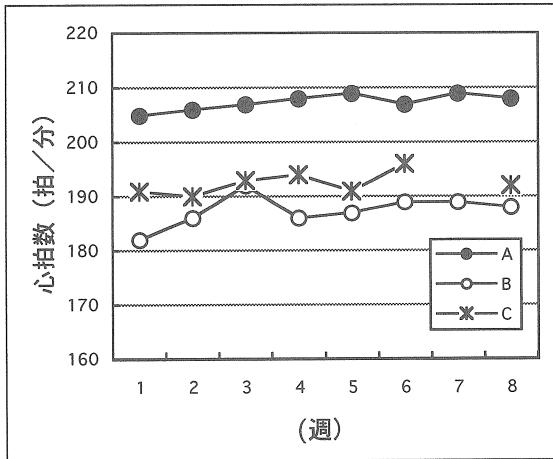


グループA



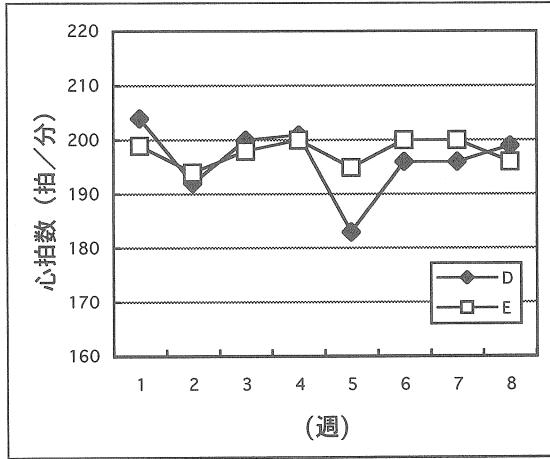
一定負荷運動中の心拍数

グループB



グループA

最大運動中における最高心拍数



グループB

に及ぼす影響を検討した。

- 2) 2週間の高強度トレーニングに続く1週間のコンディショニングというトレーニングパターンにおいて、低酸素トレーニングを高強度トレーニングの1週目に付加する場合と、2週目に付加する場合とで比較した。
- 3) 平地における低酸素室利用は1週間とし、その後、2週間は平地における通常生活をしながらトレーニングを行うという方法で、これを3回繰り返した。
- 4) コンディショニング後、平地での高強度トレーニング1週目に低酸素トレーニングを付加したグループは、Performanceに大きな変動なく、徐々に増加し、一定負荷運動に対する血中乳酸

濃度が徐々に低下し、最大努力における最高血中乳酸濃度および最高心拍数が徐々に増加傾向を示した。

- 5) 疲労状態での高強度の低酸素トレーニング付加は、一時的に大きなperformanceの低下を招く。しかし、低酸素トレーニング期間が1週間の場合、その後のコンディショニングによって回復し、より高いperformanceを得る可能性もあるが、血中乳酸濃度および心拍数の変化から疲労の回復の遅延が推察される。一方、疲労の少ない状態で高強度のトレーニングとともに低酸素トレーニングを開始した場合には、身体的に大きなダメージがなく、生理的効果をもたらしていることが推察された。

(3)低酸素環境運動時のアミノ酸摂取効果について

研究責任者 小林 寛道¹⁾
研究協力者 松垣 紀子¹⁾

はじめに

近年、アミノ酸の摂取が疲労回復を早めたり、運動時のパフォーマンスを改善するといった期待から、多くのスポーツ選手によってアミノ酸サプリメントが利用されるようになった。

アミノ酸には、多くの薬理作用が認められているが、スポーツとの関連からみるとタンパク同化作用をもち、エネルギー源となる分岐鎖アミノ酸（BCAA：バリン、ロイシン、イソロイシン）、胃粘膜生成促進作用や免疫力低下予防作用をもつグルタミン、ホルモン分泌作用や免疫能改善、およびアンモニア低下作用などをもつアルギニンなどが注目されている。このうち、アルギニンは血管内皮細胞が産生する血管拡張物質である一酸化窒素（NO）を生成する前駆体である。一酸化窒素（NO）の産生によって血管は弛緩するため、運動時における血流の増加が容易となり、末梢血管抵抗が減少するなど、持久的運動時には有利な生理的作用が生じる。

本研究は、気圧は平地とかわらないが、空気中の酸素濃度が低い常圧低酸素環境下で運動を実施した時に、アルギニンを含んだ複合アミノ酸サプリメントの摂取が運動生理学的指標にどのような変化をもたらすかについて検討し、低酸素環境を用いた持久的トレーニングを実施する場合のアミノ酸摂取の有効性について考察することを目的に実施した。

方 法

被検者は、健康な男子学生7名である（表1）。あらかじめ、測定実験の内容等について詳細な説明を受け、同意書に署名した。東京大学駒場キャンパスに設置されたテント式低酸素環境実験施設

を用い、常圧常酸素環境（20.9% O₂）と常圧低酸素環境（14.5% O₂：標高3000m相当の酸素濃度）において、それぞれ45分間の安静状態を保った後、アミノ酸又はプラセボを経口摂取し、その後45分経過してから、モナーク製自転車エルゴメータによる漸増負荷方法によって、12~14分間の亜最大運動を実施した。

