

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5月30日現在

機関番号：18001

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500670

研究課題名（和文）運動誘発性動脈血低酸素血症の防止策に関する研究

研究課題名（英文）Studies on countermeasure for exercise-induced arterial hypoxemia

研究代表者

遠藤 洋志（ENDOHI HIROSHI）

琉球大学・教育学部・教授

研究者番号：90369926

研究成果の概要（和文）：若年女性を対象に運動誘発性動脈血低酸素血症（EIAH）が高酸素ガスと高二酸化炭素ガスの吸入により軽減できるかを検討した。運動は自転車エルゴメータによる30秒間の全カスプリント運動と間欠的スプリント運動（全力運動10秒+休息120秒を3セット）とした。いずれの運動でも20%酸素吸入時に認められたEIAHが、30%酸素ガス、もしくは5%二酸化炭素を加えた20%酸素ガス吸入により軽減されたが、EIAHに対するこれらのガスの相加作用は認められなかった。

研究成果の概要（英文）：We investigated whether exercise-induced arterial hypoxemia (EIAH) would be improved by inhalation of hyperoxic and/or hypercapnic gas in young women. Subjects performed two separate exercise tests, 30s all-out cycling and three bouts of 10s cycling with 120s intervals, using a cycle ergometer. In both exercises, inhaled 30%O₂ or 20%O₂+5%CO₂ attenuated EIAH that observed in normoxia, but additive effects of 30%O₂ and 5%CO₂ gases on EIAH were not found.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：スポーツ医学

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・応用健康科学

キーワード：運動誘発性動脈血低酸素血症，パルスオキシメトリー，高酸素，高二酸化炭素

1. 研究開始当初の背景

しばしばスポーツ活動による疲労回復を促進させるために、運動間の休息時に大気中よりも酸素濃度を高くしたガス、すなわち高酸素（hyperoxia）ガスを吸入するシーンを

見かけることがある。従来、これは生理学的にほとんど意味がない行為とみなされてきた。なぜなら教科書的には、通常では1気圧下（常圧）における最大下運動時の動脈血ヘモグロビンはほぼ飽和した状態（動脈血酸素

飽和度 (SaO₂) は 98%前後) にあることから、高圧ではない常圧の hyperoxia では動脈血酸素含量 (CaO₂) を上昇させることができず、そして仮に CaO₂ が増加したとしても逆に心拍出量や末梢組織の血流量が低下することがあり、都合よく活動筋組織への酸素供給を改善できないためである。

近年になり運動時およびその後の回復期における生理的応答について hyperoxia を用いて検討した報告で、一部に最大酸素摂取量 (VO_{2max}) の増大や回復期における血中からの乳酸除去の促進など、hyperoxia による機能改善が認められるようになってきた。これらの所見の背景には、hyperoxia による効果の個人差が関係し、特に運動中に血液が低酸素化する症状、すなわち運動誘発性動脈血低酸素血症 (exercise induced arterial hypoxemia; EIAH) の存在が明らかとなっている。つまり、EIAH が惹起される者では hyperoxia のポジティブな効果が期待できるのである。

EIAH の発症には性差があり、男性よりも圧倒的に女性に多く、最近では持続的でエアロビックな運動だけでなく、間欠的なアネロビックな運動時にも発症することが判明している。したがって、短時間高強度運動を数セット繰り返す形態のスポーツ活動時 (例えばテニス、バドミントン、バレエ、ボクシングなど) においては、女性の場合は EIAH が出現することが想定される。したがって、しばしばスポーツ現場で見られるセット間休息時の高酸素 (hyperoxic) ガス吸入は、あながち無意味ではない可能性があり、従来の認識を改めなければならないことも十分に想定される。

2. 研究の目的

本研究では、高比率で EIAH を惹起する一般女性を対象にアネロビックな運動時に

hyperoxic ガスを吸入させ、回復期を含めて生理応答を検討するとともに、安全かつ効果的な hyperoxic ガス吸入法について検討した。

まず、はじめに hyperoxic ガス吸入により EIAH が改善する条件 (酸素濃度) を決定し、次にこの条件での運動パフォーマンスを検討した。さらに、血管拡張作用を持つ低濃度の二酸化炭素 (hypercapnia) 単体ガス (hypercapnic) 吸入に加え、hyperoxia と hypercapnia の混合ガス吸入の EIAH に対する効果について検証した。

3. 研究の方法

(1) 実験 I.

高酸素ガス吸入が持続運動による EIAH を改善することが知られているが、これがスプリント運動にも適用されるかは不明である。そこで、実験 I ではスプリント運動による女性の EIAH を高酸素ガス吸入により改善できるかどうかを検証した。被験者は健常な女子大学生 12 名とした。運動は自転車エルゴメータを用いた最大努力による 30 秒間のスプリント運動とした。運動負荷は各被験者の最大無酸素パワーを発生させる負荷の 60%相当とした。実験は、常温常圧下で実施し、吸気酸素濃度は 20%の常酸素ガスと 28%の高酸素ガスを用いブラインド条件で実施した。安静時、運動直後、および回復期にパルスオキシメトリーによる動脈血酸素飽和度 (SpO₂)、心拍数 (HR)、および血圧 (BP) を測定した。

(2) 実験 II

EIAH に対する hypercapnic ガス吸入と、hyperoxia と hypercapnia の混合ガス吸入の効果を検証した。被験者は EIAH の発症経験がある女子大学生 8 名とした。吸入ガスの濃度は、室内空気の 20%O₂ (常酸素ガス) に加え、窒素バランスの 30%O₂ (高酸素ガス)、5% CO₂+20%O₂ (高二酸化炭素ガス)、および 5% CO₂+30%O₂ (混合ガス) の計 4 種類とした。

なお、運動および測定の条件は実験 I と同

様とした。

(3) 実験Ⅲ

疲労回復に対する吸入ガスの影響を検討する目的で、運動プロトコルを間欠運動に変更して実験Ⅱと同様の測定を実施した。

4. 研究成果

(1) 実験Ⅰ

常酸素ガス吸入下において被験者 12 名中 6 名が EIAH を発症したが、高酸素ガス吸入下ではスプリント運動直後の SpO₂ は安静値と同等であった。これら 6 名の常酸素ガス吸入下における運動直後 30 秒間の SpO₂ は、運動後 8 秒まで SpO₂ が 95% 台を示し、運動後 10 秒より SpO₂ がさらに低下して運動後 14 秒に上昇に転じるまでの間 93% 台が示された。他方、高酸素ガス吸入下では EIAH を発症した 6 名の運動直後 30 秒間の SpO₂ は運動直後からやや低下し運動後 8 秒と 10 秒で 95% 台が記録されたものの、その後回復に転じて運動後 14 秒からは正常値となった。なお、個人の EIAH の程度をみると、常酸素ガス吸入下において中等度 EIAH 以上の者が 4 名であったのに対し、高酸素ガス吸入下では 1 名に減少した。

一方、吸入酸素濃度条件により運動後の SpO₂ に大きな違いが認められたのに対し、HR や BP などの生理応答は測定中一貫して同等であり、運動中の仕事量にも違いはなかった。

従来、EIAH について運動後の回復期における SpO₂ の動態から検討した研究は皆無であり、本研究が初めてである。本研究で明らかにした遅延性の EIAH の存在と、スプリント運動由来の EIAH に対する高酸素ガス吸入の効果は、女性のスポーツ活動時の EIAH の防止に重要な情報と評価され、研究結果の詳細は Health and Behavior Sciences (2013) に掲載された。

