

運動準備期の予期心拍反応と関連する大脳皮質領域の検討

－ 近赤外分光法による脳酸素動態を指標に－

日大生産工 ○岩館 雅子

1. 緒言

運動時の循環調節には、セントラルコマンドと呼ばれる、高位中枢からの運動指令が延髄の心血管中枢に連絡をもち、その経路を介して伝えられる制御が重要な役割を担っている〔1〕。

我々は、近赤外分光法 (Near-Infrared Spectroscopy; NIRS) による脳機能計測により、運動出力に関連する大脳皮質運動領野の酸素動態と循環反応を同時計測し、運動を遂行しないが脳賦活が生じる運動準備期から運動開始時までの時系列的な両者の対応から、運動準備期のセントラルコマンドと運動領野の関連を検討してきた。その結果、運動準備期において、心拍数および筋血流の増加などの予測性循環反応と大脳皮質運動領野の賦活がほぼ同時期から生じることや、脳血流の増加と関連する酸素化ヘモグロビンの変化量と心拍数の増加量には相関があることを明らかにしてきた。

しかしながら、このような運動準備期の循環反応と運動領野の対応に対し、運動領野よりも更に高次な機能を持つ前頭領域との関わりについては明らかではなかった。前頭連合野は、運動の企画や運動プログラムなどに関わるため、運動領域よりも早期から脳活動が見られる可能性が考えられるが、循環反応との対応は明らかではなかった。

そこで本研究では、運動準備期における心拍数および筋酸素動態からの運動準備に伴う予測性循環反応と運動領域および前頭領域の脳活動との関連を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法および測定方法

被験者は右利きの健康な成人男性9名とした。被験者は頭部を楽な位置に固定できる、実験用椅子に座り、両腕を心臓位の高さに調節した血圧測定台に置き、握力計を保持した。

実験条件は、静的掌握運動を行わない対照条件と運動を行う運動条件の2条件で構成されている。両条件間に「運動の準備」以外の意識や構えに違いが出ないようにするため、音信号に合わせて吸息と呼息を2秒ずつ繰り返し呼吸の統制(1周期4秒)を同時に課し、1分間の安静の後に、1Hzの音信号を発生させ、検者の「呼吸統制開始」の指示にあわせて被験者はこれを開始した。

実験の順序は、対照条件を先に、続いて運動条件を実施した。対照条件では、「掌握運動を行わない条件であるので、安静にして呼吸統制課題に集中する」よう教示した。運動条件では、最大筋力の負荷の確認と運動の仕方を練習したのち、運動条件の開始前には、「運動を行う条件であるので、呼吸統制2分後から運動開始を予期し、検者の声かけに合わせて右手の掌握運動を行なう」よう教示した。本研究では、対照条件を1試行おこなった後、運動条件を1試行おこなった。

3. 測定項目とデータ処理

大脳皮質運動領野および前頭領域における、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。計測は、脳波国際10-20法に基づくFP1, FP2, F3, F4, FC3, FC4, C3, C4, CP3, CP4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て行った。循環反応の指標は、心拍数(心電図法)、掌握運動時の主働筋となる前腕屈筋群の酸素動態(oxyHb, deoxyHb)を近赤外分光装置(NIRO200, 浜松ホトニクス)を用いて計測した。

脳血流信号は、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

Relationship between Increased Heart Rate and Activities in the Motor area and the Prefrontal area during a Preparation for Handgrip Exercise: a NIRS study

Masako IWADATE

き〔2〕, 5秒毎の平均値を算出した後, 安静時の平均値からの変化量を算出して代表値とした。循環反応の指標も同様に, 5秒毎の平均値を算出した後, 安静時の平均値からの変化量を代表値とした。

本研究では, 呼吸統制開始時 (Rest) から運動直前まで (Preparatory period) の240秒間における代表値を, 条件(対照と運動)×時間(47点の値)の対応のある2元配置分散分析を用いて検定した。さらに条件の主効果および交互作用が有意と認められた場合, 時間毎の2条件間の平均値の差をpaired t-testを用いて検定した。有意水準は5%未満とした。

4. 結果と考察

本研究では呼吸統制を行いながらの安静120秒,そして運動準備120秒という長い準備期間を設け, 運動条件でのセントラルコマンドの発現と大脳皮質の運動および前頭領野の脳賦活の対応を検討した。

