

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 25 年 4 月 29 日現在

研究種目：基盤研究（C） 機関番号：14101
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22500604
 研究課題名（和文） 低酸素環境での持久的運動を用いた体脂肪燃焼促進に関する研究
 研究課題名（英文） The research about promotion of body fat burning by endurance exercise in hypoxic environment.
 研究代表者
 杉田 正明（SUGITA MASAOKI）
 三重大学・教育学部・教授
 研究者番号：60235885

研究成果の概要（和文）：本研究の成果から、特に標高 2000m 以上の低酸素環境下における軽度～中等度の運動強度での 40 分以上の持続的運動は、運動中及び運動後の脂肪燃焼を促進させる効果があることが示唆された。物理的環境条件（酸素濃度や標高）よりも動脈血酸素飽和度で表される生理的な低酸素刺激に対する応答レベルが体脂肪燃焼等に影響を及ぼしていることも明らかとなった。今後は、生体が受ける低酸素刺激の反応に着目して、トレーニング効果の最大化を図るプログラムづくりが課題であるといえる。

研究成果の概要（英文）：

From the result of this research, it was suggested that especially the prolonged exercise for 40 minutes or more in the exercise intensity of mild to moderate in low-oxygen environment at an altitude of 2000m or more is effective in promoting the fat combustion during exercise and after exercise.

It became clearer that the response level represented by the arterial oxygen saturation has also affected body fat combustion than oxygen concentration and altitude.

The next research is the making of program to plan the maximization of the training effect using environment for hypoxia.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学 スポーツ科学

キーワード：低酸素 酸素飽和度 体脂肪燃焼 ウォーキング 自転車駆動運動

1. 研究開始当初の背景

高地環境における運動時の代謝は、解糖系に依存しているとし、積極的な脂肪代謝の亢進を報告した研究は見当たらない。

申請者は、2005-2006 年に受けた科学研究費において「低酸素環境下を用いたレジスタ

ンス、体脂肪燃焼トレーニングに関する研究」でこの点について、低酸素テント（常圧低酸素）を用いたウォーキングによって検証するべく研究を進めた。しかし、運動中の体脂肪燃焼についての積極的な効果はやはり認められなかったが、運動終了直後から運動

終了後 40 分（それ以降は未計測）までは常酸素環境下に比べて低酸素環境下で歩行した時の方が、脂質の代謝が亢進していることが明らかとなり、常圧低酸素環境を用いた体脂肪燃焼については運動後の効果についてその可能性が示唆された。

したがって、低酸素環境下での運動時ではなく、受動的な低酸素暴露+運動によって、運動後に焦点を当てた脂質代謝の亢進作用について、十分に検討する必要性と意義があるものと考えられる。

2. 研究の目的

(1) 常酸素環境下と常圧低酸素環境下(酸素濃度 15.4%、標高 2500m 相当)の2つの条件下で、30%V_{O2}max に相当する速度での各 40 分間ウォーキングが体脂肪燃焼に与える効果について

(2) 常酸素環境下と常圧低酸素環境下(標高 2500m 相当)の2つの条件下で、中強度(50%V_{O2}max)での各 40 分間の自転車駆動運動が体脂肪燃焼に与える効果について

(3) 異なる常圧低酸素環境下(標高 1000m、2000m、3000m 相当)の3つの条件下で、中強度(50%V_{O2}max)でのそれぞれ 40 分間の自転車駆動運動が体脂肪燃焼に与える効果について、明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 健全な成人男性 7 名(年齢 22.0±0.6 歳、身長 172.1±6.0cm、体重 66.5±8.4kg)を対象とした。常酸素環境下と低酸素環境下(15.4%:標高 2500m 相当)で 30%V_{O2}max に相当する速度で 40 分間、トレッドミル上でウォーキングを行わせ、運動開始から運動終了 120 分後までの呼気ガス分析を、安静時及び運動終了直後、60 分後、120 分後に採血を、運動中及び運動後の心拍数(HR)、主観的運動強度(RPE)及び動脈血酸素飽和度(SpO₂)を測定した。酸素摂取量、呼吸交換比を用いた糖消費量、脂肪消費量を求めた。

(2) 健全な成人男性 8 名(年齢 22.4±0.9 歳、身長 172.9±5.5cm、体重 69.4±5.8kg)を対象とした。常酸素環境下と低酸素環境下(15.4%:標高 2500m 相当)で V_{O2}max の 50%に相当する負荷(低酸素 93.4±11.5W 常酸素 115.0±15.3W)で 40 分間の自転車駆動(60rpm)を行わせ、運動開始から運動終了 120 分後までの呼気ガス分析を、運動中及び運動後の HR、RPE 及び SpO₂ を測定した。

