

低強度負荷時のエネルギー供給の違いからみた筋線維のタイプに関する検討

Muscle fiber types related to metabolite patterns on intermittent activities of low-intensity.

渡辺 剛*, 池袋 敏博**, 永吉 英記**
齋藤 初恵**, 若松 宏行*, 伊藤 拳***

Tsuyoshi WATANABE *, Toshihiro IKEBUKURO **, Hideki NAGAYOSHI **
Hatsue SAITO **, Hiroyuki WAKAMATSU* and Susumu ITO ***

はじめに

骨格筋の筋線維はその収縮特性および組織化学的特性から筋線維のタイプが分類されている。ヒトの筋線維を大別すると遅筋 (slow twitch: 以下ST) と速筋 (fast twitch: 以下FT) の2つに分類される。ST線維のエネルギー供給系は脂質的酸化特性を持ち収縮速度が遅いが、持久性に優れている。FT線維のエネルギー供給系は解糖的酸化特性を持ち収縮速度に優れているが疲労しやすい特性をもっている。2種類の筋線維の構成比率はスポーツ適性を決定する大きな因子になる。しかし、2つの筋線維比率は一卵性双生児は非常に類似して²⁾、長期間のトレーニングさせても、後天的に変わらないことが知られている⁴⁾。すなわちスポーツ種目適性は先天的因子が強い事を意味している。2つの筋線維比率を知ることは、そのヒトのスポーツ種目の妥当性を知る上で重要なことである。筋線維比率は長距離選手がST82%、短距離選手FT62%占めている⁵⁾。これを求める方法として生検 (バイオプシー) により、筋線維を取り出して調べる方法が用いられている。生体に傷を付けるために運動選手にとって好まれる方法で

はない。そこで筋線維のタイプの違いによりエネルギー酸化特性に差異があることに注目した。エネルギー酸化特性として、最大酸素摂取量の60%付近で脂質的酸化代謝と糖質的酸化代謝の比率がほぼ同じになる。また、換気閾値 (ventilatory threshold: 以下VT) での運動では有酸素および無酸素性の運動様式が混在すること、運動強度が高いとエネルギー源が糖質に傾斜する等から⁶⁾、運動種目およびトレーニング効果の影響が測定結果に反映しない運動条件として、低強度運動時VTの60%の運動負荷を設定し³⁾、呼吸代謝応答の違いから、筋線維のタイプ組成を簡便的に求める試みを長距離選手および短距離選手を用いて検討を行った。

研究方法

I. 被検者

被検者は大学陸上部に所属する長距離および短距離を専門し、少なくとも7年以上の経験をもつ男子学生13名 (長距離選手7名、短距離選手6名) である。

* 国士館大学体育学部運動生理学教室 (Lab of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

** 国士館大学大学院スポーツシステム研究科 (Graduate school of sport system, Kokushikan University)

*** 国士館大学体育学部スポーツ医科学科 (Dept. of Sports and Medical Science, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

II. 形態測定

身長計測はヤガミ社製を用いた。体重および身体組成の測定は8極式高精度体組成成分分析装置 (Biospace 社製 InBody720) を用いて、筋量、除脂肪組織量 (lean tissue mass; 以下LTM) を求めた。被検者の年齢、形態および身体組成は表1に示した。各被検者に対して研究の目的、内容、装着すね機材等について十分説明し、本研究への理解の基に参加の同意を得た。

表1 被検者身体的特性

Group	n	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)
長距離	6	18.5±0.5	172.8±4.5	56.0±3.9
短距離	7	19.6±1.0	173.1±3.6	66.6±5.4

III. 無酸素作業閾値測定

本研究では脂質的酸化代謝の働きがより大きい運動強度であること、運動種目およびトレーニング効果の影響が測定結果に反映しない運動条件を得るために、無酸素作業閾値の測定を呼気ガスを用いたVTから、その60%の運動強度 (以下VT60) を求めた。

