

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 31 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K11626

研究課題名(和文) 運動準備期の予測的循環調節に対する前頭皮質活動と運動後のストレス反応との関連

研究課題名(英文) Frontal cortical activity in the anticipatory regulation of the cardiovascular responses during exercise preparation and its relation to post-exercise stress responses

研究代表者

岩館 雅子 (IWADATE, Masako)

日本大学・生産工学部・准教授

研究者番号：40409280

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、最大努力での握力発揮という運動ストレスにおいて、安静期の不安度と準備期のDLPFC活動および心循環応答との関連、そして、準備期の反応が運動後のHPA系・SAM系に関連するかを検討し、ストレス前の状態によるストレス後反応の予測可能性を検討した。その結果、安静期の特性不安度は、準備期の右DLPFC活動と逆U字型の関係、準備期の心拍数とU字型の関係を示した。また、準備期の心臓副交感神経活動の低下は右DLPFC活動と関連し、さらに運動後のアミラーゼ値と関連したが、コルチゾール値とは関連しなかった。この結果、準備期の心臓副交感神経活動による運動ストレス後のSAM系反応の予測性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、最大努力運動への「準備の意識」に伴う予期心拍反応に着目し、安静期の不安度、準備期の心臓副交感神経活動および前頭皮質活動、運動後の唾液アミラーゼ反応との関連を調べ、安静期と準備期の反応、および準備期の反応と運動後の反応に関連があることを明らかにした。これらの結果は、精神健康状態から予期心拍反応の予測、予期心拍反応から運動後の身体活動状態を予測するための基礎資料になると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The present study examined the relationship between the resting anxiety level and DLPFC activities and cardiovascular responses during the preparatory phase, and whether the preparatory phase responses are related to the post-exercise HPA and SAM systems during the exercise stress of maximal effort grip strength exercise, and the predictability of the post-exercise response by preexercise state. The results showed that the resting-state characteristic anxiety level had an inverted U-shaped relationship with right DLPFC activity during the preparatory phase and a U-shaped relationship with heart rate during the preparatory phase. In addition, lower cardiac parasympathetic activity during the preparatory phase was associated with right DLPFC activity and also with post-exercise amylase levels, but not with cortisol levels. These results suggest that cardiac parasympathetic activity during the preparatory phase may be predictive of the response of the SAM system after exercise stress.

研究分野：体育および身体教育学関連

キーワード：予期心拍反応 背外側前頭前野 心臓副交感神経活動 唾液ストレスマーカー

## 1. 研究開始当初の背景

運動時における中枢性循環調節(セントラルコマンド)は、大脳皮質で生じた運動コマンドが延髄の呼吸循環中枢を刺激し、自律神経を介して行われる機構であるが、その発生源や自律神経に至る下降性神経回路網は明らかではなく、運動に対する緊張や不安などの情動系の働きとも切り離せないため、ブラックボックスとされてきた。このような状況で、運動開始前の準備期に焦点を当ててセントラルコマンドのしくみを検討することは、末梢性のフィードバック情報を含まないことから、運動開始後に比べてその解明に結びつく可能性は高いと考えた。また、セントラルコマンドは「努力感」とも考えられており、努力感を伴う運動課題に対する生理反応を検討することは、セントラルコマンドの解明に結び付くと考えた。さらに、「努力感」を伴う運動の実行は、運動開始前から心拍数や血圧上昇を伴うことから、運動をストレスと捉え、これまで心理学分野で研究されてきた精神的ストレスに対する2つの反応系「視床下部 - 交感神経 - 副腎髄質 (SAM系)」と「視床下部 - 下垂体前葉 - 副腎皮質系 (HPA系)」に対する影響とともに、ストレス評価に関連する大脳皮質前頭皮質の活動パターンを捉え、両者の関連を探ることで、セントラルコマンドという大きな枠組みの一端ではあるが、その複雑なしくみの解明に一步近づくのではないかと考えた。

大脳皮質前頭皮質の中でも背外側前頭前野 (DLPFC) は、ストレスに対する評価やストレスを扱う能力の評価や、意識の集中、目標を達成するための実行機能を司る領域である。しかし、運動準備期の前頭皮質の活動については、心的リハーサルにより運動前野や補足運動野の活動増加が生じることが報告されている一方で、全力を出すという「努力感」を要する運動ストレスに対するDLPFCの活動パターンについては、これまでの研究との視点の違いもあり、明らかになっていないとは言えない。また、運動ストレスの準備期における心臓副交感神経活動の低下がストレス後のHPA系やSAM系反応に及ぼす影響、さらに、安静期の状態・特性不安度と準備期における脳活動や心循環応答との関連も明らかにされていなかった。

