

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：24506

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K19509

研究課題名（和文）トレーニング中の筋および血中酸素飽和度は低酸素トレーニングの効果に影響するのか？

研究課題名（英文）Does muscle and blood oxygen saturation during training affect the effectiveness of hypoxic training?

研究代表者

森 寿仁（Mori, Hisashi）

兵庫県立大学・環境人間学部・講師

研究者番号：90794298

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、異なる酸素濃度での有酸素性およびレジスタンス運動中の血中および筋酸素飽和度と生理応答の関係を明らかにすることを試みた。その結果、いずれの運動様式でも、血中と骨格筋の酸素飽和度の低下度合いは一致せず、より低い酸素濃度環境において筋酸素飽和度の低下がみられた。したがって、骨格筋の適応を促したい場合、安全な範囲かつ比較的低い酸素濃度でのトレーニングが好ましい可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

低酸素トレーニングは近年アスリートのトレーニングだけでなく、健康増進のための新たなトレーニング方法として注目されている。また、都市部では低酸素トレーニングが可能なトレーニングジムも増加している。本研究の知見からは、トレーニング目的にもよるが、安全性の確保できる範囲で比較的低い酸素濃度で実施する運動が、血中だけでなく筋の酸素飽和度の低下を促し、通常酸素環境では起こりえない筋への低酸素刺激が与えられ、トレーニング効果が高まる可能性があることを示したものである。

研究成果の概要（英文）：The present study sought to determine the relationship between blood and muscle oxygen saturation and physiological responses during aerobic and resistance exercise at different oxygen concentrations. The results showed that the degree of decrease in blood and skeletal muscle oxygen saturation did not coincide with each other, and muscle oxygen saturation decreased at lower oxygen concentrations in both exercise modalities. Therefore, training in a safe range and at relatively low oxygen concentrations may be preferable for promoting skeletal muscle adaptation.

研究分野：運動生理学

キーワード：低酸素 筋酸素飽和度 動脈血酸素飽和度 心拍出量

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

低酸素室を用いたトレーニングは今もなお、高地トレーニングの代替手段として考えられており、すべての選手が同一の酸素濃度下でトレーニングを行っていることが多い。しかし、低酸素環境では体内(血中および骨格筋内)の酸素飽和度に大きな個人差が認められる。また、著者らは血中および骨格筋内の酸素飽和度が、内分泌応答などと関連することをこれまでの研究で明らかにしてきた。したがって、体内の酸素飽和度の個人差がトレーニング効果に影響している可能性がある。

2. 研究の目的

低酸素環境における動脈血酸素飽和度と筋酸素飽和度の低下に着目し、異なる酸素濃度における有酸素性およびレジスタンス運動時における生理応答から、その関連性を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

【研究1】有酸素性運動を対象とした検討

非喫煙の成人男性8名を対象に、標高0m(吸気酸素飽和度 $[FiO_2]$:20.9%)、2000m(FiO_2 :16.4%)、3000m(FiO_2 :14.5%)、4000m(FiO_2 :12.9%)相当の低酸素環境において、自転車エルゴメーターを用いた多段階試験を実施した。最大努力での運動という特性から、試技順は対象者の安全性を考慮して酸素濃度が順に低くなるように配慮した。測定項目は、酸素摂取量(VO_2)、二酸化炭素産生量(VCO_2)、呼吸交換比(RER)、心拍出量(CO)、外側広筋の筋酸素飽和度(StO_2)、動脈血酸素飽和度(SpO_2)、血中乳酸濃度(BLa)とした。

【研究2】レジスタンス運動を対象とした検討

非喫煙の成人男性9名を対象に、標高0m(FiO_2 :20.9%)、2000m(FiO_2 :16.4%)、3000m(FiO_2 :14.5%)、4000m(FiO_2 :12.9%)相当の低酸素環境で片脚でのレッグエクステンション運動を実施した。運動強度は通常酸素環境における1RMの60%強度とし、2分の休息を挟みながら、挙上2秒・下降2秒のリズムで10回を5セット実施した。なお、試技順はランダムとし、対象者に吸気酸素濃度をブラインドするシングルブラインド法を用いた。測定項目は、大腿直筋および外側広筋の StO_2 、 SpO_2 、BLa、主観的運動強度とした。