摂取したアミノ酸は、12種類のアミノ酸（アルギニン14%，バリン、ロイシン、イソロイシン各8~12%，グルタミン14%，他）とビタミン類が混合された混合アミノ酸（Mixed Amino Acid）であり、1回の測定につき、9.0g（内アミノ酸含有量7.2g）を水とともに摂取した。プラセボは、アミノ酸成分を取り除いたビタミン類を同重量含むものを用いた。なお、被検者にはアミノ酸とプラセボの区別がつかないようにした。

運動は、初期負荷を0.5kpとし、ペダル回転数を60回転とした。2分毎に0.5kpづつ負荷を漸増させ、回転リズムを一定に保つようにして、ほぼ最大努力の水準まで運動を継続した。第1回目の測定時の最終運動負荷および運動時間を各被検者の運動負荷条件とした。

測定のプロトコールを（図1）に示した。運動前および運動後3分間の回復期を通して、ハートレートモニター（アクキュレックス・プラス、Polar社製）およびPULSOX-M24A（テイジン社製）を用いて、心拍数と動脈血酸素飽和度を連続モニターした。ラクテートプロ（アークリエイ社製）を用いて、血中乳酸濃度を安静時、運動時2分毎、および運動終了3分目に指先からの採血により測定した。主観的運動強度（RPE）を運動時2分毎に全身、呼吸、脚の3点についてチェックした。

結 果

1. 常圧常酸素環境（20.9% O₂）での運動

常圧常酸素環境で得られた測定結果のうち全被

1) 東京大学

検者の平均値と標準偏差を（図2）に示した。

運動中心拍数の安静時からの上昇分は、アミノ酸摂取時およびプラセボ摂取時で差がなく、運動14分目で108~110拍／分の増加であった。血中乳酸濃度の上昇はアミノ酸摂取時にプラセボ摂取時よりやや緩やかであったが、統計的には有意でなかった。

動脈血酸素飽和度は、プラセボ摂取時に当初98%の値が運動開始10~14分目で97%に低下する様子を示したが、アミノ酸摂取時には、運動後半（10~14分目）でも98%水準を保ち、動脈血酸素飽和度の低下はみられなかった。

主観的運動強度は、運動開始14分目で全身が

表1 被験者の身体特性

	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)
n=7	平均値 (標準偏差)	19.8 1.1	169.3 5.8
			60.6 6.4

