

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K19590

研究課題名（和文）軽度な高気圧酸素を使用した高強度運動後のリハビリ方法の検討

研究課題名（英文）The effects of mild hyperbaric oxygen on the recovery after high intensity exercise

研究代表者

竹村 藍（Takemura, Ai）

立命館大学・総合科学技術研究機構・専門研究員

研究者番号：20845903

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、軽度な高気圧酸素（1.3気圧、30%から38%酸素環境）を使用して、高強度な運動後に生じる様々な身体ストレスや筋損傷に及ぼす影響を明らかにするため、ヒトと動物の両方を対象として実験を行った。その結果、軽度な高気圧酸素への滞在は、1時間にわたる高強度運動後の酸化ストレスを増大させないことが明らかとなった。さらに筋損傷を引き起こすカルディオとキシンを投与した前脛骨筋では、軽度な高気圧酸素への滞在によって筋損傷を早期に回復させることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

トレーニング実施後の効果的な回復は、高頻度のトレーニング実施や、アスリートが連日の試合を行う際のパフォーマンス向上に貢献する。軽度な高気圧酸素（1.3気圧、30%から38%酸素環境）への滞在は酸化ストレスの増大を引き起こさずに、筋損傷を早期に回復させることが明らかになった。そのことから、軽度な高気圧酸素環境は特にアスリートや運動愛好家などの高強度運動後の一時的な運動機能の低下を早期に回復させる可能性が示された。

研究成果の概要（英文）：In this study, we determined the effects of mild hyperbaric oxygen (1.3 atm, 30-38% oxygen environment) on various physical stresses and muscle damage that occur after high-intensity exercise in humans and animals. Exposure to mild hyperbaric oxygen did not increase oxidative stress after 1 hour of high-intensity exercise. Furthermore, mild hyperbaric oxygen quickly recovered the muscle injury in the tibialis anterior muscle treated with cardiotoxin, which cause muscle injury.

研究分野：運動生理学

キーワード：軽度な高気圧酸素 高強度運動 筋損傷

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

運動が心身の健康に及ぼす影響は数多く報告されており、アスリートや運動愛好家をはじめ、広く運動トレーニングが実施されている。トレーニングの実施後に効果的なリカバリー（回復）を行うことで、短期間での回復が可能となり、高い頻度でトレーニングを行うことができる。さらに、試合が連日に行われるアスリートにおいて、効率の良いリカバリーが競技成績に直結する。トレーニング後のリカバリー方法について多くの研究が行われてきた (Tessitore A et al., 2008, Bahnert A et al., 2013) が、未だ効果的・効率的なリカバリー方法は確立されておらず、重要な課題となっている。

軽度な高気圧酸素の環境（約 1.3 気圧、約 30～38%酸素）への滞在は、血流や基礎代謝を上昇させることが報告されている (Ishihara A et al., 2014)。高気圧高酸素環境への曝露は、ヘモグロビンと結合する結合酸素量、および血漿中に溶け込む溶存酸素量の両方を上昇させる (Moen I and Stuhr LE, 2012)。これまでの研究で、軽度な高気圧酸素への滞在による骨格筋への酸素供給は、骨格筋ミトコンドリア活性を向上させて、有酸素性代謝能力を向上させることが明らかになっている (Takemura A et al., 2017)。本研究では、軽度な高気圧酸素環境下で生じる血流の上昇が、運動で生じる疲労物質の早期に代謝を促進し、運動後の早期リカバリーに繋がるのではないかと考えた。

2. 研究の目的

本研究では、全身運動後に生じる身体的ストレスや筋損傷等に対して、軽度な高気圧酸素の環境への滞在が及ぼす影響を明らかにするために、下記の3つの実験を行った。

実験 1) 高強度運動は心循環器系を大きく変化させるため、まずは軽度な高気圧酸素が心循環器系へ及ぼす影響を明らかにすることが重要であると考えた。そこで、本実験では、ヒトを対象とし、軽度な高気圧酸素が血圧に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

実験 2) 高強度運動後には、酸化ストレスやコルチゾール等の過剰な分泌など、様々な身体ストレスが生じる。そこで本実験では、ヒトを対象とし、軽度な高気圧酸素が、高強度運動後の身体ストレスに及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

