

論文要約

医学研究科人間健康科学系専攻
松本 杏美莉

論文題目：Attentional focus differentially modulates the corticospinal and intracortical excitability during dynamic and static exercise
(注意の焦点化が動的・静的運動中の皮質脊髄路および皮質内神経回路の興奮性に与える影響について)

【はじめに】

運動パフォーマンスを促進する要素のひとつとして、注意の焦点化 (focus of attention: FOA) の効果が注目されている。FOA は、外部環境や運動の結果に注意を向ける外的焦点 (external FOA: EF) と、自身の身体や動作に注意を向ける内的焦点 (internal FOA: IF) の2つに分けられる。一般的に IF より EF を適用した方が優れた運動パフォーマンスを呈すとされているが、その中枢メカニズムは明らかでない。また、課題設定の違いによって FOA が中枢運動指令に与える影響が異なるかについても十分に分かっていない。そこで、本研究では、運動様式の違いによって、FOA が皮質脊髄路および運動制御に関わる一次運動野 (primary motor cortex: M1) 内の皮質内神経回路に与える影響が異なるかどうか明らかにすることを目的とした。

【方法】

関節運動を伴う動的運動課題と関節運動を伴わない静的運動課題を設定し、運動様式の違いが FOA に与える影響を経頭蓋磁気刺激法 (transcranial magnetic stimulation: TMS) および末梢神経電気刺激法を用いて調べた。健常成人 22 名 (男性 9 名, 女性 13 名; 26 ± 6 歳) が実験に参加した。運動課題に右示指の外転運動を設定し、45 BPM のメトロノームのリズムに同期した聴覚信号に反応し、1,500 ms かけて最大随意収縮の 10 % に達するよう右示指を外転させ、その後 3,000 ms 以上力を維持するよう指示した。動的運動課題ではスポンジに抗して、静的運動課題では木片に抗して示指を外転するよう設定し、EF 条件ではスポンジや木片にかかる圧、IF 条件では示指に注意を向けるよう指示した。表面筋電図は課題主動筋である右手の第一背側骨間筋 (first dorsal interosseous muscle: FDI) から記録した。

単発 TMS プロトコルでは、課題主動筋に投射する皮質脊髄路の興奮性変化を FOA 条件間 (EF・IF) および運動様式間 (動的・静的) で比較することを目的とし、左 M1 に

単発刺激を与え、右 FDI 筋から運動誘発電位（motor evoked potential：MEP）を記録した。単発 TMS で得られた皮質脊髄路の興奮性変化が脊髄上レベルに由来するものかを同定するために、末梢神経電気刺激プロトコルを実施した。尺骨神経に最大上電気刺激を与え、右 FDI 筋から F 波を記録し、脊髄 α 運動ニューロンの興奮性を評価した。二連発 TMS プロトコルでは、上記で得られた皮質脊髄路の興奮性変化が脳皮質レベルで生じているかを明らかにするために、運動制御に関わる M1 内の抑制および促進回路の興奮性を評価した。二連発刺激を刺激間隔 3 ms, 100 ms, 15 ms で与え、それぞれ短潜時皮質内抑制（short-interval intracortical inhibition：SICI）、長潜時皮質内抑制（long-interval intracortical inhibition：LICI）、皮質内促進（intracortical facilitation：ICF）を評価した。TMS 単発刺激と末梢神経電気刺激は課題主動筋の筋活動開始 70 ms 前（準備期）と開始後 500 ms（増大期）および 3,000 ms（維持期）に与え、二連発刺激は準備期にのみ与えた。MEP 振幅値、F 波出現率、SICI、LICI、ICF はフリードマン検定を用いて、F 波振幅値は反復二元配置分散分析を用いて統計処理を行った。SICI、LICI、ICF と皮質脊髄路興奮性の関係はスピアマンの順位相関係数を用いて計算した。有意水準は 0.05 未満とした。

【結果】

右 FDI 筋から記録した MEP 振幅は、準備期、増大期、維持期のいずれにおいても、動的運動課題では IF 条件より EF 条件の方が有意に大きかった一方（準備期、 $P < 0.0001$ ；増大期、 $P = 0.003$ ；維持期、 $P = 0.0002$ ）、静的運動課題では FOA 条件間で差はなかった。また、増大期と維持期において、EF 条件下では静的運動課題より動的運動課題の方が MEP 振幅が有意に大きかった一方（増大期、 $P = 0.009$ ；維持期、 $P = 0.008$ ）、IF 条件下では運動様式間で差はなかった。

F 波の振幅値と出現率はどちらも安静時と比較して課題時に有意に増大した（それぞれ $P < 0.05$ ）。しかし、準備期、増大期、維持期のいずれにおいても振幅値と出現率は FOA 条件または運動様式間で差はなかった。

SICI と LICI は安静時と比較して課題時に抑制の程度が有意に減少したが（それぞれ $P < 0.05$ ）、SICI と LICI のどちらも課題中は FOA 条件または運動様式間で差はなかった。ICF は、動的運動課題において IF 条件より EF 条件の方が増大量が有意に大きかった一方（ $P = 0.014$ ）、静的運動課題では FOA 条件間で差はなかった。また、動的運動課題において皮質脊髄路の興奮性と ICF の増大量に有意な正の相関がみられたが（ $\rho = 0.704$, $P = 0.001$ ）、静的運動課題ではそのような相関はみられなかった。

【考察】

関節運動を伴う動的な運動では FOA 条件によって皮質脊髄路の興奮性が異なり、その興奮性変化が脳皮質レベルで生じている一方、関節運動を伴わない静的な運動では

FOA 条件の差異によって皮質脊髄路の興奮性に差がないことが示された。FOA は注意機能をはじめとした認知的な要素を含むため、本研究で得られた M1 の興奮性変化は M1 そのものの興奮性を反映するだけでなく、認知機能を司る他の脳領域から M1 へのシナプス入力 FOA 条件間で異なることに由来すると考える。関節運動を伴わない静的な運動では主に体性感覚情報に依存して運動を実行するのに対し、関節運動を伴う動的な運動では体性感覚情報に加えて視覚情報も含めたフィードバックを頼りに運動を実行することが想定される。そのため、感覚情報の処理や運動の計画立案に関連する運動前野、補足運動野、小脳などの脳領域から M1 への神経連絡が EF・IF 条件間で異なり、その差異が運動様式の違いに応じて異なる可能性が考えられる。本研究は、運動様式の違いによって、FOA が運動実行に関連する皮質脊髄路および皮質内神経回路の興奮性に与える影響が異なる可能性を示唆したはじめての研究である。