VT測定には自転車エルゴメーター (Rehcor社製) を用い、初期の負荷は80W又は100Wとし、十分な安静の後3分間の安静を求めた。3分間ウォーミングアップの後、1分間に15Wずつ負荷を漸増させるRamp負荷により、自転車のペダリング回転が60回転/分を維持できなくなるまで行った。

VT推定は、酸素摂取量と二酸化炭素排泄量からV-slope法により求めた。呼気ガス分析はミナト医科学社製AE-300sおよびAT Windowsによりbreath by breathによって行った。

IV. VT60時の呼気代謝測定

VT60時の呼気代謝の測定は十分な安静の後3分間のウォーミングアップの後に、VT60値の心拍数±10拍/分の範囲で自転車エルゴメーターによる運動を実施し定常状態 (steady state) に達

した3分から5分の2分間の酸素摂取量と呼吸商 (respiratory quotient: RQ) を用い非蛋白呼吸比 (CO₂/O₂) から長距離選手および短距離選手の両群の脂質的酸化量と糖質的酸化量を求めた。

V. 統計処理

統計量はすべて平均値±標準偏差で示した。

安静時、VT60時およびLTMの関係についての差の検定は、対応のないt検定を用いた。それぞれの有意水準は5%未満をもって有意差ありとした。

結 果

I. LTM当たりの安静時およびVT60の比較 (表2)

LTM当たりの安静時、VT60および最大運動時の酸素摂取量を長距離選手および短距離選手の両群間で比較すると、安静時およびVT60時の酸素摂取量には有意な差はみられない。最大運動時の酸素摂取量は長距離選手が短距離選手に比較してP<0.001と高い有意な差がみられた。

II. LTM当たりの安静時とVT60時の糖質酸化量の比較 (表3)

表2 安静時およびVT60時のLTM当たりの酸素摂取量の比較

競技種目	安静時 (mg/kg/min)	VT60 (mg/kg/min)
長距離	6.36±0.39	24.14±2.78
短距離	6.35±0.63	21.01± 2.41

values are mean±S.D.

表3 LTM当たりの安静時とVT60時の糖質酸化量の比較

競技種目	安静時 (mg/kg/min)	VT60 (mg/kg/min)
長距離	4.84±3.68	21.18±5.27
短距離	6.61±3.13	29.14± 4.98

values are mean±S.D.

*p<0.05

LTM当たりの安静時、VT60時の糖質酸化量を長距離選手および短距離選手の両群間で比較すると、安静時の糖質酸化量には有意な差はみられない。VT60時の糖質酸化量は長距離選手が短距離選手に比較して $P<0.05$ と低い有意な差がみられた。

III. LTM当たりの安静時とVT60時の脂質酸化量の比較 (表4)

LTM当たりの安静時、VT60時の脂質酸化量を長距離選手および短距離選手の両群間で比較すると、安静時の脂質酸化量には有意な差はみられない。VT60時の脂質酸化量は長距離選手が短距離選手に比較して $P<0.01$ の高い有意な差がみられた。

表4 LTM当たりの安静時とVT60時の脂質酸化量の比較

競技種目	安静時(mg/kg/min)	VT60(mg/kg/min)
長距離	2.75±1.57	9.38±3.29 **
短距離	2.13±1.11	4.22±1.44

values are mean ± S.D.

** $p<0.01$

IV. LTM当たりの安静時糖質および脂質酸化量を除したVT60時の糖質酸化量と脂質酸化量の比較 (表5)

LTM当たりのVT60時の安静を除した糖質酸化

表5 LTM当たりの安静時糖質および脂質酸化量を除したVT60時の糖質酸化量と脂質酸化量の比較

競技種目	糖質酸化量(mg/kg/min)	脂質酸化量(mg/kg/min)
長距離	16.34±4.77 *	6.63±3.23 **
短距離	22.52±4.10	2.08±1.50

values are mean ± S.D.

