

2003年7月4日

人間科学研究科委員長 殿

大森 一伸氏 博士学位申請論文審査報告書

大森 一伸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、2003年6月11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 大森 一伸
2. 論文題名 運動時のエネルギー基質動態と糖質液補給の影響
3. 本論文の主旨

運動強度が低強度から中強度の長時間運動では、糖質および脂肪が主なエネルギー源として用いられる。しかし、生体内に貯蔵されている糖質の量が少ないことから、長時間運動中は、なるべく糖質の利用を節約し、脂肪からのエネルギー供給に依存するのが望ましいと言われている。このような背景から、これまで長時間運動時の糖質摂取の効果に関する数多くの研究がなされてきた。一方で、運動30分～45分前の大量のグルコース摂取は、パフォーマンスを低下させるとの報告もみられる。この点、フルクトースにはそのような作用はないことも知られているが、運動終盤での「ラストスパート」には不向きな糖であるとも言われている。また、選手の間では甘さの点で高濃度の糖は敬遠されることも多く、これらに代わる新たな糖質が求められている。

一方、長時間運動の運動様式に関して、一定強度での持久運動に関する研究は数多くなされているものの、サッカーに代表されるような運動強度が頻繁に変化する間欠的な持久運動に関する研究は極めて少ないのが現状である。また、このようなタイプの持久運動では、筋グリコーゲンの消費量が大きいとの報告もみられ、従って、糖質摂取法についても一定型の持久運動とは異なることが予想される。さらに、間欠的な持久運動での低強度運動時には、高強度運動時に消費したエネルギー源をいかに回復出来るかが重要となる。このことを理解するためには、高強度運動後の骨格筋における糖取り込みに関する検討が必要であるが、この種の研究は極めて少ないと言える。

そこで本論文では、これまで検討されていないトレハロースに注目し、長時間運動時の血中エネルギー基質、肝・筋グリコーゲン、基質動員に関連するホルモンおよびパフォーマンスに及ぼす影響について検討した。また、運動時間と仕事量が同等である一定型持久運動と比較することによって、間欠型持久運動の特徴を明らかにするとともに、その際の糖質摂取法についても検討を加えた。さらに、高強度運動後の骨格筋における糖の取り込みについて、¹⁸F-FDG-PETによる画像診断を応用して検討することを目的とした。

4. 本論文の概要

本論文は以下の4章から構成されている。

第1章では、第2章での詳細な文献考証に基づいて、先行研究における問題点を指摘する

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、研究の背景と目的について述べている。

第2章では、(1)長時間運動における糖質摂取の効果(長時間運動における糖質摂取の意義、糖質摂取がエネルギー代謝に及ぼす効果、糖質の種類による運動直前と運動中の生理応答、糖質摂取がパフォーマンスに及ぼす効果)、(2)間欠型持久運動の生理生化学的特徴、(3)高強度運動後の骨格筋回復動態(間欠型運動における回復期の重要性、高強度運動後の糖取り込みに及ぼす要因、骨格筋糖取り込み研究におけるPET「Positron Emission Topography」の利用可能性)に関して、従来知見を詳細に述べている。

第3章では、未解明の問題を含めて大きく3つの研究課題、すなわち、課題1「長時間運動時の糖質摂取におけるトレハロースの検討(2つの研究)」、課題2「間欠型と一定型持久運動における生理生化学応答の比較検討(3つの研究)」、課題3「高強度運動後の骨格筋回復動態の検討(1つの研究)」を設定し、それぞれ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は2つの研究から成っており、それぞれラットおよびヒトを対象として、運動前および運動中のトレハロース溶液摂取の影響について検討した。その結果、ラットを用いた研究では、トレハロース投与は、グルコース投与に比べて脂肪酸動員を抑制する作用が弱い傾向と、血糖値の上昇が緩徐であり運動後半においても血糖値を維持できる可能性が示唆された。また、グルコース投与と同様に、トレハロース投与は運動中の肝および筋グリコーゲン利用を節約することを明らかにした。ヒトを対象とした研究でも、トレハロース摂取は、他の糖質摂取と比べて、血糖を一定に維持する一方で遊離脂肪酸の動員抑制を低下させる可能性が示された。ホルモン濃度およびパフォーマンスに違いは見られなかったものの、大量にトレハロースを摂取しても、インスリン応答が緩やかであり低血糖症を招来しにくいことが示され、これらのことから、運動直前に摂取すると糖質として適していることが示唆された。