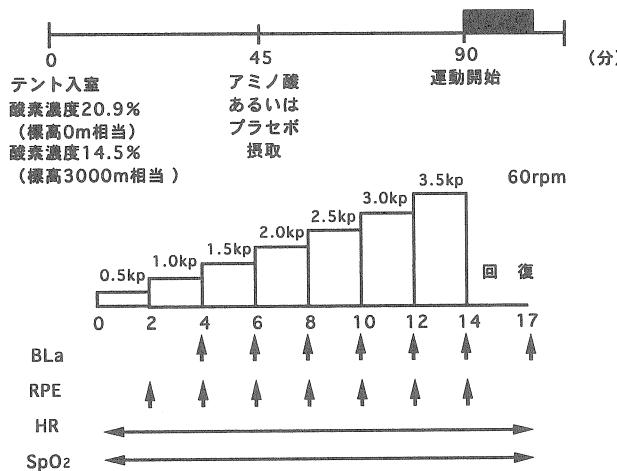


図1 測定プロトコール

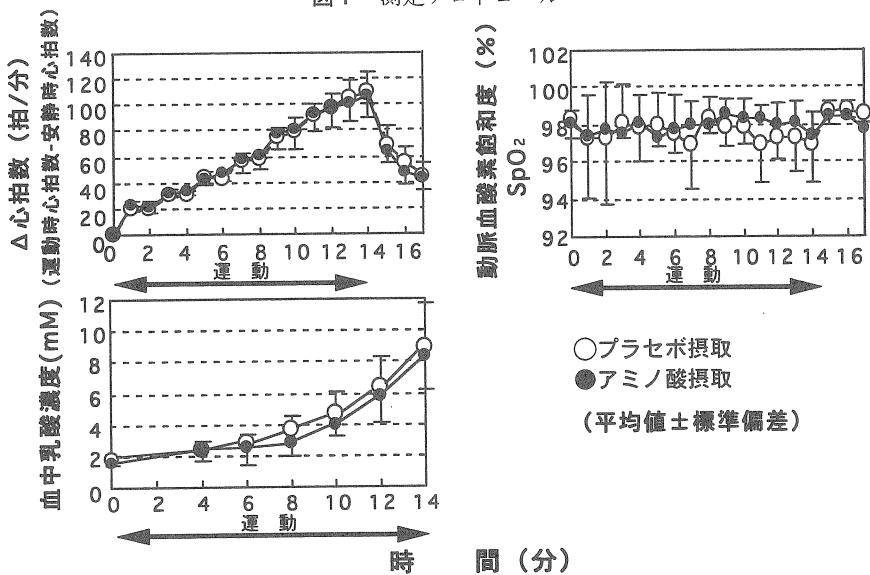


図2 常酸素濃度での自転車漕ぎ運動中における心拍数、動脈血酸素飽和度および血中乳酸濃度の変化

13~14, 呼吸が15~16, 脚が18という値であり、全身および呼吸で、アミノ酸摂取時にやや高値を示す傾向がみられた（図3）。

2. 低酸素環境（14.5% O₂：標高3000m相当）での運動

低酸素環境（14.5% O₂）での運動で得られた結果を（図4）に示した。

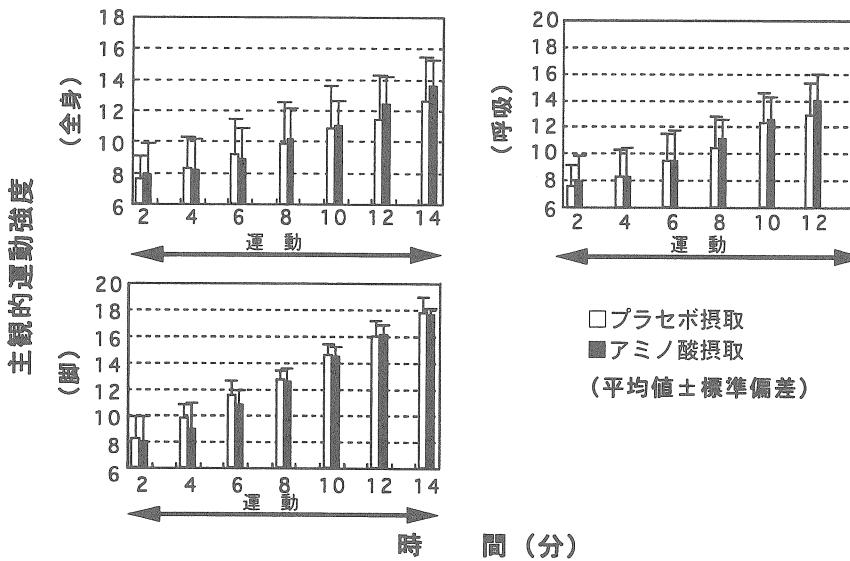


図3 常酸素濃度での自転車漕ぎ運動中における主観的運動強度（全身・呼吸・脚）の変化

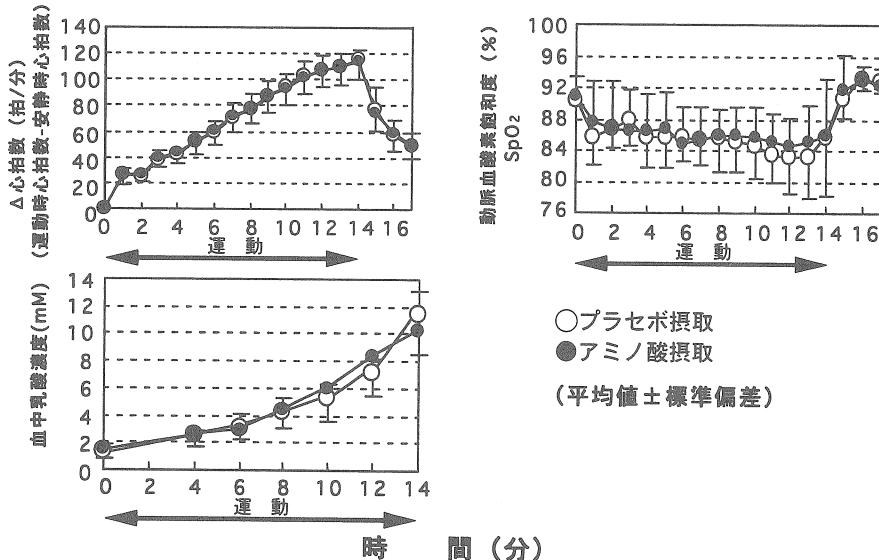


図4 標高3000m相当の酸素濃度での自転車漕ぎ運動中における心拍数、動脈血酸素飽和度および血中乳酸濃度の変化

運動中心拍数の安静時からの上昇分は、アミノ酸摂取時とプラセボ摂取時で差がなく、115拍／分であり、常酸素環境と比較して、わずかな上昇であった。

血中乳酸濃度の上昇は、運動開始14分目でプラセボ摂取時が11.8mM、アミノ酸摂取時が10.3mMとややプラセボ摂取時に高い値となつたが、運動10分目、および12分目では、プラセボ摂取時にや

や低値となる傾向がみられた。

常酸素環境での運動14分目の血中乳酸濃度は8~9 mMであったので、低酸素環境ではやや高値となった。また血中乳酸の上昇カーブも低酸素環境でやや急峻となる様子がみられている。

動脈血酸素飽和度は、プラセボ摂取時には運動開始とともに徐々に低下傾向を示し、運動12~13分では83%となった。アミノ酸摂取時には運動6~14分で84~86%を保ち、プラセボ摂取時と比較し、運動後半での低下があまり顕著ではなかった。低酸素環境における回復1分目における動脈血酸素飽和度は、アミノ酸摂取時有意に高値を示した(図5)。主観的運動強度(RPE)は、運動14分

