

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名：立 正伸

本論文「Relationship between skeletal muscle circulation and neuromuscular activity during fatiguing muscle contractions: 疲労に至る筋収縮中の筋循環と神経-筋活動の関係」は、筋疲労を伴う持久的力発揮における運動中の活動筋での血液循環(筋循環)と神経-筋活動との関係について、1) 活動筋への血流の差異が筋循環および神経-筋活動に与える影響、2) 単一筋における筋循環と神経-筋活動の関係、および3) 協働筋間における筋循環および神経-筋活動の差異の3つの視点から検討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。筋疲労に大きく影響する因子として知られているものに、活動筋での血液循環(筋への血液供給や筋の酸素消費)の低下がある。一方、筋収縮性の低下は、運動単位の動員や発火頻度の増加といった神経-筋活動の変化を引き起こす。したがって、持久的な力発揮と筋疲労との関係を論ずる場合には、活動筋での血液循環、およびそれと神経-筋活動との相互関係を検証する必要がある。さらに、関節を介して力発揮を行う場合、力発揮には生理学および解剖学的特性が異なる協働筋が動員され、活動筋での血液循環および神経-筋活動はその複雑さを増す。そのため、複数の筋が協働して活動する持久的力発揮における血液循環と神経-筋活動との相互関係を明らかにするためには、力発揮に貢献する筋において個別に血液循環および神経-筋活動のそれぞれを測定する必要がある。本論文は、筋疲労に至る静的筋収縮において、個々の活動筋の酸素利用動態を近赤外分光法により、神経-筋活動を表面筋電図法によりそれぞれ分析し、筋循環と神経-筋活動との関係を明らかにしたものである。その研究成果は、身体運動科学における研究の新しい方向を示すものとして注目されるものであり、主な内容は以下のようにまとめられる。

研究1: 活動筋への血流の差異が筋の酸素利用動態および神経-筋活動に与える影響

姿勢の差異および阻血によって前脛骨筋への酸素供給を変化させた時の活動筋の酸素利用動態と神経-筋活動を明らかにすることを目的とした。仰臥位で足関節を90度に固定し、下腿を垂直に下ろした姿勢(足垂下)と下腿を水平にした状態で台に載せた姿勢(足挙上)において、50%MVCでの等尺性足関節背屈運動を、3秒収縮-2秒弛緩で疲労困憊に至るまで行った際の前脛骨筋の表面筋電図(EMG)、組織酸素飽和度指標(StO_2)および総ヘモグロビン量(血液量)を測定した。さらに、通常の血流時に加え、活動筋への血流を遮断した状態での測定も実施した。その結果、血流が制限された状態では、活動筋内の酸素飽和度(StO_2)および血液量は低下し、それに伴い筋電図積分値(iEMG)の増加率および筋電図のパワースペクトルにおける平均周波数(MPF)の低下率は大きくなった。これらの結果から、血流の制限による活動筋への酸素供給の差異は筋疲労の進行に違いを生じさせ、それが筋持久力を決定する因子となっていることが示唆された。

研究2: 単一筋における筋の酸素利用動態と神経-筋活動の関係

疲労困憊に至る足背屈運動において、主動筋として関節トルク発揮に大きく貢献する前脛骨筋の筋循環と神経-筋活動との関係を明らかにすることを目的とした。漸増負荷(1収縮毎に1%MVCの増加)の静的足背屈運動を4秒収縮-2秒弛緩で疲労困憊に至るまで繰り返した際の前脛骨筋のEMGおよび StO_2 を測定した。その結果、 StO_2 は運動初期に増加したが、時間経過と共に減少し、運動終盤ではほとんど変化を示さなくなった。筋電図積分値は運動開始後から運動強度の増加に伴い直線的に増加し、運動後半でその増加率は大きくなった。また、筋電図のパワースペクトルの平均周波数(MPF)はiEMGの急増とほぼ同時点から低下した。すなわち、運動中、 StO_2 の低下率が頭打ちになるに伴いiEMGの増加率が大きくなり、MPFの低下が生じた。このことは、ある時点以降、運動強度の漸増に筋の酸素消費が追従していかず、設定された強度での筋活動の遂行に貢献する有酸素性代謝由来のエネルギー供給が不足すること、そして、その結果として生起する筋収縮性の低下を補償するために、運動単位の動員や発火頻度の増加がより顕著に生じることを示すものと考えられた。

研究3: 協働筋間における筋酸素利用動態および神経-筋活動の差異

協働筋間における筋の酸素利用動態および神経-筋活動の差異を検討するため、漸増負荷の足底屈運動において、下腿三頭筋各筋の酸素利用動態および筋電図を測定した。その結果、腓腹筋内側頭(MG)とヒラメ筋(Sol)を比較すると、筋電図積分値は、運動中ほぼ同様な変化を示し、運動の継続に伴い直線的な増加を示したが、MPFは、MGでのみ運動終盤に有意な低下を示した。また、 StO_2 は、MGの方がSolより急激に低下し、疲労困憊時にはその低下が頭打ちになる傾向がみられた。さらに、 StO_2 には両腓腹筋間でも差が存在し、外側頭では内側頭よりも StO_2 の低下が始まる時点が遅い傾向にあった。これらの結果から、漸増負荷の足底屈運動において、1) 協働筋間では酸素利用動態に差異が存在し、これは主に筋の生理学的特性(筋線維組成)が起因していること、2) 協働筋間では疲労が進行している筋の収縮性低下を補償するような神経-筋活動が起きていること、および3) 生理学的特性が類似している筋間であっても、持久的力発揮の際には血液循環と神経-筋活動との関係に差異の生じる可能性があることが示唆された。

以上のように、立 正伸氏の論文は、筋疲労と密接な関連を持つ活動筋内の循環と神経-筋活動に焦点を当て、疲労に至る持久的力発揮において両者の関係を経時的かつ非侵襲的に検討し、筋疲労の進行に伴う両者の関係を明確にしたものであり、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。