

博士学位論文審査報告書

大学名 早稲田大学
研究科名 スポーツ科学研究科
申請者氏名 田端 宏樹
学位の種類 博士（スポーツ科学）
論文題目 脂質酸化能力の個人差が長時間運動中の脂質酸化応答に及ぼす影響
Effects of the inter-individual differences of the ability to oxidize fat on fat oxidation response during prolonged exercise

論文審査員 主査 早稲田大学教授 坂本 静男 医学博士（聖マリアンナ医科大学）
副査 早稲田大学教授 澤田 亨 博士（医学）（順天堂大学）
副査 早稲田大学教授 鈴木 克彦 博士（医学）（弘前大学）

現在国内外を問わず、肥満症は大きな健康課題と考えられており、その最善の対策方法が検討されてきている。これらの中で注目されているものとして、最大脂質酸化量（maximal fat oxidation:MFO）および最大脂質酸化量時運動強度（ Fat_{max} ）を運動処方作成に利用していく考え方がある。しかしながら、多段階漸増運動負荷試験で得られた MFO や Fat_{max} を長時間運動中に応用した場合、長時間運動中の脂質酸化量が最大値になるかどうかは不明である。そこで本研究ではこの点を明らかにするために、以下の研究（研究課題 1 は早稲田大学スポーツ科学研究科修士課程から博士後期課程前半、検討課題 2 は同研究科博士後期課程前半から後半にわたり）が行われた。

本博士論文は第 1 章から第 6 章で構成されており、各章の内容は以下の通りである。

第 1 章 序論

肥満は現代世界における重大な健康課題の 1 つであり、肥満に対する有効な予防・改善策の確立は喫緊の課題である。肥満は身体の脂肪組織に過剰に脂質が蓄積した状態であるため、脂質をより多く酸化できる運動が肥満の予防・改善に有効である。

運動中に脂質酸化量が最大値（MFO）を示す運動強度は Fat_{max} と定義され、肥満の予防・改善に最適な運動強度であると推察される。しかし、先行研究において長時間運動では必ずしも Fat_{max} で脂質酸化量が最大とはならない可能性が示唆されている。MFO、 Fat_{max} には心肺体力や身体組成、性別など様々な要因により大きな個人差があるため、脂質酸化に最適な運動強度も個々人で異なるかもしれない。

これまでに、MFO と Fat_{max} は鍛錬者と非鍛錬者、肥満者と正常体重者など様々な身体特性を有する人々で比較検討されてきている。しかし、いずれの研究も漸増運動負荷試験で測定した MFO および Fat_{max} の比較に留まっており、MFO の違いが長時間運動中の脂質酸化応答にどのように影響するかはほとんど検討されていない。個々人の脂質酸化能力に応じた脂質をより効率よく酸化できる運動強度が明らかとなれば、肥満の予防・改善に対するオーダー

メイドの運動処方作成に向けた有用な知見となり得る。

そこで本研究では漸増運動負荷試験で測定される脂質酸化能力の違いが長時間運動中の脂質酸化応答に与える影響を明らかにするために、次の2つ「検討課題1：脂質酸化能力の違いは長時間運動中の脂質酸化に反映されるか?」、「検討課題2：脂質酸化能力の違いで脂質酸化に適した運動強度範囲は変わるか?」を検討した。

第2章 文献研究

本研究の目的を達成するために必要な研究手法および評価項目を示した。

2-1 運動強度と運動中および運動後回復期の脂質酸化

2-2 Fat_{max}-test

2-3 脂質酸化能力の個人差と関連要因

第3章 検討課題1

『脂質酸化能力の違いは長時間運動中および運動中止後の脂質酸化に反映されるか?』

MFOが異なると推察される肥満者10名、正常体重者10名、持久鍛錬者8名を対象に、漸増運動負荷試験で測定されるMFOとFat_{max}で300kcal消費する長時間運動中および運動後回復期2時間の脂質酸化応答との関連を検討した。また、血中脂質代謝関連物質濃度の変化も検討した。漸増運動負荷試験におけるMFOはFat_{max}での長時間運動中の脂質酸化量の最大値(MFO_{EX})と強く関連したが、Fat_{max}での長時間運動中の総脂質酸化量(g)とは関連しなかった。肥満者、正常体重者、鍛錬者で運動中の総脂質酸化量(g)に有意な差はなかった。しかし、運動後の血清ホルモン濃度が鍛錬者で肥満者に比べて有意に高く、運動後回復期および運動中と運動後回復期との合計の総脂質酸化量(g)は鍛錬者で肥満者に比べて有意に多かった。よって、漸増運動負荷試験でのMFOの個人差はFat_{max}での長時間運動中および運動後回復期の脂質酸化応答に反映される可能性が示唆された。

以下の論文がこの章の内容に相当する：

Hiroki Tabata, Hyeon-ki Kim, Masayuki Konishi, Naoya Endo, Shizuo Sakamoto : Substrate metabolism responses to equicaloric exercise at the maximal fat oxidation intensity or high intensity in endurance-trained men. J Clin Physiol, 2019, 49(5):191-200.

