

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：34410

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2016

課題番号：24500773

研究課題名(和文) 動的運動中に生じる中枢疲労の解明

研究課題名(英文) Research of central fatigue during dynamic movement

研究代表者

久保山 直己 (Kuboyama, Naomi)

大阪商業大学・総合経営学部・准教授

研究者番号：00412718

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、動的運動中に生じる中枢疲労を解明することが目的であった。本研究では、近赤外線分光法装置(NIRS)を用い、運動時の脳血液量の変化を的確に捉え、且つ、疲労困憊に至る動的運動中における機能的相補性の存在とその発現条件の確認と検証を時系列的に捉えた。

これまでの先行研究では、運動中に増加する頭蓋血液量の影響を考慮しなかったため、中枢の神経活動の間接的指標となる脳血液量の変化に対する見解が一致しなかった。本研究では頭蓋血液量を影響を削除し的確に脳血液量の変化を捉えることができた。また、中枢における機能的相補性の存在を確認でき成果を上げた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to clarify the central fatigue caused during dynamic movement. This study using the near-infrared spectroscopy apparatus (NIRS) cleared the real change in brain blood volume during exercise, the presence of functional complementarity in dynamic movement leading to exhaustion. In previous studies, it did not take into account the effects of increased cranial blood volume during exercise, so the view of the brain's blood volume as an indirect indicator of nerve activity at the center was not agreed. This study was able to remove the influence of cranial blood volume and reveal real changes in brain blood volume. Also, it was confirmed the presence of functional complementarity at the center.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：中枢疲労

## 1. 研究開始当初の背景

運動に起因する疲労に関する研究は 1900 年代初頭から始まり、現在に至るまで盛んに行われてきた。これまでの研究で運動中に生じる疲労は、末梢における神経学的・生化学的变化からのみでなく、中枢における神経活動の抑制・不活性によっても引き起こされることが明らかになってきた。スポーツを考えた場合、持久的競技におけるパフォーマンスをいかに長く継続できるかは疲労をどのようにして最小限度にとどめるかにかかっている。その意味で、新しく、より合目的なトレーニング方法の開発には疲労を正しく理解することが不可欠である。

疲労困憊後、ヒトの大脳皮質運動野(Motor cortex; M1) は活動を抑制された状態に陥ることが、報告されてきた。しかし、疲労は運動中に急に発生するものではなく、徐々に起こる現象である。そのため、疲労という現象を正しく理解するためには、疲労は時系列的に捉えられる必要がある。また、運動に伴う疲労時に前頭前野だけでなく、M1 の活性が低下することがこれまでに報告されている。また、疲労に伴い漸減的に M1 が不活性しているにも関わらず、筋はしばらくの間、求められる運動強度を保ち活動を続けることも報告されている。しかし、既に解剖学的に中枢神経と筋との伝達経路は確立している。解剖学的伝達経路を考慮すると、疲労による M1 の不活性は筋活動に多大な影響を及ぼすことが容易に考えられる。それでも尚、脳神経の活動が低下しているにもかかわらず筋活動が継続しているという矛盾した報告がなされるには 2 つの要因が考えられる。1 つ目は、脳機能の測定方法が未確定であることである。これまで運動中の頭部浅部(頭蓋の皮膚血流など)も含めて脳組織の活動が評価されてきたことにある。つまり、運動中の脳神経活動のみが正確に捉えられていないことが考えられる。2 つ目は、脳内での機能分配である。脳神経活動の低下時には M1 の機能的相補性が大きく関与し、その相補性の存在は疲労耐性を左右する可能性がある。そのため、競技力向上を考える上では、動的運動中の頭蓋血流など頭部浅部の生理学的指標の変化を取り除き脳組織の神経活動のみを的確に測定した上で、疲労について十分に検討することが必要である。

## 2. 研究の目的

M1 の活性のみならず、脳組織の活性は、経頭蓋磁気刺激装置や fMRI などを用いて研究されてきた。しかし、これらの機器は動的運動中に脳活性の変化を捉え続けることは技術的に困難である。一方で、申請者はこれまで近赤外線分光法装置(NIRS)を用いて、運動中の脳活性を評価してきた。この方法は、頭蓋における血流の影響を受けること

