

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名：篠原稔

本論文「酸素利用の非定常性および不均一性に対する筋活動の関与」は、大腿四頭筋を用いた運動において全身レベルでの酸素利用に非定常性および不均一性が生じる機序を、主働筋である大腿四頭筋の電気的および機械的な活動特性を非侵襲的に分析することによって解明したものであり、身体運動科学における研究の新しい方向性を示すものとして注目される。本論文は以下のようにまとめられる。

1：目的

運動中のエネルギー需要に対する酸素利用の調節は精巧に制御されていると考えられがちだが、運動条件によっては酸素利用に非定常性や不均一性が生じうる。しかしそれらが生じる機序は未だ不明である。本研究では、一定負荷運動における酸素利用の非定常性（肺胞で観察される酸素摂取量の漸増）の発現メカニズムとして、筋活動の補償的増加が関与しているかどうかを明らかにすること、そして、酸素利用の不均一性とそれに対する筋活動の関与を明らかにすることを目的とした。

2：筋活動の補償的増加の発現

大腿四頭筋の筋活動に補償的増加が生じる条件を明らかにすることを目的とした。自転車エルゴメータによる漸増負荷運動における筋活動を検討した結果、外側広筋の機械的活動は負荷の上昇に伴って直線的に増加したが、電気的活動は高い負荷領域において非直線的に増加していき、筋の機械的活動と電気的活動が解離することが示された。ただし休息をはさんだ一定パワーの発揮では、外側広筋の電気的活動と負荷との関係は非直線的にはならないこと、そして、高強度運動直後には筋の電気的活動がより多く必要とされることが明らかとなり、外側広筋の電気的活動の非直線的増加は、高い負荷強度とそれに伴う代謝産物蓄積の影響による補償的増加であることが示された。

代謝産物の蓄積は、高い強度でなくとも酸素供給制限による無酸素性エネルギー代謝の高進によって生じうるため、本来であれば筋活動の増加が起きない低強度の運動中に動脈血流を阻害し、酸素供給制限および代謝産物蓄積が筋の電気的活動に及ぼす影響を検討した結果、筋の電気的活動が静脈血流阻害によって顕著に増加することが明らかとなった。

3：酸素利用の非定常性（酸素摂取量漸増成分）に対する筋活動の補償的増加の関与

物理的強度が高い場合、酸素供給が制限された場合、代謝産物が蓄積する場合、のそれぞれの条件によって筋活動の補償的増加を生じさせ、酸素摂取量漸増成分発現の機序に筋活動の補償的増加が関与しているかどうかを明らかにしようとした。まず、自転車運動において、一定負荷運動中の酸素摂取量と外側広筋筋電図を換気閾値の上下で比較した結果、酸素摂取量漸増成分が生じるか否かを定める強度が換気閾値であること、そして、換気閾値以上の運動における大腿四頭筋の補償的活動増加が酸素摂取量漸増成分と密接に関係していることが明らかとなった。続いて、15%の低酸素ガス吸入によって酸素供給を制限して筋活動の増加を生じさせることにより、大腿四頭筋の筋活動増加と酸素摂取量漸増成分の増加が対応して生じることが明らかとなった。さらに、静脈血流制限

によって代謝産物蓄積を高進させて筋活動の増加を生じさせることにより、大腿四頭筋の筋活動の増加が酸素摂取量漸増成分の増加と対応することが明らかとなった。また、活動筋を大腿四頭筋に限定した膝伸展運動では、活動筋局所における酸素利用の漸増を示す結果が得られ、さらに、持久的トレーニング実験によって筋活動の補償的増加を減少させるとこれに対応して酸素摂取量漸増成分が減少することが示された。以上、様々なレベルでのエネルギー需要/酸素供給バランスの変調を意図した方法によって主働筋筋活動の補償的増加を外因的に生じさせた結果、筋活動の補償的増加によって酸素利用の非定常性が発現することが明らかとなった。

4：酸素供給不足や代謝産物蓄積を付加したトレーニング

筋活動の補償的増加を定期的に生じさせた場合の生体の長期的な反応（適応）特性を明らかにすることを目的とした。まず、高陽圧（250Torr）の付加に伴う動静脈血流阻害によって酸素供給不足および代謝産物蓄積を高いレベルで生じさせて筋力トレーニングを行った結果、通常は筋力増加が期待されない低い物理的強度（最大筋力の40%）での膝伸展運動によっても、筋力増加が得られることが明らかとなった。一方、低陽圧（50Torr）付加に伴う静脈血流阻害によって代謝産物蓄積を高進させて持久的トレーニングを行った結果、局所の酸素利用能および酸緩衝能に対するより大きな持久的トレーニング効果を示唆する結果が得られ、筋力も増加することが示された。以上により、トレーニングに酸素供給不足や代謝産物蓄積を付加することによって、より大きな適応が生じることが明らかとなった。

5：酸素利用の不均一性に対する筋活動の不均一性の関与

大腿四頭筋を対象として協働筋間における酸素利用や筋活動に不均一性が存在するか、そしてそれらは互いに関連しているかどうかを明らかにすることを目的とした。片脚膝伸展運動中の活動筋局所の酸素利用動態を観察した結果、大腿四頭筋において酸素利用動態の不均一性が示され、また、最大負荷近辺において筋脱酸素化の停滞が示された。筋の機械的活動を示す筋音図信号においても、大腿直筋が他の筋よりも疲労が先行したと考えられる不均一性を示すデータが得られた。協働筋における各筋の酸素利用能力や疲労耐性の差異が不均一性を生み出していることが示唆された。

6：結論

活動筋におけるエネルギー需要-酸素供給バランスを何らかの方法で酸素供給不足に傾けることによって、筋の補償的活動増加が生じることが明らかとなり、酸素利用の非定常性である酸素摂取量漸増成分の発現は、この筋の補償的活動の増加によって発現することが明らかとなった。また、局所へ高低の陽圧を付加して筋の補償的活動の増加を生じさせたトレーニングでは、物理的負荷が小さくとも、より大きな適応が得られることが明らかとなった。さらに、協働筋間においても酸素利用の不均一性が存在し、それが筋活動の不均一性と対応することが明らかとなった。

このように、篠原稔氏の論文は、酸素利用の非定常性および不均一性の発現機序を筋活動と結びつけて明らかにしたものであり、身体運動科学の分野における意義は非常に大きいものがある。

従って、篠原稔氏により提出された本論文は、東京大学大学院による学位（学術）の授与に相応しい内容と判定した。