

高酸素暴露を用いた新しいトレーニングおよびコンディショニング方法の開発
～ 日本代表選手を対象とした実践的検討 ～
研究代表者： 伊藤 穰

目次

要約	1
はじめに	2
1. 高地環境下における高酸素暴露を用いたコンディショニング 方法の検討(研究課題1)	2
(1) 目的	2
(2) 方法	2
1) 対象選手	2
2) 測定環境	3
3) 高酸素暴露	3
4) 測定項目および測定方法	3
(3) 結果	4
(4) 考察	8
2. 高地環境下における高酸素吸入を用いたトレーニング方法 の検討(研究課題2)	10
(1) 目的	10
(2) 方法	10
1) 対象選手	10
2) 測定環境およびトレーニング内容	10
3) 測定項目および測定方法	10
(3) 結果	11
(4) 考察	13
おわりに	15
参考文献等	15

高酸素暴露を用いた新しいトレーニングおよびコンディショニング方法の開発
～日本代表選手を対象とした実践的検討～
研究代表者：伊藤 穰

要約

本研究では、全日本スキー連盟に所属する日本代表選手を対象として、高地滞在時におけるコンディショニングの維持およびトレーニングツールとしての高酸素の利用法について検討し、国際競技力向上のため、実際のトレーニングに役立てることを目的とした。また、この目的を達成するため、本研究では以下の二つの研究課題を設定した。

研究課題1 高地環境下における高酸素暴露を用いたコンディショニング方法の検討

研究課題2 高地環境下における高酸素吸入を用いたトレーニング方法の検討

研究課題1では、ノルディック複合ナショナルチームに所属する選手を対象として、渋峠(長野県:標高2172m)でのトレーニングキャンプ時に選手のコンディショニングに関する様々な測定を実施した。具体的には、約1週間の高地滞在時における早朝起床時の心拍数および動脈血酸素飽和度(SpO_2)の測定、血液検査および自覚的コンディショニングの評価などを行い、選手の身体コンディショニングの推移を調べた。さらに、高圧エアークапセルを用いて高酸素暴露を実施した場合と実施しなかった場合について、それらのパラメータを比較検討した。その結果、高酸素暴露ありの条件は高酸素暴露なしの条件に比べて、起立テスト時における立位での SpO_2 が高値を示した。また、その差は、高地滞在初日、3日目、4日目および6日目において有意であった($P<0.05$)。さらに、高酸素暴露ありの条件は高酸素暴露なしの条件に比べて、血中エリスロポエチン濃度の増加が緩やかであったことから、高地環境下における高酸素暴露の実施は、急性低酸素暴露による影響を軽減し、血液濃縮の抑制と血液の流動性の維持などを通して、身体コンディショニングの維持に貢献する可能性が示された。

研究課題2では、スノーボードアルペンナショナルチームに所属する選手を対象として、ドゥザルプ(フランス:標高3300m～3600m)でのトレーニングキャンプ時に、高酸素ガスの吸入の効果を検討した。具体的には、スキー場でのポールトレーニングの合間に、携帯式酸素発生装置を用いて高酸素ガスを吸入させ、その際の心拍数および SpO_2 の変化を測定した。また、自発的に決定されたトレーニング量(ポールトレーニングの本数)についても評価し、高酸素吸入を実施しなかった日と比較した。その結果、高酸素吸入を実施した日はしなかった日に比べて、トレーニング中における SpO_2 の平均値が高値を示し($89.8\pm1.2\%$ vs $87.1\pm0.6\%$, $P<0.05$)、特にトレーニング後半の SpO_2 の低下を抑制できる可能性が示された。さらに、トレーニング量もまた、高酸素吸入を実施した日の方が高値を示した(15.2 ± 2.0 本 vs 13.2 ± 0.8 本, $P<0.05$) ことから、高地環境下において、トレーニング中に高酸素を吸入することは、低酸素ストレスに伴う疲労の蓄積を抑制し、トレーニング量を増やすことに役立つ可能性のあることが示された。

本研究は、高地・低酸素トレーニングに関する研究の分野に、高酸素という全く逆の材料を用いてアプローチするという点で独創的であると言える。また、本研究で得られた知見は、選手の育成・強化のため、実際に高地トレーニングを実施している多くのトレーニング現場に対して、有益な示唆を与えるものと考えられる。

勤務先

財団法人全日本スキー連盟 情報・医・科学部

〒150-8050 東京都渋谷区神南 1-1-1 岸記念体育会館内

Tel: 03-3481-2315 Fax: 03-3481-2318

はじめに

他国の選手と比べて、生まれ持った体格や身体能力、すなわち身体資源に乏しい日本人にとっては、常に新たなトレーニング方法を開発していくことが極めて重要となる。その意味でも、通常とは異なる環境を利用して競技力の向上を目指すいわゆる「環境負荷トレーニング」は、日本人の限られた能力を最大限に高められる可能性のある有力なツールである。実際、マラソンなど持久性の競技種目では、高地の低酸素環境を利用した“高地トレーニング”が必要不可欠となっており、その効果は、科学的見地からも酸素運搬能力や血液性状の改善などを根拠として多くの研究者によって説明されている。一方、スキーやスノーボードなどの冬季種目にとっては、雪上競技かつ山岳競技というその環境の特殊性から、日常的に高地環境下に暴露(高地に曝されること)されていることになる。当然、競技会自体も高地で実施されることが多く、したがって、高地の低酸素環境下において如何に良いコンディションを維持し、平地に近いパフォーマンスを発揮できるかが、競技力を大きく左右することになる。また、それはトレーニングについても同様であり、高地環境において質の高いトレーニングを多く積むためには、コンディションの維持は不可欠である。本研究では、全日本スキー連盟に所属する日本代表選手を対象に、「高酸素」という比較的珍しい材料を用いて、高地滞在時におけるコンディション維持およびトレーニングツールとしての利用法について検討した。

1. 高地環境下における高酸素暴露を用いたコンディショニング方法の検討(研究課題1)

(1) 目的

スキーやスノーボード競技にとっては、競技自体が高山などの特殊な環境で行われることが一般的であり、その中で最高のパフォーマンスを発揮することが必要不可欠となる。しかし、高地環境への暴露によるコンディション維持の優劣には個人差があり、例えば平地において優れた能力を有していても、それが高地での競技成績に反映しないことも少なくない。高地でのコンディション維持を困難にする主な要因は、身体が低圧・低酸素環境に曝されることにもなうストレスと考えられるため、適切な方法および適切なタイミングで通常環境(常酸素環境)あるいは高酸素環境に暴露することにより、良いコンディションを保つことが可能となるかもしれない。このことから、本研究では、高地環境下における間欠的な高酸素暴露が、身体コンディションおよび高地順化過程に及ぼす影響について検討することを目的とした。

