

論文内容要旨

Cutaneous information processing differs with load type
during isometric finger abduction

(静的筋収縮時の皮膚感覚情報処理過程は運動負荷
形式により異なる)

PLOS ONE, 17(12): e0279477, 2022

主指導教員：桐本 光教授

(医系科学研究科 感覚運動神経科学)

副指導教員：砂川 融教授

(医系科学研究科 上肢機能解析制御科学)

副指導教員：橋本 浩一教授

(医系科学研究科 神経生理学)

柚木 啓輔

(医系科学研究科 総合健康科学専攻)

【はじめに】

精密な運動実行には、体性感覚情報を適切に処理しながら運動出力を調節する感覚運動統合機能が重要である。特に、筋紡錘由来の信号（固有受容覚）はIa 感覚神経を介して筋の伸長や関節の位置を、皮膚の機械受容器由来の信号（触圧覚）はA β 感覚神経を介して皮膚の緊張や振動情報を中枢神経系に伝達する。しかし、日常生活では運動時に Ia 線維と A β 線維は複合的に活性化されるため (Prattichizzo et al, 2012), 特定の動作時におけるそれぞれの感覚情報の貢献度を分離して評価することは困難である。

一方、実験環境で静的筋収縮を行う場合は、錘などの一定の外力に抗して所定の関節角度を保持する肢位制御課題と、関節角度は固定された状態でフォースセンサなどの不動の物体を一定の力で牽引する筋力制御課題を設定することができる。両課題の実行に必要な関節トルクはニュートン力学的に同一だが、筋力制御と比較して肢位制御では Ia 線維の興奮性が大きい、つまり固有受容感覚のフィードバック量が多いことが報告されている (Maluf et al, 2005, 2007; Kirimoto et al, 2014)。しかし、静的筋収縮時の運動負荷形式の違いが皮膚感覚情報の中枢神経処理過程に及ぼす影響については未だ不明である。これを明らかにすることは、リハビリテーション現場において、中枢神経系の可塑的变化を惹起するために至適な運動負荷形式を検討する際の、有益な基礎データを提供することにつながると考えられる。皮膚感覚刺激後に収縮中の筋活動が反射的に変化する皮膚筋反射 (Cutaneomuscular reflex: CMR) および皮質の応答を頭皮上から記録する体性感覚誘発電位 (Somatosensory evoked potentials: SEPs) は、A β 線維由来の皮膚感覚情報の中枢神経処理過程を評価する手法として広く用いられている。

本研究の目的は、両課題の遂行中に皮膚感覚刺激に対する CMR および SEPs を記録することで、静的筋収縮時の運動負荷形式の違いが皮膚感覚情報の中枢神経処理過程に及ぼす影響を明らかにすることとした。

【方法】

健常成人 18 名 (21-35 才, 男性 15 名, 全員右利き) が、示指外転位 10°で最大筋力 (Maximal voluntary contraction: MVC) の 20%を保持する右第一背側骨間筋 (First dorsal interossei: FDI) の静的筋収縮を肢位制御および筋力制御で実施した。両課題遂行中にリング電極を用いて、右示指に経皮電気刺激 (矩形波 0.2 ミリ秒) を行い、右 FDI より CMR を、頭皮上 C3' (国際 10-20 法の C3 より 2 cm 後方) から SEPs を記録した。刺激強度は感覚閾値の 3 倍、刺激頻度は CMR で 5 Hz, SEPs では 2 Hz とした。筋収縮の持続時間は 50 秒間とし、CMR 計測では各課題 1 試行, SEPs 計測では各課題 3 試行実施することで、それぞれ 250 (5 Hz \times 50 秒) および 300 (2 Hz \times 50 秒 \times 3 試行) 回分の誘発電位を記録し、加算平均処理した。CMR は短潜時促進成分 (E1), 短潜時抑制成分 (I1) および長潜時促進成分 (E2) の最大振幅値をそれぞれ計測した。また、SEPs は 4 つの早期成分 (N20, P25, N33, P45) の振幅値をそれぞれ計測した。刺激前 50 ミリ秒区間を背景筋放電量とし、MVC 時の筋活動量で除して正規化した。平均値の差の検定には CMR 振幅では t 検定を、SEPs 振幅には一元配置分散分析を使用し、それぞれ有意水準を 5%とした。

【結果】

FDIの背景筋放電量は、肢位制御で $17.6 \pm 1.1\%MVC$ 、筋力制御で $18.0 \pm 0.8\%MVC$ で、課題間に有意差を認めなかった ($p = 0.62$)。一方、CMRのE2成分の振幅値は肢位制御と比較して筋力制御で有意に大きかった ($p < 0.01$)。また、SEPsのN33成分の振幅値は肢位制御と比較して筋力制御で有意に小さかった ($p < 0.05$)。

【考察】

CMRのE2成分は皮質経由の反射成分を反映すると考えられている。本研究において、筋力制御でE2振幅が増大したことは、運動関連領野から筋に対する反射的な descending drive が肢位制御より上昇したことを示唆する。また、筋収縮中のSEPs振幅が安静時より低下する現象はSEP gating と呼ばれ、SEPsの生成には必要だが、所定の筋力保持にはノイズ信号であるA β 神経に対する電気刺激信号の上行が、運動時に中枢神経系において抑制されることに起因する。SEP gatingの機能的意義は、課題に無関係な体性感覚情報を抑制することで、課題に重要なフィードバック情報処理を促進することと考えられている。本研究において、皮膚感覚刺激に対するSEP gatingが肢位制御よりも筋力制御で増大したことは、筋力制御では一定の筋力を保持するために皮膚感覚からのフィードバック情報をより必要とする可能性があると考えられる。

本研究の結果から、表在感覚の機能回復を目的としたリハビリテーションでは、筋力制御を用いた運動処方が有用となる可能性が考えられる。

【結論】

静的筋収縮時には、肢位制御と比較して筋力制御において皮膚感覚情報のフィードバックが重要である可能性が示唆された。