

〔論文〕

アクティブな女子中学生における 運動中の最大脂肪酸化量

高橋 篤志
Atsushi Takahashi

大阪総合保育大学
児童保育学部

池島 明子
Akiko Ikeshima

大阪体育大学

友金 明香
Sayaka Tomokane

大阪体育大学

豊岡 示朗
Jiro Toyooka

大阪体育大学

要旨：本研究の目的は、運動部に所属する女子中学生の運動中の脂肪酸化量とそれを引き出す相対的運動強度を明らかにすることである。10名の健康な女子中学生（年齢：14.2±0.6歳、体脂肪率：24.7±4.6%）が、本研究に参加した。脂肪酸化量の測定は、トレッドミルを用いて3分毎の漸増負荷運動にて間接的カロリーメトリーにより、呼気ガス分析から算出した。相対的運動強度に対する脂肪酸化量は、35～50%VO₂maxまで増加した後、頭打ち傾向を示し60%VO₂max以上の強度からは大きく減少した。最大脂肪酸化量は絶対値で0.27±0.11g/min、除脂肪体重当たりで7.34±2.70mg/kgFFM/minであった。その値が出現した相対的運動強度は、両項目とも56.5%VO₂max±3.7に相当した。女子中学生の最大脂肪酸化量（g/min）の大きさは、成人女子に劣るが、それを引き出す相対的運動強度は類似していると示唆された。

最大脂肪酸化量（g/分およびmg/kgFFM/min）は、体脂肪率、体脂肪量などとの関連は低く、相関がみられた項目は、体重当たり最大酸素摂取量のみであった（ $r=0.79$ と $r=0.81$, $p<0.01$ ）。

キーワード：女子中学生、最大脂肪酸化量、相対的運動強度、体重当たり最大酸素摂取量

1. 緒言

最大酸素摂取量に関する研究は、50年代前半から行われ、男女差、年齢による変化、トレーニングの影響などが明らかにされてきた（Astrand：1952, 小林：1982, 山地：1992）。一方、運動時の脂肪酸化量に関する研究は、強度と時間条件に変化をつけながら実施されてきた。最大下運動中の炭水化物と脂肪の供給エネルギーの寄与などに関した研究では、鍛錬者の脂肪酸化量が非鍛錬者に比べて高いことなどを明らかにしている（Keulら：1972, Gollnickら：1988）。

また、運動中の脂肪酸化量に関した研究では、最大の脂肪酸化量を引き出す強度を調べるために2～4種類の強度の持続運動で行われてきた（Romijn et al：1993, Bergman and Brooks, 1999, 豊岡ら：2004）。

しかしながら、2000年代に入り、Achtenら（2002, 2003）やAchtenとJeukendrup（2003）らは、多段階の漸増負荷テストを用いて、約20～40分で呼気ガスの測定のみで脂肪酸化量の最大値を引き出す方法を明らかにして

きた。1回のテストで脂肪酸化量と最大酸素摂取量を測定できることも都合良い方法であった。これらの研究から、種々の体力レベルの対象者の最大脂肪酸化量が明らかにされ、持続的なスポーツ種目の男子選手の最大脂肪酸化量は、0.6～0.7g/min、その出現強度は約65%VO₂maxと報告されている（Achenら：2003）。また、女性で持続的トレーニングを実施している鍛錬者と非鍛錬者の最大脂肪酸化量を比較したStisenらの研究（2006）は、鍛錬者：0.40g/min、非鍛錬者：0.32g/minと報告し、その出現強度は両者で差異がなく、53～56%VO₂maxになることを明らかにしている。

成人男性に関した最大脂肪酸化量の研究と同様に、思春期にある年齢の最大脂肪酸化量を調べた研究も見られる（Timmonsら：2007, Riddellら：2008）。男子の肥満児を調べたものが多く、その値を0.2～0.3g/分、出現強度は40～45%VO₂peak付近にあることを明らかにしている（Lazzerら：2010）。加えて、最大脂肪酸化量の発現強度を用いてトレーニングを実施し、肥満改善の処方に繋げている報告も見られる（Tanら：2015）。