目で全身15~16、呼吸16~17、脚19という値であり、脚の疲労が顕著である様子がみられた(図6)。

アミノ酸摂取時には、運動の途中時間を含めてプラセボ摂取時よりもRPEが低い傾向がみられた。

3. 個人値からみた比較

全被検者の平均値と標準偏差の比較とは別に、個人別にみた生理的反応を動脈血酸素飽和度の変化からとらえてみた。

Sub.K.S(図7)の場合は、低酸素環境での動脈血酸素飽和度の水準がプラセボ摂取時に82%まで低下しているが、アミノ酸摂取時には92%までの低下にとどまっており、アミノ酸の摂取が動脈血

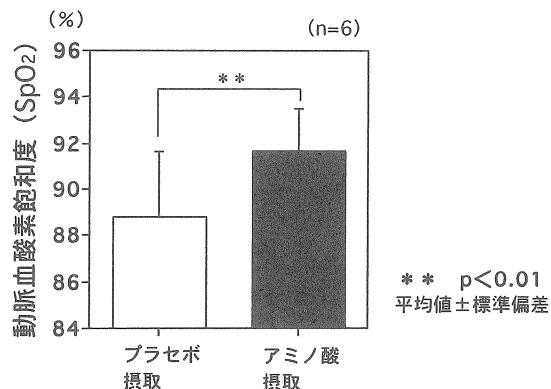


図5 標高3000m相当の酸素濃度での運動後回復1分における動脈血酸素飽和濃度の比較

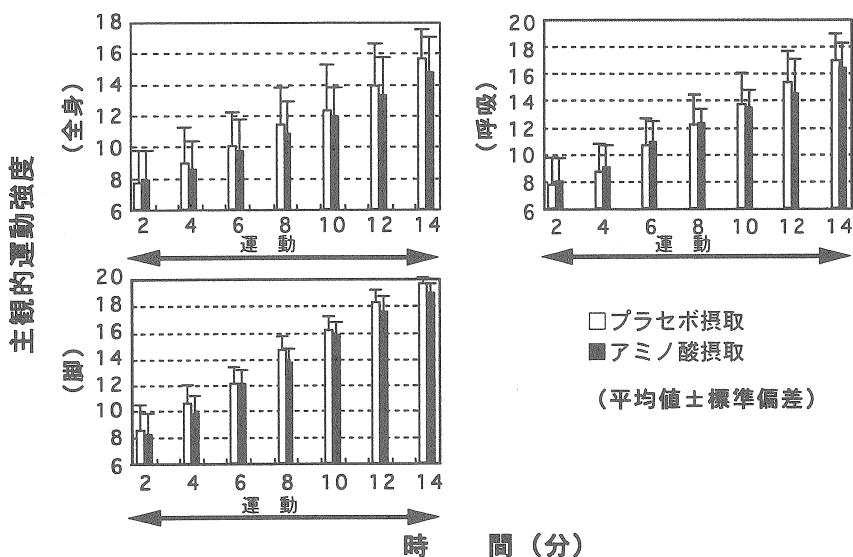


図6 標高3000m相当の酸素濃度での自転車漕ぎ運動中における所管的運動強度(全身・呼吸・胸)の変化

酸素飽和度の低下をおさえていると考えられる。また、常酸素環境での血中乳酸濃度の上昇がアミノ酸摂取時に緩やかである。

Sub.F.Y(図8)の場合は、低酸素環境での動脈血酸素飽和度の低下が著しく、プラセボ摂取時に運動14分目で75%という低値になっている。全体としてアミノ酸摂取時には動脈血酸素飽和度の低

下がやや少ない。低酸素環境でプラセボ摂取時の血中乳酸濃度は15mMと最も高値を示した。

Sub.T.N(図9)は、低酸素環境での運動前半でプラセボ摂取時に急激な動脈血酸素飽和度の低下がみられたが、その後もなおしている。運動前半では動脈血酸素飽和度の低下は、プラセボ摂取時に比較して、アミノ酸摂取時に緩やかである。

Sub.K.S.

