

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 27 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22680047

研究課題名(和文) 運動制御システムに及ぼす自律神経活動の機能的役割の解明

研究課題名(英文) Identification of significance of autonomic nerve activity affecting motor control system

研究代表者

神崎 素樹 (Kouzaki, Motoki)

京都大学・人間・環境学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：30313167

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,000,000円、(間接経費) 4,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、自律神経活動が運動制御に及ぼす影響を解明することである。自律神経活動を賦活する方法として手部を0度の冷水に浸す冷却刺激を用いた。静止立位中、冷却刺激により足圧中心動揺は増加し、その主成分は生理的振戦であった。ヒラメ筋より表面筋電図を取得した結果、筋の律動的な活動が生理的振戦を誘発していることが明らかになった。自律神経活動と生理的振戦との関係をより明確にするために、人差し指の動作調節に及ぼす冷却刺激の影響を検討した。冷却刺激により筋の至適方位に8-12Hz成分の動揺が顕著になった。これら結果より、自律神経活動は、筋紡錘の感度を調節し、運動を制御していることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the study is to identify the effects of autonomic nerve activity on motor control. Activation of autonomic nerve activity was elicited by cold stimulation which is that subject immersed a hand in cold water. Postural sway during quiet standing increased by cold stimulation, and main component of postural sway is physiological tremor. In addition, surface electromyogram activity of SOL has the rhythmical activity, and its activity generates physiological activity. To examine the relation between autonomic nerve activity and physiological tremor, effects of cold stimulation on motor performance in index finger during movement matching tasks were investigated. As a result, the fluctuations from 8-12 Hz of index finger movements in optimal direction increased by cold stimulation. These results suggest that autonomic nerve activity regulates motor control via muscle spindle sensitivity.

研究分野：健康・スポーツ科学

科研費の分科・細目：身体教育学

キーワード：運動制御 自律神経活動 生理的振戦 静止立位 冷却刺激

1. 研究開始当初の背景

我々の日常生活における様々な動作は複雑かつ冗長なシステムであるため、単に筋骨格系の解剖学的・生理学的特性や力学的特性では厳密なヒトの身体活動を理解することは不可能である。冗長自由度の大きな身体動作を理解するには運動制御システムを捉える必要がある。これまで運動制御システムの解明には、動作解析や張力変動などの出力の静的解析やそれを生み出す神経・筋活動の様相からアプローチされてきた。しかしながら、動作変動の主成分は非定常であるのに対し、運動神経や求心性神経の発火特性は 10Hz の周期的な変動であり、両変数間の周波数的整合性はない。

自律神経系応答は、1Hz 以下の低周波が主成分であり、かつ非定常成分が多く含まれていることから動作変動の周波数特定と一致する。しかし、自律神経系の主な役割は運動時の循環調節との認識が強いため、自律神経活動と運動制御システムとの関連性は注目を浴びていない。したがって、自律神経活動と運動制御の関係は不明である。

2. 研究の目的

本研究は、自律神経活動と運動制御との関連性を明らかにすることを目的とした。運動制御は、(1) 立位制御と(2) 指先の制御とした。

3. 研究の方法

自律神経活動は、0 の冷水による痛み刺激を用い、被験者は 0 の冷水で満たされたバケツに手首まで浸した(以下、冷却刺激と表す)。冷却刺激による痛み刺激で交感神経活動が亢進することがすでに報告されている。水の粘性の影響を排除するため 36 の湯で満たされたバケツに手首まで浸す条件(以下、温水条件と表す)も行った。

床反力計により足圧中心動揺、高解像度レーザー変位計により身体重心の変位、表面筋電図法によりヒラメ筋の電気的活動を測定した。

運動課題(静止立位および人差し指の動作維持課題)は 2 分間とし、冷却刺激条件および温水条件とも課題中に行った。冷却刺激による交感神経活動の亢進は、刺激後 1 分間からはじまることから、解析区間は、運動課題の後半 1 分間とした。

(1) 被験者は静止立位を 2 分間、異なる条件で行った。すなわち、温水条件、冷却刺激条件、いずれも行わないコントロール条件であった。順序は、コントロール条件 温水条件 冷却刺激条件 コントロール条件とした。オーダーエフェクトを除去するために、本実験の 1 週間後に冷却刺激条件を温水条件にした対照実験も行った(図 1)。

(2) 運動課題は、人差し指の動作維持課題とした。被験筋は第一背側骨間筋とし、人差し指の内転方向につるした錘(最大筋力の

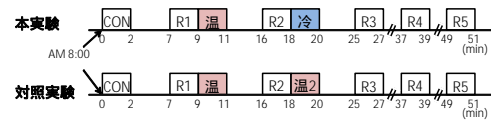


図 1: 実験のプロトコル。

5%) を外転方向に維持する課題である。この人差し指の動作維持課題を 2 分間、異なる条件で行った。すなわち、温水条件、冷却刺激条件、いずれも行わないコントロール条件であった。順序は、コントロール条件 温水条件 冷却刺激条件 コントロール条件とした。高解像度レーザー変位計より、上下方向および内外方向の人差し指変位を測定した。

4. 研究成果

(1) 静止立位中の身体重心の変位は、条件間で同様であった。一方、足圧中心動揺は冷却刺激のみ他の条件と異なる様相を示した(図 2)。すなわち、冷却刺激条件では他の条件と比して小刻みな動揺の成分が多く含まれていた。

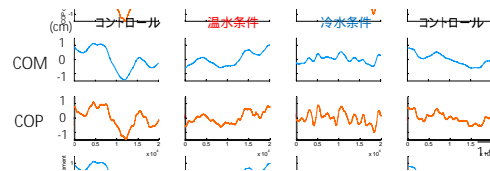


図 2: 各条件における身体重心の変位 (COM) と足圧中心動揺 (COP) の時系列の典型例

動揺の特徴を捉えるために周波数解析を行い動揺のパワースペクトル密度を算出した。その結果、足圧中心動揺は 5Hz 以下の周波数が主成分であった。しかしながら、冷却刺激においては、20Hz まで分布していた。8-12Hz 成分の物理的な振動を生理的振戦と呼ぶ。これは、筋紡錘を起源とする求心性神経活動を反映する。そこで、生理的振戦成分を抽出した。生理的振戦の特徴的周波数と考えられている 8-12Hz の帯域に大きなパワーは、コントロールおよび温水条件では小さなパワーであったが、冷却刺激条件では、大きなパワーが観察された(図 3)。

生理的振戦は出力の物理的な動揺を示す。そこで、表面筋電図により生理的振戦が筋由来なのか、その他組織の粘弾性に由来するのか、を確認した。その結果、冷却刺激にのみ筋電図活動の群化放電が観察された(図 4)。被験者は静止立位を 2 分間、異なる条件で行った。足圧中心動揺の 8-12Hz およびヒラメ筋の表面筋電図の 8-12Hz を抽出し、各条件で比較したところ、コントロールおよび温水条件に比べ冷却刺激条件で有意に高い値を示した(図 5)。また、対照実験において変化がなかったことは、オーダーエフェクトではなく冷却刺激が足圧中心動揺および筋電図の

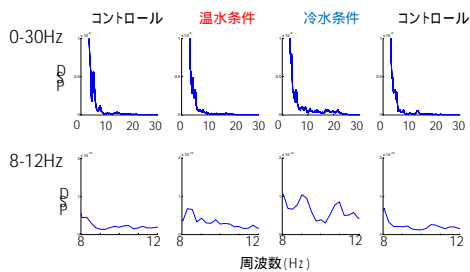


図 3：各条件における足圧中心動揺のパワースペクトル密度 (PSD)。上段は 0-30Hz の帯域、下段は 8-12Hz の帯域のパワー密度を示している。

生理的振戦成分を増加させていることを示している。これら結果は、冷却刺激より自律神経活動を賦活させると立位の周期的な動揺が大きくなること、そしてその周期的な動揺はヒラメ筋の生理的振戦が関与することを示している。

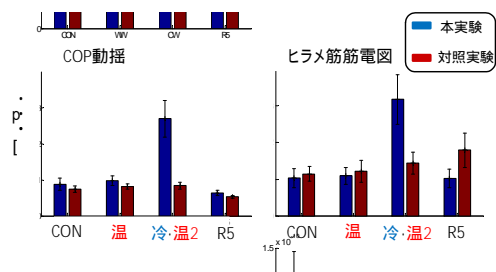


図 5：各条件における足圧中心動揺 (左図) とヒラメ筋の表面筋電図 8-12Hz 成分のパワー。青の棒グラフは本実験、赤の棒グラフは対照実験を示す。

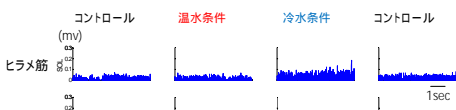


図 4：各条件における足圧中心動揺のパワースペクトル密度 (PSD)。上段は 0-30Hz の帯域、下段は 8-12Hz の帯域のパワー密度を示している。

(2) 自律神経活動と生理的振戦の関連をより明確にするために冷却刺激による人差し指の変動を定量した。その結果、静止立位と同様に、冷却刺激条件で人差し指の内外方向の動揺が大きくなった。そして、その動揺の周波数特性は、10Hz の生理的振戦成分であった。さらに、人差し指外転の主動筋である第一背側骨間筋の筋電図活動を取得したところ、10Hz の律動的な活動が観察された。これら結果より、冷却刺激による人差し指の周期的な動揺の増加は生理的振戦であることが明らかになった。

これら結果より、自律神経活動と運動出力の関係を要約する。自律神経活動の賦活によ

り交感神経活動が亢進し、筋内の筋紡錘の感受性が向上する。筋紡錘の感受性の向上によりより筋の微細振動に対する応答が活発になり、これが筋の高周波活動を引き起こす。すなわち、自律神経活動の賦活は運動制御に重要とされる筋の小刻みな活動を誘発し、その結果、運動制御システムを安定化させていると考えられる。

本研究においては、被験者 20 名程度を対象とした。運動出力に個人差が大きく、これは、運動出力の個人差というよりは、冷却刺激による交感神経活動の亢進の度合いの個人差と考えるべきである。今後は、自律神経活動の個人差を考慮に入れた運動制御システムを解明する必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

横井郁, 神崎素樹, 篠原稔. 静止立位動揺の及ぼす自律神経活動の影響. 第 68 回日本体力医学会, 東京, 2013

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年月日：
 国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 取得年月日：
 国内外の別：

〔その他〕
 ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神崎 素樹 (KOUZAKI, Motoki)

京都大学・大学院人間・環境学研究所・准教授

研究者番号：30313167

(2)研究分担者 ()

研究者番号：

(3)連携研究者 ()

研究者番号：