(2) 方法

1) 対象選手

対象は、財団法人全日本スキー連盟ナショナルチームに所属するノルディック複合選手6名(年齢:22.0

±1.2yrs, 身長:172±3cm, 体重:60.5±4.1kg)であった。選手には、測定の趣旨を十分に説明したうえで、参加の同意を得た。

2) 測定環境

測定は、ノルディック複合ナショナルチームの夏季高地合宿(渋峠:2004年7月)の期間中に実施した。約1週間の高地合宿期間中、選手は標高2172m地点に位置するホテルに滞在し、トレーニング時には登山道や舗装道路などトレーニングの目的に応じて移動した。トレーニング標高はおよそ標高1300m~2200mの範囲であった。なお、選手は、高地合宿に入る直前の1週間は、白馬村(長野県:標高約600m)にて主にスキージャンプを中心としたトレーニング合宿に参加していた。また、白馬村から渋峠への移動日および高地滞在初日におけるトレーニング量はかなり軽めであった。

3) 高酸素暴露

高地滞在時における短時間の高酸素暴露の影響を検討するため、写真1-1のような高気圧エアークプセル(1.3 ATA, 20.93%O₂)を用いて、移動日から高地滞在3日目まで4日間の高気圧処方を実施した。ここで、一人1回当たりの処方時間はおよそ50分間とし、昼食後から午後のトレーニングまで(午後1時~4時)、または夕食後から就寝前まで(午後7時~11時)のいずれかの時間帯に、1日1回のみ処方した。どの時間に処方するかは、選手自身の選択に任せた。



写真1 - 1 高気圧エアークプセル

4) 測定項目および測定方法

合宿期間中、選手は様々な測定を実施し、コンディションのチェックを行った。測定データについては、全く同様のスケジュールで高酸素暴露なしで実施した過去の合宿時のデータと比較した。

起床時の心拍数および動脈血酸素飽和度

早朝起床時、選手に起立テストを実施してもらい、仰臥位および立位における心拍数と動脈血酸素飽和度を測定した。測定には、動脈血酸素飽和度測定装置(SpO₂計:コニカミノルタ社製パルスオキシメータPulsox 3i)を用いた。選手は、覚醒とともにSpO₂計を装着し、まずは仰臥位のままで5分間の測定を実施した。その後、速やかに起立し、さらに5分間の測定を実施した。準備動作や起立時の急性の反応による影響を排除するため、得られた5秒ごとのデータから仰臥位、立位それぞれ2分30秒間(30ポイント)の平均値を算出した。なお、起床時の起立テストは、高地合宿を開始するおよそ1週間前から、高地トレーニング

終了まで毎日実施した。

血液検査

高地環境への暴露にともなう血液性状の変化を調べるため、高地滞在の前日、滞在初日、3日目および7日目の早朝空腹時に採血を行った。分析項目としては、ヘモグロビン濃度やヘマトクリット値のほか、造血作用をもたらすホルモンの一種であるエリスロポエチンの濃度変化について調べた(エリスロポエチン濃度の分析は滞在3日目まで)。採血は、臨床検査技師が実施し、生化学検査用の検体は簡易式の遠心分離器を用いてその場で遠心分離した。また、検体は、冷蔵保存された状態のまま、採血日に必ず下山して血液分析会社(株式会社エス・アール・エル)に提出し、分析を委託した。

自覚的コンディション

選手の自覚的コンディションについて把握するため、ビジュアルスケールによる記述調査を実施した。選手は、very good, good, normal, bad, very bad の5つのラベルが記載されたビジュアルスケールの中で、自分がその時に感じているコンディションに最も良く合致していると思われる位置に○印をつけた。調査は、朝食時に実施した。分析については、○印の位置を、1(very bad)から5(very good)の範囲で小数点第1位までのレベルで判定し集計した。なお、判定は、全て同一の検者が実施した。また、同様の方法を用いて、食欲についても調査した。

水分摂取量調査

特に、高地暴露初期には、利尿作用の亢進にともない体内の水分量が減少するため、適切な水分補給が重要となる。そこで、記述による自己申告方式にて、選手の水分摂取量を調査した。調査は、毎食時に実施し、それぞれ朝食時:前日夕食後～朝食時まで、昼食時:朝食後～昼食時まで、夕食時:昼食後～夕食時までの摂取量を記述させた。水や牛乳など、摂取した水分の種類については不問とした。また、食事の中に含まれる水分量については、本研究では調査しなかった。

(3) 結果

図1-1に、ある1名の選手におけるフィードバックデータの例を示した。この選手については、高地合宿の後半に体調不良に陥ったが、その際、起床時の心拍数は仰臥位、立位ともに高値を示し、SpO₂は仰臥位、立位ともに低値を示した。また、それらの傾向は、選手本人が体調不良を自覚する数日前から始まっているように見えた。なお、測定データについては毎日更新し、選手本人が希望した場合にはいつでも自分のデータを閲覧できる環境にあった。また、高値合宿最終日には、図1-1のフィードバックシートを選手全員に返却し、トレーニング中における選手本人の感覚と測定データとの関係を確認させた。

選手氏名

選手 A

フィードバックデータ

日付	(月/日)	7/2	7/3	7/4	7/5	7/6	7/7	7/8	7/9	7/10	7/11	7/12	7/13
脚脈心拍数	(拍/分)	44.8	45.4	53.1	56.0	50.0	48.6	48.1	50.4	50.8	54.6	68.8	68.1
立位心拍数	(拍/分)	63.7	73.2	74.6	70.0	71.9	70.3	80.1	76.6	70.2	83.9	102.7	90.8
心拍律偏差	(拍/分)	18.9	27.8	21.5	14.0	21.9	21.6	32.0	26.2	19.4	29.3	33.9	21.7
脚脈位SpO ₂	(%)	96.9	96.6	95.5	96.4	95.5	94.5	93.1	93.6	92.8	93.5	90.5	91.6
立位SpO ₂	(%)	96.7	95.5	95.9	94.6	95.9	92.9	93.8	92.2	92.9	93.5	91.1	92.2
SpO ₂ 律偏差	(%)	-0.2	-1.2	0.4	-1.8	0.4	-1.6	0.7	-1.4	0.1	0.1	0.6	0.6
ヘモグロビン値	(g/dl)	15.1				14.6	14.8		14.6				15.7
ヘマトクリット値	(%)	44.9				42.8	45.5		44.0				47.4
コレステロール値	(mg/dl)	19.8				30.8	24.4		21.9				20.6