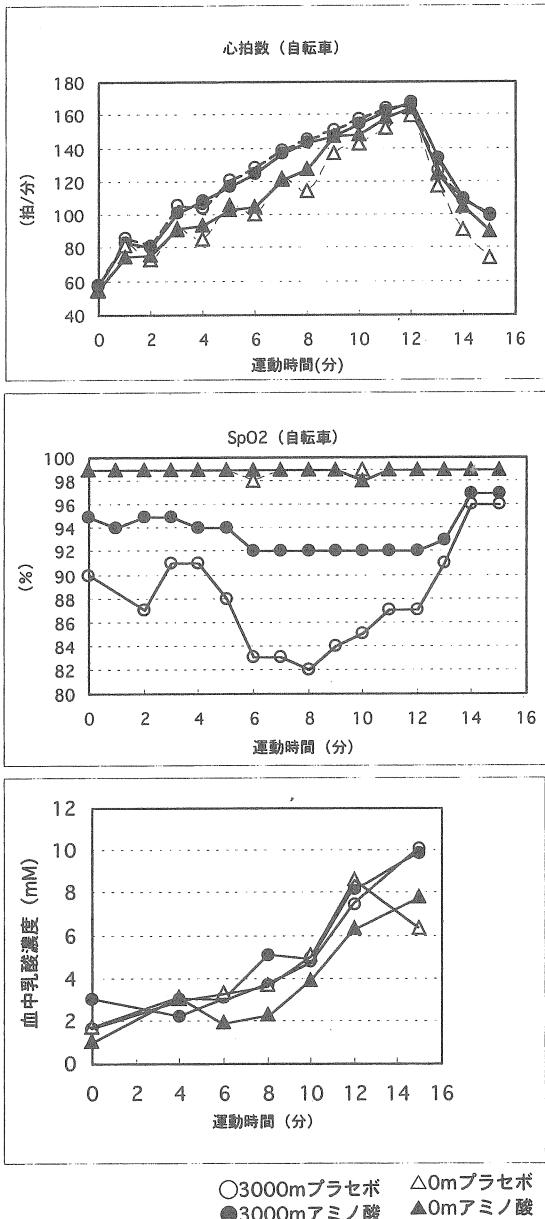


図7 個人値の比較

Sub.F.Y.

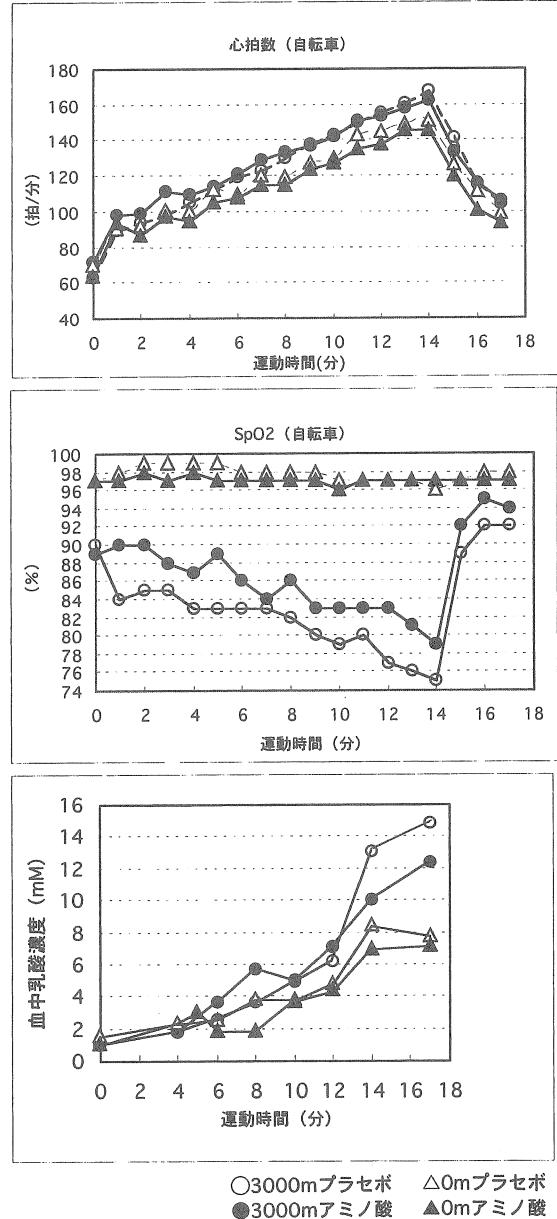


図8 個人値の比較

運動の後半で血中乳酸濃度はプラセボ摂取時に高値を示した。

Sub.H.Y(図10)の場合は、低酸素環境での運動に対して動脈血酸素飽和度の低下が著しく、運動の前半ではプラセボ摂取時とアミノ酸摂取時で差がなかった。しかし、運動9~14分では、プラセボ摂取時の値がさらに低下したがアミノ酸摂取時に

はほぼ同水準(81~83%)を保った。しかし、血中乳酸濃度には、アミノ酸摂取時とプラセボ摂取時に差がなかった。

これまでの被検者は、低酸素環境でアミノ酸摂取が動脈血酸素飽和度の低下を抑制する傾向を示したが、以下の3名の被検者では、そうした傾向がみられなかった。

Sub.T.N.

