

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名：牛山 潤一

本論文「FUNCTIONAL SIGNIFICANCE OF Ia AFFERENT INPUTS FOR THE DETERMINATION OF NEUROMUSCULAR ACTIVITY LEVELS IN HUMAN SYNERGISTIC MUSCLES：協働筋間の神経筋活動レベルの決定に Ia 群線維活動が担う機能的役割」は、ヒト生体における協働筋の活動パターンの制御に Ia 群線維活動が担う役割を明らかにすることを目的として行われた研究の成果をまとめたものである。ヒトの身体運動は多様かつ複雑であり、巧みな動作を作り出すためには、複数の筋の活動が協調される必要があり、その制御においては、中枢神経系のみならず末梢神経系も重要な役割を担う。特に筋紡錘は唯一筋に関する固有感覚を検知可能な感覚受容器として知られ、筋紡錘と Ia 群線維によって構成される回路の運動制御における貢献は、これまでに多くの研究において注目されてきた。しかし、身体運動における Ia 群線維活動の貢献を扱った先行研究は、ほとんどの場合に単一筋のみを対象としたものである。最も単純な身体運動である単関節運動時でさえ、協働筋間の筋活動パターンは運動課題に応じて異なることが確認されており、筋の解剖学的特徴や生理学的特性の相違に起因して、協働筋各筋の活動の制御に Ia 群線維活動の果たす役割は異なるものと考えられる。本論文は、解剖学的特徴および生理学的特性の差異が協働筋間で顕著であり、かつ歩行・走行・起立・跳躍といったヒトが日常的に行う運動の遂行に対し貢献度の高い下腿三頭筋を対象に、協働筋間の神経筋活動レベルの決定に Ia 群線維活動が担う機能的役割に関する研究の結果をまとめたものであり、その内容は身体運動科学における研究の新しい方向を示すもの注目される。

本論文は3つの研究結果に基づき構成されており、その主な内容は以下のようにまとめられる。

【研究1】静的随意最大収縮における足底屈協働筋のガンマ環の貢献

最大随意収縮 (MVC) において、高閾値アルファ運動ニューロンの発火には、ガンマ線維と Ia 群線維からなる環状の回路 (ガンマ環) が必要である。一方、筋や腱へ機械的振動刺激を長時間適用することで、Ia 群線維活動は低減することが知られており、この手法を用いることで随意筋力発揮へのガンマ環の貢献を調べることが可能になる。研究1では、アキレス腱への長時間振動刺激を適用し、足底屈静的 MVC におけるガンマ環の貢献、および貢献度における協働筋間の差異を検討した。その結果、MVC 時の筋活動は、腓腹筋においては有意に低下したもののヒラメ筋では変化がみられなかった。筋線維組成における相違により、腓腹筋はヒラメ筋に比して相対的に高閾値アルファ運動ニューロンを多く有すると考えられ、本研究より得られた知見から、MVC においてガンマ環は高閾値アルファ運動ニューロンの動員に不可欠であること、その貢献度はヒラメ筋に比して腓腹筋において高いことが示唆された。

【研究2】腓腹筋の活動がヒラメ筋運動ニューロンプールの興奮性に与える影響

研究1では、MVC における各筋の Ia 群線維から同名筋運動ニューロンプールへの促通効果の貢献度を比較した。しかし、ヒトの腓腹筋とヒラメ筋の間には Ia 群線維を介した抑制性の投射が存在する。それゆえ、研究1の結果をより詳細に検討するためには協働筋間の相互作用についても明らかにする必要がある。研究2では、下腿三頭筋のうち腓腹筋のみが活動する静的随意膝屈曲運動により、腓腹筋の筋活動がヒラメ筋の運動ニューロンプールの興奮性に与える影響を検討した。その結果、腓腹筋の活動レベルの上昇とともにヒラメ筋 H 反射の振幅は低下し、ガンマ環の賦活に伴う腓腹筋の Ia 群線維活動は、単に同名筋の活動を強化するだけでなく、ヒラメ筋運動ニューロンプールにも抑制性的影響を与えることが示唆された。

【研究3】腓腹筋の受動的な筋線維長変化がヒラメ筋運動ニューロンプールの興奮性に与える影響

研究1および研究2は、随意収縮という条件下において実施されたものである。しかし、それらの結果は、運動課題が随意的のものである以上、上位中枢からの指令による影響は無視できない。そこで研究3では、Ia 群線維がガンマ運動ニューロンからの入力無くとも筋線維の長さ・速度変化によって活動することに着目し、受動的膝伸展・屈曲運動に伴う腓腹筋の筋線維長変化がヒラメ筋の運動ニューロンプールの興奮性に与える影響を検討した。その結果、ヒラメ筋 H 反射は、静止時ならびに受動的膝伸展運動時において腓腹筋の伸長とともに低下したが、受動的膝屈曲運動時における腓腹筋の短縮時には変化しなかった。このことから 1) 静止時ならびに膝伸展時には、腓腹筋の筋線維の伸長に伴う Ia 群線維活動の上昇が、ヒラメ筋の運動ニューロンプールに抑制性的入力をもたらす、特に速度の要因が含まれる受動的伸長時にはその程度が増すこと、2) 膝屈曲時には、腓腹筋の筋線維の短縮に伴って筋紡錘の感度が低下するため、ヒラメ筋の運動ニューロンプールの興奮性には影響を及ぼさないことが示唆された。

以上のように、牛山潤一氏の論文は、協働筋各筋の Ia 群線維から同名筋あるいは異名筋の運動ニューロンプールへと結ばれる末梢感覚システムが、それぞれの筋の解剖学的特徴・生理学的特性を反映した筋活動パターンの形成・制御に必要な不可欠なものであることを明確に示すものであり、身体運動科学の分野における意義は非常に大きい。したがって、本審査委員会は博士 (学術) の学位を授与するにふさわしいものと認定する。