

氏名	越智 元太		
学位の種類	博士（体育科学）		
学位記番号	博甲第 8794 号		
学位授与年月	平成 30年 7月 31日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	人間総合科学研究科		
学位論文題目	低酸素環境での運動が引き起こす認知疲労とその神経基盤の解明：fNIRS を用いたニューロイメージング研究		
主査	筑波大学教授	医学博士	征矢英昭
副査	筑波大学教授	医学博士	大森 肇
副査	筑波大学教授	教育学博士	西保 岳
副査	筑波大学教授	博士（体育科学）	前田清司

論文の内容の要旨

越智元太氏の博士学位論文は、標高 3,500m 相当の低酸素環境でおこなう中強度運動が注意、集中、抑制、計画・実行といった高次認知機能（実行機能）を低下させるか、その神経基盤として前頭前野背外側部の活動低下が関与するか機能的近赤外分光分析法（fNIRS）を用いて検討したものである。その要旨は以下のとおりである。

【背景と目的】

運動には疲労がつきものであり、その解明に向けた研究は以前から盛んにおこなわれてきた。しかし、多くの研究が筋疲労など末梢機能に関するもので、中枢性疲労とりわけ、注意、集中、抑制、計画・実行など、前頭前野に関連した高次認知機能（実行機能）の低下（認知疲労）についてはいまだ不明な点が多い。この背景には再現性のある認知疲労モデルが無いことも一役買っている。最近の研究から、運動時に生じる動脈血中酸素飽和度（SpO₂）低下（低酸素血症）は、運動時の脳内の低酸素状態を招き、それが高所での登山時の遭難事故や、マラソンやトレイルラン、サッカーのロスタイムでの集中力低下に伴う競技パフォーマンス低下に関与している可能性が指摘されている。そこで本研究では、低酸素環境を利用し、短時間の運動で認知疲労が生じる運動性認知疲労モデルを確立・利用し、その神経基盤をニューロイメージング法で解明しようと試みた。

本論文では3つの研究課題を設けた。まず、運動性認知疲労モデル確立を目指し、低酸素環境下の運動（低酸素下運動）で実行機能が低下するかどうか確認する課題（研究課題1）。次に、その神経基盤を、光を用いたニューロイメージング法である fNIRS を用いて解明する課題（研究課題2）。最後に、低酸素下運動で実行機能が低下する際の低酸素血症の影響を明らかにする課題を解決すべくスポーツ神経科学的な実験を計画した。

【対象と方法】

著者は、これまで征矢らが開発してきたヒトの実行機能に対する一過性の運動効果を評価できる実験

モデル (Yanagisawa *et al.*, *Neuroimage*, 2010; Hyodo *et al.*, *Neurobiology of Aging*, 2012; Byun *et al.*, *Neuroimage*, 2014; Kujach *et al.*, *Neuroimage*, 2018) を低酸素環境下の運動に応用し、以下の3つの研究課題について検討している。健常若齢成人を対象に、研究課題1では、実行機能課題であるストループ課題を用い、標高 3,500m 相当の低酸素環境でおこなう最高酸素摂取量の 50%強度運動が、実行機能に与える影響を検討している。さらに、研究課題2では、課題遂行時の前頭前野神経活動を評価できる fNIRS を用い、低酸素下運動によって低下する実行機能の神経基盤を検討している。研究課題3では、低酸素下運動による実行機能低下の生理機構として、SpO₂ 低下に伴う脳内の低酸素状態が関与するか検討している。

【結果】

研究課題1では、標高 3,500m 相当の低酸素環境において、本来中強度運動後に誘発される実行機能向上効果が消失することを確認し、運動性認知疲労モデルを確立している。研究課題2では、低酸素下運動終了 15 分後に、fNIRS を用いて神経活動を評価することが可能であることを確認し (研究課題 2-1)、低酸素下運動による実行機能低下の神経基盤として、左脳の前頭前野背外側部の活動低下が関係することを明らかにしている (研究課題 2-2)。研究課題3では、低酸素下運動時に脳への血流供給量が維持されたこと (研究課題 3-1)、安静時の SpO₂ 低下と実行機能低下が相関し (研究課題 3-2)、低酸素下運動時の SpO₂ 低下抑制によって実行機能低下が改善することを確認し (研究課題 3-3)、低酸素下運動による認知疲労に、運動時の SpO₂ 低下が関与する可能性を示唆している。

【考察】

本研究において著者は、標高 3,500m 相当の低酸素環境下の中強度運動は、本来活動が高まるはずの左脳前頭前野背外側部の活動を低下させることで、実行機能低下 (認知疲労) を引き起こすことを明らかにした。また、この認知疲労に低酸素下運動時の低酸素血症に伴う脳内の低酸素状態が関与する可能性を示唆した。本研究の結果は、高所登山時だけでなく、低酸素血症を伴う激しい運動に誘発される認知疲労の神経機構として、課題特異的な脳部位の活動低下が関与する可能性を示すものである。

審査の結果の要旨

【批評】

本論文は、運動に誘発される実行機能低下 (認知疲労) の神経基盤を明らかにするため、低酸素環境を利用した運動性認知疲労モデルに fNIRS を応用することで検討し、低酸素下運動は実行機能に重要な左脳の前頭前野背外側部の活動を低下させることで認知疲労を引き起こすことを初めて明らかにしている。さらに、この認知疲労の生理機構に、運動時の低酸素血症に伴う脳内の低酸素状態が関与する可能性を示唆している。本研究で作成された運動性認知疲労モデルは、高所活動 (登山、トレイルラン) やアスリートの競技時に生じる認知疲労のモデルとして重要である。今後更に、機能的 MRI や経頭蓋磁気刺激法による神経基盤の解析に加え、唾液や血液の化学基盤の解析を通じて、脳機能を標的とした新しいトレーニング、コンディショニング法の開発が期待される。

平成 30 年 6 月 6 日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもと論文について説明を求め、関連事項について質疑応答を行い、最終試験を行った。その結果、審査委員全員が合格と判定した。

よって、著者は博士 (体育科学) の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認める。