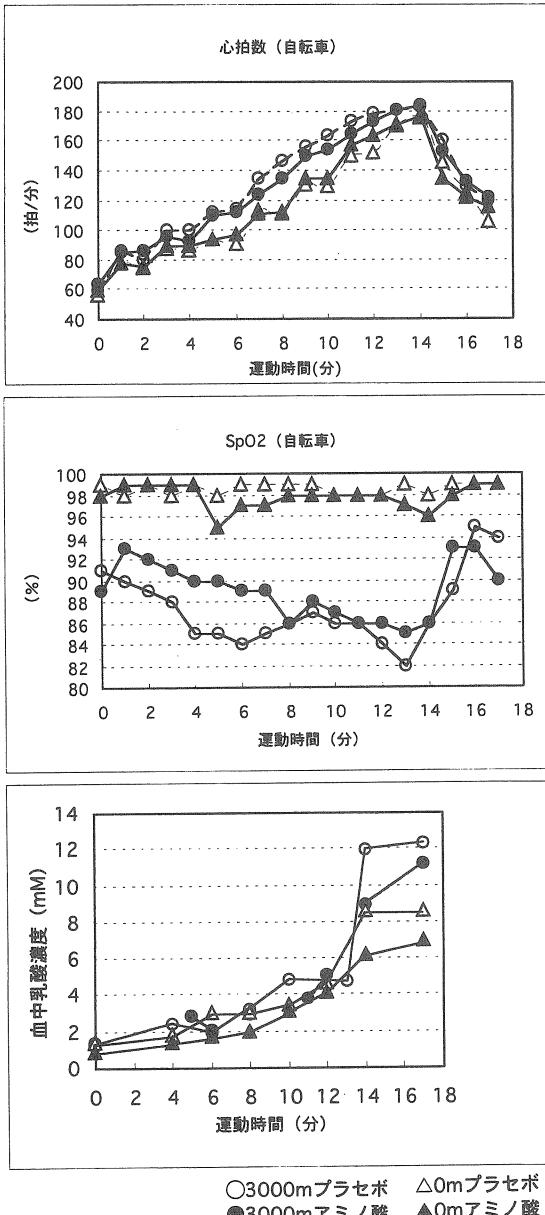


図9 個人値の比較

Sub.H.Y.

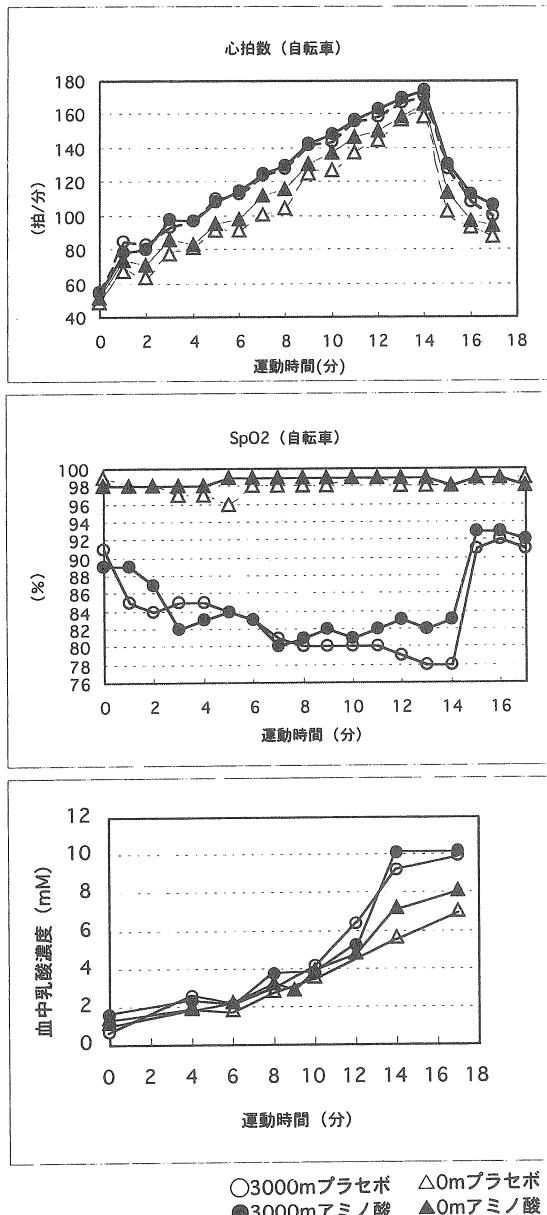


図10 個人値の比較

Sub.Y.Y(図11)では、低酸素環境での運動でもプラセボ摂取時に動脈血酸素飽和度が88~90%と比較的高い水準に保たれ、アミノ酸摂取時に85~89%とやや低値を示した。運動開始時に短時間の急激な低下がみられているが、3分後にはすぐに回復している。

Sub.O.M(図12)では、低酸素環境での動脈血

酸素飽和度の値がアミノ酸摂取時に80~84%とはば安定しているが、プラセボ摂取時には値の変動が大きい。血中乳酸濃度もアミノ酸摂取時に高値を示した。

Sub.K.M(図13)では、動脈血酸素飽和度は常酸素環境(20.9%O₂)および低酸素環境(14.5%O₂)で、ともにアミノ酸摂取時で運動開始前半で

Sub.Y.Y.