** $p<0.01$, * $p<0.05$

量と脂質酸化量を長距離選手および短距離選手の両群間で比較すると、糖質酸化代謝量において短距離選手が高い、有意な差 ($P<0.05$) がみられた。脂質酸化量において長距離選手が高い、有意な差 ($P<0.01$) がみられた。即ち運動のみに使用した、糖質酸化量と脂質酸化量でも両群に差がみられた。

考 察

基礎代謝および安静時の酸素摂取量は骨格筋以外の組織の酸素消費量は個人差が小さいと考えられる⁷⁾、基礎代謝および安静時の酸素摂取量の差異は絶対筋量の差によると考えられている。即ち、除脂肪体重当たりの基礎代謝および安静時酸素摂取量には差異が見られない。

本研究に置いても長距離選手および短距離選手の両群間で差がみられないことから、姿勢保持に使われる単位面積当たりの酸素摂取量、糖質酸化量および脂質酸化量にも大きな差が認められないことから姿勢保持に使われる骨格筋の筋線維タイプは遅筋 (ST: slow twitch) に依存性が高いことによるものと考えられる。

VT60は運動種目およびトレーニング効果の影響が測定結果に反映しない運動条件として設定した結果は、糖質酸化量および脂質酸化量の数値は定常状態が成立してから3分から5分までの数値で糖質酸化が脂質酸化量に比べて低い値を示した。これはフォックスの¹⁾によれば定常状態が成立するような運動の初期は糖質をエネルギー源とし、約20分頃に糖質と脂質が交差との報告を指示する結果であった。

しかし、長距離選手および短距離選手の両群の糖質酸化量および脂質酸化量の違いをみると糖質酸化量が短距離選手が高く、脂質酸化量は長距離選手が高い結果が得れたことから、VT60が生体に対する運動強度がほぼ同じ負荷強度量と考えるならば、糖質および

脂質酸化量の差異は筋線維タイプの違いによることが大きいことを示唆する結果であった。

今後更に運動時間、運動強度、食事時間、食事内容および前日の運動量等の関連を詳細に検討することで、筋線維タイプ比率を簡便的に評価できる可能性があるものと思われる。

ま と め

VT60における長距離選手および短距離選手の2群間の糖質酸化代謝量および脂質酸化代謝量の違いから筋線維のタイプが分類に関する検討の結果は次のようにまとめられる。

1. LTM当たりの安静時およびVT60時の運動時の酸素摂取量は群に差はみられなかった。
2. LTM当たりの安静時、VT60時の糖質酸化代謝量は長距離選手が短距離選手に比較して低い有意な差がみられた。
3. LTM当たりの安静時、VT60時の脂質酸化代謝量は長距離選手が短距離選手に比較して高い有意な差がみられた。
4. LTM当たりのVT60時の糖質酸化代謝

量および脂質酸化代謝量の比率

以上のことからVT60の低運動強度負荷による骨格筋の筋線維タイプの違を長距離選手と短距離選手から比較検討した結果、糖質酸化代謝量および脂質酸化代謝量に差異が見られることは骨格筋の筋線維タイプの違いを示す結果であった。

本研究は国士舘大学体育学部附属体育研究所の研究助成によって実施された。

引用・参考文献

- 1) 朝比奈一男訳：選手とコーチのためのスポーツ生理学。大修館、東京 1982.
- 2) Clarfson.P.M.and Tremblay, I.:Exercise-induced muscle damage, repair, and adaptaion in humans. J. Appl. Physiol. **65**: 1-6. 1988.
- 3) 池上晴夫：身体機能の調節性，朝倉書店，東京，33-36，1997.
- 4) 北川薫：運度とスポーツの生理学、市村出版，東京，24-26，2001.
- 5) 勝田編：運動と筋の科学，朝倉書店，東京，2000.
- 6) P.E.ディプランベロ著，宮村実晴，池上康男訳：真興貿易医書出版部，東京，**18**，1991.
- 7) 渡辺 剛，生山 匡，他：長距離鍛錬者と非鍛錬者の基礎代謝の比較，国士舘大学体育学部紀要，**10**，19984.