【研究課題2】

研究課題2は3つの研究から成っており、4分間の高強度と低強度運動を80分間繰り返す間欠型持久運動と、運動時間と仕事量が同等である一定型持久運動を行わせ、血中エネルギー基質およびホルモン濃度(カテコールアミン、インスリン)に及ぼす影響と、引き続いて行われる負荷漸増最大運動の血中遊離テストステロン応答に及ぼす影響について検討している。さらに、両持久運動における糖質摂取の影響についても検討した。その結果、低強度運動が繰り返される間欠型持久運動では、クリアランス亢進によって血中アドレナリン濃度が一定型持久運動よりも低く、そして、このことが運動中の遊離脂肪酸濃度の上昇を抑制し、血糖を利用しやすくしていると考えられた。一方、一定型持久運動に引き続いて行われた漸増最大運動後では、間欠型持久運動後と比較して、血中テストステロン濃度の上昇が大きいことが確認された。さらに、糖質摂取を行った研究では、間欠型持久運動ではエネルギー源としてより糖質に依存する傾向と、摂取した糖がより利用されている可能性が示された。このことから、間欠型持久運動での糖質摂取においては、より多めに摂取することが必要であると考えられた。

【研究課題 3】

研究課題 3 では、片脚での高強度間欠自転車運動を行わせ、運動後に¹⁸F-FDGを静脈注入して、PETカメラによって大腿部骨格筋における糖取り込み量および糖代謝率を測定した。その結果、高強度運動後では筋グリコーゲン消費量の大きい筋群において、糖がより取り込まれる傾向にあり、また、糖代謝率も高いことが認められた。一方、同一筋群および同一筋内においても、部位によって糖取り込み量や糖代謝率が異なることも示唆された。

第 4 章では、各研究によって得られた成果を相互に検討し、長時間運動におけるトレハロース摂取の効果、間欠型持久運動の生理生化学的応答、高強度運動後における骨格筋での糖取り込みについて、それぞれ総括している。そのうえで、運動形態とトレハロースの特性を考慮した摂取時期、濃度、他の糖との組み合わせ等に関する検討の必要性、運動強度やインターバル時間の異なる間欠的持久運動時の生理生化学的応答の検討の必要性、さらには、高強度運動後の骨格筋での糖取り込み後の糖代謝に関する検討と部位差による検討の必要性など、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、長時間運動におけるトレハロース摂取では、血糖値の上昇が緩徐で脂肪酸動員を抑制する作用が弱い傾向にあること、トレハロースはグルコースと同様に、運動中の肝および筋グリコーゲン利用を節約すること、運動時間と仕事量が同等である一定型と間欠型持久運動を比較すると、間欠型持久運動では血中アドレナリン濃度が低く、運動中の遊離脂肪酸濃度の上昇を抑制すること、間欠型持久運動では摂取した糖が速やかに利用される可能性が高いこと、高強度運動後では、運動中にグリコーゲン消費が大きかった筋に糖が取り込まれ、一方、同一筋内でも部位によって糖取り込み量が異なること、を示したことである。

このように本論文は、長時間運動時に摂取する糖質としてのトレハロースの有用性を初めて示したこと、比較的長い時間（4 分間）の低強度と高強度運動を繰り返す長時間間欠運動の生理生化学的応答を明らかにしたこと、間欠型持久運動では糖質の利用がより亢進する可能性を示唆したこと、および高強度運動後の糖取り込みに関して、同一筋群および同一筋内で部位によって異なることを初めて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（体力科学、Adv. Exerc. Sports Physiol.、等）に発表され、関連する分野の研究者からも高い評価を得ている。

以上のように、本論文は、トレハロースの有用性、間欠運動時の生理生化学的応答の特徴と糖質補給、さらには、高強度運動後の糖取り込みに関して、新たな知見を提示したものである。これらのことより、本論文は博士（人間科学）の学位論文として相応しいと判断した。

以上

大森 一伸氏 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 医学博士(東邦大) 太田富貴雄

(副査) 早稲田大学教授 教育学博士(東京大) 樋口 満