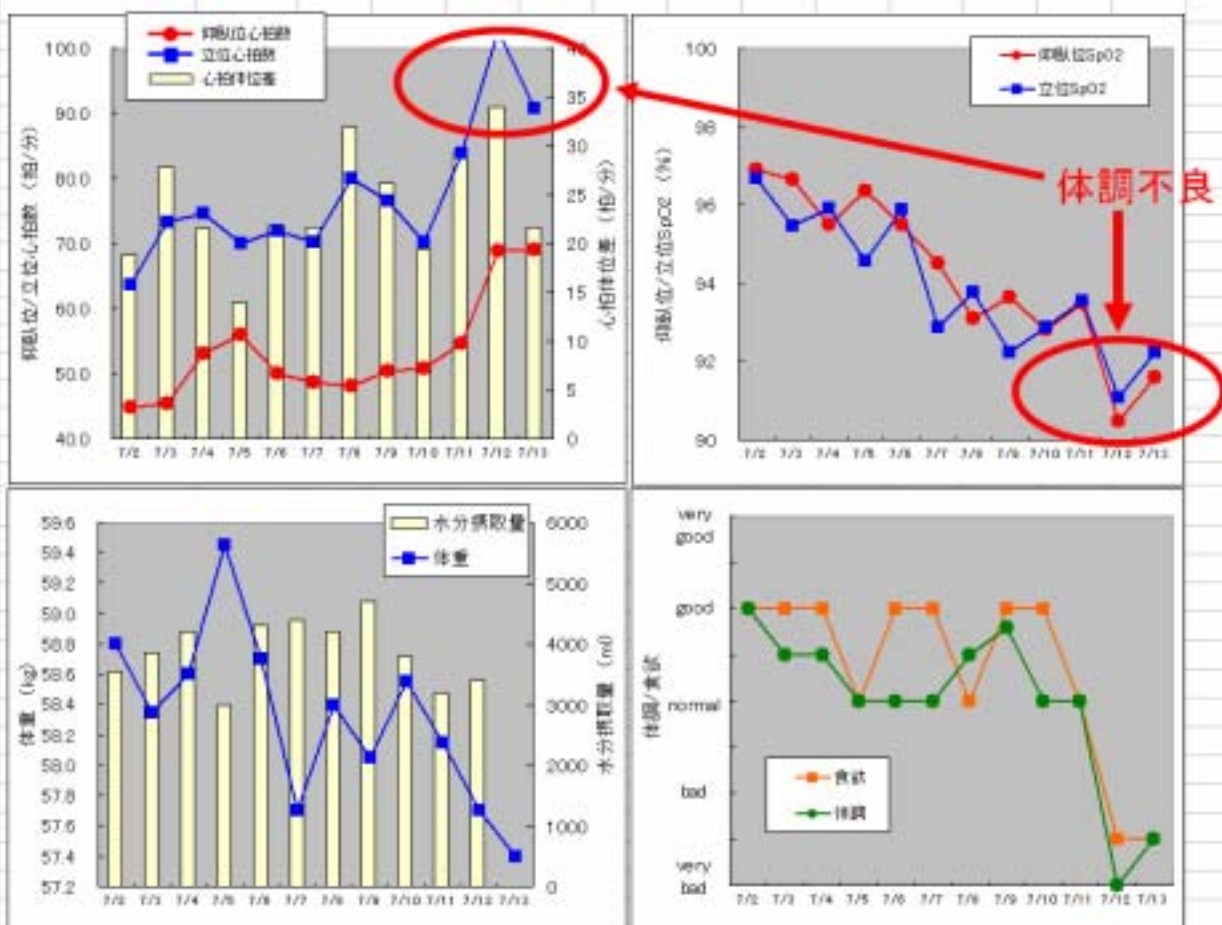


図1 - 1 選手へのフィードバックデータの一例

図1-2および図1-3に、高地合宿中における起床時の仰臥位、立位それぞれの姿勢での心拍数の推移を示した。ここで、“高酸素あり”は、今回の測定データを、“高酸素なし”は、同じ選手および全く同様のスケジュールで、高酸素暴露のみ実施しなかった前回の測定データを示している。仰臥位での心拍数(図1-2)は、高地での滞在日数を重ねるにつれ、平地での値に比べてやや増加する傾向が認められた。しかし、それは有意な増加ではなかった。また、高酸素ありの条件と高酸素なしの条件との間には、いずれの日も有意な差は認められなかった。一方、立位での心拍数(図1-3)は、仰臥位での値に比べて平均およそ 25～30 bpm 程度高値を示したが、その大きさには非常にばらつきがあった。また、高地での滞在日数との関係には、一定の傾向は認められなかった。さらに、高酸素ありの条件と高酸素なしの条件との間には、いずれの日も有意な差は認められなかった。

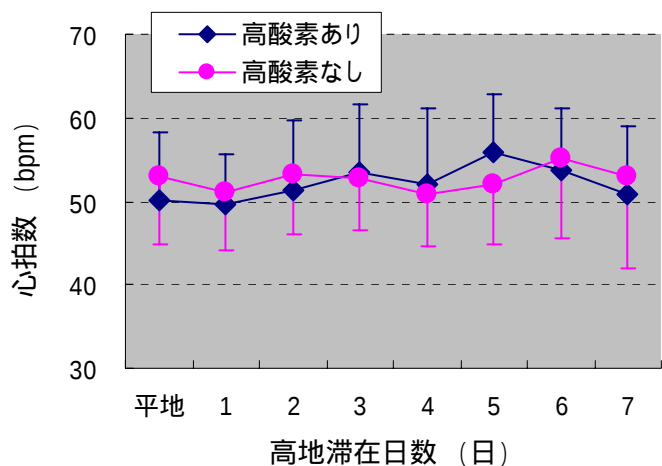


図1-2 起床時における仰臥位での心拍数の推移

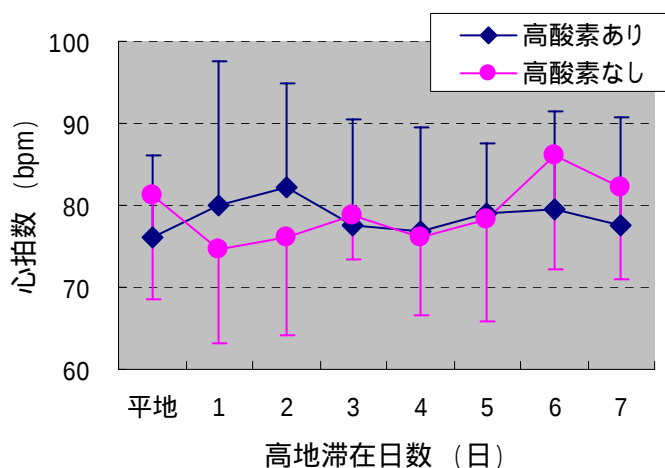


図1-3 起床時における立位での心拍数の推移

図1-4および図1-5に、高地合宿中における起床時の仰臥位、立位それぞれの姿勢での動脈血酸素飽和度(SpO_2)の推移を示した。仰臥位での SpO_2 (図1-4)は、平地でおよそ 96～97%であったのに対して、高地滞在中には滞在初日から 94%程度まで低下し、その後、選手の平均値としてはほぼ横ばいに推移した。ただし、選手個別のデータとしてみると、滞在日数を重ねるにつれて、徐々に SpO_2 が上昇する者や、逆に徐々に下降する者など様々であった。また、高酸素ありの条件と高酸素なしの条件との間には、いずれの日も有意な差は認め

