

2005年7月8日

人間科学研究科長 殿

河原 弥生氏 博士学位申請論文審査報告書

河原 弥生氏の学位申請論文を下記の審査委員会は、人間科学研究科の委嘱をうけて審査をしてきましたが、2005年6月27日に審査を終了しましたので、ここにその結果をご報告します。

記

1. 申請者氏名 河原 弥生
2. 論文題名 近赤外線分光装置による運動後回復期の血流量と酸素摂取量の検討
3. 本論文の主旨

運動中には、大腿の動脈および静脈で観察される活動筋組織への血流量と、骨格筋における酸素摂取量は平行して上昇することが報告されており、このことから、運動中の活動筋への血流は主に酸素供給を目的としていると考えられている。また、毛細血管レベルにおいても、代謝の亢進した筋に関わる毛細血管網でのみ血流量が上昇していることから、運動中の活動筋組織への血流量の上昇は代謝の亢進している筋に酸素を供給することを目的としていると考えられる。一方で、運動後の回復期においては、大血管で観察される血流量と酸素摂取量との間には、必ずしも一致した関係は得られていない。これまでの研究から、局所的にも代謝亢進の有無によって部位毎に血流量は異なることが知られており、また、運動中とは異なって運動後回復期における血流量の変化は小さいことから、運動後回復期では、活動筋組織そのものの血流動態は下肢全体の血流量を反映する大腿の動脈や静脈での動態とは異なる可能性も考えられる。

近年、近赤外線分光装置(NIRS)を利用して、運動中あるいは運動後回復期の活動筋における組織酸素動態の観察が多くなされるようになってきた。この装置は、近赤外光の吸光度が酸素化および脱酸素化 Hb/Mb で異なることを利用して、観察部位の酸素化レベルを経時的に評価することを可能にするものである。それゆえ、この装置を用いて運動後回復期の活動筋組織を観察することにより、活動筋組織レベルでの酸素供給と酸素消費との関係がより明確になると思われる。

そこで本論文では、30秒間の最大片脚自転車運動を休息を挟んで3回行わせた場合、および70% $V_{O2max}$ 強度での自転車運動を20分間行わせた場合に、安静時、運動中および運動後の回復120分目まで、NIRSを用いて活動筋組織酸素動態を観察するとともに、肺胞レベルでの酸素摂取量( $V_{O2}$ )および筋での酸素供給指数(OSI)と酸素消費指数(OCI)を測定し、運動後回復期における血流量と酸素摂取量との関係を明らかにすることを目的とした。

4. 本論文の概要

本論文は以下の5章から構成されている。

第1章では、緒言として、運動後回復期における血流量と酸素摂取量に関する従来知見を概観している。そして、先行研究の問題点を指摘するとともに、これまでの研究において十分に解明されていない点を浮きぼりにし、それに基づいて2つの研究課題を設定している。第2章では、文献考証として、本研究で用いた近赤外線分光法、近赤外線分光法の体力科学分野への応用、運動後回復期の活動筋における酸素消費と血流量との関係に関して、これまでの研究成果を詳細に考証している。

第3章では、運動後回復期における血流量と酸素摂取量に関する2つの研究課題について、詳細に記述している。以下にその概要を記す。

#### 【研究課題1】

研究課題1として、被験者に30秒間の最大片脚自転車運動を5分の休息を挟んで3回行わせ、その後120分間の回復を行わせた。そして、安静時、運動中および運動後回復期に、NIRSを用いて活動筋組織酸素動態を観察した。その結果、運動脚のTotal-Hb/MbおよびOxy-Hb/Mbは、回復120分目まで安静値よりも高値を維持していたが、非運動脚では安静値からの変化は認められず、この運動脚における値は非運動脚よりも有意に高いものであった。一方、 $V_{O2}$ は回復30分目までは高値を維持していたが、回復60分目には安静値に戻っていた。以上のように、活動した筋組織では回復120分目においても、Total-Hb/MbおよびOxy-Hb/Mbの安静値からの上昇が認められており、このことから、活動した筋においては血管拡張に伴う血流量の上昇が起きていた可能性が示唆された。また、この現象は運動脚でのみ観察されたことから、血流量を上昇させた要因は活動筋組織そのものにあると思われた。一方、肺胞レベルでの酸素摂取量は組織酸素動態とは異なっており、高強度運動後の回復期における血流量の亢進が、回復60分目までは酸素供給を目的としていたとしても、その後の回復120分目までについては、このことを目的としていた訳ではないと考えられた。