## 2. 研究の目的

本研究では、(1)運動ストレスの準備期における予期心拍反応とDLPFC活動の関連、(2)準備期の心臓副交感神経活動の低下と運動後のコルチゾール値・アミラーゼ値との関連、(3)安静期の状態・特性不安度と準備期におけるDLPFC活動および心臓副交感神経活動との関連について、実験的に検討することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1)実験参加者・条件設定

健康な若年成人男性20名を対象とした。実験条件は、最大努力で掌握運動を10回行う運動条件と運動を行わない対照条件の2条件とし、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。運動条件は、安静期、準備期、運動期、回復期で構成した。

### (2)測定項目

#### DLPFC活動指標

左右DLPFCの活動指標として、脳酸素動態を近赤外分光装置(ウエラブル脳内血流量可視化装置, Brain-NIRSystem, astem社)を用いて計測した。本研究では、空間分解スペクトロスコピー(Spatially Resolved Spectroscopy: SRS)法を用いて組織酸素飽和度(tissue oxygen index; TOI)を測定した。TOIは、 $\text{oxyHb 濃度} / (\text{deoxyHb 濃度} + \text{oxyHb 濃度}) (\%)$ として算出した。

#### 心臓自律神経活動指標

ウエラブル心拍センサ(mybeat, ユニオンツール株式会社)を左胸部下に装着し、サンプリング1kHzで心拍周期を計測した。実験後、オフラインで瞬時心拍数を求め、心拍周期の周波数解析および時間領域解析を行い、心拍数、心臓交感・副交感神経活動指標を算出した。

#### 唾液ストレス指標

対照条件終了直後、運動条件終了直後、同終了後10分から50分後まで10分間隔で唾液を採取し、コルチゾール値とアミラーゼ値を計測した(Soma\_CUBE Reader, IPRO・INTERACTIVE社)。

#### 状態・特性不安度

対照条件の実施前に、状態・特性不安度の質問紙による回答を実施した。

## 4. 研究成果

### (1)運動ストレスの準備期における予期心拍反応とDLPFC活動の関連

#### 運動条件と対照条件の比較によるセントラルコマンドの同定

本研究では、まず、心拍数からセントラルコマンド(CC)の発現を確認した後、それに伴う心臓自律神経活動およびDLPFC活動パターンについて検討した。心拍数は、両条件における安静期(前半・後半)・準備期(前半・後半)について、60秒毎に平均して代表値とし、対象者毎の平均値を算出した。その結果、運動条件においては、安静期前半に比べ準備期前半および後半で増加、また、安静期後半に比べ準備期前半および後半で増加、さらに、準備期前半に比べ準備期後

半で増加した。一方、対照条件では、安静期と準備期に有意差はなかった。これらの心拍数の結果より、運動準備に伴った CC の発現が同定できた。

次に、CC に対する心臓自律神経活動 (HF, LF, LF/HF, RMSSD) を検討した。心臓副交感神経活動指標の HF について、運動条件では、安静期後半に比べ準備期後半で減少し、準備期前半に比べて準備期後半において減少した。また、呼吸性変動の影響が少ない心臓副交感神経活動指標の RMSSD についても、運動条件においては安静期後半に比べて準備期前半で減少し、準備期前半に比べて準備期後半で減少した。一方、心臓交感神経活動指標とされる LF/HF については条件間に有意差はなかった。これらの結果より、準備期の CC の発現時の心臓自律神経活動変化としては、心臓副交感神経活動の低下が確認された。

前項に続いて、CC に対する DLPFC 活動 (T01) について検討した。左脳については、運動条件において、安静期前半に比べ準備期前半および準備期後半において増加し、安静期後半に比べ準備期前半および準備期後半において増加、さらに、準備期前半に比べ後半において増加した。また、対照条件においては、安静期前半に比べ準備期前半、安静期後半に比べ準備期前半に増加したが、準備期前半と準備期後半に有意差はなかった。一方、右脳については、条件間の差はみられなかった。これらの結果から、準備期の CC 発現時の DLPFC 活動変化としては、左 DLPFC 活動の増大が確認された。

