

学位論文要旨

学位授与申請者

佐々木 将太

題目：中強度運動中のエネルギー代謝に対する運動前食事摂取タイミングの影響に関する研究

第1章 研究の背景と目的

運動実施には多量のエネルギーが必要であるが、食事由来の炭水化物、脂質に加えて、体内に貯蔵されている体脂肪、グリコーゲンがエネルギー源として利用される。しかし、体内に貯蔵されているグリコーゲンは体脂肪などの脂質に比べ少量であるため、運動を長時間継続するには炭水化物を摂取し、枯渇させないことが重要である。

炭水化物を摂取すると、分泌されるインスリンの作用により、グリコーゲンや体脂肪合成が亢進するとともに、脂質の分解は抑制される。他方、運動中に利用されるエネルギー源は運動強度によって異なり、中強度以下の運動では炭水化物よりも脂質がよく利用されることが報告されている。したがって、脂質がよく利用される中強度以下の運動前に炭水化物を摂取すると、インスリンの作用により運動中の脂質酸化が抑制されると考えられる。このことは、競技スポーツにおける運動パフォーマンスの維持や、健康づくりを目的とした運動において最適な食事条件を検討する上で重要となる。

運動中に脂質からのエネルギー供給が減ると、グリコーゲンの枯渇や血糖の低下を早め、運動パフォーマンスの低下につながる可能性がある。そこで、運動中にインスリンによる脂質酸化を抑制しないために、運動開始時にインスリンが高い状態にならないよう、炭水化物の摂取タイミングを考慮する必要がある。しかし、インスリン感受性が高く筋細胞への糖取り込み能が高いアスリートは、運動前に炭水化物を摂取しても血糖が速やかに筋細胞に取り込まれるため、インスリンによる運動中の脂質酸化が抑制されにくい可能性がある。よって、アスリートでは、炭水化物摂取から運動開始までの時間の長さが、運動中の脂質酸化に影響しないことが予想される。

さらに、食後運動は血糖や血清脂質の上昇を抑制し、冠動脈疾患のリスクを軽減させることが報告されており、中高齢者の健康づくりに寄与することが示唆されている。食後運動の効果を効率的に得るためには運動の内容だけでなく、食事から運動開始までの時間を考慮する必要があると考えられるが、食後の血糖や血清脂質に対する効率的な運動のタイミングについての詳細な検討はなされていない。

以上の研究背景から、本研究の目的は、第1に若年男性アスリートを対象に、第2に中高齢男性を対象に、中強度運動中エネルギー代謝に対する運動前の食事摂取タイミングの影響を明らかにすることとした。

第2章 若年アスリートにおける中強度運動中のエネルギー代謝に対する運動前の食事摂取タイミングの影響

本章では、インスリン感受性が高いと考えられる若年男性アスリートを対象に、中強度運動中

のエネルギー代謝に対する一般的な食事を異なるタイミングで摂取させた時の影響を明らかにすることを目的とした。

対象者は、鍛錬された陸上競技選手 8 名 (年齢 20.0 ± 0.0 歳, 身長 174.9 ± 6.4 cm, 体重 63.8 ± 5.8 kg, 以下すべて平均 \pm 標準偏差) とした。本研究は京都府立大学倫理委員会の承認および、対象者からインフォームドコンセントを得て実施した。試験条件は、食事なし (水 500 ml) および運動 1, 2, 3 および 4 時間前に決められた食事 (総エネルギー: 1022.6 kcal, たんぱく質: 43.1 g, 脂質: 22.8 g, 炭水化物: 154.5 g) を摂取する 5 条件とした。測定日は空腹で来室し、食事摂取後から運動開始までの時間は、自由行動としたが飲食および運動はしないように指示した。食事摂取後に、中強度運動である乳酸性作業閾値 (113.2 ± 11.0 watts) の負荷で自転車エルゴメーターを用いたサイクリング運動を 60 分間実施させた。水または食事摂取前、運動開始前、運動中 15 分毎および終了時に、ダグラスバック法を用いて呼気ガスを採取し、呼気ガス分析器 (AR-1: アルコシステム有限会社) を用いて、酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) および二酸化炭素排出量 ($\dot{V}CO_2$) を測定した。さらに、 $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}CO_2$ から呼吸交換比 (respiratory exchange ratio (RER): $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$), 炭水化物および脂質酸化量を算出した。また、水または食事摂取前、運動開始前、開始 30 分後および終了時に、肘静脈から採血を実施し、血糖、インスリンおよび遊離脂肪酸を測定した。各条件間の各血液検査値および呼気ガスデータの推移は、重複測定二元配置分散分析を行い交互作用が認められた場合のみ、Tukey post hoc test を行った。

各食事条件間で安静時および試験中の RER, 炭水化物および脂質酸化量の推移に有意な変化は認められなかった。食事摂取条件における運動前のインスリンは、食事なし条件と比較して食後から運動までの時間に関わらず有意に高かった ($p < 0.05$)。血糖は、食事摂取条件において運動前に高値を示したが運動開始 30 分後に低下する傾向にあった。遊離脂肪酸は、食事摂取条件と比較して食事なし条件は、運動開始から終了まで有意に高く推移した ($p < 0.05$) が、食事摂取条件間で有意な差は認められなかった。