#### 【研究課題2】

研究課題2では、被験者に70%  $V_{O2max}$ 強度での自転車運動を座位にて20分間行わせ、その後120分間の回復を行わせた。安静時、運動中および運動後回復期に、NIRSを用いて活動筋組織酸素動態を観察するとともに、酸素供給指数(OSI)と酸素消費指数(OCI)を求め、さらには $V_{O2}$ 、血中乳酸値および鼓膜温を測定した。その結果、Total-Hb/MbおよびOxy-Hb/Mbは、回復120分目まで安静値に対して高値を維持していたが、OSIは回復90分目までは安静値よりも高値を維持していたものの、OCIは回復60分目には安静値に戻っていた。また、 $V_{O2}$ は回復30分目まで高値を維持していたが、回復60分目には安静値に回復していた。これらの結果から、運動後回復期における酸素消費の上昇は、回復60分目以降の活動筋組織における血流量上昇の主な要因ではないと結論された。また、乳酸の蓄積および体温の上昇についても、運動後回復期における血流量の上昇には大きく貢献していないことが示唆された。

第4章では、2つの研究課題によって得られた成果を相互に検討し、運動後回復期の血流

量と酸素摂取量との関連性について総括している。そのうえで、回復 60 分目以降の活動筋組織における血流量上昇の要因に関して、運動後における交感神経活動の減衰に伴う末梢血管抵抗の低下と血管拡張、あるいは、回復期における活動した筋でのグルコース取り込み量の亢進等が関わっている可能性について論じている。さらに、第 5 章では、今後の研究課題として、運動後回復期の血流量上昇に関するメカニズムの解明に向けた研究の必要性、近赤外線分光装置の問題を回避するための MRI や血流測定装置などの機器を併用した測定の必要性等について、今後さらに検討すべき課題について言及している。

## 5. 本論文の評価

本論文における主な知見は、30 秒間の最大片脚運動を 3 回繰り返した場合や、70% V02max 強度での 20 分間の運動を行わせた場合の両方において、運動後回復期の活動組織レベルにおける血流量と酸素摂取量の動態は異なっており、運動後の回復 60 分目以降では、血流量の上昇は酸素供給を目的としている訳ではないことを明らかにした点である。このように、本論文は、近赤外線分光装置を用いて運動後回復期における血流量と酸素摂取量との関係を検討することで、これまで明らかにならなかった活動組織レベルでも、両者の間には回復 60 分目以降では関連性が見られなくなるという新たな知見を提示したという点で意義深い。そして、これらの成果は既に学術雑誌（日本運動生理学雑誌、Advances in Exercise and Sports Physiology）に掲載されており、関連する分野の研究者からも高い評価を得ている。

しかしながら、本論文では、運動後回復期の血流量を上昇させる要因を特定するまでには至らなかったという点でやや不満が残る。その要因として、活動した筋でのグルコース取り込みの亢進や交感神経活動の低下による血管拡張が挙げられたが、今後、さらにこれらの解明に向けた研究が必要である。また、用いた近赤外線分光法にもいくつかの問題点があり、この問題を回避するためにも、今後は MRI や血流測定装置などの機器を併用して、この種の検討を行うことも必要であるように思われる。とは言え、骨格筋の機能とパフォーマンスに関する研究は、これまで以上に運動生理学や体力科学の分野において重要視されることは間違いない。中でも骨格筋への酸素供給量は、有酸素的エネルギー供給能力の決定因子であるだけでなく、代謝産物の蓄積を抑えパフォーマンスを向上させる意味でも重要であることから、今後益々この種の研究は数多くなされるようになると思われる。それゆえ、本論文はその先駆けとして、近赤外線分光装置を用いて運動後回復期の活動組織レベルにおける酸素動態を検討し、血流量と酸素摂取量との関連を検討したという点で注目に値すると言える。

以上のように、本論文は、運動後回復期における血流量と酸素摂取量との間には、組織レベルでも、ある時点以降では関連性が見られなくなるということを明らかにし、これまでの研究では不十分であったあるいは不明であった課題に対して結論を導き出したものである。このことより、本審査委員会は、本論文が博士（人間科学）の学位論文として相応しいものであると判断した。

以 上

河原 弥生氏 博士学位申請論文審査委員会

審査員(主査)	早稲田大学教授	博士(医学)東京医科大	村岡	功
(副査)	早稲田大学教授	教育学博士(東京大)	福永	哲夫
(副査)	早稲田大学教授	教育学博士(東京大)	中村	好男