

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 4月 27日現在

機関番号：32620

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21500607

研究課題名（和文）低酸素環境を利用した新たな無酸素トレーニング方法の開発

研究課題名（英文）Development of a new anaerobic training method for improving sprint capacity using normobaric hypoxic condition

研究代表者

形本 静夫 (KATAMOTO SHIZUO)

順天堂大学・スポーツ健康科学部・教授

研究者番号：50053343

研究成果の概要（和文）：

低酸素環境下でスプリント運動を行った場合、大学男子中距離選手および一般男子学生においては、高度 3,500m に相当する酸素濃度 (13.59%) 以下の低酸素条件で無酸素代謝の亢進が生ずる可能性を明らかにすることができた。しかし、この酸素濃度下で、1日2回、10日間にわたり40秒間のスプリント運動を行っても、被験者の無酸素代謝に亢進は見られなかった。今後は、さらに長期にわたるトレーニング研究の必要性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：

The suramaximal sprint exercise under hypoxic condition could induce that the increased anaerobic energy release in collegiate male middle distance runners and male students below oxygen concentrations of 13.59% corresponding to the altitude of 3,500m. However, the 40-second supramaximal sprint training did not cause the increased anaerobic energy metabolism in collegiate male soccer players. These results warrant further long-term training research on the changes of anaerobic metabolism by supramaximal sprint exercise under hypoxic condition.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：運動生理学

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・トレーニング科学

キーワード：無酸素代謝、酸素濃度、低酸素トレーニング、スプリント運動

1. 研究開始当初の背景

低酸素環境下で超最大強度のランニングを行うと、酸素摂取量は運動開始 30 秒以降有意に低下するが、走スピードは 60 秒に至るまで低下しないことが先行研究によって

示されている。このことは、低酸素吸入に伴う酸素摂取量の低下を、無酸素代謝を亢進させることによって補償していることを示唆しており、低酸素環境下における超最大運動トレーニングが、無酸素代謝能力向上のため

の新たなトレーニング方法となる可能性を示している。このことから、トレーニング研究も行われてきているが、その研究成果には矛盾が見られる。すなわち、低酸素環境下でのスプリント・トレーニングの結果として、無酸素代謝が亢進するとする結果がある一方、無酸素代謝になんらの変化ももたらさないとする報告も見られ、一致した見解は得られていない。その背景としては、対照群の設定がないため、トレーニングの効果が低酸素の影響によるものなのか、トレーニング自体によるものなのかが不明である。あるいは、無酸素代謝の亢進がいずれの酸素濃度から生ずるかは明らかにされていないままにトレーニング研究が行われていることから、無酸素代謝の亢進を期待することができない酸素濃度が用いられていた可能性が考えられている。

2. 研究の目的

したがって、本研究では、低酸素環境下におけるスプリント運動(自転車エルゴメータを利用した超最大ペダリング運動)を行ったとき、いずれの酸素濃度から無酸素代謝の亢進が生ずるを明きからにすること、および明らかにされた酸素濃度を用いてトレーニング実験を行い、無酸素代謝能力を改善させるための新たなトレーニング方法を開発すること目的とした。

3 研究の方法

(1) 無酸素代謝の亢進が得られる酸素濃度に関する研究

無酸素代謝の亢進を期待できる酸素濃度を明らかにするために、標高 0m, 2,000m, 2,500, 3,000m, 3500m および 4,000m に相当する酸素濃度(それぞれ 20.93%, 16.43%, 15.43%, 14.49%, 13.59%, および 12.74%)を用いて、40秒間の超最大ペダリング運動テスト(ゲートテスト)を異なる2群の被験者に行わせた。用いた被験者は、陸上競技男子大学中距離選手8名および日頃特別にトレーニングを行っていない一般学生男子8名であった。各被験者は、ウインゲートテスト時の酸素需要量推定のための酸素摂取量-仕事率・ケイデンス関係作成のための最大下運動テストの負荷を決定するため、まず最初に、最大運動テストを受け、最大酸素摂取量の評価を受けた。つぎに、被験者は最大酸素摂取量の40%, 60%および80%を用いて、ケイデンス40rpm, 60rpm, 80rpm および100rpmによる6分間の最大下ペダリング運動を間に5分間の休息を挟みながら1日6試行繰り返した。酸素摂取量-仕事率・ケイデンス関係式は、測定された値を、

$$\text{酸素摂取量} = a \cdot \text{仕事率} + b \cdot \text{ケイデンス} +$$

$$c \cdot \text{ケイデンス}^2 + d$$

なる式を用いて近似することによって作成した。ただし、仕事率はワット、ケイデンスは1分間の回転数。a, b, c および d は定数、である。

ウインゲートテスト時の酸素借の測定は、最大下運動テストにおいて作成した酸素摂取量-仕事率・ケイデンス関係式を用いて推定した酸素需要量から、運動中に実際に摂取された酸素量を差し引くことによって算出した。評価に用いた測定変量は、平均パワー、平均回転速度、酸素摂取量、酸素需要量、酸素借、総エネルギー消費に対する無酸素代謝の割合および血中乳酸濃度であった。

