

運動予期に伴う脳血流反応と 心拍変動からみた自律神経機能との対応

○岩館雅子（日大生産工）、栗谷川幸代（日大生産工）
柳沢一機（日大生産工(院)）、綱島 均（日大生産工）

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〔2,3〕。

一方、運動準備期の循環反応と大脳運動領野の対応に対し、心臓に対する神経調節がどう対応しているかについては明らかにできていなかった。本研究では、自律神経機能の生体指標として用いられている、心拍変動成分（低周波成分；LF、高周波成分；HF）を指標として運動準備期の心臓交感・副交感神経活動と近赤外分光法による脳血流動態を指標とした大脳皮質活動との対応を検討した。

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秒ずつ繰り返す呼吸の統制（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。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

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

Masako IWADATE, Yukiyo KURIYAGAWA,
Kazuki YANAGISAWA and Hitoshi TSUNASHIMA

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き、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。

心拍変動スペクトルは、500HzサンプリングにてAD変換した心電図波形をPCに取り込み、実験後、最大エントロピー法によるスペクトル解析ソフトMEM-Calc for Windows (諏訪トラスト)を用いて、準備期において120秒間のスペクトルパワーを求めた。スペクトルの周波数帯域は、0.04~0.15Hzの低周波帯域、0.15~0.4Hzの高周波帯域を解析対象とした。また、低周波帯域と高周波帯域の比(L/H比)を求め、交感神経/副交感神経活動バランスを検討した。

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領野の脳賦活の対応を検討した。

図1は、運動準備期における対側運動前野(F3)から記録された脳酸素動態を示している。運動条件では、酸素化ヘモグロビンの増加、脱酸素化ヘモグロビンの減少、総ヘモグロビンの不変という局所脳血流速度の増加と考えられる変化が運動予期開始後約30秒からみられた。さらに運動開始30秒前になると総ヘモグロビンの増加がみられ、局所血液量の増加と考えられる変化がみられた。このような変化に対し、心拍数は、運動開始30秒前から運動開始時においてのみ顕著な増加がみられた。このように、対側運動前野の局所血液量の増加と心拍数の増加が同時期にみられた結果から、この心拍数の増加は、対側運動領野の脳賦活に関連した循環反応であると考えられた。また、同時期の心拍変動からみた自律神経活動は、運動条件においてLF/HF値の増加がみられ、顕著な心臓交感神経活動の増加が示唆された(図2)。この結果から、準備期の大脳皮質賦活と同時期にみられる心拍数増加は、心臓交感神経活動が関与していると考えられた。

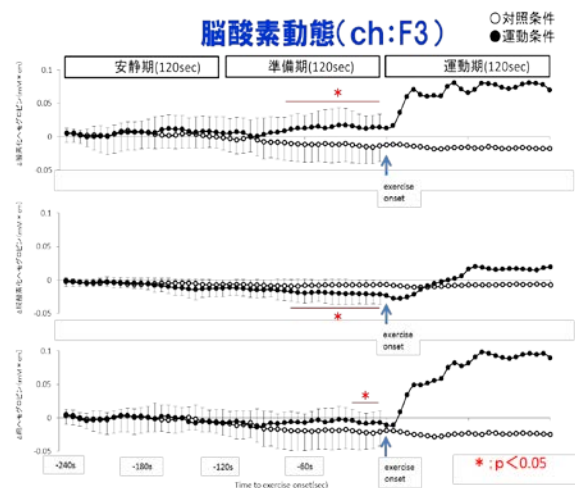


図1 対側運動前野領域からの脳酸素動態
上段：酸素化ヘモグロビン、中段：脱酸素化ヘモグロビン、下段：総ヘモグロビン

心拍変動スペクトル (準備期115s)

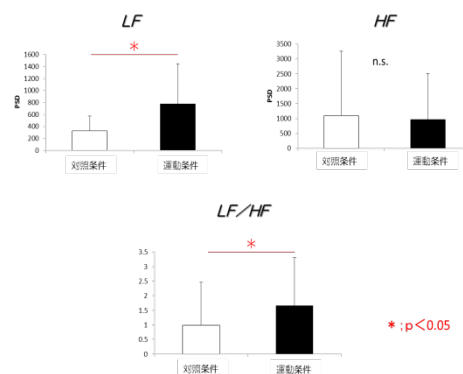


図2 運動準備期の心拍変動スペクトル

5. 結論

運動準備期の大脳皮質運動領野賦活と同時期にみられる心拍数増加には、心臓交感神経活動性心拍調節が関与していると考えられた。

文献

- (1) Waldrop TG et al: Central neural control of respiration and circulation during exercise. In Handbook of Physiology, Exercise: 1996.
- (2) 岩館雅子、定本朋子：運動準備期の大脳皮質運動野周辺の酸素動態と循環応答の対応、脈管学、48/ 4, 389-396
- (3) 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、50/ 4, 475-481