4. 研究成果

【研究1】

筋代謝(末梢での酸素利用)の指標である動静脈酸素較差と StO_2 は、4000mで他の高度よりも顕著に低下している傾向が見られ、動静脈酸素較差では4000mが0mと比較して有意に低値を示した。つまり、4000m程度の酸素濃度から末梢での酸素利用の低下が起り始めていることが分かる。加えて呼吸交換比(RER)でも4000mが0mと比較して有意に高値を示したことから、末梢の活動筋レベルでの低酸素化が進み、無酸素性のエネルギー代謝が亢進したことが考えられる。したがって、4000m程度での運動は筋代謝に大きな変化をもたらしている可能性がある。

次に最大下強度、特に乳酸閾値レベルの運動強度(60%~80% VO_{2max})での SpO_2 との関連について検討した。4000m相当でのこの強度の範囲における SpO_2 の値を見ると、おおよそ80%程度であった。山本(2020)はスポーツトレーニング現場での経験則から、持久性運動時の SpO_2 が70%台後半~80%台前半となることが望ましいと示している。本研究の結果から、4000m程度の酸素濃度で SpO_2 が80%を示し、この高度において末梢での代謝的負荷が高まっていることから考えると、 SpO_2 が80%程度となるように酸素濃度を調整してトレーニングを行うことで、通常酸素環境以上に末梢での筋代謝の亢進がみられ、効果的なトレーニングができる可能性がある。

【研究2】

すべての対象者が、いずれの酸素濃度環境においてもすべての試技を完遂した。また、各セット終了後の主観的運動強度にも酸素濃度間で有意差は認められなかった。すなわち、すべての酸素濃度環境での試技において対象者が実施できた仕事量は同一であり、酸素濃度の違いが物理的にも心理的にも影響していなかったと考えられる。

5セット実施した運動時およびその間の休息時の SpO_2 の平均値は酸素濃度が低下するにつれて有意な低下を示した。一方、運動時の StO_2 およびその他の酸素化指標(酸素化ヘモグロビン、脱酸素化ヘモグロビン、総ヘモグロビン)は大腿直筋、外側広筋のいずれにおいても酸素濃度間で有意差は認められなかった。一方、休息時における大腿直筋および外側広筋の StO_2 において、0mと比較して4000mで有意に低値を示した。各セット終了後のBLaの平均値では、酸素濃度間で有意差は認められなかった。

本研究では、筋肥大型のレジスタンストレーニング形式として60%1RM強度での2秒挙上 2

秒下降の片脚でのレッグエクステンション運動を実施した。筋肥大型のレジスタンストレーニングの特徴として、運動直後の血中乳酸をはじめとする代謝物の蓄積が挙げられる。本研究では、運動時の StO_2 をはじめとする筋酸素動態に有意差がみられず、 BLa にも違いがみられなかった。したがって、低酸素環境における大腿部を対象とした筋肥大型のレジスタンス運動時には、 SpO_2 の低下がみられたとしても、筋代謝に対して明確な違いが認められるほどではなかった可能性がある。また、これには本研究の運動様式、すなわち 2 秒挙上 - 2 秒下降という、筋収縮時間が影響していた可能性がある。したがって、通常酸素環境下においても活動筋の低酸素化が十分に起こっていた可能性がある。一方で、 SpO_2 の違いおよび休息時における 4000m での StO_2 の低下などから、挙上速度の変化やレジスタンストレーニングの様式（筋力向上型）の場合には、異なる結果が得られる可能性もあり、今後さらなる検討が必要である。

