

## 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24年5月10日現在

機関番号：34410

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21700641

研究課題名（和文） 全身運動における疲労要因の関係性に関する研究

研究課題名（英文） Research on the relationship of the fatigue factors during exercise

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

研究成果の概要（和文）：ある一定強度以上で筋収縮を繰り返すと、筋は疲労し運動継続が困難になる。この状態を筋疲労と呼ぶ。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。先行研究によって運動中に起こる疲労は末梢における神経学的・生化学的変化からのみでなく、中枢における抑制・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。疲労は運動中に突然に発生するものではなく、末梢や中枢に生じる複数の要因が相互に作用し徐々に起こる現象である。そのため、疲労現象を正しく理解するためには疲労に関与していると考えられる複数の要因の変化を時系列的に同時に捉え検証する必要がある。そこで、本研究は運動中に生じる複数の疲労要因の変化を時系列的に観察し、主となる疲労要因について検討した。その結果、運動中に筋組織や呼吸循環系組織の生理学的変化が疲労に関与していることも確認したが、疲労は中枢神経活動の低下が直接的な要因として引き起こされる可能性が考えられた。

研究成果の概要（英文）：

As a result of repeated contraction of muscle with more than a fixed strength, the muscle becomes too tired to continue working. This is called muscle fatigue. Study on the exhaustion resulted from physical exercise can be traced back to the early 1990s, and many arguments has been made up until today. The preceding studies have demonstrated the fact that the exhaustion through exercise is caused not only by neurological and biochemical alteration of periphery but also by suppression and inactivity of nucleus. The exhaustion does not happen suddenly during exercise, but gradually occur due to mutual interactions among multiple factors that emerge in periphery and nucleus. Therefore, in order to understand the exhausting phenomenon properly, it is necessary to examine an alteration of the putative factors related to the exhaustion chronologically and simultaneously. This study observed chronologically the alteration of the related factors occurred through exercise, and examined the major factor among others. Consequently, I confirmed that during exercise physiological alteration of muscular tissue and tissue of respiration circulatory system is associated with the exhaustion, and also that a direct factor for the exhaustion caused possibly by decreased activity of the central nerve.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	1,400,000	420,000	1,820,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：スポーツ科学

キーワード：トレーニング科学

### 1. 研究開始当初の背景

発揮できる運動パフォーマンスには上限が存在する。その上限を規定する要因として、以前より中枢疲労説及び末梢疲労説などが指摘されている。しかし、中枢や末梢で測定される生理学的指標は運動中に刻々と変化する。そのため、疲労をもたらす主要因については現在でも論議が続いている。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は疲労との戦いでもある。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。全身的運動による疲労の原因として、複数の要因が指摘されている。しかし、疲労困憊は運動中に突然に発生するものではなく、複数の要因が相互に作用し徐々に起こる現象である。そのため、疲労現象を正しく理解するためには、疲労に関与していると考えられる複数の要因の変化を時系列的に同時に捉え検証する必要がある。疲労の要因として、大脳の活性レベルの変化、局所神経伝達器の変化、筋組織の変化や呼吸循環器応答などが挙げられている。競技力向上を考える上では、これまでの研究で指摘されている複数の要因が疲労困憊に至るまでにどのように変化するか注意深く観察し、それらの要因の関係を明らかにする必要がある。

### 2. 研究の目的

これまでの先行研究によって疲労が生じる要因として、大脳皮質の活性低下、脊髄やそれ以上のレベルでの伝達調整、筋機能の低下がある。そこで、本研究では、①呼吸循環器系応答の大脳皮質への影響、②脳内の各運動関連領域の血行調整、③運動強度と脊髄やそれ以上のレベルでの伝達調整との関係、④運動強度と筋機能の変更との関係を検討し、安静から疲労困憊までにそれらの要因がどのように変化し、どのような関係性が認められるのか明らかにすることに本研の目的を置いた。

