

すばやい繰り返し動作における手首関節伸筋弛緩時の皮質脊髄路および運動野皮質内興奮性の変化について

大野果穂¹⁾、藤井美咲²⁾、佐藤大輔²⁾、山代幸哉²⁾、丸山敦夫²⁾

- 1) 新潟医療福祉大学院 健康スポーツ学分野
2) 新潟医療福祉大学 健康スポーツ学科

【背景・目的】スポーツ場面では、すばやい円滑な動作が高い技能発揮に重要な役割を果たしている。すばやい動作は、主に主働筋の緊張（収縮）と拮抗筋の弛緩の速やかな切り返しによって起こる。

筋活動の調節には、大脳運動野からの下行性出力が関与している。従って、筋の収縮と弛緩の繰り返し動作には、様々な入出力による複雑なメカニズムが考えられる。この筋の収縮・弛緩過程では、特に運動野の皮質内抑制や皮質内促進の興奮性変化が筋活動の調整に関与すると指摘されている。中でも、ゆっくりとした筋弛緩時には、皮質内興奮性が特異的に変化し、制御動態に重要な役割を果たす可能性が示唆されている（吉田 2011）。

本研究では、すばやい繰り返し動作時において前腕部の屈筋伸筋弛緩時の皮質脊髄系および皮質内興奮性を明らかにするために、運動野の皮質脊髄系運動誘発電位（motor evoked potential; MEP）および運動野皮質内興奮性（short interval intracortical inhibition; SICI および short interval intracortical facilitation; SICF）変化について検討した。

【方法】被験者は健常成人男女9名（21.2±0.9歳）とした。運動課題は前腕部繰り返し装置を用いた手首関節のすばやい背屈-掌屈運動とした。掌屈位からスタートし、背屈位で切り返す動作を1往復した。経頭蓋磁気刺激（TMS）は伸筋弛緩局面を標的とし、刺激タイミングを推定した。

《実験1》伸筋弛緩局面のタイミングを推定し、SICI および SICF の刺激タイミングの決定を行うために、屈曲開始後の50、70、90、110、130、150msのタイミングで約0.5mVのMEPを誘発する強度で単発刺激を与えた。試技は各タイミング時間10試技ずつ合計60試技ランダムに行った。表面筋電図（EMG）とMEP振幅は右橈側手根伸筋（ECR筋）と屈筋（FCR筋）から記録した。運動課題は、約16°の掌屈位から、繰り返し局面の背屈位約152°までの角度間を1往復し、その平均時間は約0.4secであった。

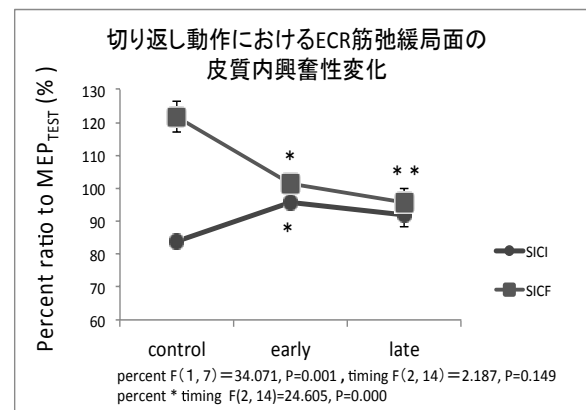
《実験2》運動課題時の伸筋弛緩局面における皮質脊髄興奮性を測定した。刺激タイミングは、ECR筋とFCR筋の筋活動が切り替わるタイミングをトリガーとし、実験1の結果から、被験者個人の繰り返し速度に合わせて伸筋が弛緩する局面（130-150ms；early局面）とその20ms後の局面（170-210ms；late局面）を2つ選択した。二連発TMSは筋弛緩時の伸筋SICIおよびSICFを測定した。刺激強度はMEP 0.5mVを誘発するテスト刺激と80%活動時間閾値の条件刺激を用い、刺激間隔はSICIを3ms、SICFを1.5msと

した。TMS刺激はMEPTEST、MEP_{3ms} および MEP_{1.5ms} の各条件12試技ずつを運動課題前（control）、運動課題中伸筋弛緩時のearlyおよびlate局面に合計72試行を行った。

【結果】《実験1》EMG波形からすばやい繰り返し動作の筋放電様式は、peak背屈位局面直前約100msecからFCR筋で増大したが、ECRでは相反支配の影響によって減少し弛緩状態が観察された。これは、背屈から掌屈の繰り返し以前に屈筋での伸縮性の予備放電が起こり速やかな屈曲への準備局面が見られたと推察される。

TMSによるMEP振幅はECR筋弛緩局面の6つのタイミングでcontrol時の0.58mVから3.0~4.1mVと大きく増加した。ECR筋の筋放電が減少（弛緩）するのに対し、MEP振幅はこれらのタイミングで筋収縮期にあるFCR筋と同様に大きい値を示した点は興味深い様相である。

《実験2》運動課題時 ECR 伸筋弛緩局面での MEP 振幅は、early と late 両局面で実験1同様、control 値より大きく増大した。大脳運動野の皮質内興奮性は、control に比べ early 局面で SICI と SICI 共に有意に低下した（ $P < 0.05$ ）。late 局面では SICI のみさらに有意に低下した（ $P < 0.01$ ）が SICI は control 値に戻った（図）。これらの結果から、すばやい繰り返し動作時 ECR 伸筋弛緩局面の運動野 SICI は抑制されたままである一方、SICF は興奮が低下した。



【考察】繰り返し時の背屈位局面直前から FCR 筋の収縮が観察された。この掌屈動作前の FCR 筋の pre-activation は動作の切り替えをすばやくスムーズにするための放電であると考えられる（高松 1991）。さらに、繰り返し動作の early および late 局面において、促進性および抑制性の介在神経は、いずれも抑制された。このことから、すばやい繰り返し動作時の筋弛緩に運動野の皮質内興奮性が関与していると考えられる。

【結論】すばやい手関節繰り返し動作において、主働筋と拮抗筋の両筋に皮質脊髄興奮性が高くなることや繰り返しに先立って主働筋となる FCR 筋で pre-activation が起こった。このような繰り返し動作で起こる筋弛緩時の拮抗筋では興奮性および抑制性介在神経の興奮性低下および維持は共に筋弛緩が起こるように働くことが示された。