【まとめ】

低酸素環境下での有酸素性およびレジスタンス運動時において、血中と骨格筋内の酸素飽和度は必ずしも同期するとは限らず、有酸素性運動において比較的低い酸素濃度（高い標高）において筋酸素飽和度の低下がみられることが明らかとなった。そして、その差が現れてくる目安が SpO_2 にして 80%前後であったことから、運動時における酸素飽和度は 80%程度を目安とすることが良い可能性がある。しかし、漸増負荷試験の結果に基づいたものであり、今後さらなる検討も必要であろう。レジスタンストレーニングにおいては、動作速度によって低酸素の影響が減弱されている可能性が示された。低酸素環境におけるレジスタンストレーニングの効果にはいまだ一致した見解が得られておらず、筋肥大に対して通常酸素環境でのトレーニング効果と違いがみられないという研究も多数報告されている。したがって、低酸素環境の特性を生かすための、レジスタンストレーニングプロトコルの開発など、さらなる検討が必要であろう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hayashi Nanako, Yatsutani Haruka, Mori Hisashi, Ito Hiroto, Badenhorst Claire E., Goto Kazushige	4. 巻 120
2. 論文標題 No effect of supplemented heat stress during an acute endurance exercise session in hypoxia on hepcidin regulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Journal of Applied Physiology	6. 最初と最後の頁 1331 ~ 1340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00421-020-04365-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yatsutani Haruka, Mori Hisashi, Ito Hiroto, Hayashi Nanako, Girard Olivier, Goto Kazushige	4. 巻 19
2. 論文標題 Endocrine and Metabolic Responses to Endurance Exercise Under Hot and Hypoxic Conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	6. 最初と最後の頁 932
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 フダラキス イオアニス ヨルギオス, 森寿仁, 藤田英二, 山本正嘉.	4. 巻 12
2. 論文標題 心拍数, 血中乳酸, 筋活動水準からみた2タイプのクロスフィットトレーニングの運動強度の特性; レジスタンストレーニングおよびサーキットトレーニングとの比較から.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 スポーツパフォーマンス研究	6. 最初と最後の頁 321-340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中塚英弥, 伊藤大永, 中野卓, 中西航軌, 武田到範, 山下典秀, 森寿仁 (責任著者), 山本正嘉	4. 巻 32
2. 論文標題 児童期男子のランニングエコノミーに関係する動作のおよび体力的要因: ランニング中のステップ変数, 股関節筋力およびリバウンドジャンプに着目して	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ランニング学研究	6. 最初と最後の頁 19-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 森寿仁	4. 巻 220
2. 論文標題 低酸素環境でのトレーニングにおける正しい理解；低酸素環境における身体応答の特徴	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 スポーツメディスン	6. 最初と最後の頁 34-36
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 森寿仁	4. 巻 221
2. 論文標題 低酸素環境でのトレーニングにおける正しい理解；低酸素トレーニングの方法と効果および注意点（理論編）	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 スポーツメディスン	6. 最初と最後の頁 34-36
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 森寿仁	4. 巻 222
2. 論文標題 低酸素環境でのトレーニングにおける正しい理解；低酸素トレーニングの方法と効果および注意点（実践編）	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 スポーツメディスン	6. 最初と最後の頁 34-36
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 森寿仁	4. 巻 223
2. 論文標題 低酸素環境でのトレーニングにおける正しい理解；低酸素トレーニングに対する誤解およびその新たな可能性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 スポーツメディスン	6. 最初と最後の頁 34-36
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 森寿仁	4. 巻 10
2. 論文標題 低酸素トレーニングを活用する際の注意点	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Training Journal	6. 最初と最後の頁 10-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山地啓司、森寿仁	4. 巻 40
2. 論文標題 登山者の呼吸筋トレーニングの必要性和有効性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 登山医学	6. 最初と最後の頁 76-83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 森寿仁	4. 巻 500
2. 論文標題 登山における呼吸筋の役割と必要性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 トレーニングジャーナル	6. 最初と最後の頁 45-49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Fernando Hiroshi Ichiya, Hisashi Mori, Keishi Maruyama, Kei Shibayama, Ryo Hamanaka.
2. 発表標題 Influence of the difference in the instructions as to a run-up on the run-up speed and the jumping distance in running long jump in high-school physical education lesson.
3. 学会等名 25th Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 一箭フェルナンドヒロシ, 森寿仁
2. 発表標題 コロナ禍でのオンデマンド型体育実技授業の試みとその効果; 松江高専における事例
3. 学会等名 第6スポーツパフォーマンス学会
4. 発表年 2020年~2021年

1. 発表者名 一箭フェルナンドヒロシ, 森寿仁
2. 発表標題 ボート競技のジュニアボート競技選手におけるローイングアークがパフォーマンスに及ぼす影響
3. 学会等名 第32日本コーチング学会
4. 発表年 2020年~2021年

1. 発表者名 井出里香, 油井直子, 笹子悠歩, 森寿仁, 安藤真由子, 山本正嘉
2. 発表標題 高所医学・高所順応トレーニングにおける富士山の活用
3. 学会等名 第41回日本登山医学会学術集会
4. 発表年 2021年~2022年

1. 発表者名 森寿仁, フダラキスイオアニスヨルギオス, 山本正嘉
2. 発表標題 低酸素環境下での反復性スプリント運動の休息中における吸気酸素濃度の違いが発揮パワーおよび生理応答に及ぼす影響
3. 学会等名 第76回日本体力医学会
4. 発表年 2021年~2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------