### 3. 研究の方法

本研究では、10名程度の被験者を募り、各実験を行い全身運動による複数の疲労要因の関係を明らかにしスポーツ科学への応用を目指した。実験

条件はすべての実験において、室温、湿度なども同一とした。実施に当たっては、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った。この研究では、疲労困憊までの漸増的負荷による全身運動、NIRSなどは先行研究でよく用いられている実験方法や装置を用いて実施した。実施の際、測定や個人データの管理には十分注意を払った。特に、最大随意運動を決定するためには、先行研究においても酸素消費量(定常あるいは100ml/分)、ガス交換比(RER>1.1)、予測最大心拍数(220-年齢か220-0.65×年齢で算出)、運動のリズムが継続できない、などの諸条件を満たすことが求められている。本研究でもその条件を用いる予定であるため、運動中にモニターによる心拍応答と体調観察を厳行し事故防止に努めた。

### 4. 研究成果

本研究では、疲労困憊時の脳血液動態、筋疲労及び呼吸循環器応答の関係を検討するため、健康成人男性を被験者として自転車エルゴメーターでの一定負荷運動や最大握力発揮による疲労困憊時の大脳皮質の血行(酸素化ヘモグロビン量、脱酸素ヘモグロビン量および総ヘモグロビン量)動態、筋放電量及び呼吸循環器応答(呼気中のCO<sub>2</sub>)を測定した。呼気中のCO<sub>2</sub>は呼気ガス分析器、大脳皮質の血行動態は近赤外線分光法装置(Near Infrared Spectroscopy; NIRS)で前頭葉の血行を、筋電図で大腿部や前腕部の筋放電量を疲労困憊まで時系列的に測定した。ある一定強度以上で筋収縮を繰り返すと、筋は疲労し運動継続が困難になる。この状態を筋疲労(※筋の機能が発揮できない状態、疲労困憊)と呼ぶ。筋疲労の原因としては、末梢(筋組織、肺や血管などの呼吸循環器系の組織)もしくは中枢(脳神経組織)のどちらかに主要因が存在するのではないかと考えた。

#### (1) 脳酸素化と脳活動の関係

運動中の脳神経の活動を計測する際、報告者はNIRSを用いてきた。このNIRSは他の脳神経の活動を計測する機器と比べ、被験者に対する拘束性が低い。還元型ヘモグロビン濃度([Hb])に対する感受性が低いという欠点は持つが、殊に動的運

動中の脳活動を測定するには、この計測機器が優れている。NIRS で計測できる指標は、一般に、還元型ヘモグロビン濃度[Hb]と酸化型ヘモグロビン濃度([HbO<sub>2</sub>])である。ある条件に対して、一般に、[HbO<sub>2</sub>]が上昇し[Hb]が低下した状態を酸素化が上昇したと言う。この状態の時、脳の活動が上昇したと考える。これは神経活動時の局所脳血流量は50%程度上昇するのに対し、酸素消費量は5%程度しか上昇しないという神経活動と局所脳血流量との関係をもとにしている。神経活動が起きると局所血流量が大きく上昇することは確かだが、その逆が成り立つか否かについては未だに議論が絶えない。とは言え、一般に酸素化の上昇は脳活動の上昇を意味すると考える。