第4章 検討課題2

『脂質酸化能力の違いで脂質酸化に適した運動強度範囲は変わるか?』

MFOの高い人と低い人とで脂質酸化に適した運動強度範囲に違いがあるかを検討した。18名の若年健康成人男性をMFOの値で2群に分け、Fat_{max}、Fat_{max}±10%強度で300kcal消費する長時間運動を行い、運動中および運動後2時間の脂質酸化量および血中脂質酸化関連物質の変化をMFOの低い群(L-MFO群)と高い群(H-MFO群)のそれぞれで検討した。運動中の脂質酸化量はL-MFO群においてFat_{max}、Fat_{max}-10%強度に比べてFat_{max}+10%強度で有意に高かったが、H-MFO群では強度間に違いはなかった。またL-MFO群では運動直後の血漿遊離脂肪酸濃度がFat_{max}-10%強度でFat_{max}、Fat_{max}+10%強度に比べて有意に高かったが、H-MFO群では強度間で違いはなかった。運動中のエネルギー基質に占める脂質の割合はいずれの群でもFat_{max}-10%強度でFat_{max}およびFat_{max}+10%強度に比べて高く、運動中の総脂質酸化量(g)は両群でFat_{max}-10%強度がFat_{max}、Fat_{max}+10%強度と比べて多かった。よって、最大脂質酸化量の違いにより運動中の脂質酸化応答に違いがあり、Fat_{max}-10%強度が脂質酸化に最適な運動強度であるかもしれない

第5章 総合討論

長時間運動中の総脂質酸化量(g)をより多くするためには、脂質酸化量の絶対値の大きさに着目するだけでなく、エネルギー基質に占める脂質酸化の相対的な割合も考慮する必要があるかもしれない。研究課題1において、漸増運動負荷試験で測定される脂質酸化量の最大値は長時間運動中の総脂質酸化量(g)と関連しなかったが、最大値が示される際のエネルギー基質に占める脂質の割合が長時間運動中の総脂質酸化量(g)と強い正の相関関係を示した。また研究課題2において、エネルギー基質に占める脂質の割合が高い運動強度の方で総脂質酸化量(g)が多くなることを明らかにした。エネルギー基質に占める脂質酸化の割合は低強度で最大となるが、低強度の運動は単位時間あたりに消費するエネルギー量が少ないため時間効率が悪い。よって、絶対的な脂質酸化量とエネルギー基質に占める脂質酸化の割合の高さのバランスが最適な運動強度が、脂質酸化に有効である。絶対値と相対値の最適なバランスが解明されれば、個々人の脂質酸化能力に合わせた脂質酸化に最適な運動強度を処方できるようになると推察される。

第6章 結論

漸増運動負荷試験での脂質酸化能力の個人差は長時間運動中の脂質酸化応答においても再現される。しかし、長時間運動中の総脂質酸化量(g)には影響しない。また、脂質酸化能力の個人差は脂質酸化に最適な運動強度範囲にも影響しないが、脂質酸化能力の高い人と低い人とで長時間運動中の脂質代謝応答に違いが認められ、脂質酸化能力の高い人では代謝調節の柔軟性が高い可能性が示唆された。本研究の結果は肥満の予防、改善に対する個々人に合わせたオーダーメイドの運動処方ガイドライン策定のための一助となりうると推察される。

喫緊の対応が必要と考えられている肥満症対策の1つとして、オーダーメイドな運動処方作成上の有用な技法を示した点で、この研究内容は独創的で、今後の研究の1指針を示していると考えられる。

論文を構成する研究内容に独創性が認められ、本研究科に相応しい学術的または社会的な意義をもつ内容であるとの評価を得て、本審査委員会は田端宏樹氏の学位申請論文が博士(スポーツ科学)の学位を授与するに十分値するものと認める。

掲載された原著論文

Hiroki Tabata, Hyeon-ki Kim, Masayuki Konishi, Naoya Endo, Shizuo Sakamoto : Substrate metabolism responses to equicaloric exercise at the maximal fat oxidation intensity or high intensity in endurance-trained men. *J Clin Physiol*,2019, 49(5):191-200.

以上