(3) 健全な成人男性 8 名(年齢 21.9±1.8 歳、身長 172.8±5.0cm、体重 69.6±7.3kg)を対象とした。常圧低酸素環境下(18.6%:標高 1000m、16.4%:標高 2000m、14.5%:標高 3000m 相当)でそれぞれ V_{O2}max の 50%に相当する負荷(標高 1000m:113.2±7.9W、標高 2000m:108.0±9.8W、標高 3000m:99.0±9.8W)

で 40 分間の自転車駆動(60rpm)を行わせ、運動開始から運動終了 60 分後までの呼気ガス分析を、運動中及び運動後の HR、RPE 及び SpO₂ を測定した。

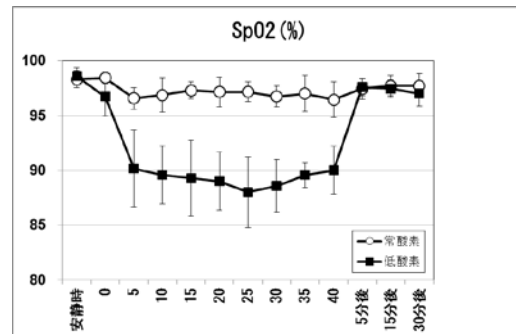


図 1. 運動中の酸素飽和度の推移 (M±SD)

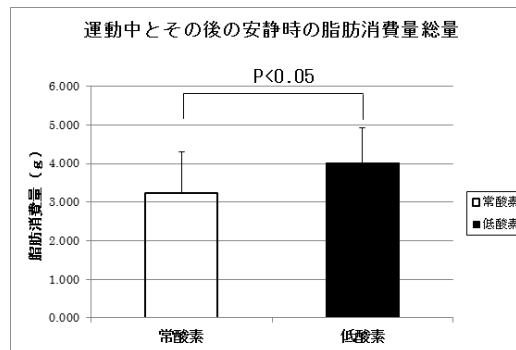


図 2. 常酸素環境下と低酸素環境下における脂肪消費量の総量

4. 研究成果

(1) 2 条件下(常酸素と酸素濃度 15.4%:標高 2500m 相当)における 30%V_{O2}max (両条件とも同じ速度:6.4±0.39km/h)での 40 分間ウォーキングの際の心拍数は、低酸素環境下(101.1±11.3 拍/分)の方が常酸素環境下と比較して、有意(p<0.001)に高く、酸素飽和度(SpO₂)は、低酸素環境下(89.3±2.4%)の方が常酸素環境下と比較して、有意(p<0.001)に低かった(図 1)。しかし、ウォーキング中の二酸化炭素排出量、呼吸交換比、糖消費量、脂肪消費量及び主観的運動強度(RPE)については、両群間に有意な差は認められなかった。ウォーキング後の脂肪消費量の総量の平均値は、低酸素環境下の方が高い傾向を示したが、有意な差は認められなかった。対象者 7 名中 6 名が低酸素環境下の方が運動後の脂肪消費量の総量が高い値を示した。運動中とその後の安静の脂肪消費量の総量の平均値は、低酸素環境下の方が有意(p<0.05)に高い値を示した(図 2)。

血液性状について、血糖値、トリグリセライド、遊離脂肪酸、ケトン体、成長ホルモン、インスリン、ヘモグロビン、エリスロポエチンは、安静時に対する倍率の平均値において両群間に有意な差は認められなかった。

以上の結果より、低酸素環境下における

30%V02max の速度での 40 分ウォーキングは、心拍数の増加や酸素飽和度 (SpO2) の低下をもたらし、脂質代謝をわずかに亢進させる可能性のあることが示唆された。

(2) 2 条件下 (常酸素と酸素濃度 15.4%: 標高 2500m 相当) でそれぞれ 50%V02max (常酸素 115.0 ± 15.3W、低酸素 93.4 ± 11.5W) での 40 分間 (60rpm) 自転車駆動運動を行わせた。運動負荷は各環境下における予備実験で求めた V02max の 50% に相当する負荷を用いた。

運動中の酸素摂取量の平均値は、低酸素環境下の方が常酸素環境下と比較して有意 (p < 0.05) に低値を示した。しかし、%V02max は低酸素環境下で 52.7%、常酸素環境下で 54.2% と両群で有意な差は認められなかった。

