

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：33111

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K20036

研究課題名（和文）運動による認知疲労の生理機構解明とそれを抑制するトレーニング法開発

研究課題名（英文）Physiological mechanisms of exercise-induced cognitive fatigue and development of training methods to suppress it

研究代表者

越智 元太 (Ochi, Genta)

新潟医療福祉大学・健康科学部・講師

研究者番号：90833848

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：登山やトレイルランなど高所での身体活動や激しい運動は、注意や判断など脳の実行機能の低下（認知疲労）を招く。研究代表者は、低酸素環境での運動（以下、低酸素下運動）すが、前頭前野背外側部（DLPFC）の活動低下による認知疲労を引き起こすことを明らかにした。本研究では、この認知疲労の生理機構と対処法を検証した。その結果、運動中のSpO2低下を防ぐと、運動後の左脳DLPFCの活動低下と実行機能低下のいずれも防止できること、1週間の低酸素暴露による低酸素順化が運動中SpO2低下抑制が認知疲労予防に有用である可能性を示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究から、運動による認知疲労のメカニズムとして、運動中の低酸素血の関与が明らかとなり、運動中の低酸素血防止が認知疲労の予防改善に有効であることが実証された。本研究の成果は、登山やトレイルランといった高地環境での身体活動のみならず、低酸素血を誘発するような激しい運動時の認知疲労対処法開発に寄与され、アスリートのパフォーマンス向上や安全なスポーツ活動のための方略開発につながることを期待される。

研究成果の概要（英文）：Physical activity at high altitudes or exhaustive exercise leads to a decline in executive functions, such as attention and judgment (cognitive fatigue). The principal investigator has shown that exercise in a hypoxic environment causes cognitive fatigue due to reduced activity in the dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC). In this study, we examined the physiological mechanism of this cognitive fatigue and how to cope with it. The results suggest that preventing a decrease in SpO2 during exercise can prevent both decreased activity of the left brain DLPFC and decreased executive function after exercise and that hypoxic acclimation through one week of hypoxic exposure may be useful in preventing cognitive fatigue by preventing hypoxemia during exercise.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：認知疲労 動脈血中酸素飽和度 実行機能 低酸素順化

1. 研究開始当初の背景

運動によって生じる疲労は、アスリートのパフォーマンス低下の一因となる。この運動による疲労は筋だけでなく、脳でも生じ、試合終盤の判断ミスに関与している可能性がある。その背景に、前頭前野の司る注意・集中、選択判断能力といった高次認知機能(実行機能)の低下(認知疲労)の関与が示唆されている。そのため、アスリートのパフォーマンス低下を抑制するためには、運動性認知疲労のメカニズム解明が重要となる。申請者らは、標高 3,500m 相当の低酸素環境下(13%酸素濃度)で行う 10 分間の中強度運動が左脳前頭前野背外側部の活動低下と実行機能低下が起こることを明らかにしており(Ochi, Yamada, et al., 2018)、認知疲労が起こる実験モデルを確立した。しかし、この生理機構は不明な点が残っており、対処法開発には至っていない。

(1) 申請者らは、事前に動脈血中酸素飽和度(SpO₂)変化が実行機能に与える影響を検証しており、SpO₂が80%以下まで低下する標高 5,000m 相当の低酸素環境に暴露した際に初めて実行機能低下が起こることを明らかにしている(Ochi, Kanazawa, et al., 2018)。認知疲労が起こることを確認した、低酸素下運動中も SpO₂が80%近くまで低下していたことから、低酸素下運動中の SpO₂低下が認知疲労と関係していると仮説を立てた。

(2) 先行研究において、2週間の高地環境(標高 5,260 m)暴露による低酸素順化は低酸素下運動時の SpO₂低下を軽減し、脳への酸素供給を維持することで、中枢性疲労を抑制することが示唆されている。加えて、この低酸素順化は1日60分の常圧低酸素環境暴露(標高 4,500 m 相当)を1週間行なうことでも生じることが、平地環境でも行なうことができ、アスリートに応用することが容易なトレーニング法となりうる。

