

氏 名 : 石井 智也
専攻分野の名称 : 博士 (学術)
学位記番号 : 博甲第363号
学位授与年月日 : 令和3年3月16日
学位授与の要件 : 学位規則第4条第1項該当 課程博士
学位論文名 : 随意筋収縮に伴随する増強効果の神経筋機構の解明
論文審査委員 : (主査) 教授 小宮山 伴与志
(副査) 教授 松田 恵示 教授 田中 英登
教授 岩田 美保 准教授 中道 圭人

学位論文要旨

骨格筋による力発揮は体育やスポーツ活動の根幹をなすものである。様々な身体運動は、その状況に応じて骨格筋の力発揮が調節され、目的とする身体運動が遂行される。しかしながら、骨格筋の発揮張力は事前の筋活動、すなわち筋の活動履歴に大きく影響を受けることが知られている。この筋の活動履歴がどのような機序によって生じるかについて明らかにすることは、体育やスポーツの指導や運動障害を有する人々に対するリハビリテーションにも応用可能な知見を提供するものと考えられる。

筋活動履歴に関する重要な先行研究として、ヒトの上腕二頭筋から表面筋電図を記録し、最大発揮力 (maximum voluntary contraction: MVC) の2%の等尺性収縮 (試験収縮) を維持した状態から、25%又は50% MVCの条件収縮後、再度2% MVCを発揮させると、筋電図量が增大することが報告されている。そして、この現象は筋収縮後増強 (post-contraction potentiation: PCP) と呼ばれた。一見、大きな力発揮後の筋活動量の増大は中枢神経系を含めた筋活動システムの“増強”を想起する。しかしながら、同一の力発揮にも関わらず、大きな力発揮後に筋活動量が增大することは、大きな力発揮後に筋活動効率が低下したことを意味する。この筋電図一力関係の変化、すなわち運動出力の効率変化はパフォーマンスに大きく影響することが強く示唆される。本研究では、ヒトを対象として、大きな力発揮前後における微細な力発揮時の筋電図と力関係の変化に着目し、その運動制御に関わる要因を検討することとした。特に、電気生理学的手法を用いて、筋や中枢神経系を含めたPCPの神経筋機構を明らかにすることが本研究の目的である。PCPの解明により、筋活動効率の低下を抑制、または筋活動効率を増大させるような新たな介入方法の開発が期待できる。本研究の成果により、子どもの発達支援、リハビリテーションに効果的な介入方法、また体育、スポーツのパフォーマンス向上のための効果的なウォーミングアップ法に応用できる可能性があると考えられる。

本博士論文では、第1章において研究の背景とPCPに関する先行研究の包括的な文献研究を行った。第2章では、本論文の目的を明示するとともに、研究仮説と研究課題を提示した。

第 3 章では、25、50、100% MVC の条件収縮後、2% MVC の試験収縮時における筋電図量の変化を調査し、PCP に最適な条件収縮強度を検討した。結果として、50% もしくは 100% MVC による条件収縮後、試験収縮時における筋電図量が有意に増大することが明らかとなった。比較的大きな力発揮後に弱い力を連続的に発揮すると筋電図量が増大し、筋活動効率が低下することが示唆された。

第 4 章では、試験収縮を 2、10、20% MVC とし、50% MVC による条件収縮後の筋電図量の変化について検討した。結果として、試験収縮強度が 2% もしくは 10% MVC の場合、条件収縮後の試験収縮時の筋電図量が増大した。反対に試験収縮強度 20% MVC の場合、条件収縮後の試験収縮時の筋電図量が減少した。従って、試験収縮強度の違いにより、条件収縮後の筋活動効率が逆転すること、すなわち、試験収縮強度は筋収縮後増強の効果を規定する重要な因子であることが示唆された。

第 5 章では、経頭蓋的直流電気刺激 (transcranial direct current stimulation: tDCS) を用いて、PCP の機序の 1 要因として中枢神経系の興奮性の関与について検討した。結果として、条件収縮後の筋電図の変化量は陰極 tDCS 後に増大し、陽極 tDCS 後に減少した。これらの結果は、PCP には、皮質脊髄路など中枢神経系の興奮性の変化が関与していることが強く示唆された。

第 6 章では、経頭蓋的磁気刺激を用いて、試験収縮中に運動誘発電位を誘発し、その動態から PCP が生じている際の皮質脊髄路の興奮性動態について検討した。結果として、PCP が生じている時には、皮質脊髄路の興奮性は減弱していることが明らかとなった。PCP の大きさには、皮質脊髄路の興奮性変化が関与していることが示唆された。

第 7 章では、筋の運動点への電気刺激を用いて、PCP と筋膜、神経筋接合部を含めた興奮-収縮連関の関係について検討した。結果として、条件収縮後における試験収縮中に誘発された M 波振幅には変化なく、一方単収縮力は増大した。これらの結果は、条件収縮後、筋膜、神経筋接合部を含めた興奮-収縮連関の機能低下が生じている可能性は低いこと、すなわち PCP には興奮-収縮連関の機能亢進が含まれている可能性が示唆された。

第 8 章では、PCP における運動単位の発火様式の変容が関与しているか明らかにするため、PCP 発現時の筋電図活動のスペクトル解析を行った。その結果、条件収縮後には、周波数約 10 Hz の大きなスパイク状の筋電図活動が頻繁に出現することが明らかになった。また条件収縮後、 α 、 β 帯域のパワーが増大し、発揮張力の変動が増大した。これらの結果は、PCP 発現には運動単位の活動動態の変化、特に活動に参画している運動単位の同期化の増大が関与している可能性が示唆された。

第 9 章では、各研究課題をまとめ、総合考察を行った。各研究課題から得られた知見を包括的に見ると、PCP の機序として、50% MVC を超えるような比較的大きな力発揮による条件収縮によって、その後に遂行した微細な力発揮の際の運動単位の発火様式が変調したこと、特に運動単位の同期化が増大した結果、筋電図量が増大した可能性が高いと考えられた。この運動単位の活動様式変化には運動野を含めた皮質脊髄路の興奮性変化に加え、興奮-収縮連関の機能変化が影響していることが考えられた。これら結果を踏まえ、大小様々な大きさの力を連続的に発揮する際には、筋電図-力関係が変化すること、ならびに PCP の機能的意義とともに、これら知見の体育やスポーツ指導現場ならびにリハビリテーションへの応用可能性について考察し

た。