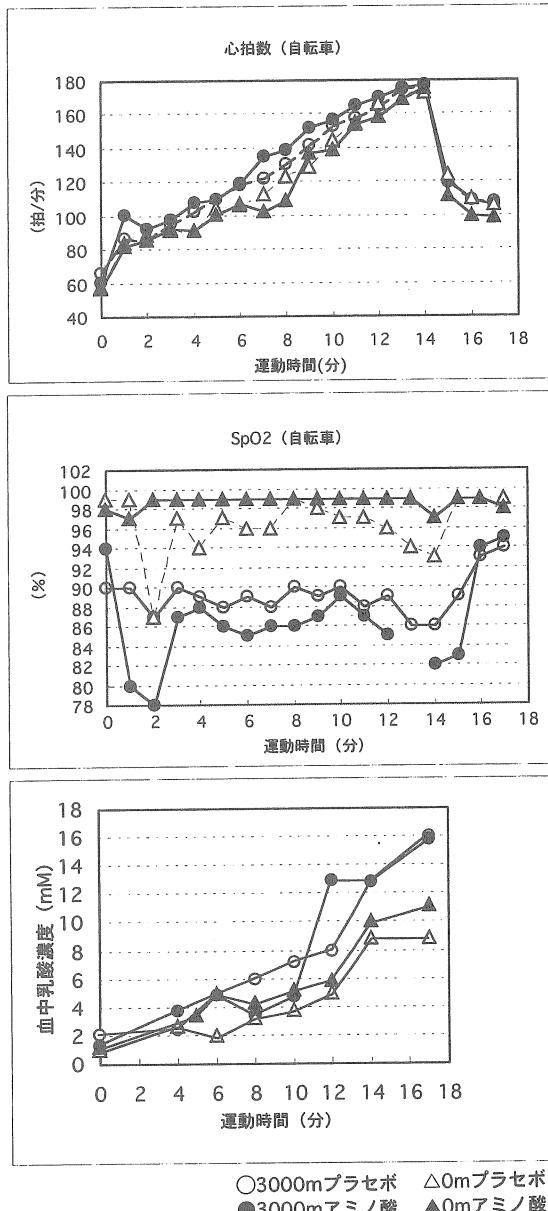


図11 個人値の比較

Sub.O.M.

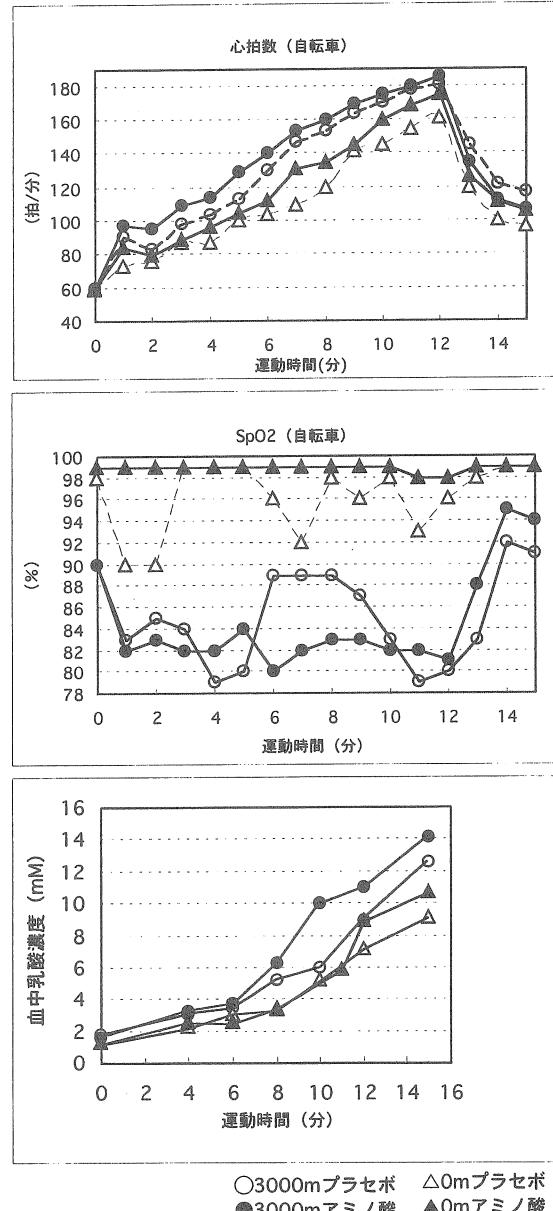


図12 個人値の比較

プラセボ摂取時より著しく低下傾向を示し、6分以後で値が回復する傾向がみられる。これらの様子は、アミノ酸摂取にともなう特別な反応と考えることができるかもしれない。

論 議

近年低酸素環境に居住することによって造血作

Sub.K.M.

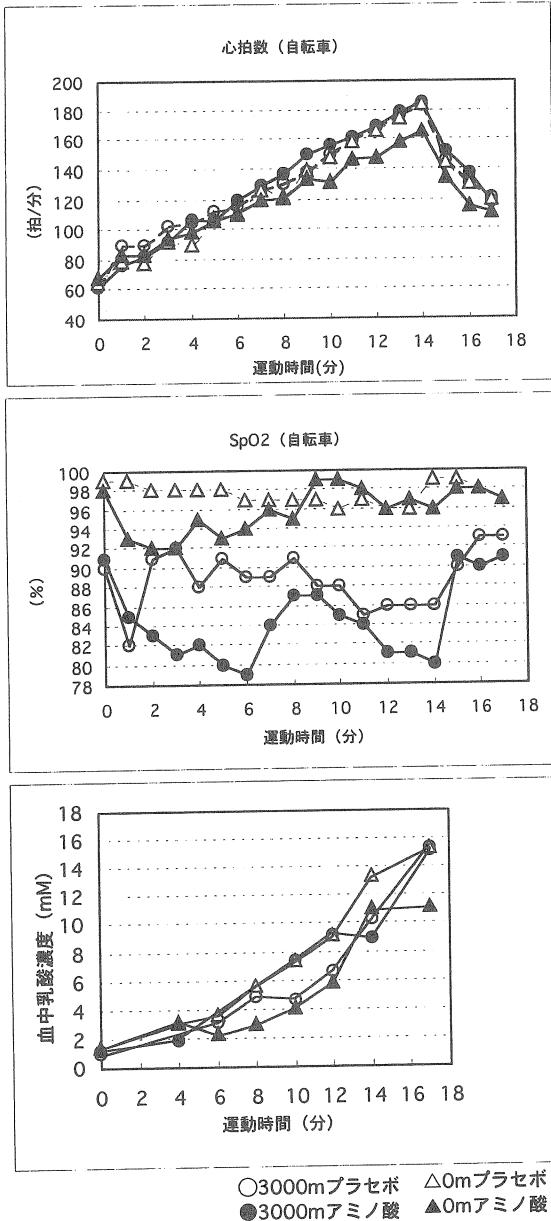


図13 個人値の比較

用をもつホルモンであるEPOを刺激し、ヘモグロビン濃度を向上させる「高地滞在低地トレーニング」の考え方と併行して、低酸素環境を積極的にトレーニング環境として利用してゆこうとする「低酸素環境トレーニング」の考え方方が進行しつつある。

本研究では、常圧低酸素環境で運動した場合について、常酸素環境での運動との比較を行ってみた。

常酸素環境と低酸素環境での運動の比較において、最も簡便に知ることができる生理的指標の変化は、動脈血酸素飽和度の低下の様子である。低酸素環境では、動脈血酸素飽和度が低水準となりやすく、運動を行うことによってその傾向は顕著となる。

動脈血酸素飽和度の低下は、組織内での酸素の取り込み能力を低下させ、活動組織を酸素不足の状態へより急速に導く結果となる。

運動負荷が大きくなれば、それに伴って動脈血酸素飽和度の値は低下するが、個人値を比較してみると、運動の進行に伴って、値の低下がさらに進行する場合(タイプI)と、ある段階でほぼ一定水準を保つ場合(タイプII)、および値の回復がみられる場合(タイプIII)とがみうけられる。

これらの様子は、低酸素環境における運動での生理的反応のステージの違いによるものと考えられる。これらは低酸素環境に対する生体の自然な反応としてとらえられ、タイプIIIはある程度まで低下した動脈血酸素飽和度の回復をはかるとする生理的反応を示すものであると考えられる。常酸素環境での亜最大運動では、動脈血酸素飽和度の低下がみられるることはなかったが、低酸素環境での運動では軽い運動負荷においても動脈血酸素飽和度の低下が顕著であることから、生体内において組織での酸素取り込みに関わる生理的機序が働くことが考えられる。それらの適応には、短期的なものと比較的長期のものと考えられる。長期的効果としては、ミトコンドリアの増加や酵素活性の向上などが考えられるが、短期的効果としては、血管の弛緩による末梢血管抵抗の減少など、主として血流の改善によるものが大きいと考えられる。

本研究は、アルギニンを含む混合アミノ酸の血管弛緩に関する影響を考察する目的で実施したが、7名中4名の被検者において、アミノ酸摂取が動脈血酸素飽和度の低下を抑制する効果がある様子がみられた。

このことは、アミノ酸摂取が低酸素環境下における末梢での動脈血酸素供給能力の低下を抑制する働きをもつものと解決することが可能である。運動において、疲労要因となる末梢の酸素不足状況を改善する効果をもつと考察することができよう。

ま と め

1) 常圧常酸素環境 ($20.9\% O_2$) と常圧低酸素環境 ($14.5\% O_2$) において、アミノ酸またはプラ

セボを摂取して亜最大負荷の自転車運動を実施し、心拍数、動脈血酸素飽和度 (SpO_2)、血中乳酸、主観的運動強度を測定した。

- 2) 低酸素環境では、運動中動脈血酸素飽和度の低下が著しかったが、7名中4名の被検者において、アミノ酸摂取時に動脈血酸素飽和度の低下が少ない様子がみられた。
- 3) 運動中血中乳酸濃度は、低酸素環境では常酸素環境と比較して高値を示す傾向がみられた。低酸素環境において、アミノ酸摂取による血中乳酸濃度への影響はあまり明らかでなかった。
- 4) アミノ酸の摂取は、低酸素環境で動脈血酸素飽和度の低下を抑制したことについては、アルギニンによる血管内皮の弛緩作用への効果であることが考察された。

平成13年度 日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告

No.IV JOC 高地トレーニング医・科学サポート—第11報—

◎発行日：平成14年3月31日

◎編集者：青木純一郎（財団法人日本体育協会・高地トレーニング
医・科学サポート研究班・班長、順天堂大学）

◎発行者：財団法人日本オリンピック委員会

（〒150-8050 東京都渋谷区神南1-1-1）

◎印 刷：ホクエツ印刷株式会社

（東京都江東区深川2-26-7）

本研究事業は、財日本オリンピック委員会が財日本体育協会に委託
して実施したものである

