

## 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 17 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21700595

研究課題名（和文）

運動時の予測性循環調節における大脳皮質領域の機能に関する研究

研究課題名（英文）

Relationship between cortical oxygenation in the motor area and cardiovascular responses during preparation for exercise

研究代表者

岩館 雅子 (IWADATE MASAKO)

日本大学・生産工学部・助教

研究者番号：40409280

研究成果の概要（和文）：

本研究では、近赤外分光法（near-infrared spectroscopy; NIRS）を用いて大脳皮質運動領野の活動をモニターし、掌握運動の準備期および運動期に計測された心循環応答との対応から、中枢性循環調節指令（セントラルコマンド）と運動関連領野賦活の関連を調べた。その結果、努力が必要とされる高強度運動の準備期において、セントラルコマンドは準備期から予測的に心臓交感神経活動の賦活や大脳皮質運動領野の賦活を連動して発現させ、運動期の遅れのない筋出力の形成に貢献していると考えられた。

研究成果の概要（英文）：

The present study investigated the relationship between the activation in the motor cortex (MCx) and cardiovascular responses during preparation for and after starting right handgrip exercise. We measured levels of oxygenated hemoglobin (oxyHb), deoxygenated hemoglobin (deoxyHb) and total hemoglobin (totalHb) in the MCx by near-infrared spectroscopy and simultaneously recorded heart rate (HR) and mean arterial blood pressure. We studied three experiment sessions and obtained any suggestions; (1) During preparation period for exercise, the increases in HR and muscle flow rate were coupled with the increase in the MCx activation.(2) The differential values of the oxyHb concentration in the MCx were positively correlated with HR changes during preparation period for exercise.(3) the MCx activities and sensory cortex responses after starting handgrip exercise are not affected by MCx activation or the increase in HR related to central command that develops during preparation for exercise.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学 身体教育学

キーワード：脳高次機能学、循環調節

## 1. 研究開始当初の背景

- (1) 運動準備期のセントラルコマンド  
運動時の循環調節は、運動の始まる前から

すでに開始されており、運動準備や想起に伴い生じる心拍数増加や筋血流上昇はその代表的な応答である。運動準備期の循環応答は運動時とは異なり筋収縮が生じていないこ

とから、運動性循環反射がない状態で中枢指令（セントラルコマンド）が発現したことによる応答と考えることができる。このセントラルコマンドの起源は、近年、大脳や視床下部、脳幹部などに存在することが示唆されている。そして、心臓や筋血管で生じる循環応答の神経調節としては、セントラルコマンドが自律神経系を介して標的部位に作用していることが明らかになりつつある。しかし、セントラルコマンドの中枢と線維連絡のある脳領域の活動様式やその意義については、明らかでなかった。

一方で、運動出力に関連する大脳皮質運動野は視床下部などと密接な連絡があることが知られていた。セントラルコマンドにより心臓や筋に予測制御応答が生じているとき、大脳皮質運動野においてもすでに活動が変化している可能性が考えられた。

### (2) 大脳皮質運動野活動の研究法

従来、運動準備期の運動野周辺領域の脳活動の研究は、非侵襲的手法である脳波を用いて運動準備期や運動想起時に大脳皮質運動野が賦活していることが多数報告されていた。一方、運動制御に関する神経科学の研究では研究視点の違いもあり、循環反応との対応関係についてはほとんど検討されていなかった。その理由の一つは、脳波を用いた研究では加算平均を必要とするため被験者に同一試行を数十回繰り返し行わせるが、この繰り返しによる慣れや疲労が循環反応を変化させ、両変数の対応関係の検討を困難にするためであったと考えられた。

### (3) 近赤外分光法を用いた脳活動の検討

近赤外分光法 (NIRS) を用いた大脳皮質酸素動態の計測は時間分解能にも比較的優れ、脳波のような加算を必ずしも必要としないことから、変動しやすい循環反応との対応関係をみるには、現時点では最も適していると考えられた。そして、大脳皮質運動野酸素動態の変化を脳活動の指標とし、掌握運動の開始前からの大脳皮質運動野酸素動態、心拍数、平均血圧、心拍出量、前腕屈筋酸素動態を同時記録し、これらの時系列的な対応関係から両者の対応を明らかにできる可能性が考えられた。

## 2. 研究の目的

セントラルコマンドの中枢領域とされる視床下部とも直接の神経連絡がある大脳皮質運動野周辺領域の活動と種々の循環応答との時系列的な対応を検討し、“生体のあるがまま”の状態におけるセントラルコマンド発生と大脳皮質運動野の活動の対応から予測的な循環調節における大脳皮質領域の機能を検討することを目的とした。

## 3. 研究の方法

脳活動計測において、被験者への負担が少ない、近赤外分光法による脳血流信号を指標に脳活動変化を時系列的に計測し、心拍数、皮膚血流、呼吸曲線などの循環反応との時系列的対応を検討した。また、近赤外分光法による脳血流信号は、ある時点からのヘモグロビン濃度の相対的变化で評価するため、用いる実験プロトコルを工夫する必要があった。本研究では、準備のあと実際に運動を行う運動条件と運動を行わない対照条件の2条件を被験者に課し、両課題の差から脳活動変化を検討した。

## 4. 研究成果

### (1) 運動準備期の脳皮質運動野の賦活と循環応答との対応関係

運動を行う運動条件と行わない対照条件という、運動以外の教示はすべて等しく設定した実験プロトコルを用いて、50秒間の準備期における脳酸素動態と心拍数、平均血圧、および筋酸素動態の変化について条件間で比較した。その結果、運動条件の準備期には、大脳皮質運動野周辺において、酸素化ヘモグロビン濃度上昇、脱酸素化ヘモグロビン濃度不変、総ヘモグロビン濃度上昇という、酸素消費率上昇に伴う脳血流量の増加が生じた。また、心拍数と前腕屈筋群の血流速度も同様に上昇することが示された。このことから、運動開始前から運動準備に関わる大脳皮質活動の亢進と心拍数および筋血流の変化が共に生じる仕組みがあることが明らかとなった (図1)。

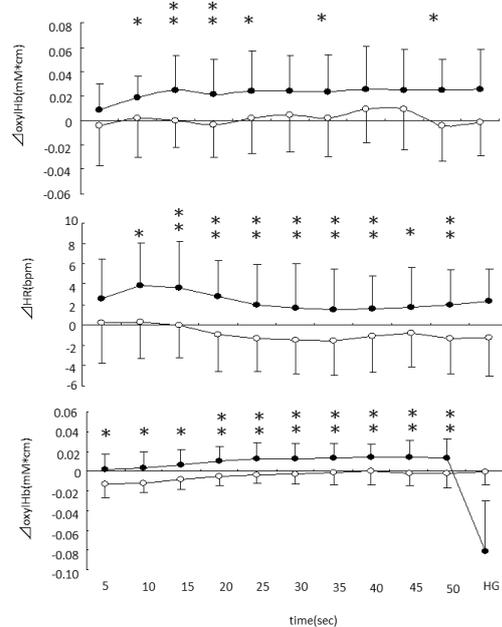


図1 運動準備期における、運動野脳酸素動態 (上段)、心拍数変化量 (中段)、活動肢の筋酸素化動態 (下段)。●は運動条件、○は対照課題を示す。\* :  $p < 0.05$ .

## (2) 運動準備期の運動野酸素化亢進と心拍数変化の対応関係

運動を行う運動条件と行わない対照条件という、運動以外の教示はすべて等しく設定した実験プロトコルを用いて、15秒間の準備期において記録された酸素化ヘモグロビン濃度と心拍数の変化量について、両者の相関関係を検討した。その結果、運動条件においてのみ、心拍数と酸素化ヘモグロビン濃度に有意な相関がみられ、その変化量に対応がみられた。このことから、準備期のセントラルコマンドと運動関連領域の活動は対応して働く仕組みがあると推察された(図2)。

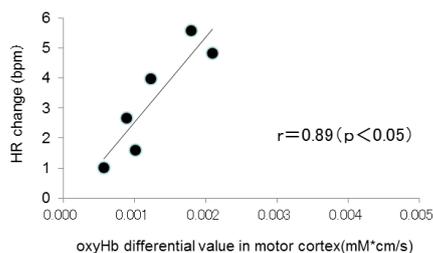


図2 運動準備期における運動野から記録した酸素化ヘモグロビン濃度変化の微分値ピーク(横軸)と心拍数変化量(縦軸)の相関関係。

## (3) 準備期と運動期の運動野酸素化亢進の関係

これまで、運動準備期にみられる運動野の賦活と循環応答を同時に生起させる仕組みとして、高位中枢からの循環調節指令(セントラルコマンド)の関与を示唆してきたが、運動におけるセントラルコマンドの働きを解明する上で重要であると考えられる、準備期と運動開始後の関係については検討できていなかった。この課題を検討するにあたり、先行研究の結果からセントラルコマンドの働きが反映されやすい心拍数を指標として、準備期において心拍数の増加が最大となった試行(セントラルコマンドが準備期に働いたと考えられる試行)と心拍数の増加が最小となった試行(セントラルコマンドが準備期に働かなかった試行)を、同一被験者の中から選択し、準備期にみられたセントラルコマンドの働きが運動遂行によってどのように変化するかについて検討を行った。

その結果、運動開始後の運動野の酸素化ヘモグロビン変化量および心拍数の増加は、準備期のセントラルコマンドの働きの有無に関わらず、両試行の各パラメータの増加量に差がみられなかった。このことから、同一負荷の運動を行う場合、運動期にみられる運動野の脳賦活は、準備期のセントラルコマンドの影響は受けず、運動開始後に新たに生じるセントラルコマンドや筋収縮に伴う末梢

性入力増加により大きな影響を受けていると推察された(図3)。

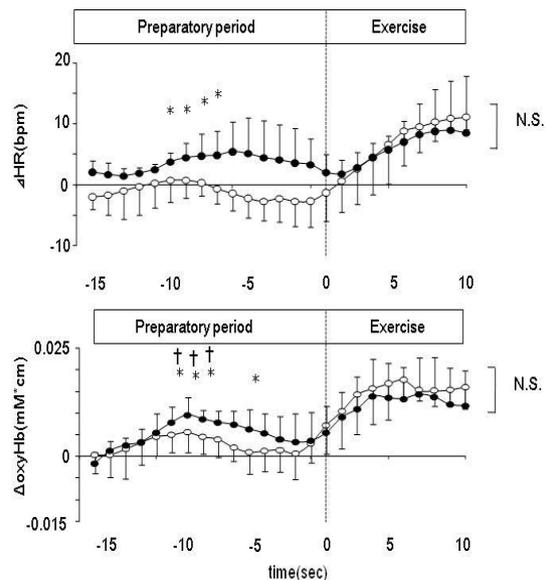


図3 運動準備期から運動期の心拍数(上段)と運動野から記録した酸素化ヘモグロビン濃度変化(下段)。●は準備期の心拍数増加が最大であった試行(LHR)、○は準備期の心拍数増加が最小であった試行を示す(SHR)。\*: LHR vs. SHR ( $p < 0.05$ ), †: ベースラインからの変化( $p < 0.05$ )。N.S.: 有意差なし。

## (4) 最大筋力発揮に伴う運動準備期の自律神経活動

準備期の心拍数増加に関わる神経調節を明らかにするため、120秒という長い準備期を設け、心拍変動パワースペクトルの動態を運動条件と運動を行わない対照条件とで比較し、両条件の心臓自律神経活動を検討した。その結果、運動条件では対照条件に比較して、低周波数(0.04~0.15Hz:Low frequency band power, LF)と高周波数(0.15~0.4Hz:High frequency band power, HF)を用いてLF/HFから表される心臓交感神経活動が有意に賦活した。一方、HF成分から表される心臓副交感神経活動には条件間で有意な差は見られなかった。このことから、準備期の心拍数増加は、心臓交感神経活動の賦活に起因した循環応答であると考えられた(図4)。

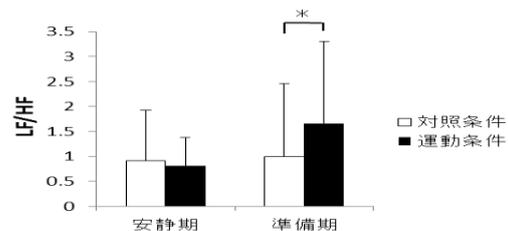


図4 安静期と準備期の心臓交感神経活動 \* :  $p < 0.05$

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)

- ① 岩館雅子、柳澤一機、綱島均、NIRSを用いた大脳皮質運動野活動の検討—運動準備期から運動期の脳血流と循環応答の対応—、Health and Behavior Sciences、査読無、Vol.9、No.2、2011、pp.93-99
- ② 岩館雅子、澁谷顕一、定本朋子、少数例における運動準備期および掌握運動時の心拍数増加と大脳皮質運動野酸素化亢進の対応関係、脈管学、査読有、Vol.50、No.4、2010、pp.475-484

[学会発表] (計9件)

- ① Masako Iwadate、Kazuki Yanagisawa、Hitoshi Tsunashima、Extended mental preparation affects the left prefrontal cortex regardless of the laterality of handgrip execution: a NIRS study、Society for neuroscience 41th annual meeting、2011年11月16日、Washington、D.C.
- ② 西村早苗、大上安奈、平澤愛、佐藤耕平、岩館雅子、定本朋子、発揮張力と大脳皮質運動野周辺領域の酸素化動態からみた握力のグレーディング、第66回日本体力医学会大会、2011年9月16日、海峡メッセ
- ③ 岩館雅子、運動準備期の予期心拍反応と大脳皮質前頭および運動領域の関係、日本健康行動科学会第10回学術大会、2011年10月30日、東海大学
- ④ 岩館雅子、近赤外線分光法(NIRS)による脳活動の測定、第23回体力医学会北陸地方会大会、2011年5月29日、金沢大学
- ⑤ Masako Iwadate、The relationship between the laterality of handgrip and the prefrontal cortex activities during preparation before and after maximum voluntary handgrip exercise: An NIRS study、Society for Neuroscience 40th annual meeting、2010年11月15日、San Diego
- ⑥ 岩館雅子、NIRSを用いた大脳皮質運動野活動の検討—運動準備期から運動期の脳血流と循環応答の対応—、日本健康行動科学会第10回学術大会、2010年10月10日、金沢大学
- ⑦ 岩館雅子、柳澤一機、綱島均、高強度運動時の前頭前野酸素化動態、第16回医用近赤外分光法研究会、2009年10月31日、新宿住友生命ビル
- ⑧ 岩館雅子、最大握力発揮に伴う前頭前野酸素化亢進の特徴、日本健康行動科学会第8

回学術大会、2009年10月4日、桃山学院大学

- ⑨ 岩館雅子、柳澤一機、綱島均、身体運動の準備に伴う循環応答と脳活性の対応、日本機会学会2009年次大会、2009年9月15日、岩手大学

[図書] (計1件)

- ① Hitoshi Tsunashima、Kazuki Yanagisawa、Masako Iwadate、InTech、Neuroimaging - Methods: Measurement of Brain Function Using Near-Infrared Spectroscopy (NIRS)、2012、pp.75-98

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

シンポジウム (計2件)

- ① 岩館雅子、柳澤一機、綱島均、運動準備期の予測性循環反応と関連する大脳皮質領域の検討、日本大学学部連携研究推進シンポジウム、第2回NU-Brainシンポジウム(光脳機能イメージングの研究開発および臨床応用に関するシンポジウム)、2011年11月5日、日本大学理工学部
- ① 岩館雅子、NIRSを用いた運動準備期の脳活動と循環応答、日本大学学部連携研究推進シンポジウム、第1回NU-BRAINシンポジウム-光脳機能イメージングの研究開発および臨床応用に関するシンポジウム-、2010年9月5日、東京

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩館 雅子 (IWADATE MASAKO)

日本大学・生産工学部・教養基礎科学系・助教

研究者番号: 40409280

(2) 研究協力者

定本 朋子 (SADAMOTO TOMOKO)

日本女子体育大学・教授

研究者番号: 30201528

綱島 均 (TSUNASHIMA HITOSHI)

日本大学・生産工学部・教授

研究者番号: 30287594