### (2) 筋疲労時の前頭前野活動

筋疲労時の脳活動を測定するにあたり、報告者は前頭前野と呼ばれる部位の活動を計測した。前頭前野は前頭葉に位置する部位である。前頭葉は脳全体の司令塔として知られている。前頭葉は二十数個の領域に分かれ、その中でも運動を用いる研究では前頭前野の測定がよくおこなわれる。運動に限らず、前頭前野は様々な刺激に対する反応を確認する際に測定される。2002年にWatanebe et al.が行った研究では、心的疲労により前頭前野活動が低下することがNIRSを用いて明らかにされた。そこで報告者はこの疲労と前頭前野活動との関わりを運動に応用しようと考えた。運動において、筋疲労の原因が末梢にあるのか、それとも、中枢にあるのか、という議論が終結していない中で、NIRSなどの計測機器を用いて中枢における活動を検討することは重要な意義を持つ。報告者は疲労困憊に至る高強度運動中の前頭前野活動を測定した。運動以外の様々な活動(刺激)と同様に、前頭前野の酸素化(活動)は運動開始に伴い上昇した。しかし、運動を継続するに従いその酸素化(活動)は低下し、疲労困憊時には安静時の酸素化よりも低い値を示した。このような活動様式は、近年の研究でも運動強度の上昇する一方、前頭前野の酸素化(活動)が低下することが報告されている。つまり、前頭前野からの運動野へ対しての指令は疲労困憊時には安静時レベルよりも低いレベルにまで低下している可能性が考えられた。

### (3) 疲労時の運動野の活動

筋疲労時には前頭前野の活動レベルが、安静時レベル、もしくはそれ以前の強度におけるレベル

よりも低下することがわかった。しかし、前頭前野の活動は運動とは直接関係がない。前頭前野をはじめとする前頭葉の活動が投射されて、その情報が運動前野や一次運動野、補足運動野へと伝えられて、運動が実行されるのは確かだが、運動指令を第一義的に出しているのはあくまでも一次運動野である。つまり、運動神経(筋組織とつながっている神経)と直接繋がっているのは大脳皮質の中では一次運動野しかない。その他の部位は運動神経と間接的に繋がっているに過ぎない。筋と直接的な繋がりを持つ一次運動野の活動を観察することで、筋疲労に関してより厳密な議論ができるようになるであろう。運動中の一次運動野活動は機能的核磁気共鳴画像法(fMRI)などを用いて1990年代後半から盛んに行われてきた。しかし、計測機器における拘束性の問題から、そこでは筋疲労をもたらすようなものではなく軽度の短時間の運動を対象としていた。これらの研究では、一次運動野の活動が運動強度によるものであるのか、それとも運動頻度に起因するものなのかの議論が行われてきた。近年では測定精度も向上し、一次運動野の活動レベルは運動頻度にも依存するが、運動強度に強く依存することが明らかになっている。報告者は、NIRSを用いて一次運動野における活動を測定し、一次運動野も前頭前野と同様に、疲労困憊時に活動を低下させるのか否かを検証した。その結果、一次運動野においても疲労困憊時には安静時よりも低いレベルにまで活動が低下する可能性が考えられた。

本研究で測定した末梢および中枢における生理学的指標1つである大脳皮質の血行動態は、動的運動中における測定時に高度な測定技術が必要なためデータ採取に非常に苦労したことと被験者の頭蓋骨厚の個人差による近赤外線光源の透過率の問題や運動によって生じたであろうと思われるノイズが測定データに混じりデータ処理やその解釈に現在非常に時間を要している現状がある。しかし、運動中の生体の中枢神経活動を観察することは運動制御機構を解明する上で非常に有意義である。そこで、今後は浅部のみでの測定ではなく深部測定を加え、その測定値の差(深部測定値-浅部測定値)、つまり頭皮血流や頭蓋骨厚などの影響を除去した測定方法を早期に確立し生理学的に的確に中枢活動における現象をとらえることが必要であると考える。

## 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2件)

Kenichi Shibuya, Naomi Kuboyama. Decreased activation in the primary motor cortex area during exhaustive handgrip exercise in trained subjects Perceptual and Motor Skills., 査読有. 111. 19-30, 2010

Kenichi Shibuya, Naomi Kuboyama. Bilateral motor control during motor tasks involving the nondominant hand. Journal of Physiological Anthropology., 査読有. 28. 165-171, 2009

[学会発表] (計1件)

Naomi Kuboyama. Limit of movement and central fatigue., East Asia Sport Exercise Science Society., August 8, 2011, Yeungnam University, Daegu, Korea

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

久保山 直己 (KUBOYAMA NOMI)

大阪商業大学・総合経営学科・准教授

研究者番号：00412718