2. 研究の目的

そこで、本研究では、この再現性の高い認知疲労モデルを用いて、運動によって生じる認知疲労の生理的な機構を明らかにし、認知疲労を抑制するトレーニング法を開発することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 実験1 運動による認知疲労の生理機構

本研究の被験者は若齢健康常成人14人(18~24歳)で、課題・運動中ともに中程度低酸素ガス(13.5%酸素濃度)を吸入する中程度低酸素条件と、課題中は中程度低酸素ガス(13.5%酸素濃度)、運動中は軽度低酸素ガス(16.5%酸素濃度; 標高 2,000m 相当)を吸入する軽度低酸素条件の二つの実験条件を課した(図1)。両条件とも参加者は10分間の中強度ペダリング運動を行い、その前後に実行機能課題であるストループ課題を行った。課題中の脳活動を機能的近赤外分光法(functional near-infrared spectroscopy: fNIRS)を用いて測定し、低酸素下運動によって低下することが確認されている左 DLPFC の活動を評価した。

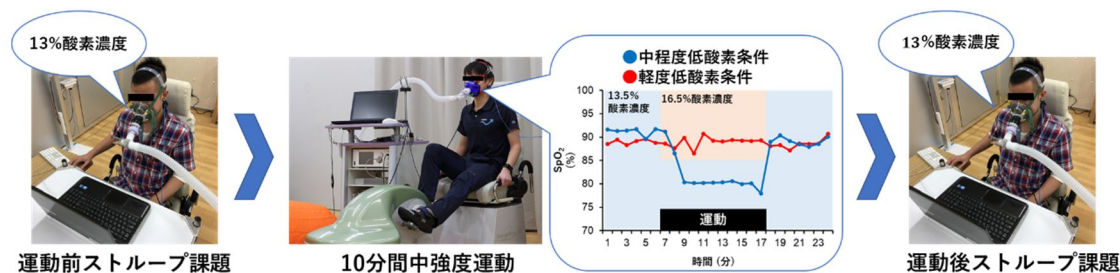


図1. 実験1の方法

(2) 実験2 運動による認知疲労を予防するトレーニング法

運動習慣のある男子大学生9名を被験者とした。実験は9日間でおこなわれ、1日目と9日目は認知疲労テストを実施し、2~8日目は4,500m相当の低酸素環境(11.9%酸素濃度)で1日60分間安静にさせた。認知疲労テストでは標高 3,500m 相当の低酸素環境(13.5%酸素濃度)で、10分間の中強度運動をおこない、運動の前後で実行機能課題であるストループ課題を実施した。

4. 研究成果

(1) 実験1

軽度低酸素条件では中程度低酸素条件に比べ、ストループ課題の成績低下が抑制され(図2A)、その神経基盤として左 DLPFC の活動低下改善が確認された(図2B)。ストループ課題中の吸入酸素濃度および SpO₂ は両条件で統一され、呼気ガスや心拍数にも差がみられなかったことから、低酸素下運動に誘発される認知疲労は、運動中に生じる SpO₂ 低下(低酸素血)に起因して