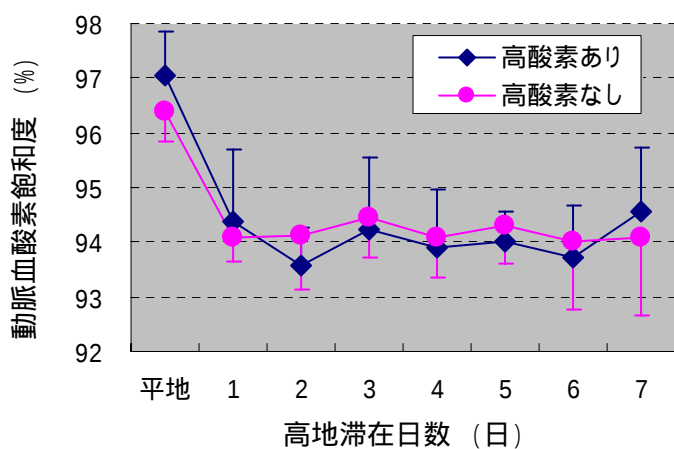


図1-4 起床時における仰臥位での動脈血酸素飽和度の推移

られなかった。一方、立位での SpO_2 (図1-5) は、仰臥位と同様、平地では 97%程度であったが、高地滞在の初日から低下し、その後、ほぼ横ばいに推移した。しかし、その値は、高地滞在期間を通して、高酸素ありの条件が高酸素なしの条件に比べて、1.0~1.5%程度高値を示した。また、高地滞在初日、3日目、4日目および6日目においては、両条件の間に有意な差が認められた ($P<0.05$)。

図1-6に、高地合宿中の血液検査から得られた血中ヘモグロビン濃度の推移を示した。滞在日数を重ねるにつれて、選手のヘモグロビン濃度は徐々に増加した。特に、滞在7日目における選手のヘモグロビン濃度は、高酸素あり、高酸素なしのいずれの条件においても、平地での値に比べて有意に高値を示した ($P<0.05$)。また、滞在3日目における値は、高酸素なしの条件においてのみ、平地での値に比べて有意に高値を示した。しかし、両条件の間には、いずれの日も有意な差は認められなかった。

図1-7に、高地合宿中の血液検査から得られた血中エリスロポエチン濃度の推移を示した。高酸素なしの条件においては、先行研究と同様に、ほとんどの選手のエリスロポエチン濃度は、高地滞在初日から大きく増加した ($P<0.05$)。一方、高酸素ありの条件においては、高地滞在初日のエリスロポエチン濃度は、平地に比べて有意に増加 ($P<0.05$) したが、その増加量はわずかであった。さらに、高地滞在初日におけるエリスロポエチン濃度は、高酸素ありの条件が高酸素なしの条件に比べて、有意に低値を示した ($P<0.05$)。なお、高地滞在3日目におけるエリ

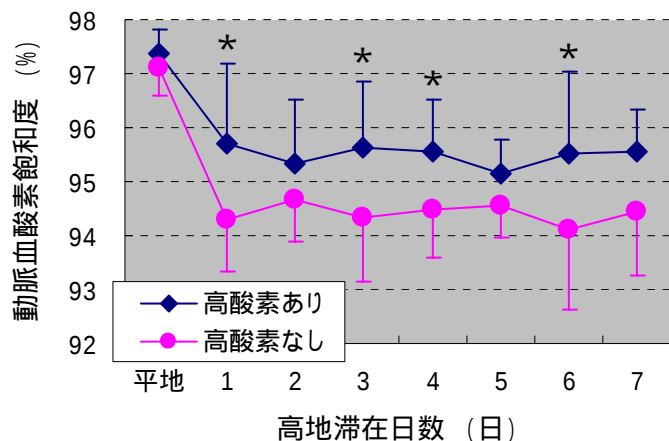


図1-5 起床時における立位での動脈血酸素飽和度の推移

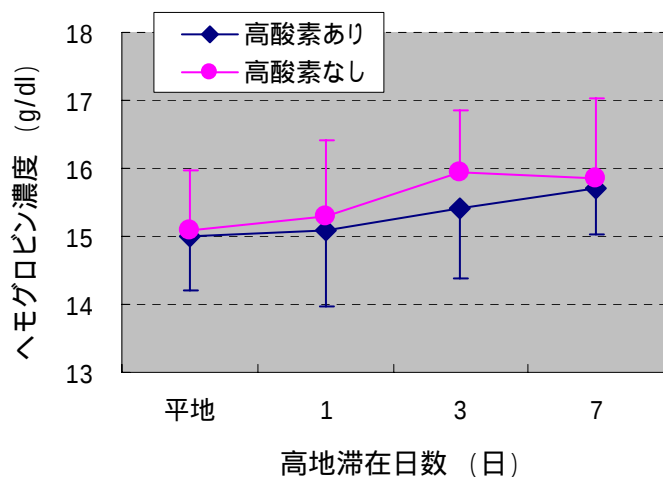


図1-6 高地合宿中における血中ヘモグロビン濃度の推移

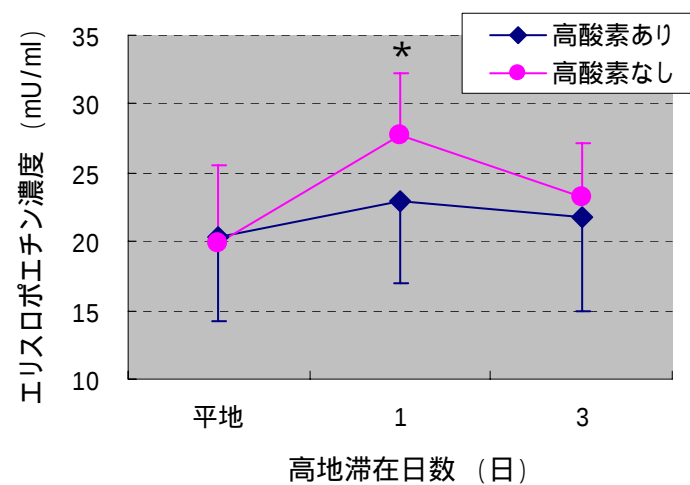


図1-7 高地合宿中における血中エリスロポエチン濃度の推移

スロポエチン濃度は、両条件ともに平地に比べてわずかに高値を示す傾向にあったが、その増加は高酸素なしの条件においてのみ有意であった。しかし、両条件の間に、有意な差は認められなかった。