(2) 実験Ⅱ

常酸素ガス吸入下の SpO₂ は、運動直後に中

等度 EIAH に相当する値を示し、その後の回復期における SpO₂ の最低値は重度 EIAH の基準を著しく下回る値となった。これらはともに安静値より有意 ($p < 0.01$) に低い値であった。回復 1 分には、SpO₂ が安静値まで回復し、この状態が回復 5 分まで維持された。高酸素ガス、高二酸化炭素ガス、および混合ガス吸入下の SpO₂ は、いずれも運動直後に軽度 EIAH に相当する値を示し、常酸素ガスと高酸素ガス吸入下には有意差 ($p < 0.05$) が認められた。その後の回復期における SpO₂ の最低値は、高酸素ガス、高二酸化炭素ガス、および混合ガス吸入下において、それぞれ軽度 EIAH、中等度 EIAH、および中等度 EIAH の範囲にとどまり、常酸素ガス吸入下の値よりも有意 (それぞれ、 $p < 0.01$, $p < 0.05$, および $p < 0.01$) に高い値であった。回復 1 分には、SpO₂ が安静値まで回復し、この状態が回復 5 分まで維持された。個人の EIAH の程度をみると、常酸素ガス吸入下において中等度 EIAH 以上の者が 8 名いたのに対し、高酸素ガス吸入下では 3 名、高二酸化炭素ガス吸入下では 5 名、混合ガス吸入下では 3 名に減少した。

常酸素ガス吸入下における運動直後 30 秒間の SpO₂ は、運動直後から低下し続け、運動後 10 秒に低下幅が最大となった。その後、SpO₂ は回復に転じ、運動後 16 秒に 95% を上回り、同 18 秒には安静水準まで回復した。運動後 4 秒、同 6~10 秒、および同 12 秒の値は、安静値より有意 ($p < 0.05$, $p < 0.01$, および $p < 0.05$) に低い値であった。高酸素ガス吸入下における運動直後 30 秒間の SpO₂ は、運動直後から低下することなく、運動後 2 秒で一時安静値より有意 ($p < 0.05$) に低い値となったが、同 4 秒には 95% を上回り、同 12 秒で安静水準に達した。常酸素ガス吸入下と比較すると、運動後 2~6 秒、同 8~12

秒, および同 14 秒の値に有意差 ($p < 0.05$, $p < 0.01$, および $p < 0.05$) が認められた. 高二酸化炭素ガス吸入下における運動直後 30 秒間の SpO_2 は, 運動直後から低下し続け, 運動後 2~10 秒で安静値より有意 ($p < 0.01$) に低い値が示された. この間, 運動後 8 秒で最低値が認められた. その後, SpO_2 は回復に転じ, 運動後 12 秒に 95% を上回り, 同 16 秒には安静水準まで回復した. 常酸素ガス吸入下と比較すると, 運動後 12~14 秒の値に有意差 ($p < 0.05$) が認められた. 混合ガス吸入下における運動後 30 秒間の SpO_2 は, 運動直後から低下することなく, 運動後 8 秒で 95% を上回り, 同 12 秒には安静水準に達した. 常酸素ガス吸入下と比較すると, 運動後 2~6 秒, 同 8~12 秒, および同 14 秒の値に有意差 ($p < 0.05$, $p < 0.01$, および $p < 0.05$) が認められた.

実験 I の結果と同様に, 4 条件下における, 安静, 運動直後, および回復期の HR は同等であった. 運動直後と回復期の RPE も 4 条件下で同等であった. スプリント運動における仕事率においても, 4 条件下で同等 (400W 前後) であった.

本研究は, hypercapnia を用いて EIAH への影響を検討した初めての研究と思われる, 再現性の検討など今後の課題が残っている. しかし, hypercapnia が hyperoxia と同等の EIAH 完全効果がある事が判明した事, また混合ガスの結果から hypercapnia と hyperoxia の相加作用は発揮されない事が示唆された. これらの所見は, EIAH の防止策の精度を高める上で有用な知見となるであろう.

(3) 実験 III

これまでの実験とは運動プロトコルを変更し, 持続運動の要素が含まれる間欠運動(全力運動10秒+休息120秒を3セット)に代えて, 改めてEIAHに対する高酸素, 高二酸化炭素, お

よび混合ガス吸入の効果を検証した. 合わせて, 回復期における生理応答の変化と臨床症状(吐き気や色覚異常)に対する各ガス吸入の影響を検討した.