生じる可能性が示唆された (Ochi, Kuwamizu et al., *Scientific Reports*, 2022)。

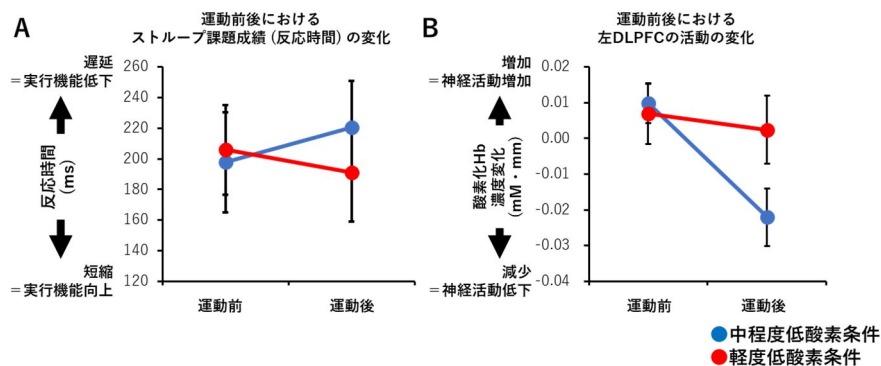


図 2 . 実験 1 の結果

(2) 実験 2

最初に 1 週間の低酸素暴露トレーニングが、低酸素下運動中の SpO₂ 低下に与える影響を検証した。その結果、低酸素暴露トレーニング後は、低酸素下運動中の SpO₂ 低下が軽減されたことを確認し (図 3)、低酸素順化が起きたことを確認した。次に、低酸素暴露トレーニングが認知疲労に与える影響について検証した。低酸素下運動によって認知疲労が起こったことを確認した 6 名の研究対象者では、トレーニング後には認知疲労が起こらなくなったことを確認した (図 4)。以上の結果から、1 週間の低酸素暴露トレーニングによる低酸素順化は、運動による認知疲労予防に有効なトレーニング法である可能性が示唆された (投稿準備中)。

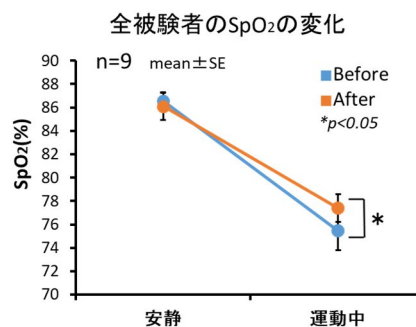


図 3 . 低酸素暴露トレーニング前後の SpO₂ 変化

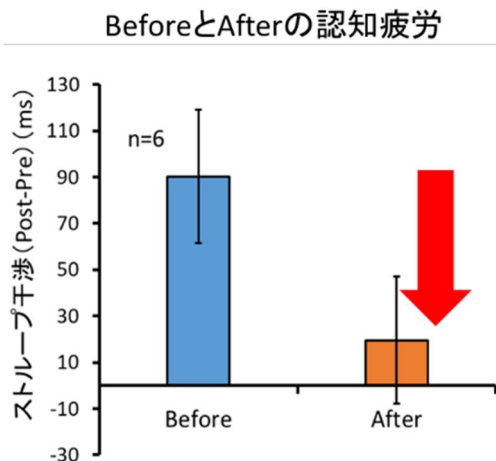


図 4 . 低酸素暴露トレーニング後におこなった、低酸素下運動前後のストロープ課題成績

< 引用文献 >

Ochi, G., Kanazawa, Y., Hyodo, K., Suwabe, K., Shimizu, T., Fukuie, T., Byun, K., & Soya, H. (2018).

Hypoxia-induced lowered executive function depends on arterial oxygen desaturation. *The Journal of Physiological Sciences: JPS*, 68(6), 847–853.

Ochi, G., Yamada, Y., Hyodo, K., Suwabe, K., Fukuie, T., Byun, K., Dan, I., & Soya, H. (2018). Neural

basis for reduced executive performance with hypoxic exercise. *NeuroImage*, 171, 75–83.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Genta Ochi, Ryuta Kuwamizu, Kazuya Suwabe, Takemune Fukuie, Kazuki Hyodo, Hideaki Soya	4. 巻 -
2. 論文標題 Cognitive fatigue due to exercise under normobaric hypoxia is related to hypoxemia during exercise.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-14146-5	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 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 3件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Genta Ochi, Yudai Yamazaki, Hideaki Soya
2. 発表標題 A Preliminary Study on the Physiological Mechanism of Hypoxia-Induced Cognitive Impairment
3. 学会等名 ARIHHP Human High Performance Forum2021 バラリンピック・バリューがつなぐスポーツと社会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 越智 元太, 征矢 英昭
2. 発表標題 低酸素環境で行う運動による認知疲労とそのメカニズム
3. 学会等名 第74回日本体力医学会大会 シンポジウム25 低酸素トレーニングはどこまで進化したか？：最新の知見と新たな挑戦（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 越智元太
2. 発表標題 運動によって生じる中枢疲労とそのメカニズム
3. 学会等名 日本スポーツ栄養学会 第7回大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 越智元太
2. 発表標題 疲労困憊に至る漸増負荷運動は認知疲労を引き起こすか？
3. 学会等名 ARIHHPフォーラム2022 "For the Cutting-edge Collaborative Research in Human High Performance" (招待講演)
4. 発表年 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