すべての運動は、摩擦抵抗の自転車エルゴメータ(Monark 818E, Sweden)を用いて行った。

(2) トレーニング研究

男子大学サッカー選手14名を対象に、10日間にわたるトレーニング研究を実施した。被験者は、体重の7.5%の負荷による40秒間の超最大ペダリング運動(スプリント運動)を、標高3,500mに相当する酸素濃度(13.59%)を吸入しながら行う実験群7名と、通常酸素濃度20.93%を吸入しながら行う対照群7名とに分けられた。いずれの群も所定のトレーニングを1日2回、5日間連続して行ったのち、1日の休息を挟んで、さらに5日間連続して行った。トレーニングはすべて電磁式ブレーキ抵抗を用いた自転車エルゴメータ(PowermaxV II)を用いて行った。実験群および対照群のサッカーのトレーニング内容は同一であった。

トレーニング効果は、10日間のトレーニング期間の前後に、研究(1)と同様にしてウインゲートテストを実施して評価した。

4. 研究成果

(1) 無酸素代謝の亢進が得られる酸素濃度に関する研究

標高0mから4,000mまでに相当する種々の酸素濃度を用いて、40秒間の超最大運動時における無酸素代謝の亢進を検討した結果、男子中距離選手においては、運動中のパワー出力(図1)および酸素需要量(図2)に、吸入した酸素濃度の影響は観察されなかった。すなわち、吸入する酸素濃度が標高4,000mに相当する12.74%まで低下しても、運動のパフォーマンスとしての平均パワー出力は変化せず、運動の総エネルギー消費の指標としての酸素需要量にも酸素濃度の影響は認められなかった。

これに対し、運動中の酸素摂取量は、酸素濃度の減少(標高の増加)とともに低下する傾向を示し、高度3,000mに相当する14.49%の酸素濃度のときの減少は、統計的にも有意

であった ($P < 0.05$, 図 3)。

これらの事実は、低酸素吸入によって運動中の有酸素的なエネルギー供給が低下したにも関わらず総エネルギー供給量は影響されることがなく、パフォーマンスが一定に保たれたことを示すものであり、これまでの先行研究の結果を支持するものであった。

その背景としては、先行研究によって指摘されてきた代償的な無酸素的エネルギー代謝の亢進が生じたものと推察された。

そこで各酸素濃度条件で推測された酸素借を見てみると、その絶対値には有意な変化は認められなかったものの、運動中の総エネルギー消費に対する酸素借(無酸素代謝)の割合は、酸素濃度の減少とともに増加する傾向が認められ、標高 4,000m に相当する酸素濃度 12.74%における変化は統計的にも有意であることが示された(図 4)。

したがって、先行研究と同様に、低酸素吸入による有酸素的エネルギー供給量の低下を、無酸素代謝を亢進させることによって補償していることが明らかにされた。

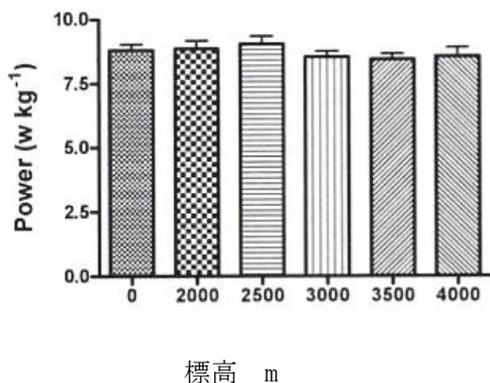


図 1. 標高と 40 秒間の運動中の平均パワーとの関係

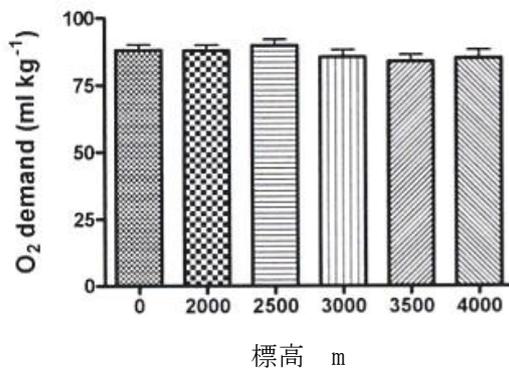


図 2. 標高と 40 秒間の運動中の酸素需要量との関係

ml · kg⁻¹

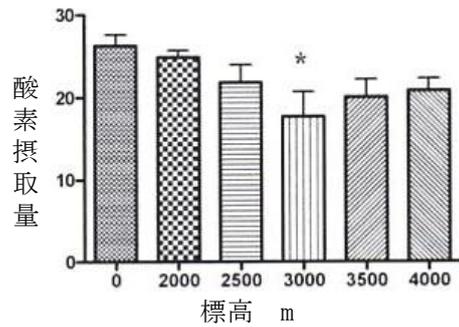


図 3. 標高と運動中の酸素摂取量との関係 (* $P < 0.05$ vs 0m)

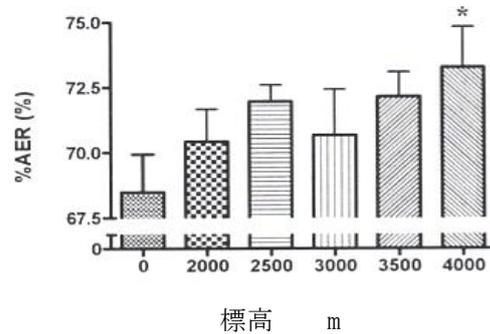


図 4. 標高と酸素需要量に対する無酸素的代謝量の割合 (%AER) との関係 (* $P < 0.05$ vs 0m)

さらに、一般学生男子においても、運動中の酸素摂取量は、標高 3,500m および 4,000m に相当する酸素濃度 (13.59% および 12.74%) で有意に低下した。また、総エネルギー消費に対する無酸素代謝の割合も統計的には有意ではなかったものの、標高 3,500m に相当する酸素濃度 13.59% 以降で増加する傾向が示された。

このように、一般学生男子では統計的にも有意な無酸素代謝の亢進が生ずる酸素濃度を同定することができなかったが、運動中の平均パワーには酸素濃度の影響が観察されず、運動中の酸素摂取量は標高 3,500m に相当する 13.59% 以降の酸素濃度では有意に低下することが認められた。

したがって、2つの研究結果から、低酸素環境下においてスプリント運動を行った場合、無酸素代謝の亢進が期待できる酸素濃度は、標高 3,500m 以上に相当する 13.59% より低い酸素濃度にあることを指摘することができると思われる。

21 年度および 22 年度に行った研究の結果から、トレーニング状態に関係なく、無酸素代謝の亢進が期待できる酸素濃度の臨界点

を明らかにできたことは、今後のトレーニング研究における使用する酸素濃度を決定する上で、大きな貢献をもたらす知見であると思われる。これまでのトレーニング研究の中には、これよりも高い酸素濃度で研究が行われているものもあり、矛盾した研究結果の一因になっていることが考えられるからである。

(2) トレーニング研究

過去2年間の研究成果から、低酸素環境下で短時間の超最大運動を行うとき、無酸素代謝の亢進を期待するためには、少なくとも標高3,500m以上に相当する酸素濃度を用いることが必要であることが示唆された。

そこで、23年度には、標高3,500mに相当する13.59%の酸素濃度を用いて、トレーニング実験を行った。

大学男子サッカー選手を対象に、1日2回、10日間の自転車エルゴメータによる40秒間の無酸素トレーニングを低酸素吸入下(酸素濃度13.59%)で実施し(7名)、その効果を通常酸素吸入下(酸素濃度20.935%)でのトレーニングの場合(7名)と比較検討した。

しかし、トレーニング前後における実験群および対照群の無酸素代謝に関する変量には、なんら有意な増加は観察されなかった。したがって、一過性の運動テストで認められた新たな無酸素トレーニング方法としての可能性を、トレーニング実験によって実証することはできなかった。

しかしながら、このような事実は、低酸素環境を利用した新しい無酸素トレーニング方法としての可能性を、必ずしも否定するものではないと考えている。

今回被験者としたサッカー選手は、日頃のトレーニングや試合の中で、無酸素的なトレーニング刺激を受けている。したがって、彼らの無酸素能力を、低酸素環境を利用して高めるためには、より長期間の数ヶ月にわたるトレーニングが必要であったのかもしれない。

また、今回無酸素代謝亢進の評価に用いた酸素借は、最大下負荷時の酸素摂取量－仕事率・ケイデンス関係を超最大負荷まで外挿して推定した酸素需要量から運動中の酸素摂取量を差し引くことによって求めた推測値でしかない。この方法論は、多くの先行研究で用いられてきたものであるが、絶対的な定量的評価を行うためには、やや妥当性に欠けるのかもしれない。

したがって、今後新しい無酸素トレーニング方法としての検討を進めていくためには、筋内の無酸素代謝を直接反映する測定方法の導入が不可欠であると思われる。その一つとして、少なくとも筋バイオプシー法による代謝産物の測定を同時に行うことが必要で

あると考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計1件)

形本静夫、低酸素環境を利用したスプリントトレーニングについて、第65回日本体力医学会大会シンポジウム、平成22年9月17日、千葉商科大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

形本 静夫 (KATAMOTO SHIZUO)

順天堂大学・スポーツ健康科学部・教授

研究者番号：50053343