その結果, 運動3セット後に常酸素ガス吸入下で確認されたEIAHが, 高酸素ガス, 高二酸化炭素ガス, および混合ガス吸入により改善できた. 運動3セット後の回復2分における SpO_2 は, 常酸素ガス吸入下よりも他のガス吸入下が有意 ($p < 0.05$) に高かった. 常酸素ガスを除く 3種のガス吸入下での SpO_2 応答は運動・回復期とも同等であった.

運動・回復期のHRは4条件下で同等であったが, 運動3セット後の回復1分におけるBP (平均動脈圧) だけは高二酸化炭素ガス吸入下での値が常酸素ガスよりも有意 ($p < 0.05$) に高かった. 運動時の仕事量と運動後の臨床症状は4条件下で同等であり, 吸入ガス成分の影響は認められなかった.

以上より, EIAH, 生理応答, 運動能, および臨床症状に対する高二酸化炭素ガスおよび混合ガス吸入の影響は, 持続運動の要素が含まれる間欠運動であっても高酸素ガスと同等と判定された.

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 6 件)

- ① 野村宏太, 赤堂秀馬, 長田あさ香, 遠藤洋志. 27%酸素吸入による女性におけるスプリント運動後の動脈血低酸素血症の軽減. Health and Behavior Sciences, 査読有, 11(2): 99-105, 2013
- ② 遠藤洋志, 野原智尚, 伊藝修策, 高良義樹, 野村宏太, 與儀幸朝, 遠藤由美子. 女性の更年期症状に対するレジスタントトレーニングの効果. 琉球大学教育学部紀要, 査読無, 79: 77-86, 2011

[学会発表] (計7件)

- ① 野村宏太, 遠藤洋志. スプリント運動による EIAH への高酸素ガス・高二酸化炭素ガス吸入の効果, 日本健康行動科学会第 11 回学術集会, 平成 24 年 10 月 7 日, 東邦大学医療センター大森病院 (東京)
- ② 遠藤洋志. 高所での運動・トレーニングの新たな展開 (シンポジウム: 高所での運動・トレーニング), 日本健康行動科学会第 10 回学術集会, 平成 23 年 10 月 30 日, 東海大学 (平塚)
- ③ 野村宏太, 遠藤洋志. スプリント運動による EIAH および体調不良への高酸素ガス吸入の効果, 日本健康行動科学会第 10 回学術集会, 平成 23 年 10 月 29 日, 東海大学 (平塚)
- ④ 赤堂秀馬, 香田光彦, 野村宏太, 遠藤洋志. 反応性充血中の筋持久力と好氣的運動能の関係, 第 66 回日本体力医学会大会, 平成 23 年 9 月 18 日, 下関メッセ (下関)
- ⑤ 野村宏太, 遠藤洋志. スプリント運動による動脈血低酸素血症に対する高酸素ガス吸入の効果, 第 66 回日本体力医学会大会, 平成 23 年 9 月 17 日, 下関メッセ (下関)
- ⑥ 香田光彦, 國吉真平, 遠藤洋志. 一過性高強度スプリント運動による動脈血低酸素血症の検討. 第 65 回日本体力医学会大会, 平成 22 年 9 月 16 日, 千葉商科大学 (市川)

[図書] (計1件)

遠藤洋志. 杏林書店, 運動と内分泌 (浅野勝己編, 運動生理学概論), pp97-110 (総頁数 173 頁), 2013

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:

発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計1件)

名称: 生体モデル, このモデルを用いる擬似生体情報発生装置, 及びこの装置を用いるパルスオキシメータ対応型生体シミュレータ.

発明者: 市村智康, 遠藤洋志, 高橋英嗣

権利者: 株式会社高研

種類: 特許

番号: 特許第 5133019 号

取得年月日: 平成 24 年 11 月 16 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

遠藤 洋志 (ENDOHI HIROSHI)

琉球大学・教育学部・教授

研究者番号: 90369926

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

城島 健彦 (JOHJIMA TAKEHIKO)

株式会社リンクス・会長

研究者番号: