

## 運動時の予測性循環調節と大脳皮質運動野の関連

日大生産工 岩館 雅子

### 1. 緒言

大脳皮質運動野は運動前野と共同して運動の計画や実行を担っているが、運動出力に関連するニューロンだけではなく運動準備や手掛かり刺激により活動するニューロンによって、運動準備期から賦活することが知られている。また、準備期の運動野の賦活は循環調節に関連することが示唆されている。我々は先行研究において、ヒトを対象に筋収縮がない運動準備期に、近赤外分光法 (fNIRS) による運動野のヘモグロビン酸素化動態と種々の循環応答を同時記録した結果、運動野の酸素化ヘモグロビンの増加と同時に心拍数の増加および筋の酸素化ヘモグロビンの増加を観察し、運動準備期には運動野の賦活と同時に心拍数の増加および活動筋血流速度の増加を生じることを明らかにした<sup>1,2)</sup>。そして、このような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、高位中枢からの指令 (セントラルコマンド) の関与を示唆した。セントラルコマンドは、筋収縮を生じる運動指令が高位の運動中枢から脊髄運動ニューロンへ下行する際、それと平行して延髄の心血管中枢に連絡をもち、循環調節を中枢性に行うコマンドであり、その中枢には、中脳や視床下部、また大脳皮質が示唆されてきた。しかしながら、セントラルコマンド機構の研究において、運動開始後には循環応答へ影響する筋収縮に伴う反射や内分泌系の変化などが生じるため、近年は筋収縮を伴わずに運動関連領域が賦活する運動準備期や運動想起時のセントラルコマンドについての検討がなされてきている。

このような中で、先行研究において我々は、運動準備期にセントラルコマンドに関連した運動野の賦活や心拍数増加反応が同時に生じることを観察したが、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。本報告では、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、(1)準備期と運動開始後における心拍数と運動野酸素動態の関係、(2)準備期と運動時の運動野酸素動態の関係について検討を行った結果を報告する。

### 2.1. 対象

被験者は右利きの健康な成人女性6名とした [年齢:  $23 \pm 6$  歳 (平均値  $\pm$  標準偏差), 身長:  $162 \pm 4$  cm, 体重:  $58 \pm 3$  kg, 右手掌握運動による最大随意収縮力 (MVC):  $23 \pm 5$  kg]。本研究では全ての被験者に対して予備実験を実施し、掌握運動に伴い、対側一次運動野の血流増加の同定が可能であることを確認したのちに本実験を実施した。本研究は、全ての被験者に対し実験の趣旨について文章および口頭にて説明し、実験参加の同意を得た後に実施した。

### 2.2. 実験条件と手続き

被験者は頭部を最も快適な位置に固定できる椅子に座り、右腕を握力計、左腕を血圧測定台に置いた。握力計および血圧測定台はいずれも心臓の高さに調節した。被験者は15秒の安静の後10秒間の静的な掌握運動を行った。運動終了後は1分の休憩をはさみ、同じ試行を10回繰り返した。運動時の運動負荷は60% MVCに設定し、被験者は予めその負荷強度を確認してから本実験に参加した。

### 2.3. 測定項目

大脳皮質一次運動野における、酸素化ヘモグロビン (oxyHb)、脱酸素化ヘモグロビン (deoxyHb) および総ヘモグロビン (totalHb) の変化を近赤外分光装置 (OMM3000, 島津製作所) により計測した。測定用プローブは、左右半球運動野手領域に相当する部位 (脳波国際10 - 20法に基づくC3 およびC4) を中心として照射プローブを外側へ、受光プローブを内側へ置き、プローブ間隔を3cmに設定して頭部に装着した。脳内ヘモグロビン酸素化動態計測における信号のサンプリング間隔は装置の最小間隔である10Hzとした。循環応答の指標としては心拍数 (HR) を計測した。

---

Relationship between increased heart rate and activities in primary motor cortex during preparation and after starting handgrip exercise: A NIRS study