や、絶対的な変化を捉えることが技術的に困難であるなどが指摘されており、絶対的な指標とはなりえないものの、先駆的な研究分野において、常に脳科学を先導してきた計測機器である。NIRS では動的な運動条件下で時系列的に計測が可能であり、実際の運動に近い状況で計測することが可能であるという利点を持つ。申請者は研究期間中に、研究目的の 1 つ目となる NIRS での測定時に頭蓋血流の影響を削除する方法を確立し、脳組織のみの活動を正確に測定することに取り組む。現存する NIRS のプローブは 1 つの送光部と 1 つの受光部(送受光部間は通常 3 - 4cm 程度)から構成されている。そのため、浅部(頭蓋)から深部(脳組織)までの全血液量が測定対象となる。そこで、本研究では光路長を短縮させるためもう 1 つ受光部(送光部から 1 - 2cm 程度)を増設し(頭蓋の血液量の測定のため) 1 つの送光部と 2 つの受光部がある NIRS で測定を行う。この方法で測定できれば、浅部から深部までの血液量から浅部(頭蓋)で測定した血液量を減じると、深部(脳組織)のみの血液量の変化を捉えられる可能性が高くなる。その後研究目的の 2 つ目として、M1 領域における機能的相補性について検討を進めていく予定である。運動時の機能的相補性に関しては同様に NIRS を用いた研究で、利き手と反対側の手を動かした際に利き手側の M1 が相補的に働くことなどが報告されている。疲労困憊時においても同様な機能的相補性が存在する可能性がある。脳組織の活動を的確に捉えた上で機能的相補性の存在とその発現条件を検証する。Benwell ら(2006)の研究は、fMRI を用いて運動前(Pre-exercise)と運動後(Post-exercise)で M1、感覚野(SM1)などの活性を測定した。この研究においては、運動後に M1 活性が低下していることは明らかになるが、その経過については明らかでない。そのため、本研究のように疲労に伴う M1 活性の変化を頭蓋血液量の影響を削除し M1 活動を的確に捉え、且つ疲労困憊に至る動的運動における機能的相補性の存在とその発現条件の確認と検証を時系列的に捉えようとする研究は他に類を見ない。このことは本研究の学術的な点である。独創的な点としては、運動における脳活性の変化を NIRS により時系列的に捉え脳科学のトレーニング科学への応用を目指す点に本研究の独創的な点がある。

これまでの研究では、疲労時に局所脳組織の血液量低下が指摘されてきたが、それには頭蓋血液量低下の変化が大きく影響を及ぼしている可能性が否定できない。本研究の予想される結果としては、疲労時においても脳組織の血液量の低下はなく一定量確保されている状況を観察できる可能性がある。疲労時でも局所脳組織において一定量の血液量が確保されているとなれば、脳機能低下による疲労がはじめて否定されることになる。一

方、血液量低下が観察できた場合、局所脳組織の不活性を有力な疲労要因として確立できることとなる。また、本研究は脳組織における機能的相補性についても、これまでの報告より詳細に検討できる可能性が高く、運動に伴う疲労理解のために多に意義はある。このことは新しいトレーニング方法の開発などにも寄与できると考えられる。

### 3. 研究の方法

本研究では NIRS を用い、各実験において 10 名程度の被験者を募り、複数回繰り返し測定することにより再現性を確認する。また、実験条件は全ての実験において、室温、湿度なども同一とする。実施に当たっては、所属機関の倫理審査委員会に審査を依頼し、審査を通過したもののみを用い、被験者に対しては十分なインフォームドコンセントを行う。運動は握力運動を選択し、それぞれにおいて、最大随意筋力 (100%MVC)、70%MVC、50%MVC などいくつかの運動強度を設定し、その強度において疲労困憊に至るまで運動を課す。その間の局所脳組織の血液量を測定し、どのような変化 (活性) を見せるかを観察し、運動時における中枢神経性疲労の特性を明らかにする。

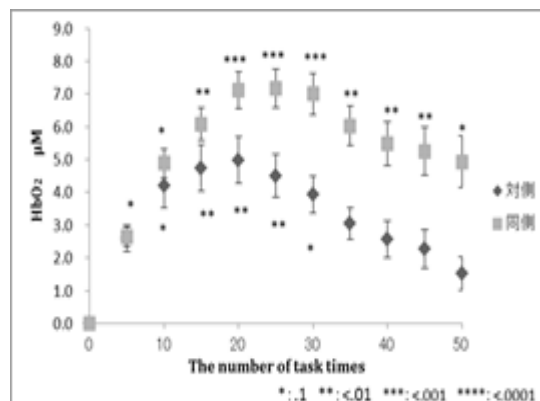
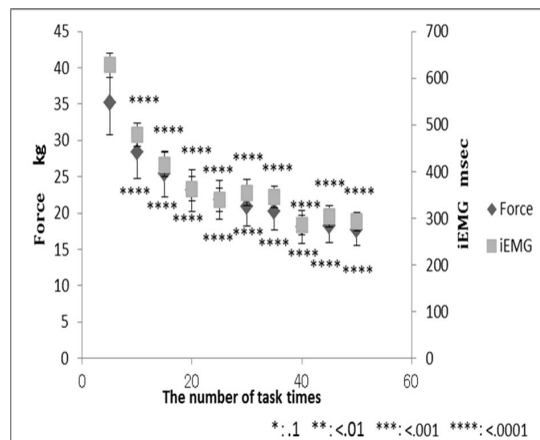
疲労研究の多くは一流もしくはそれに準ずるレベルのスポーツ選手を用いることが好ましいとされている。本研究においては所属大学の体育会系クラブの選手を対象者として研究を行う。それにより、疲労という現象をより明確な形で捉えることができると考えられる。