#### 心臓副交感神経活動変化と DLPFC 活動変化との関連についての検討

において、CC 発現時に DLPFC 活動の変化と心臓副交感神経活動の変化が確認されたため、両条件の差分値を算出して各パラメータ間の関連を検討した。まず、左 DLPFC と心臓副交感神経活動については、安静期後半において、左 T01 と HF ( $r=0.482, p<0.05$ ) および RMSSD ( $r=0.629, p<0.01$ ) において正の相関がみられ、準備期前半において、左 T01 と RMSSD ( $r=0.503, p<0.05$ ) に正の相関がみられた。次に、右 DLPFC と心臓副交感神経活動については、安静期後半において、右 T01 と心拍数 ( $r=-0.548, p<0.05$ ) に負の相関がみられ、準備期前半において、右 T01 と HF ( $r=0.482, p<0.05$ ) に正の相関、準備期後半において、右 T01 と RMSSD ( $r=0.548, p<0.05$ ) に正の相関がみられた。

これらの結果より、準備の意識による CC 発現時には、心臓副交感神経活動は右 DLPFC 活動と連動し、準備の意識が生じない安静期においては、左 DLPFC 活動と連動するしくみがあると推察された。また、準備期の左 DLPFC 活動の増加とは有意に関連していないことが分かった。

### (2) 準備期の心臓副交感神経活動の低下と運動後のコルチゾール値・アミラーゼ値との関連

準備期の心臓副交感神経活動から運動後のコルチゾール値の予測可能性

対照条件終了直後 (安静時) と比較し、運動条件終了直後、同終了後 10 分 ~ 50 分後 (10 分間隔) に採取したコルチゾールの最大値について、運動後の値が安静時よりも高い者のみを対象に検討したが、有意な関連は得られなかった。この結果から、準備期において RMSSD の有意な減少は確認されたが、準備期および 20 秒の掌握運動実施によるコルチゾール値の反応、すなわち副腎皮質系の賦活は小さいと考えられた。

準備期の心臓副交感神経活動から運動後のアミラーゼ値の予測可能性

コルチゾールと同様に運動終了直後のアミラーゼ値が、安静時の値よりも増加した者を対象として、RMSSD との関連を検討した。その結果、運動後にアミラーゼ値が増加した群においては、準備期後半の RMSSD の値と運動終了後 10 分 ( $r=-0.798, p<0.01$ )、運動終了後 20 分 ( $r=-0.75, p<0.05$ )、運動終了後 40 分 ( $r=-0.732, p<0.05$ )、運動終了後 50 分 ( $r=-0.864, p<0.01$ ) において相関がみられた。

このように、準備期の RMSSD から運動後のコルチゾール値の予測可能性は低い、アミラーゼ値との関連がみられた結果から、準備期から心臓副交感神経活動の低下を生じることで、運動開始時に大脳皮質運動領野からの下行性指令により交感神経を介した副腎髄質への神経投射をサポートしている可能性が示唆された。このことから、準備期の心臓副交感神経活動変化を調べることにより、運動に伴う副腎髄質系の活動性予測が可能であると考えられた。

### (3) 安静期の不安度と準備期における DLPFC 活動および心臓副交感神経活動との関連

安静期の状態・特性不安度と準備期における DLPFC 活動との関連

対照条件実施前に回答した状態・特性不安度の得点と、運動条件の準備期における左右 DLPFC の T01 との関連を検討した。その結果、特性不安度は、準備期後半の右 T01 との間に逆 U 字型の関連 ( $R^2=0.335, p<0.05$ ) がみられた。一方、状態不安度については、両者に有意な関連はみられなかった。

安静期の状態・特性不安度と準備期における心拍数との関連

前項と同様に、不安度の得点と心拍数との関連を検討した。特性不安度については、準備期前半 ( $R^2=0.341, p<0.05$ )、準備期後半 ( $R^2=0.356, p<0.05$ ) との間に U 字型の関連がみられた。一方、状態不安度については、両者に有意な関連はみられなかった。

このように、安静期の特性不安度と準備期の DLPFC 活動および心臓副交感神経活動との関連がみられた結果から、特性不安度から準備期のセントラルコマンドに伴う予期反応を予測できる可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 岩館雅子
2. 発表標題 運動予期による前頭皮質活動の変化と心臓自律神経活動の変化との関連性
3. 学会等名 日本健康行動科学会第21回学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩館雅子、柳澤一機
2. 発表標題 特性不安度と運動準備期の前頭皮質活動および心拍数との関連
3. 学会等名 日本健康行動科学会第20回学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩館雅子
2. 発表標題 運動準備期の予測的循環調節に対する背外側前頭前野活動と心臓自律神経活動の関連
3. 学会等名 日本健康行動科学会第19回学術大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	柳澤 一機  (YANAGISAWA Kazuki)  (50712311)	日本大学・生産工学部・専任講師    (32665)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------