実験 3) 高強度運動後の筋損傷を軽度な高気圧酸素で早期に改善することができれば、スポーツ現場での高強度なトレーニングの後の早期リカバリーにつながる。そこで、本実験は、実験動物を使用して筋損傷に対する軽度な高気圧酸素の影響を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

実験 1 と 2 はヒトを対象に、軽度な高気圧酸素への滞在が血圧に及ぼす影響（実験 1）、運動後の身体ストレスに及ぼす影響（実験 2）を明らかにするために実験を行った。実験 3 は動物を対象に筋損傷に及ぼす影響を明らかにするため実験を行った。研究方法の詳細は下記に記す。

実験 1) 10 名（男性 6 名、女性 4 名）の実験協力者を、異なる 2 日間に、通常環境、および、軽度な高気圧酸素の環境下に 45 分にわたって滞在させた。軽度な高気圧酸素環境として、15 分かけて 1 気圧（常気圧）20.9%酸素から 1.3 気圧約 30%酸素まで上昇し、その後 15 分間 1.3 気圧約 30%酸素を維持したのちに 15 分かけて通常環境に戻る環境を使用した。各実験環境下への滞在時に実験協力者の血圧を測定した。

実験 2) 実験協力者は、1 時間にわたって予備心拍量の 75%の負荷のペダリング運動を行った。その後、実験協力者は 1 時間にわたって、1 気圧、20.9%酸素の通常環境、または、1.3 気圧、31.0%酸素の軽度な高気圧酸素の環境下に滞在した。運動前、運動終了時、および各実験環境下への滞在後の唾液を採取し、酸化ストレスやコルチゾール濃度、アミラーゼ濃度を分析した。

実験 3) 7 週齢の C57BL/6JmsSlc マウスを 1 週間順化させた後に、通常環境 (CON) 群と軽度な高気圧酸素 (MHO) 群の 2 群に分けた。両群ともに前脛骨筋の左脚に Cardiotoxin を、右脚に生理食塩水を筋注した。CON 群は 1 気圧、20.9%酸素環境下に 4 週間にわたって滞在させた。MHO 群は、筋注の翌日からチャンパーを使用して軽度な高気圧酸素 (1.3 気圧、約 38%酸素) に 1 日 3 時間にわたって 4 週間滞在させた。その後、前脛骨筋の筋切片から筋線維横断面積と骨格筋ミトコンドリア量の検討を行った。

4 . 研究成果

実験 1) 軽度な高気圧酸素への滞在 45 分後時点の血圧の変化比率は、通常環境への滞在と比較して高値を示した (図 1)。軽度な高気圧酸素への滞在または滞在後に後負荷が上昇したものと考えられる。慢性的な高血圧または低血圧はいずれも健康に悪影響を及ぼすが、軽度な高気圧酸素環境は慢性的な低血圧への改善に繋がる可能性がある。一方で、高血圧を有する人に対しては、同環境の使用に注意が必要であることが明らかになった。

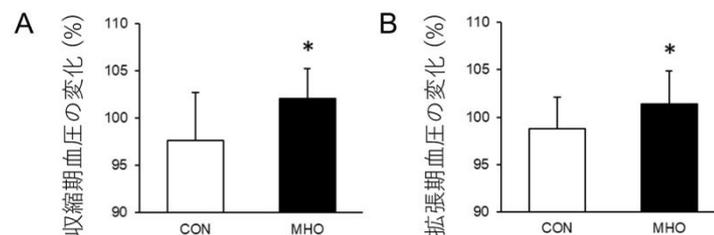


図 1. 各環境下への滞在による収縮期血圧(A)、拡張期血圧 (B) の滞在前と比較した変化率
CON: 通常環境、MHO: 軽度な高気圧酸素環境。*: P <0.05 vs. CON

実験 2) 高強度運動後には、両群ともに酸化ストレスが上昇したが、1 時間にわたる通常環境、及び、軽度な高気圧酸素の環境への滞在後の酸化ストレスは、滞在前と比較して有意に低下した (図 2)。酸化ストレスについて、条件間で有意な差は認められなかった。また、運動後に上昇した唾液のコルチゾール濃度は、軽度な高気圧酸素の環境への滞在後に有意に低下した。一方で、通常環境への滞在群では、運動または環境下の滞在によるコルチゾール濃度の変化は認められなかった。アミラーゼ濃度は、運動前と比較して運動後には有意に上昇し、1 時間にわたる両環境下の滞在後も高い値を保っていた。これらのことから、高強度運動後の高い酸化ストレスに対して、軽度な高気圧酸素への滞在は酸化ストレスの上昇を引き起こさないことが明らかとなった。そのため、本研究で用いた気圧や酸素濃度は、高強度運動後のリカバリーに使用しても、酸化ストレスの副作用は生じないと考えられる。また、ストレスホルモンであるコルチゾールの分泌は、1 時間にわたる軽度な高気圧酸素の環境への滞在後に低下することが明らかとなった。

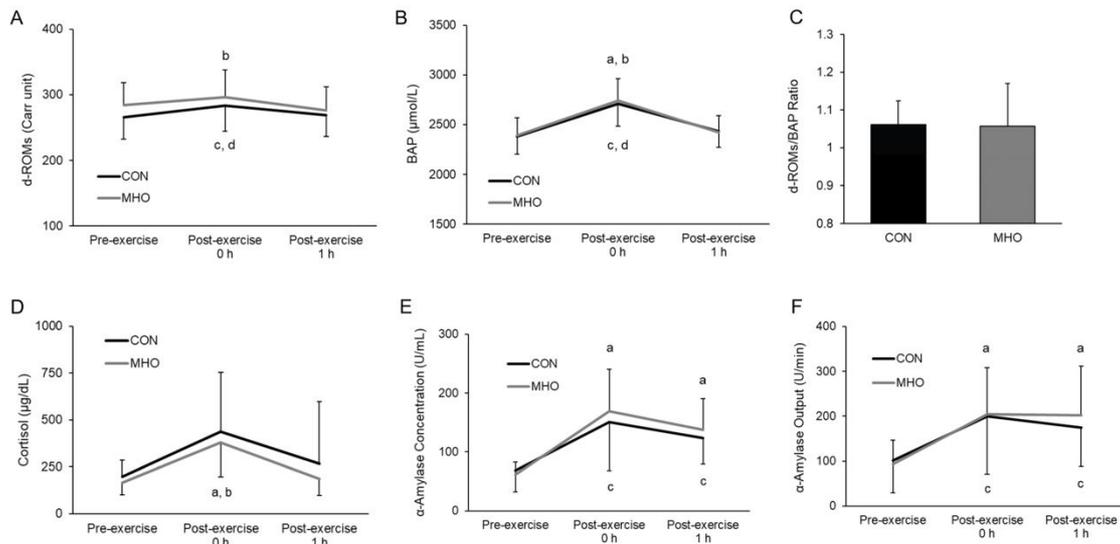


図2. 運動前後と各環境下への滞在による酸化ストレス(d-ROMs, A)、抗酸化力(BAP, B)、d-ROMs/BAP比(C)、コルチゾール(Cortisol, D)、 α -アミラーゼ(α -Amylase, E)、 α -Amylase分泌速度(F)
 Pre-exercise: 運動前、Post-exercise 0h: 運動直後、Post-exercise 1h: 運動終了1時間後、CON: 通常環境、MHO: 軽度な高気圧酸素環境。a: $P < 0.05$ vs. MHO 群の Pre-exercise、b: $P < 0.05$ vs. MHO 群の Post-exercise、c: $P < 0.05$ vs. CON 群の Pre-exercise、d: $P < 0.05$ vs. CON 群の Post-exercise

実験3) 体重、および、前脛骨筋重量は CON 群と MHO 群で有意な差は認められなかった。また、コハク酸脱水素酵素の染色濃度は2群間で有意な差は認められなかった(図3)。一方で、前脛骨筋の筋線維サイズは CON 群と比較して MHO 群で高い値を示した。本研究結果から、4週間にわたる軽度な高気圧酸素は筋損傷による筋繊維サイズの低下を早期に回復させた。実験動物を使用して、軽度な高気圧酸素が Cardiotoxin による筋損傷を早期回復させる可能性を示した本研究は、現場での高強度トレーニング後の筋損傷を早期にリカバリーする可能性を示唆する重要な結果である。