なお、高地合宿中における選手の水分摂取量は、1 日およそ 3～5 リットルと平地での合宿時に比べても非常に多量であったが、高酸素ありの条件と高酸素なしの条件との間には有意な差は認められなかった。また、自覚的コンディションおよび食欲についてはトレーニング内容との関連が深く、選手のコンディション管理に非常に役立つ結果が得られたものの、高地環境下への暴露にともなう影響については、両条件ともに確認することは出来なかった。

(4) 考察

本研究における最も重要な知見は、高地環境下において短時間の高酸素暴露を実施することにより、早朝起床時の立位での SpO_2 が、通常の高地トレーニング時に比べて高値を示したことである。このことは、短時間の高酸素暴露が、高地における低圧低酸素刺激を軽減し、高地でのコンディション維持と高地順化の促進に役立つ可能性を示唆している。

一般的に、多くの持久性競技種目の選手が実施している高地トレーニングでは、高地の低圧低酸素刺激によって得られる造血作用により、酸素運搬能力や血液性状を改善させることを目的としている。この場合、通常は3週間～1ヶ月以上のトレーニング期間を設け、長期間にわたって身体を高地環境下に暴露することが必要となる。一方、本研究のように、1 週間程度の短期間の高地トレーニングでは、その造血作用の効果はほとんど期待できないため、むしろ高地の低酸素環境を用いて呼吸循環系に大きな負荷をかけることにより、平地では出来ない質の高いトレーニングを目指すことが主たる目的の一つとなる。しかし、高地トレーニングの開始初期には、低圧低酸素環境下への急性暴露の影響により、利尿作用の亢進にともなう血液濃縮や睡眠障害などが起こりやすく、コンディションを悪化させる危険性が高いことから、高強度のトレーニングを実施することが困難である。したがって、短い期間の中で、効率よく、かつ効果的にトレーニングを実施するためには、何らかの対策を講じる必要がある。

そこで、本研究では、高地トレーニング中に高酸素を処方するというこれまでにない方法で、選手のコンディションを維持することを試みた。高酸素処方とは、平地において気圧を 1.3ATA まで高めることの出来る高気圧エアークプセルを用いて実施した。ただし、このカプセルは、カプセル内外の気圧差を約 0.3ATA に保つタイプのものであるため、標高 2172m(約 0.77ATA)のホテルにおいては、カプセル内の気圧は 1.05～1.1ATA 程度であったと考えられる。選手のカプセル内での滞在時間は、気圧を上下させる時間を含めておよそ 1 時間(気圧が安定した状態で約 50 分)であり、6 名の選手全員について、移動日から高地滞在 3 日目まで毎日(一人あたり計 4 回)実施した。

その結果、選手の血中エリスロポエチン濃度は、高酸素処方を実施しなかった前回の高地合宿時に比べて、その上昇が抑制された。特に、高地滞在初日においては、その差は有意であった(図1-7)。このこ

とは、高地環境下で高酸素処方を実施することにより、低圧低酸素環境への急性暴露にともなう刺激(影響)の大きさを軽減できる可能性を示唆している。血中エリスロポエチン濃度の上昇は、造血作用を促進させる要因としては重要なシグナルであるが、その変化が大きい分だけ急性暴露の影響を大きく受けているということであり、身体コンディションを低下させる一要因になりうると考えられる。

一方、血液濃縮の程度を示す指標として測定した血中ヘモグロビン濃度については、両条件間に有意差は認められなかったものの、高酸素処方を実施しなかった場合の方が、血液が濃縮する傾向がより顕著にみられた(図1-6)。このことは、上述の低圧低酸素への急性暴露の影響が、高酸素処方によって軽減されたことと関連付けて考えることができる。本研究では、血中アルドステロン濃度など利尿ホルモンの変化については測定を行わなかったため、利尿作用の大きさの大小について直接論じることは出来ないが、高地への急性暴露の影響が軽減されることにともない、血液濃縮の程度が抑制される可能性は十分にあり得ると考えられる。

血液が濃縮するということは、血液の流動性が低下することを意味している。血液の流動性が低ければ、特に細い毛細血管などには十分な酸素を供給することが困難となる。また、起立テスト時のように急激な身体運動を行った際の心臓への静脈還流が不十分となり、1回拍出量の速やかな増加を阻害する可能性がある。本研究の結果、起床時の起立テスト時において、仰臥位での SpO_2 に両条件間で有意差は認められなかった(図1-4)が、立位で SpO_2 の値は、高酸素ありの条件が高酸素なしの条件に比べて常に高値を示した(図1-5)。このことは、高酸素ありの条件では、仰臥位から立位への急激な姿勢の変化に対して血流量の増加が速やかに行われ、結果として SpO_2 の増加をもたらしたものと考えることができる。ここで、起立テスト時の心拍数には、両条件間で顕著な差が認められない(図1-2, 図1-3)ことから、この血流量の増加は、1回拍出量の増加によるものと考えられる。したがって、この結果もまた、高酸素ありの条件は高酸素なしの条件に比べて、血液濃縮の程度が抑制され、血液の流動性が維持されたことを示しているものと考えられる。

ところで、上述のように高地の低圧低酸素環境は、血液濃縮のみならず時に睡眠障害を引き起こすことが知られている。また、先行研究では、高地は平地に比べて疲労からの回復が遅いことが示されており、これらのことは総じて身体コンディションを低下させる。本研究においては、睡眠時における睡眠の深さについては測定を実施していないが、選手からは、高酸素処方により「寝付きが良くなった」あるいは「比較的深い睡眠がとれた」などの感想が聞かれ、高酸素なしの条件に比べて、深く、質の高い睡眠が得られた可能性も考えられる。このことは、上述の急性低酸素暴露の影響の軽減と合わせて、短期間の高地トレーニング時における身体コンディションの維持に大きく貢献し、結果として高地環境への速やかな順化を促すものと考えられる。

まとめとして、本研究では、高地トレーニング中に高圧エアークプセルを用いた高酸素処方を実施した結果、高地への急性暴露の影響を軽減し、身体コンディションの維持に役立つことが明らかとなった。今後、様々な競技で高地トレーニングを実施する際の新たなコンディショニング方法となり得ることが期待される。

2. 高地環境下における高酸素吸入を用いたトレーニング方法の検討(研究課題2)

(1) 目的

アルペンスキーやフリースタイルモーグル、スノーボードなど比較的短時間(20 秒～1 分程度)の高強度運動を繰り返し行うようなトレーニング形態を有する種目では、質の高いトレーニングをどれだけ多く反復することが出来るかがパフォーマンス向上のための重要な要素となる。また、試合自体がトーナメント方式で何度も高いパフォーマンスを発揮することが求められる種目(スノーボードアルペンなど)では、試技の間に十分な回復を図ることが上位進出のために必要不可欠である。一般に、高地の低酸素環境においては、筋内のエネルギー源(クレアチンリン酸など)の回復が平地に比べて遅く(Haseler et al. (1999)), 疲労が残りやすいことが指摘されており、このことは、トレーニング時や試合時の試技間における高酸素の処方が、パフォーマンス維持のための有用な手段となり得ることを予想させる。

以上のことから、本研究では、高地トレーニング中における間欠的な高酸素吸入が、身体コンディションに及ぼす効果について検討することを目的とした。

(2) 方法

1) 対象選手

対象は、財団法人全日本スキー連盟ナショナルチームに所属するスノーボードアルペン競技選手5名(男子3名, 女子2名)であった。選手には、測定趣旨を十分に説明したうえで、参加の同意を得た。

2) 測定環境およびトレーニング内容

測定は、スノーボードアルペンナショナルチームの夏季雪上合宿(2005年7月16日～8月7日:ドゥザルブ(フランス))の期間中に実施した。約3週間の合宿期間中、選手は標高1600m地点に位置するホテルに滞在し、雪上トレーニング時にはロープウェーを用いて標高3300m～3600mの高地にあるスキー場(氷河)まで移動した。雪上でのトレーニングは、原則として午前中のみ(午前7時～11時30分)であり、ロープウェーでの移動時間を除く実際のトレーニング時間は2時間～2時間30分程度であった。トレーニング内容としては、各自数本のフリー滑走にてウォーミングアップを行ったのち、セットされたポール(旗門)通りに通過するポールトレーニングを中心に実施した。なお、午後は、ホテル周辺にてランニングや補強運動、または球技などを実施した。

3) 測定項目および測定方法

選手5名について、それぞれ高所滞在7日目(男女1名ずつ)または11日目(男子2名, 女子1名)のいずれ

れかに、高酸素ガスの吸入を用いた測定を実施した。具体的には、20～30秒程度の滑走の繰り返しとなるスノーボードのポールトレーニングの合間に高酸素ガスを吸入させ、トレーニング中における心拍数および動脈血酸素飽和度を測定した。また、トレーニング量についての調査も実施し、それらの指標について高酸素ガスを吸入させなかった日と比較検討した。

高酸素ガス吸入

高酸素ガスの発生装置には、化学反応式の携帯用酸素発生器（F・T・C社製 Vitaria1000および Vitaria2000）を用いた。酸素発生器によって生成される酸素の濃度は100%であり、生成速度は1分間あたり約1ℓであった。高酸素吸入は、ポールトレーニング中、滑走3回につき1回の割合で実施した。また、吸入のタイミングは滑走の直前または直後とし、1回につき2分間吸入させた（写真2-1および2-2）。



写真2-1 ポールトレーニングバーンと高酸素ガス吸入の場所

動脈血酸素飽和度および心拍数の測定

高地でのトレーニング中、動脈血酸素飽和度測定装置（SpO₂計：コニカミノルタ社製パルスオキシメータPulsox3i）を用いて、選手の動脈血酸素飽和度および心拍数の変化を測定した。装置の装着にあたり、通常の指先をクリップで挟むタイプのプローブでは、その上からグローブをはめることが困難であったため、ディスプレイブルタイプのプローブをテープで固定した。なお、データの取得間隔は5秒とし、測定時間は高地（スキー場）到着から120分とした。



写真2-2 ポールトレーニング前後における高酸素ガスの吸入の様子

トレーニング量の算出

トレーニング量の指標として、ポールトレーニングの本数およびポールトレーニング試技間の平均インターバルを算出した。なお、ウォーミングアップについては、高酸素ガス吸入をした日としなかった日ではほぼ同程度となるように指示したが、特に規定はしなかった。

(3) 結果

図2-1に、高地での雪上トレーニング中における高酸素吸入ありの場合となしの場合の動脈血酸素飽和度(SpO_2)の変動について、その一例を示した。120 分間のトレーニング中、選手の SpO_2 はおよそ 80%~98%の間で不規則な変動がみられるものの、高酸素吸入なしの日には、トレーニングの後半にかけて徐々に低下していく傾向が認められた。一方、高酸素吸入を行った日には、そのような低下傾向

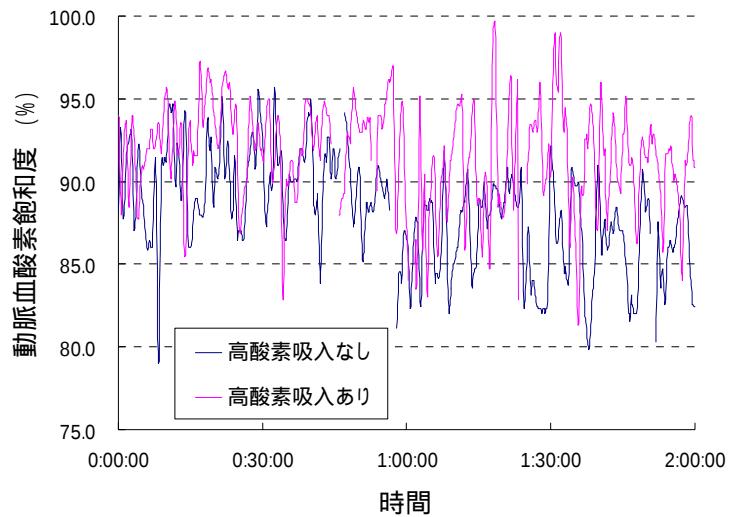


図 2 - 1 高地での雪上トレーニング中における動脈血酸素飽和度の変動の一例

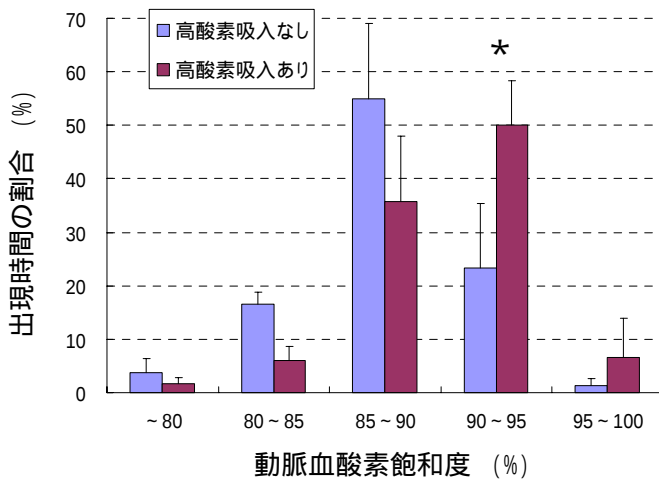


図 2 - 2 高地での雪上トレーニング中における動脈血酸素飽和度の出現時間の割合の相違

は認められなかった。なお、この傾向は、程度の違いはあるものの、選手全員に認められた。

図2-2に、高地での雪上トレーニング中における高酸素吸入ありの場合となしの場合の SpO_2 について、5%ごと(80~85%, 85~90%, 90~95%, 95~100%)に区切られたレベルごとの出現時間の割合を示した。ここで、高酸素を吸入している間は、 SpO_2 が高値を示すと考えられるため、データからはずした。高酸素吸入なしの日には、 SpO_2 が 85~90%の出現時間が最も長く、トレーニング時間のおよそ 55%を占めていたが、高酸素吸入を行った日にはおよそ 35%に低下した。また、高酸素吸入を行った日は、 SpO_2 が 90~95%の出現時間が最も長く、トレーニング時間のおよそ 50%を占めた。さらに、この割合は、高酸素吸入なしの日の 23%に比べて、有意に高値であった($P<0.05$)。