以上より、運動前の食事摂取時間が 1-4 時間以内であれば、若年男性アスリートにおける中強度運動中のエネルギー代謝比率には影響がないことが示唆された。

第 3 章 運動習慣のない中高齢者における中強度運動中のエネルギー代謝に対する運動前の食事摂取タイミングの影響

本章では、運動習慣のない中高齢男性を対象に中強度運動中のエネルギー代謝に対する一般的な食事を異なるタイミングで摂取させた時の影響を明らかにすることを目的とした。

対象者は、通常の生活を営む運動習慣のない中高齢者 8 名 (年齢 60.6 ± 8.1 歳, 身長 168.3 ± 4.5 cm, 体重 64.6 ± 7.7 kg) とした。本研究は京都府立大学倫理委員会の承認および、対象者からインフォームドコンセントを得て実施した。本研究は、食事摂取後 30 分 (30 分条件) または 2 時間 (2 時間条件) 経過後に運動を実施する 2 条件とした。試験日は、試験食 (総エネルギー: 795 kcal, たんぱく質: 30.9 g, 脂質: 15.4 g, 炭水化物: 133.4 g) を摂取した後、運動開始までは自由行動としたが指定量の水以外の飲食および運動はしないように指示した。その後、カルボーネン法を用いて算出した中強度運動 (推定最大心拍数の 40-50% の範囲: 101.6 ± 6.4 bpm から 111.2 ± 6.4 bpm) を自転車エルゴメーターで 30 分間実施した。運動開始から終了まで

5分毎に主観的運動強度、運動開始前および運動中に心拍数を測定した。さらに、運動開始前および終了時に肘静脈から採血を実施し、中性脂肪、遊離脂肪酸およびインスリンを測定した。また、食事前、運動開始前、運動開始15分後および運動終了時に、指先から穿刺により少量の血液を採取し、血糖および乳酸値を測定した。安静時から運動終了まで、呼気ガス分析計 (AE-310s, ミナト医科学株式会社) により breath by breath 法を用いた $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}CO_2$ の測定を実施した。測定した $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}CO_2$ から、RER および炭水化物酸化量および脂質酸化量を算出した。また、運動中の炭水化物酸化量および脂質酸化量から、台形法にて曲線下面積を算出した。各条件間の主観的運動強度、心拍数、各血液検査値、呼気ガスデータは、重複測定二元配置分散分析を行った後、交互作用が認められた場合にのみ Tukey post hoc test を行った。血液検査値は、各条件で変化量 (運動後 - 運動前) を算出し、正規性が認められた場合には対応のある t 検定を、ない場合にはウィルコックソンの符号付順位和検定を行った。

運動中の各条件における心拍数および主観的運動強度ともに、各条件間の推移に有意な差は認められなかった。運動開始前の血糖は、30分条件と比較して2時間条件において、有意に低かった ($p < 0.01$)。血糖は、両条件ともに食事前と比較して運動開始前において有意に高かった ($p < 0.05$)。さらに、同一条件内の運動開始前と比較して、運動開始15分後および運動後では有意に低かった ($p < 0.01$)。遊離脂肪酸は、30分条件と比較して2時間条件において運動開始前の値が有意に低かった ($p < 0.05$)。乳酸値、インスリン、中性脂肪および遊離脂肪酸の推移は、各条件間に交互作用が認められなかった。炭水化物と脂質酸化量および RER は、交互作用は認められなかった。運動中の炭水化物酸化量曲線下面積には有意な差は認められなかったが、脂質酸化量曲線下面積は、2時間条件と比較して30分条件において、有意に高値を示した ($p < 0.05$)。

以上より、中高齢男性において食後2時間と比較して食後30分に中強度運動を実施することにより、運動中の脂質酸化を亢進させる可能性が示唆された。

第4章 結論

本研究は、若年男性アスリートおよび運動習慣のない中高齢男性を対象に中強度運動中のエネルギー代謝に対する食事摂取タイミングの影響を検討した。第2章において、インスリン感受性が高い若年男性アスリートは、中強度運動開始1-4時間前までに食事を摂取し終えていれば、食事摂取タイミングの違いにより運動中の脂質酸化に差が認められないことを明らかにした。一方で、第3章において、運動習慣のない中高齢男性では、食後30分に中強度運動を実施することで、食後2時間の運動よりも脂質酸化が高まる可能性があることを明らかにした。

第2章および第3章より、運動前の炭水化物摂取から運動開始までの時間や対象者によって、血中エネルギー基質の利用やエネルギー代謝が異なることが明らかとなった。運動・スポーツにおいて、炭水化物に富む食事摂取は運動開始2-4時間前に摂取し終えることが推奨されていたが、習慣的なトレーニングを実施している者であれば、運動開始の1時間程度前までに食事を摂取し終えていれば、エネルギー代謝の変化が少なく運動を実施できると考えられる。

また、健康づくり支援のための運動において、中高齢者が対象となる場合では食後から運動開始までの時間が短いと脂質を利用したエネルギー代謝が亢進し、食後脂質の上昇を抑制することでメタボリックシンドロームの予防・改善に寄与するものと考えられる。