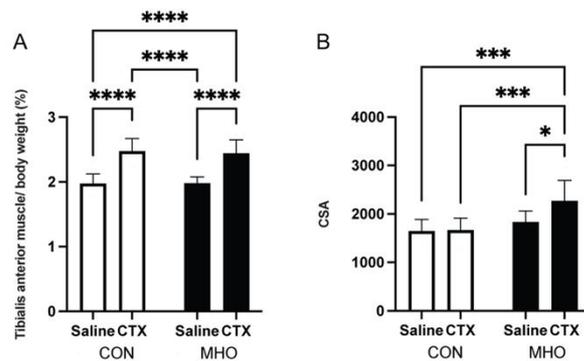


図3. 前脛骨筋重量/体重(A)、筋線維横断面積(B)
 Saline: 生理食塩水、CTX: カルディオトキシン、CON: 通常環境、MHO: 軽度な高気圧酸素環境。*: $P < 0.05$, ***: $P < 0.001$, ****: $P < 0.0001$

これらの実験から、軽度な高気圧酸素への滞在は酸化ストレスの増大を引き起こさずに、筋損傷を早期に回復させることが明らかになった。そのことから、軽度な高気圧酸素環境は特にアスリートや運動愛好家などの高強度運動後の一時的な運動機能の低下を早期に回復させる可能性が示された。

<引用文献>

1. Bahnert A, Norton K, Lock P. Association between post-game recovery protocols, physical and perceived recovery, and performance in elite Australian Football League players. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2013;16(2):151-156.
2. Ishihara A, Nagatomo F, Fujino H, Kondo H. Exposure to mild hyperbaric oxygen increases

blood flow and resting energy expenditure but not oxidative stress. *Journal of Scientific Research and Reports*. 2014:1886-1896.

3. Moen I, Stuhr LE. Hyperbaric oxygen therapy and cancer--a review. *Targeted Oncology*. 2012;7:233-242.
4. Takemura A, Roy RR, Yoshihara I, Ishihara A. Unloading-induced atrophy and decreased oxidative capacity of the soleus muscle in rats are reversed by pre- and postconditioning with mild hyperbaric oxygen. *Physiological Reports*. 2017;5(14):e13353.
5. Tessitore A, Meeusen R, Pagano R, Benvenuti C, Tiberi M, Capranica L. Effectiveness of active versus passive recovery strategies after futsal games. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2008;22(5):1402-1412.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ai Takemura	4. 巻 34
2. 論文標題 Exposure to a mild hyperbaric oxygen environment elevates blood pressure.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Therapy Science	6. 最初と最後の頁 360-364
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1589/jpts.34.360	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 Ai Takemura, Nobuhiko Eda, Tatsuya Saito, Kazuhiro Shimizu	4. 巻 62(2)
2. 論文標題 Mild hyperbaric oxygen for the early improvement of mood disturbance induced by high-intensity exercise.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness	6. 最初と最後の頁 250-257
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.23736/s0022-4707.21.11971-1	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 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 竹村 藍, 江川達郎, 高木 領, 井山涼太, 趙 海宇, 鈴木慎一郎, 藤野礼佳, 福永拓也, 林 達也, 藤田 聡.
2. 発表標題 軽度な高気圧酸素環境による廃用性筋萎縮の予防・改善効果
3. 学会等名 日本体力医学会第38回近畿地方会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 松永 裕, 高橋謙也, 竹村 藍, 王文昕, 八田秀雄
2. 発表標題 身体不活動下におけるBCAA摂取が骨格筋量およびミトコンドリア量に与える影響
3. 学会等名 第77回日本体力医学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 児山 祥, 松永 裕, 高橋祐美子, 竹村 藍, 八田秀雄
2. 発表標題 摂取するグルコース溶液の温度の違いが運動後のグリコーゲン回復のタイムコースに与える影響
3. 学会等名 第77回日本体力医学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹村藍
2. 発表標題 軽度な高気圧酸素の環境下で生じる心拍数と血圧の変化
3. 学会等名 第76回日本体力医学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹村藍
2. 発表標題 軽度な高気圧酸素への滞在が血圧に及ぼす影響
3. 学会等名 第28回 日本運動生理学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹村藍
2. 発表標題 軽度な高気圧酸素の効果 ~生活習慣病の改善やトレーニングへの応用~
3. 学会等名 第17回 乳酸研究会(招待講演)
4. 発表年 2021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
---------	---------