また、一般成人や若年者も対象者として用いることにより、疲労という現象の特性をより一般的に捉えることができると考える。

### 4. 研究成果

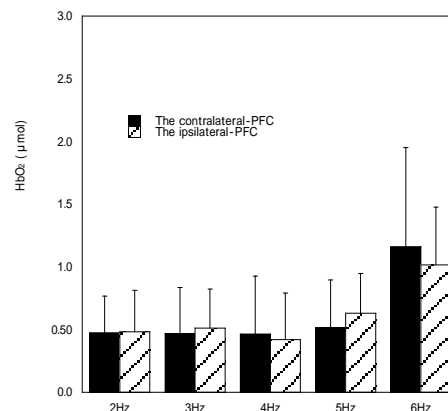
本研究では、下記の研究成果を得た。

1) 動的運動中の頭蓋血液量の変化と局所脳組織血液量の変化の同時測定法の確立  
 これまでの NIRS を用いた研究で報告されてきた局所脳組織の血液量の中には頭蓋血液量も含まれていた。これは、頭蓋血液量の変化が大きく影響した状況下で局所脳組織血液量の変化を観察してきたことを意味する。そのため、これまでの研究では実質的に脳組織血液量の変化を捉えていない可能性が高かった。そこで、本研究では、NIRS のプローブにある 1 つ送光部に対し光路長が異なる 2 つ受光部 (1-2cm および 3-4cm) を設置し、短い光路長で 頭蓋血液量の変化、長い光路長で 頭蓋血液量と脳組織血液量の総血液量変化を同時測定した。その後、 から を減じて脳組織血液量の変化のみ捉え、動的運動中の実質的な局所脳血流量を測定することができた。



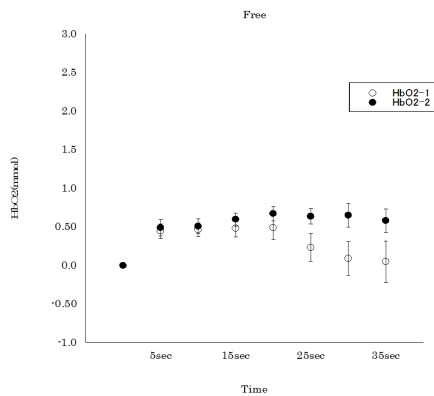
### 2) 動的運動における疲労困憊時の機能的相補性の確認

いくつかの研究では、運動中に局所脳血液量が低下し、安静時とほぼ同レベルに達するにも関わらず、しばらくの間、運動は継続されていることが報告されている。しかし、脳組織の活性が生じず運動を行うのは困難である。そのため、疲労時の運動継続に同側や他の領域が相補的に働いている可能性があった。握力運動など運動に動員される筋群が比較的限定しやすい運動様式を選択し、疲労時の局所脳血液量を測定し、疲労困憊時の機能的相補性を確認することができた。



3) 運動学習過程における機能的相補性の確認

運動学習の成立に伴い、一側性運動時の対側の活性は抑えられる可能性が高い。そのような場合、運動学習の成立に伴い、疲労困憊時の機能的相補性の発現率が上昇する可能性がある。運動開始時の機能的相補性発現率が低下し、疲労困憊時の機能的相補性発現率が高まるか否かを検証し、運動学習の成立する際の同側及び対側の機能的相違を確認することができた。



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)

Kenichi Shibuya, Naomi Kuboyama, Seigo Yamada

Complementary activation of the ipsilateral primary motor cortex during a sustained handgrip task.

European Journal of Applied Physiology 116:171-178 (2016)

査読有

Naomi Kuboyama and Kenichi Shibuya  
Ipsi- and contralateral frontal cortex oxygenation during handgrip task does not follow decrease on maximal force output  
Journal of Physiological Anthropology. 34:37 (2015)

査読有

Kenichi Shibuya, Naomi Kuboyama and Junya Tanaka  
Changes in ipsilateral motor cortex activity during a unilateral isometric finger task are dependent on the muscle contraction force.

Physiological Measurement. 35:1-12(2014)

査読有

澁谷顕一・久保山直己・田中純也力調節と

左右一次運動野の活動

日本生理人類学会誌 Vol. 20, No. 3, 8 157-161 (2015)

査読有

〔雑誌論文〕(計 4 件)

Effect of maximal handgrip exercise on the frontal cortex oxygenation  
19th East Asia Sport Exercise Science Society 2014

〔学会発表〕(計 1 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔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 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久保山 直己 (KUBOYAMA Naomi)

大阪商業大学・総合経営学部・准教授

研究者番号: 00412718

(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

( )