図2-3に、高地での雪上トレーニング中における高酸素吸入ありの場合となしの場合の平均の SpO_2 (左図)および平均心拍数(右図)を示した。120 分間のトレーニング中を通しての SpO_2 の平均値は、高酸素吸入ありが高酸素吸入なしに比べて有意に高値を示した($89.8 \pm 1.2\%$ vs $87.1 \pm 0.6\%$, $P<0.05$)。しかし、トレーニング中の平均心拍数については、両者に有意な差は認められなかった。

なお、高酸素吸入を行った日は高酸素吸入なしの日に比べて、ポールトレーニングの本数が有意に増加した(15.2 ± 2.0 本 vs 13.2 ± 0.8 本, $P<0.05$)。ただし、試技間の平均インターバルには、有意な差は認め

られなかった (529 ± 31 秒 vs 537 ± 35 秒, ns)。

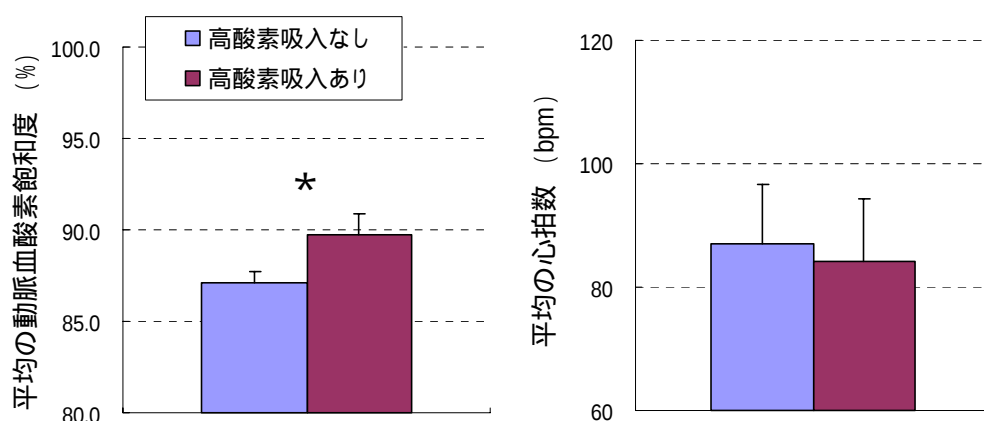


図 2 - 3 高地での雪上トレーニング中における平均の動脈血酸素飽和度および平均心拍数

(4) 考察

本研究における最も重要な知見は、高地での雪上トレーニング中に間欠的に高酸素ガスを吸入させることによって、選手の自発的なトレーニング量が増加したことである。このことは、高地トレーニングを実施する多くの競技種目にとって、トレーニングの質と量を確保するための有益な示唆を与えるものと考えられる。

シーズン競技であるスキー・スノーボード競技においては、どれだけ雪の上にいるか、すなわち雪上での専門的トレーニングをどれだけ実施できたかが、その競技力に大きく影響する。したがって、シーズン中だけでなく、平地に雪のない夏場にも、雪上でのトレーニング量をある程度確保するために、氷河(万年雪)などを求めて高地に登らざるを得ないという実情がある。しかし、本研究を実施したドゥザルプ(標高 3,300m ~ 3,600m)のようにシビアな高地環境においては、平地の 2/3 以下の大気圧の影響により、平地に比べて選手の疲労の蓄積が非常に早い。したがって、何らかの方法によってこの疲労の進行を緩和し、質の高いトレーニングを多くこなすことが可能になれば、競技力の向上に役立つものと考えられる。

そこで、本研究では、高地での雪上トレーニング中、間欠的に高酸素ガスを吸入させ、その効果を検討した。使用した高酸素ガスの濃度は 100%であったが、生成速度は毎分 1 リットルと非常に少量であり、外気と混合して吸入するため、その安全面については問題ないものと考えられる。例えば、仮に安静時における毎分換気量を 5 リットルと過程すると、5 倍に希釈されることから、実際に吸入される酸素の濃度は約 37% に相当する。高酸素吸入の結果、トレーニング中における選手の SpO_2 は、特にトレーニングの後半において高く維持された(図2-1)。高酸素吸入を実施しなかった日において、選手の SpO_2 が徐々に低下していったこと(図2-1)は、急性の低酸素暴露に対する換気応答の低下を意味しているものと考えられる。その原因としては、末梢化学受容体および中枢化学受容体を介した呼吸ドライブの低下などが考えられるが、こ

のことは、トレーニングの後半において、多くの選手に神経性の疲労ともとれるモチベーションの低下が認められたことにも関係しているかもしれない。一方、高酸素吸入を実施した日には、トレーニング中を通して SpO_2 はほぼ一定に維持された。また、トレーニング量(ポールトレーニングの本数)は、高酸素吸入を実施した日が高酸素吸入なしの日比べて有意に高値を示した。ポールトレーニングの本数は、予め規定されているものではなく、選手自らが疲労の程度に合わせて自発的に決定していることから、その本数は、選手の体力的なコンディション(どこまで体力がもったか)を反映しているものと考えられる。ここで、トレーニング試技間のインターバルには有意な差が認められなかったことから、ポールトレーニングの本数の差はすなわちトレーニング時間の差を意味している。したがって、高酸素吸入にともなう動脈血 SpO_2 の維持は、高地環境への暴露時間を延長し、トレーニング量を増加させる可能性があるものと考えられる。

ところで、本研究で実施した高酸素吸入は、およそ 20 分に 1 回(2 分間)程度であり、その酸素量も上述のようにさほど多くないことから、高酸素吸入自体が SpO_2 の測定データに及ぼす影響は限定され则认为られる。実際、高酸素吸入時においても、急性の SpO_2 の増加はわずか(2~3%)であり、その増加は吸入をやめるとすぐに消失した。したがって、吸入した酸素自体が SpO_2 を高く維持しているのではなく、間欠的に高酸素を吸入することが低酸素換気応答の低下を抑制し、換気量の大きさを高く維持することによってトレーニングの後半にも SpO_2 が高く維持されているものと考えられる。なお、本研究は、高地でのトレーニング開始 7 日目および 11 日目に実施した。したがって、高地暴露初期における順化の影響は排除できているものと考えられる。また、両トレーニング日における天候はいずれも快晴であり、トレーニングスケジュールとしてはいずれも休息日の次の日であったことから、環境的な条件および体力的な条件についてもほぼ同様であったと考えられる。