図1の下段は, 運動準備期におけるHRの変化を示している。運動条件のHRは, 安静期間には増加せず,運動開始30秒前から運動開始時まで対照条件よりも高い値を示した。このようなHRの増加は, 被験者が運動開始を想起したことでセントラルコマンドが発現し, 延髄の循環中枢から心臓の副交感神経の抑制または交感神経の亢進が生じたことを反映している。長い準備期が設定されていても, 準備開始直後から持続的にセントラルコマンドが発現するわけではなく, 運動開始前の30秒からそれ以降に発現が顕著であるという特徴がみられた。このことは, 図示していないが, 前腕屈筋群における酸素動態の変化において, 運動開始30秒前からそれ以降に筋血流速度が増加していたという結果からも確認された。

このような運動開始30秒前からそれ以降持続的に発現したセントラルコマンドに対して, 大脳皮質運動領野および前頭領野の賦活様式については, 部位による違いがみられた。すなわち, 図1 の中段に示した活動肢と反対側の運動領域に該当するFC3のチャンネルでは, oxyHbの増加が心拍数や筋酸素動態の変化とほぼ同時期から見られた。これに対し, 図1 の上段に示した前頭領域に該当するF3では, 運動開始90秒前という運動領域よりも早期からのoxyHb増加がみられたが, 同時期に顕著な循環反応はみられなかった。

これらの結果から, 運動準備期のセントラルコマンドの発現には, 前頭領域よりも運動領野の賦活がそれと関連している可能性が示唆された。

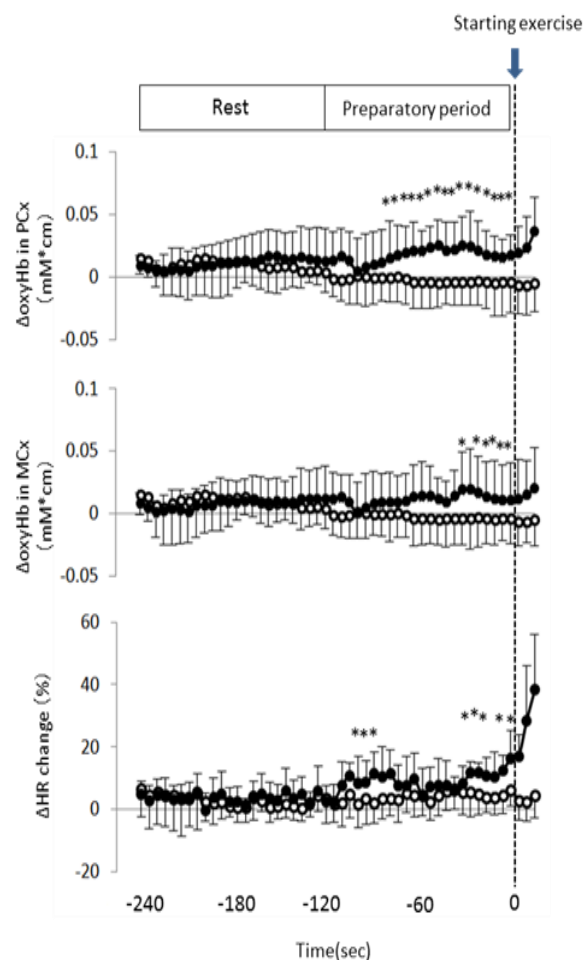


Fig.1 Changes in oxygenated hemoglobin (oxyHb) in contralateral prefrontal area (PCx), motor area (MCx) and heart rate (HR) during preparation for the handgrip exercise. Values are means $\pm$ SD from nine participants.
●, exercise condition; ○, control condition; *, $p < 0.05$

5. 参考・引用文献

- [1] Waldrop TG, Eldridge FL, Iwamoto GA et al., "Central neural control of respiration and circulation during exercise" In Handbook of Physiology, Exercise: Regulation and Integration of Multiple Systems, Rowell LB and Shepherd JT eds, American Physiological Society, pp. 333-380, 1996.
- [2] 柳沢一機、綱島均、丸茂喜高 ほか4名「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」ヒューマンインタフェース学会論文誌 11(2):183-191, 2009