酸素飽和度 (SpO2) は、低酸素環境下 (88.6 ± 0.43%) の方が常酸素環境下 (95.8 ± 0.34%) と比較して、有意 (p < 0.01) に低値を示した。心拍数と主観的運動強度については、両条件間で有意な差は認められなかった。

呼吸交換比は、運動中の平均値は低酸素環境下 (0.86 ± 0.04) の方が常酸素環境下 (0.94 ± 0.01) と比較して有意 (p < 0.01) に低値を示した (図 3)。したがって、運動中の総脂肪消費量の平均値は低酸素環境下 (18.5 ± 6.4g) が常酸素環境下 (8.6 ± 2.0g) と比較して有意 (p < 0.01) に高値を示した (図 4)。運動中の糖消費量の総量の平均値は低酸素環境下 (50.8 ± 9.85g) の方が常酸素環境下 (81.7 ± 10.08g) より有意 (p < 0.001) に低値を示した。

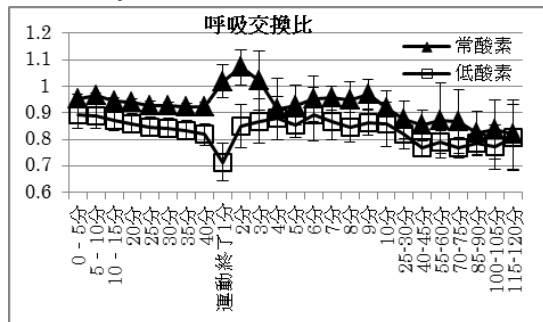


図 3. 運動中及び運動後の呼吸交換比の推移

運動後の呼吸交換比は、低酸素環境下の方が常酸素環境下よりも低く (図 3)、運動後の

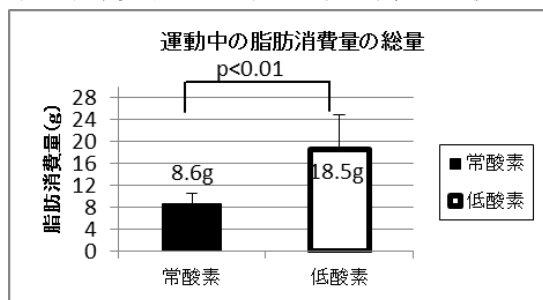


図 4. 常酸素環境下と低酸素環境下での運動中の脂肪の総消費量

脂肪消費量の総量の平均は低酸素環境下の方が常酸素環境下よりも有意 (p < 0.01) に高い値を示した (図 4)。

以上の結果より、低酸素環境下 (2500m) における、50%V02max 程度の負荷での 40 分間の自転車駆動運動は、運動時とその後の安静時において糖消費量を抑え、脂肪消費量を亢進させることから、常酸素環境下で同程度の負荷で持続的運動を行うことに比べ体脂肪を効率よく燃焼させることが明らかとなった。

(3) 異なる酸素濃度における低酸素環境下 (酸素濃度 18.6%: 標高 1000m 相当、16.4%: 標高 2000m 相当、14.5%: 標高 3000m 相当) で 40 分の自転車駆動をそれぞれ行わせた。運動負荷は各環境下における予備実験で求めた V02max の 50% に相当する負荷を用いた。各環境下毎の設定負荷 (標高 1000m: 113.2 ± 7.9W、標高 2000m: 108.0 ± 9.78W、標高 3000m: 99.0 ± 9.83W) で 40 分間 (60rpm) 行わせた。

運動中の酸素摂取量の平均値は標高 3000m 相当の低酸素環境下の値は標高 1000m 相当の低酸素環境下の値より有意 (p < 0.05) に低値を示し、各低酸素環境下における運動強度は、49.7 ~ 52.9% であり、有意差は認められず、ほぼ同等の設定負荷 (50%V02max) で実験を行うことができた (図 5)。

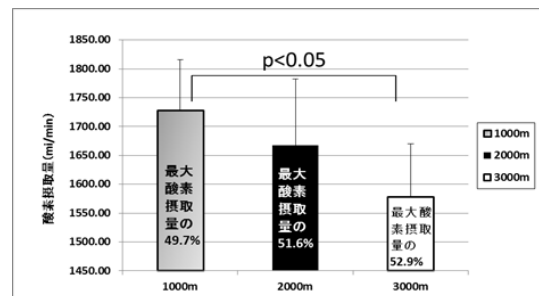


図 5. 標高 1000m、2000m、3000m 相当の低酸素環境下における酸素摂取量の平均値

運動中の呼吸交換比の平均値は 3 つの低酸素環境間で有意な差は認められなかった。運動中の SpO2 の平均値は、標高 1000m (94.1%) > 2000m (90.1%) > 3000m (82.6%) 相当の低酸素環境下の値の順で大きく、それぞれの間で有意 (p < 0.05 ~ 0.001) な差が認められた。運動中の糖消費量および脂肪消費量の平均値は、3 つの低酸素環境間で有意な差は認められなかった。