一方、上述のように、本研究で用いた携帯用の酸素発生器における酸素の生成量は毎分 1 リットルであり、酸素の吸入量としては非常に少量であった。酸素発生器に化学反応式のものを使用した理由としては、持ち運びがしやすく、比較的安全であることが挙げられる。また、航空保安上の理由により、酸素ボンベなど加圧式の高圧ボンベを航空機内に持ち込むことは困難であることから、本研究のように国外で合宿を実施する場合には、ボンベタイプのものを利用することは難しい。しかし、仮にこれらの問題がクリアできるとすれば、より酸素供給能力が大きいと考えられるボンベタイプの酸素供給装置を使用することのメリットは大きいであろう。本研究では、ポールトレーニングの合間に実施した高酸素ガス吸入には、1 回あたり約 2 分間の時間が必要であった。したがって、頻繁な高酸素ガス吸入は、トレーニングにかけることの時間を減少させることから困難であった。しかし、より短時間で多くの酸素を吸入することが可能であれば、リフト待ちやリフトに乗っている時間の中で酸素吸入を実施することが可能となり、トレーニング自体への影響は最低限に抑えられるものと考えられる。さらに、トレーニング中の SpO_2 の低下を防ぐことに貢献するのは、吸入した酸素自体ではなく、酸素吸入にともなう換気応答の低下の抑制であると考えられうることから、むしろ短時間の酸素吸入を頻繁に実施した方がより効果的であると考えられる。

まとめとして、本研究では、シビアな高地環境下での雪上トレーニング中に、携帯用の酸素発生器を用

いた間欠的な高酸素吸入を実施した結果、換気応答の低下の抑制することでトレーニング量の増加に役立つことが明らかとなった。今後、様々な競技種目において、高酸素吸入は高地トレーニングを実施する際の新たなトレーニングツールとして活用できると期待される。

おわりに

当然のことながら、全ての競技種目および競技選手に万能なトレーニングやコンディショニングは存在しない。したがって、その種目の競技特性や選手の個人差、あるいはその時々々のトレーニング目的などに合わせて、数ある選択肢の中から最適な手段を選択していくことが必要となる。さらに、国際舞台において、体格や体力に勝る他国の競技者と対等に戦っていくためには、常に新たな手段を模索・開発していくことも重要であろう。その意味でも、本研究では、従来の高地トレーニングをさらに効果的なものにするを目的として、低酸素と高酸素の組み合わせを用いた新たな方法について検討した。未だいくつかの課題は残るものの、今後さらに検討を重ねることによって、これまでにない新たなトレーニング・コンディショニング方法を提示することが可能になると期待される。

一方、どのようなトレーニング理論やコンディショニング理論であれ、研究として議論するだけでなく、トレーニング現場での実践とその積み重ねがなければ、本当の意味での発展はあり得ない。本研究に限らず、実際のトレーニング現場で生じた疑問や課題を研究に落とし込み、得られた研究成果を再び様々な競技現場に還元していく“研究と実践のスパイラル”を確立していくことこそが、身体資源に劣る我々日本人にとって国際競技力を高めるための近道であると考えられる。

参考文献等

Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH, Lakomy HK. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J Appl Physiol*, 80: 876-84, 1996.

Chance B, Dait MT, Zhang C, Hamaoka T, Hagerman F. Recovery from exercise-induced desaturation in the quadriceps muscles of elite competitive rowers. *Am J Physiol*, 262: C766-75, 1992.

Haseler LJ, Hogan MC, Richardson RS. Skeletal muscle phosphocreatine recovery in exercise-trained humans is dependent on O₂ availability. *J Appl Physiol*, 86: 2013-8, 1999.

Hendriksen IJ, Meeuwse T. The effect of intermittent training in hypobaric hypoxia on sea-level exercise: a cross-over study in humans. *Eur J Appl Physiol*, 88: 396-403, 2003.

- Karvonen J, Peltola E, Naveri H, Harkonen M. Lactate and phosphagen levels in muscle immediately after a maximum 300 m run at sea level. *Res Q Exerc Sport*, 61: 108-10, 1990.
- Karvonen J, Peltola E, Saarela J, Nieminen MM. Changes in running speed, blood lactic acid concentration and hormone balance during sprint training performed at an altitude of 1860 metres. *J Sports Med Phys Fitness*, 30: 122-6, 1990.
- McCully KK, Iotti S, Kendrick K, Wang Z, Posner JD, Leigh J Jr, Chance B. Simultaneous in vivo measurements of HbO₂ saturation and PCr kinetics after exercise in normal humans. *J Appl Physiol*, 77: 5-10, 1994.
- Meeuwsen T, Hendriksen IJ, Holewijn M. Training-induced increases in sea-level performance are enhanced by acute intermittent hypobaric hypoxia. *Eur J Appl Physiol*, 84: 283-90, 2001.
- Mizuno M, Juel C, Bro-Rasmussen T, Mygind E, Schibye B, Rasmussen B, Saltin B. Limb skeletal muscle adaptation in athletes after training at altitude. *J Appl Physiol*, 68: 496-502, 1990.
- Nummela A, Rusko H. Acclimatization to altitude and normoxic training improve 400-m running performance at sea level. *J Sports Sci*, 18: 411-9, 2000.
- Ogita F and Tabata I. The effect of high-intensity intermittent training under a hypobaric hypoxic condition on anaerobic capacity and maximal oxygen uptake. Keskinen et al Eds, *Biomechanics and Medicine in Swimming*. Gummerus Printing, pp. 423-8, 1998.
- Roberts AD, Clark SA, Townsend NE, Anderson ME, Gore CJ, Hahn AG. Changes in performance, maximal oxygen uptake and maximal accumulated oxygen deficit after 5, 10 and 15 days of live high:train low altitude exposure. *Eur J Appl Physiol*, 88: 390-5, 2003.
- Serresse O, Lortie G, Bouchard C, Boulay MR. Estimation of the contribution of the various energy systems during maximal work of short duration. *Int J Sports Med*, 9: 456-60, 1988.
- Truijens MJ, Toussaint HM, Dow J, Levine BD. Effect of high-intensity hypoxic training on sea-level swimming performances. *J Appl Physiol*, 94: 733-43, 2003.
- 山地啓司．短距離選手の低酸素室を用いた Living High-Training Low (LH-TL) 式トレーニングにみられる生理的応答．ランニング学研究，14: 11-20, 2003．