Masako IWADATE

## 2.4 データ処理と解析

課題1の準備期と運動開始後における心拍数と運動野酸素動態との関係は、次の解析を用いて検討した。

fNIRSのデータ: 離散ウェーブレット変換による多重解像度解析により、計測ノイズ成分、呼吸による変動成分、血圧変動成分を取り除き<sup>3)</sup>、さらに安静時のHRが高い試行(75拍以上)やHRの変動の激しい試行を除いた上で、準備開始時を基準値として5~7試行を加算平均し、oxyHb, deoxyHb, totalHbの波形を求めた。さらに、脳血流変化と最も高い相関を示すoxyHbの加算平均後波形について1秒毎に微分値を求め波形傾斜を算出した。

HRデータ: fNIRSデータと対応する試行を加算平均し、安静時からの変化量を1秒毎に算出した。

本研究では、両パラメータの波形算出後、準備期、運動開始後のoxyHbの変化量および微分値とHRのピーク値との相関を求めた。

課題2の準備期と運動開始後の運動野酸素動態の関係は次の解析を用いて検討した。

fNIRSのデータおよびHRデータはいずれも、準備期においてHR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それぞれ選択し、安静時を基準値として、基準値からの変化量の平均値を1秒毎に算出した。その後、準備期および運動開始後に分けて、時間×試行の要因を用いた分散分析を行った。

## 3. 結果と考察

### 3.1 準備期と運動開始後における心拍数と運動野酸素動態の関係

準備期において、oxyHbとHRの相関を求めた結果、oxyHb変化量とHRおよびoxyHb微分値とHRに有意な正の相関が得られた(図1)。この結果は、運動準備に伴う大脳皮質運動野の賦活と準備期のセントラルコマンドによるHRの増加には関連があり、運動出力に関わる脳活動と循環調節に関わる活動は準備期から予測的に連動して生じることを示すと考えられる。一方、運動時においては、oxyHb変化量には正の相関がみられたものの、oxyHbの微分値には有意な相関がみられなかった。この結果は、運動開始後に顕著なHRの増加が生じているにも関わらず、血流増加が小さいことを示している。このことから、準備期と運動時では運動野の賦活と心拍数増加の対応は異なる

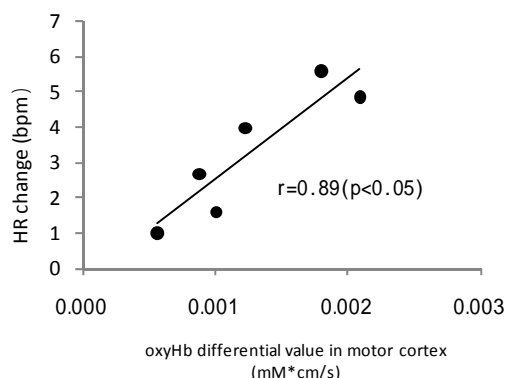


Fig.1 The correlation between peak differential value in contralateral motor cortex and heart rate changes during resting preparatory period before the handgrip exercise.

ことが示唆された。

### 3.2 準備期と運動開始後の運動野酸素動態の関係

準備期における運動野のoxyHbについては、心拍数の増加が最大であった試行において基準値からの上昇が見られたのに対し、心拍数の増加が最小であった試行では基準値からの上昇がみられず、試行間に差がみられた。しかし、運動開始後は、両試行ともにoxyHbの基準値からの上昇はみられたものの、試行間の差は認められなかった。このことは、運動開始後の運動野の酸素化亢進は、準備期からの賦活の影響を受けず、運動開始後のセントラルコマンドおよび筋収縮に伴う末梢性入力増加に影響されることを示すと推察された。

## 4. まとめ

運動準備期と運動開始後の運動野の賦活と心拍数について検討した結果、(1)運動野と心拍数の対応は準備期でのみでみられ、(2)準備期の運動野の賦活は運動後の運動野の賦活に関連しないことが示唆された。

### 参考文献

- (1) 岩館雅子, 定本朋子: 運動準備期の大脳皮質運動野周辺における酸素動態と循環応答の対応. 脈管学 48(4), 389-396, 2008.
- (2) 岩館雅子: 運動準備期中枢性循環調節と大脳皮質運動野との関連. 近赤外分光法による脳酸素動態からの検討. 日本大学生産工学部第41回学術講演会. 7-8, 2008.
- (3) 柳沢一機ほか: 機能的近赤外分光装置(fNIRS)を用いた高次脳機能計測とその評価. ヒューマンインターフェイス学会誌・論文誌, 2009, 11(2): 183-191