運動後の糖消費量の総量の平均値は、標高 3000m 相当の低酸素環境下の値 (14.2g) が標高 1000m 相当の低酸素環境下の値 (17.0g) より有意 (p < 0.05) に低い値を示し、反対に運動後の脂肪消費量の平均値は、標高 3000m 相当の低酸素環境下の値が標高 1000m 相当の低

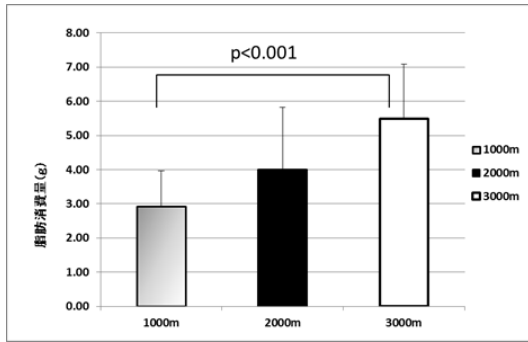


図 6. 標高 1000m、2000m、3000m 相当の低酸素環境下における運動後の脂肪消費総量

酸素環境下の値より有意 ($p < 0.001$) に高い値を示した (図 6)。

各環境下全体における運動中の SpO2 と運動後の糖消費量は有意な正の相関関係 ($p < 0.05$, $r = 0.415$) が認められ、運動中の SpO2 と運動後の脂肪消費量は有意な負の相関関係 ($p < 0.05$, $r = -0.463$) が認められた (図 7)。

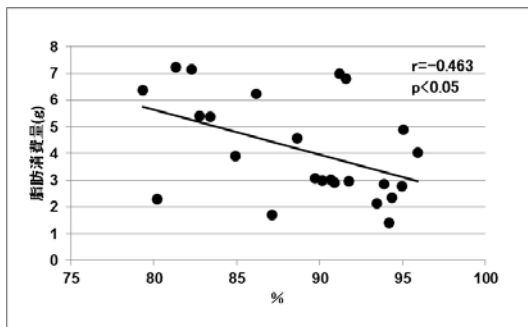


図 7. 各環境下全体における SpO2 と運動後の脂肪消費量の相関関係

40 分間の自転車駆動運動中における糖消費量および脂肪消費量の総量の平均値は 3 つの低酸素環境間で有意な差は認められなかったが、運動後 60 分間では、糖消費量の総量は標高 1000m > 2000m > 3000m 相当の低酸素環境下の順で大きい値を示し、逆に、脂肪消費量の総量は標高 1000m < 2000m < 3000m 相当の低酸素環境下の順で大きい値を示した。これらのことから、運動中の SpO2 の値が低いと、運動後の糖脂肪量は抑制され、脂肪消費量は亢進する傾向があることが明らかとなった。

以上の 3 つの研究結果から、特に標高 2000 m 以上の低酸素環境下における軽度～中等度の運動強度での 40 分以上の持続的運動は、運動中及び運動後の脂肪燃焼を促進させる効果があるということができ、ひじょうに意義深い知見を得ることができた。

さらに、結果に対する個人差については、酸素濃度や標高といった物理的な環境条件に影響されるのではなく、生体における動脈血酸素飽和度で表される生理的な低酸素刺激に対する応答レベルが体脂肪燃焼等の効

果に大きく影響を及ぼしていることも明らかとなった。

今後は、環境負荷 (標高、酸素濃度) を制御、規定するのではなく、生体を受ける低酸素刺激の反応の大きさや個人差 (酸素飽和度) に着目して、トレーニングの条件を設定し、トレーニング効果の最大化を図る必要があると考えられる。このような考え方によって、低酸素トレーニング (高地トレーニング) をより安全に、そしてより高い効果が得られる方法が導き出されるものと考えられる。

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)

〔雑誌論文〕 (計 0 件)

〔学会発表〕 (計 0 件)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉田 正明 (SUGITA MASAOKI)

三重大学・教育学部・教授

研究者番号：60235885

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし