

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 7 年 6 月 6 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2022～2024

課題番号：22K11662

研究課題名（和文）運動ストレスに対する期待感と予測的循環調節およびストレス反応系との関連

研究課題名（英文）Anticipatory Expectations and Predictive Regulation of Cardiovascular and Stress Responses to Exercise

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） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、運動ストレス対処能力に関する肯定的または否定的なフィードバックを用いて期待感を操作し、運動準備期における脳活動および心臓自律神経活動への影響を検討した。その結果、肯定的なフィードバックにより高い期待感を持った群では、運動開始前の準備段階において左背外側前頭前野（DLPFC）の活動が有意に増加し、心拍数の上昇が緩やかであることが示された。さらに、高期待群においてのみ、状態不安と左DLPFC活動との間に正の相関が認められた。これらの結果から、高い期待感の形成が運動ストレスに対する脳の調整機能を高め、過剰な生理的反応を抑制する可能性を示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、運動ストレス課題における「期待感」が脳および自律神経の準備的反応に与える影響を明らかにし、ストレス応答の個人差に関する神経生理学的理解を深めた点で学術的意義がある。特に、左DLPFCの活動が期待感によって変化し、心拍数の上昇が緩やかになることを示した点は、ストレス調整機構の新たな知見である。また、状態不安とDLPFC活動の関連が期待感によって変化することから、心理的要因が神経応答に及ぼす影響を示唆した。これらの成果は、ストレス関連疾患の予防やメンタルヘルス支援において、期待感を高める心理的介入の有効性を示すものであり、教育・スポーツ・医療など多様な分野での応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：The present study investigated the influence of expectancy on neural and autonomic responses during the preparatory phase of exercise in healthy young adult males. Expectancy was manipulated through positive or negative feedback regarding participants' ability to cope with exercise-induced stress. The results indicated that individuals in the high-expectancy group, who received positive feedback, exhibited significantly increased activity in the left dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) and a more gradual rise in heart rate prior to exercise. Furthermore, a positive correlation between state anxiety and left DLPFC activity was only observed in the high-expectancy group. The findings suggest that enhanced expectancy may facilitate the brain's regulatory function in response to stress and help suppress excessive physiological arousal. This highlights the potential role of psychological factors in modulating stress-related neural and autonomic processes.

研究分野：身体教育学

キーワード：期待感 背外側前頭前野 心拍数 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

日常的なストレスへ適切に対処できない場合、ストレスに対する生理的反応が過剰となり、心理的障害を含む健康状態の悪化を引き起こすことが知られている。ストレス環境下では、主に2つの生理的ストレス反応系、すなわち「視床下部 - 交感神経 - 副腎髄質系 (SAM系)」および「視床下部 - 下垂体前葉 - 副腎皮質系 (HPA系)」が活性化し、ノルアドレナリン、アドレナリン、コルチゾールといったホルモンの分泌が促進される。これらのホルモンの過剰分泌は、ストレス関連疾患の発症に深く関与していることが近年の研究で示されている。特に、HPA系の過剰反応による高コルチゾール状態は、大脳皮質の背外側前頭前野 (DLPFC) の活動を低下させ、同時に扁桃体の過活動を引き起こすことで、感情調節機能の低下や負の感情の持続をもたらす可能性がある。一方で、ストレス反応には個人差が大きく、どのような心理的・神経生理学的要因がその違いを生むのかを明らかにすることは、ストレス関連疾患の予防や介入において極めて重要である。

ストレス課題を予期する「準備期」は、課題に備えて行動的・認知的・生理的な調整が行われる期間であり、ストレス反応の個人差を理解する上で重要な時間帯である。しかし、この準備期における心理的要因がストレス反応系にどのように影響を及ぼすかについては、十分に解明されていない。近年では、「ストレスにうまく対処できる」という期待感が高い人ほど、DLPFCの持続的な活動増加を通じてHPA系の抑制に寄与する可能性があることが示唆されている。DLPFCは、ストレスの評価、注意の制御、目標達成に向けた実行機能を担う領域であり、視床下部への間接的な抑制性投射を介して、扁桃体の活動を調整する役割も果たしている。扁桃体は、視床下部および脳幹のストレス経路を活性化し、ノルアドレナリンやドーパミンの分泌を促進するが、これらの神経伝達物質はDLPFCの活動に対して逆U字型の影響を与える。すなわち、適度な分泌はDLPFCの機能を高めるが、過剰な分泌はその活動を抑制することが報告されている。しかしながら、ストレスに対する期待感という心理的要因がDLPFCの活動にどのような影響を及ぼすかについては、依然として明らかではない。

これまでの研究では、スピーチや暗算などの精神的ストレス課題を用いて、準備期の心臓副交感神経活動やHPA系への影響が検討されてきたが、身体活動を伴うストレス課題に関する知見は限られている。特に、全力で力を発揮するような「努力感」を伴う運動課題においても、精神的ストレス課題と同様に予期的な心拍反応が観察されるが、期待感の高低がそれに与える影響は十分に検討されていなかった。

さらに、運動時における予測的循環調節、すなわち大脳皮質から発せられる運動コマンドが延髄の呼吸・循環中枢を刺激し、自律神経系を介して心循環系を調整する機構(セントラルコマンド)についても、その発生源や神経回路網は未解明な部分が多く、「ブラックボックス」とされてきた。セントラルコマンドは「努力感」とも関連するとされており、本研究では、この「努力感」を伴う運動課題に対する心循環応答やストレス反応に、期待感や不安感といった心理的要因がどのように関与するかを検討することで、セントラルコマンドと情動調節との関連性を明らかにできるのではないかと考えた。

本研究は、こうした心理的要因と神経生理的反応の関係性を明らかにすることで、ストレス対処能力の個人差を理解し、将来的にはストレス関連疾患の予防や介入に資する知見を提供することを目指した。

2. 研究の目的

本研究では、(1)運動ストレスに対する期待感が準備期のDLPFC活動および心臓自律神経活動へ及ぼす影響について、(2)運動ストレスに対する期待感が運動後の唾液ストレス指標に及ぼす影響について、(3)期待感が安静期の不安感と準備期のDLPFCおよび心拍数との関連に及ぼす影響について、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32名を対象とした。本実験前に運動ストレス課題(随意最大筋力発揮)を実施してもらい、本実験で運動ストレス対処能力についてのフィードバックを行う旨を伝えた。実際には、その能力とは無関係に2群(高期待群と低期待群)に分け、高期待群には「あなたは運動ストレス対応能力が高く、潜在的な力を存分に発揮できる傾向にあります」という旨の肯定的なフィードバックを与えた。また、低期待群には「あなたは運動ストレス対応能力が低く、潜在的な力を存分に発揮できない傾向にあります」という旨の否定的なフィードバックを与えた。このようにして、対象者へ運動ストレス対処能力についてのいずれかのフィードバックを与え、運動ストレス課題に対する期待感の心理的介入を行った。

本実験の実験条件は、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、運動ストレス対処能力についてのフィードバックを紙面で行い、その後、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、oxyHb 濃度 / (deoxyHb 濃度 + 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、心拍周期の時間領域解析を行い、心拍数、心臓副交感神経活動指標（RMSSD）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)運動ストレスに対する期待感が DLPFC 活動および心臓自律神経活動へ及ぼす影響

心拍数（HR）への影響

運動準備期における HR の変化を分析した結果、両群ともに運動条件では安静期に比べて HR が有意に増加し、セントラルコマンドの発現が確認された。特に、低期待群では準備期にかけて HR が段階的に増加したのに対し、高期待群ではその変化が抑制されていた。これは、高期待群において予期的な心拍反応が緩やかであることを示唆している。

DLPFC 活動への影響

左右 DLPFC の酸素飽和度（TOI）を指標とした分析では、左 DLPFC において運動条件時の準備期に有意な活動増加が認められた。特に高期待群では、安静期から準備期への移行に伴う TOI の上昇が顕著であり、期待感が左 DLPFC における安静期から準備期への切り替え（スイッチング）活動を促進する可能性が示された。一方、右 DLPFC では有意な変化は認められなかった。

心臓副交感神経活動（RMSSD）への影響

準備期における HR の増加に伴い、RMSSD の低下が予想されたが、両群ともに有意な変化は認められなかった。この結果から、期待感の介入操作が心臓副交感神経活動の変化を抑制した可能性を示唆した。

(2)運動ストレスに対する期待感が運動後の唾液ストレス指標に及ぼす影響

本研究では、唾液中のコルチゾールおよびアミラーゼをストレス反応の指標として用い、対照条件終了直後、運動直後、運動後 10 分から 50 分までの間に 10 分間隔で計 7 回採取した。

ただし、実験 1 年目に採取したサンプルでは測定値に異常が見られたため、2 年目および 3 年目に収集したデータ（高期待群 10 名、低期待群 11 名）を用いて分析を行った。

その結果、運動直後のコルチゾールおよびアミラーゼの平均値は、低期待群で高期待群よりも高い傾向が見られたが、両群ともにデータの分散が大きく、有意差は確認されなかった。このことから、期待感の違いが運動後の副腎皮質系および副腎髄質系の反応に及ぼす影響については、さらなる検討が必要であり、今後はサンプル数の増加を含めた追加研究が求められる。

(3)期待感が安静期の不安感と準備期の DLPFC 活動および心拍数との関連に及ぼす影響

状態・特性不安度と DLPFC 活動との関連

高期待群では、対照条件前に測定した状態不安度（一時的な不安や緊張度）と、運動条件中の左 DLPFC の酸素飽和度（TOI）との間に有意な正の相関が認められた（安静期前半： $r=0.556$ 、安静期後半： $r=0.568$ 、準備期前半： $r=0.539$ 、いずれも $p<0.05$ ）。一方、低期待群では、状態不安度と左 DLPFC 活動との間に有意な相関はみられなかった。右 DLPFC の TOI については、両群ともに状態不安度との有意な相関は認められなかった。また、特性不安度（個人の性格的な不安傾向）と左右 DLPFC 活動との間にも、両群ともに有意な関連はみられなかった。

状態・特性不安度と心拍数との関連

状態・特性不安度と心拍数の関連については、安静期および準備期のいずれにおいても、両群ともに有意な相関は確認されなかった。

(4)まとめ

本研究では、努力を必要とする運動課題の前に、ポジティブな期待感が生じるフィードバックを受けた場合、安静期から準備期へ左 DLPFC のスイッチング活動が増加し、その場合の心拍数増加（セントラルコマンド）は緩やかになる仕組みが示唆された。また、状態不安度と左 DLPFC 活動との正の相関が高期待群にのみ認められた結果から、高い期待感の形成は状態不安に対する神経応答に影響を及ぼす可能性が考えられた。これらの結果から、期待感の向上は、運動ストレスに対する脳の調整機能を促進し、過剰な生理的反応を抑制する可能性を示唆した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 岩館雅子、柳澤一機	4. 巻 24
2. 論文標題 掌握運動の予期に伴う背外側前頭前野活動と心拍数の関係	5. 発行年 2025年
3. 雑誌名 Health and Behavior Sciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1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 運動ストレスに対する期待感が予測的循環調節および背外側前頭前野の活動に及ぼす影響
3. 学会等名 日本健康行動科学会第23回大会
4. 発表年 2024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・准教授 (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
---------	---------