思春期の男子に見られる研究に比べ、女子の思春期年齢の運動中の脂肪酸化量に関する情報は、非常に少ない (Ellakim ら：2001, Timmons ら：2007)。加えて、日本人男女の小 / 中学生年代の最大脂肪酸化量に関する研究も見られない。最大酸素摂取量に関しては、小学校年齢から 60 歳代までの女性 / 男性の幅広い年齢層のデータが明らかにされている (山地：1992) が、最大脂肪酸化量に関しては、同様の資料が見られないのが実情である。運動による脂肪酸化量の動態が、食事内容や食事後の経過時間の長短の影響を受けるため (Coyle ら：1985, Montain ら：1991)、実験の諸条件を統一することが、中学生の年齢では困難な面もあるため、研究の実施が難しいことも一因であろう。本研究の目的は、運動部に所属している女子中学生の運動中における脂肪酸化量を調べ、最大脂肪酸化量の大きさとそれを引き出す強度を明らかにすることにある。

2. 方法

A. 被験者

運動クラブに所属している女子中学生 10 名 (年齢：13～15 歳) を被験者とした。所属クラブの内訳は、陸上 3 名、バスケット 2 名、バレーボール 3 名、テニス 2 名であった。在籍している中学校では、諸行事により変動があるものの、運動部に所属している生徒は、週 3 日、朝 7 時 20 分より各自のペースで 20 分間のランニングを実施していた。表 1 に被験者の身体的特徴を示した。実験を開始するにあたり、全被験者は研究の目的、内容の説明を受け、加えて親の同意を書面で得た。全被験者とも脂肪の酸化能力を知ることができる故か測定に対して意欲的であった。また、本研究は大阪総合保育大学において人を対象とする研究に関する倫理規定を順守して行った。

B. 全体的デザイン

実験はトレッドミルを使用し、負荷漸増法にて脂肪と炭水化物の酸化量を間接カロリーメトリー法で求め、その際、被験者を疲労困憊に追い込み、最大酸素摂取量を測定した。最大酸素摂取量測定時での運動終了の判断は、検者が被験者の心拍数レベル、呼吸交換比、ランニングフォームの乱れなどから決定した。また、被験者には体力テストで実施している 1000m テストと同じように追い込むことを指示した。いずれの測定も校長の立ち会いのもとで行った。

C. 実験デザイン

被験者 10 人の測定は 3 日間に分けて行った。朝食後

6 時間経過して測定開始するもの 2 名と昼食後 6 時間経過して測定をするもの 2 名で 1 日 4 名とした (最終日は午前のみ)。食事の内容はできるだけ同じもの (ハムエッグ、野菜、食パン 1 枚) を取るように指示し、食後から測定開始までは、水の随意補給のみとした。食事内容と水分補給に関しては、実験前に口頭にて確認した。測定は 8 月の夏期休暇中に空調 (気温約 25–26℃) 設備のある中学校の教室に簡易型のトレッドミル (中旺ヘルス社製) と分析器具を持ち込んで実施した。被験者は教室に到着後、身長を測定し、体重、体脂肪率、脂肪量、除脂肪体重を身体組成計 (BC-118E, タニタ社製) にて求めた。その後、胸部に電極を装着し、テレメーター方式にて心電図 (LABTECH 社製) を受信した。測定は 5 分間のストレッチを実施して開始した。また、月経周期による身体の基質酸化に影響がないという報告から、同一周期には合わせなかった (Horton ら：2002)。被験者には実験の 24 時間前は、激運動を避けるように指示した。運動プロトコルは、Achten らの方法に順じて行った (2003)。すなわち、初期負荷はトレッドミルの傾斜を 1 % に固定して速度 3.5km/h から歩行を始め、3 分毎に 0.5km/h ずつ速度を増加し、5.5km/h からは走行とした。6.5km/h での走行後、同速度で傾斜角を 2 % 上げて 3 分走行し、その後は、速度を固定して 3 分毎に 2 % ずつ傾斜角を上昇させた。RER が 1.0 に達したら、傾斜を固定し、トレッドミルの速度を 1 分毎に 1 km/h ずつ増加して疲労困憊までの走行を課した。最大酸素摂取量の出現判定は以下の 3 項目、1) 運動強度が増加しても酸素摂取量が高まらない (2 ml/kg/min 以下)、2) 予測最大心拍数 ($220 - \text{年齢}$) の 10 拍 / 分以内、3) 呼吸交換比が 1.05 以上のうち 2 項目が見られた場合 (山地、1992) に最大値が出現したと考えた。

D. 間接的カロリーメトリーと計算法

運動時の 1 分間の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) および二酸化炭素排出量 ($\dot{V}CO_2$) を呼吸代謝モニタシステム (エアロモニタ AE-280、ミナト医科学社製) を用いて 1 分間毎に測定した。ガス分析器は、各実験直前に化学的方法で予め分析された同じ濃度のガスをを用いて較正した。毎分当たり脂肪酸化量は、各被験者の $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}CO_2$ から、Frayn (1983) が示した計算式 (脂肪酸化量 = $1.67 \times \dot{V}O_2 - 1.67 \times \dot{V}CO_2$) により算出した。酸素摂取量と炭酸ガス排出量は、呼吸交換比が 1 以下の場合、各負荷とも 3 分の運動時間のラスト 2 分間を平均化して求めた。先行研究 (Achten et al. 2003) に従い、窒素酸化量については無視した。脂肪の酸化量は、 $\% \dot{V}O_{2\text{max}}$ として表した運動強度の関数として、最小二乗法を用いた多項式による

近似曲線を適用した。さらに、その近似曲線を基にして、 $35\%\dot{V}O_{2\max}$ から $5\%\dot{V}O_{2\max}$ ごとに脂肪酸化量をグラフより得た。この方法から導かれた最大値は、各被験者とも、わずかに過小評価される傾向となった。なお、最大脂肪酸化量は、得られた測定値の最大値 (g/min) とし、その値が引き出された運動強度 ($\%\dot{V}O_{2\max}$) を求めた (Venables et al.: 2005)。

E. 統計処理

結果はすべて平均値と標準誤差で示した。統計解析には SPSS2010 (バージョン 21) を用い、2変数間の相関性は、Pearson の積率相関係数 (r) を用いて検討した。統計的有意水準は $p<0.05\%$ とした。

3. 結果

表1に被験者の身体的特徴を示した。本研究の被験者は、運動クラブに所属している女子生徒であり、日本人の同年齢の標準値と比べ、身長は同様であるが、体重は約3kg少なく、最大酸素摂取量と体重当たり最大酸素摂取量は、その平均値を11~18%上回り、1000m タイムは約1分速かった (東京都立大学編:2000)。なお、このタ

イムは、在籍中学校での体力テストの測定値を使用した。図1に相対的運動強度に対する脂肪酸化量 (g/min) の変化を示した。運動強度の増加に伴い脂肪酸化量は $50\%\dot{V}O_{2\max}$ まで増加していき、その後、頭打ち状態になり、最大値 (0.24g/分) が出現した。 $60\%\dot{V}O_{2\max}$ 以上になると、強度に伴い減少した。 $70\%\dot{V}O_{2\max}$ 以上での脂肪酸化量は、 $35\%\dot{V}O_{2\max}$ の脂肪酸化量 (0.21 g/分) に比べ、10%以上低くなった。身体の脂肪量は各被験者で異なるので、その影響を除いた筋量当たりの脂肪代謝を見るため、除脂肪体重当たりの脂肪酸化量と $\%\dot{V}O_{2\max}$ の関連を図2に示した。図1の脂肪酸化量の結果とはほぼ同様になり、除脂肪体重あたりの最大脂肪酸化量は 7.34 mg/kgFFM/min を最大値として、 $50\%\dot{V}O_{2\max}$ で出現した。また、最大脂肪酸化量の個人の値は、0.13~0.48 g/分、除脂肪体重あたりでは、3.50~11.95 mg/kgFFM/min に分布した。

最大脂肪酸化量 (g/min、mg/kgFFM/min) と各測定項目の相関係数を表2に示した。最大脂肪酸化量 (g/分) と除脂肪体重当たりの最大脂肪酸化量 (mg/kgFFM/min) に相関が認められた項目は、体重当たり最大酸素摂取量のみであり、体脂肪率、脂肪量との間に有意な相関関係は見られなかった。

表1 被験者の身体的特徴

被験者	年齢 (yrs)	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪率 (%)	脂肪量 (kg)	除脂肪体重 (kg)	最大酸素 摂取量 (l/min)	体重当たり最大酸 素摂取量 (ml/kg/min)	除脂肪体重当たり 最大酸素摂取量 (ml/kgFFM/min)	1000m (min)
Ya	15	160.0	43.6	18.8	8.2	35.4	1.80	41.3	50.8	3.7
Ka	15	158.0	47.8	22.3	10.6	37.8	2.25	47.1	59.5	4.2
Ta	15	159.0	52.6	22.8	12.0	40.2	3.04	57.8	75.6	3.5
Mi	14	163.0	48.1	22.0	10.6	38.1	1.87	38.9	49.1	4.3
My	14	156.0	54.2	31.6	17.1	37.1	2.16	39.9	58.2	4.2
Ki	14	151.0	41.1	21.2	8.7	32.2	2.19	53.3	53.4	4.0
An	14	152.0	45.7	27.6	12.6	31.5	1.43	31.3	45.4	5.1
Ku	14	161.0	52.5	30.9	16.2	37.0	2.05	39.0	55.4	4.6
Mn	14	166.0	56.1	29.1	16.3	40.7	2.63	46.9	64.6	4.2
Sa	13	154.0	44.5	21.1	9.4	35.4	2.51	56.4	70.9	3.7
平均値	14.2	158.0	48.4	24.7	12.2	36.5	2.19	45.0	58.3	4.1
標準誤差	0.20	1.52	1.51	1.45	1.04	0.96	0.15	2.67	3.05	0.15

※1000m::運動能力テストの結果

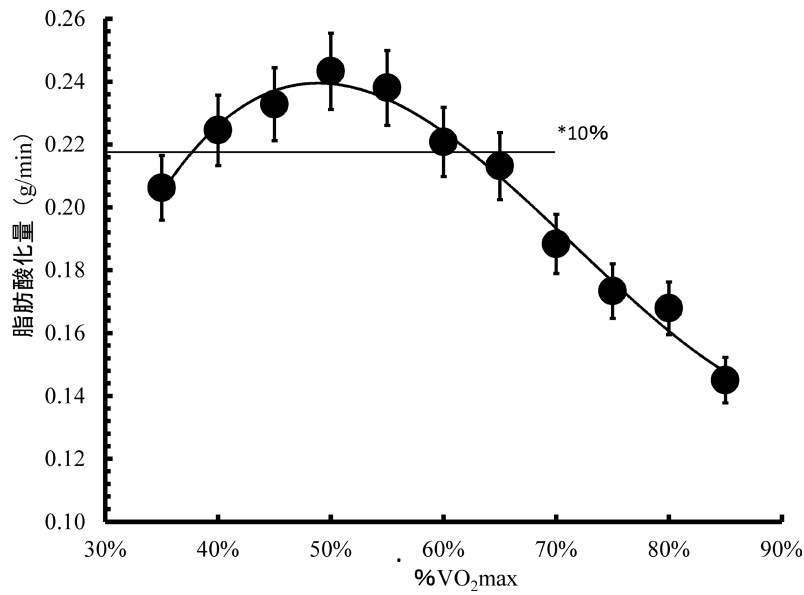


図1 脂肪酸化量 (g/分) と %VO₂max で表した運動強度の関係 (平均値±標準誤差)
* 10% ラインは Fat max zone を意味する

表2 最大脂肪酸化量および除脂肪体重当たり最大脂肪酸化量と各測定項目の相関係数 (r)

	体脂肪率 (%)	脂肪量 (kg)	除脂肪量 (kg)	最大酸素摂取量 (l/min)	体重当たり 最大酸素摂取量 (ml/kg/min)
最大脂肪酸化量 (g/min)	-.49 ns	-.37 ns	.34 ns	.59 ns	.79 **
除脂肪当たり最大 脂肪酸化量 (mg/kgFFM/min)	-.56 ns	-.49 ns	.14 ns	.45 ns	.81 **

** : p<0.01, ns:有意差なし

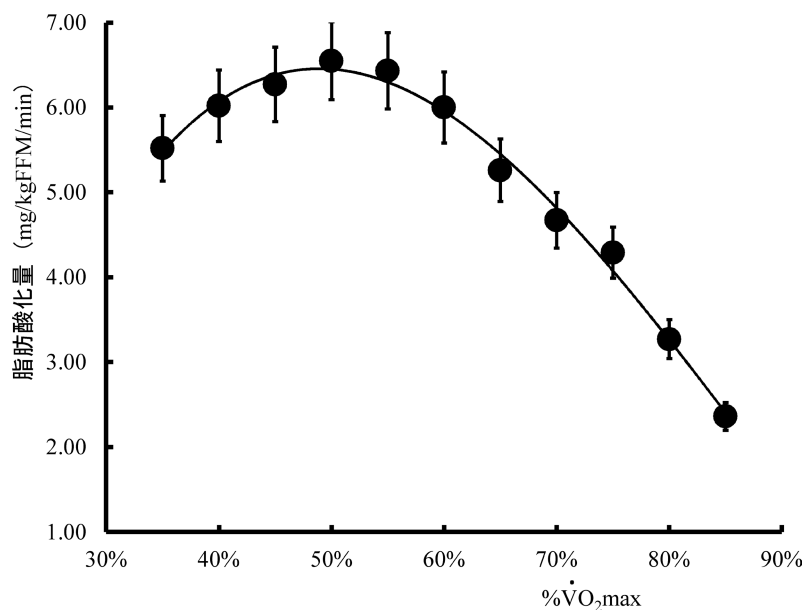


図2 除脂肪体重当たり脂肪酸化量 (mg/kgFFM/min) と %VO₂max で表した運動強度の関係 (平均値±標準誤差)

4. 考察

相対的運動強度に対する活動的な女子中学生の脂肪酸化量の動態は、日本人のデータとして、これまで明らかにされていないものである。脂肪の酸化は、炭水化物の摂取 (Hollowitz:1999) や食事後の運動開始時間により、20～30%も低下する (Montain:1991, 高橋ら:2010)。正確な脂肪酸化量を測定するには一晩の絶食後からの運動が勧められている。それ故、脂質代謝に関した研究は、実験条件の設定が煩わしく、さらに空腹状態での実験は、義務教育レベルでの実践は難しいのが実状である。本研究は、被験者とその両親、校長の積極的な後押しで実現出来たものである。

運動強度 (% $\dot{V}O_2\max$) に対する脂肪酸化量は、50% $\dot{V}O_2\max$ まで増加してから頭打ちになって最大値に達し、60% $\dot{V}O_2\max$ 以後、大きく減少する傾向を示した。この変動は、成人女性の持久的鍛錬者 (週6～8時間、ランニング、サイクリング、水泳などを実施) と非鍛錬者 (運動時間は、週当たり2時間以下) の相対的運動強度に対する脂肪酸化量を比較した Stisen (2006) らの研究結果と類似した。また、成人女性非鍛錬者の最大脂肪酸化量の 0.32g/分、鍛錬者の 0.40g/分に比べて、本研究の被験者の値は、約15～30%低いものであった。さらに、高橋らの (2009) 大学女子長距離選手の最大脂肪酸化量 (0.53g/min) に比較すると、約50%レベルであった。成人の非鍛錬者との差異は、形態 (身長と体重) の相違からくる同一相対強度での酸素摂取量の違いが大きく影響していると考えられる。また、鍛錬者や長距離選手とは、形態差に加え、持久的トレーニングの経験年数や筋肉での脂肪利用能力 (Horowitz ら, 1999) なども関連していると思われる。

一方、スケールを変えて除脂肪体重当たりの最大脂肪酸化量で上述の2論文 (Stisen ら 2006, 高橋ら 2009) の被験者と比較してみると、女子中学生の 7.34mg/kgFFM/min は、成人女性非鍛錬者の 7.14mg/kgFFM/min とほぼ同じサイズを示した。この値は、成人女性鍛錬者 (8.85mg/kgFFM/min) とは約17%小さく、大学女子長距離選手 (13.2mg/kgFFM/min) の場合とは45%の差異となったが、絶対値に比べると、その差が小さくなった。脂肪量を除いた筋量当たりの脂肪酸化量は、選手群を除けば、かなり近似した値になることが示唆された。

最大の脂肪酸化量を引き出す相対的運動強度は、女子中学生の場合、平均56% $\dot{V}O_2\max$ であった。20歳代の女性非鍛錬者と長距離選手の報告 (高橋ら, 2009) では、55～59% $\dot{V}O_2\max$ 、Stesin らはこの強度に女性鍛錬者と非鍛錬者に有意差はなく、53～56% $\dot{V}O_2\max$ 、付近である

ことを指摘している。これらの研究結果から見ると、活動的な女子の最大脂肪酸化量が、運動中に現われる相対強度は、年齢に関わらず、50～60% $\dot{V}O_2\max$ の範囲にあるのではないかと推察される。本研究の女子中学生で現われたピーク値もこの強度の範囲内であったことは、非常に興味深いものである。

Achten らは (2002)、最大脂肪酸化量から10%以内の脂肪酸化量の生じる強度を Fat Max Zone と名付けている。ゾーン内の強度であれば、運動中、脂肪の酸化が高い状況にあることを意味する。女子中学生の Fat max zone を図1から求めると、36～62% $\dot{V}O_2\max$ の範囲となる。アメリカスポーツ医学会 (ACSM:1998) の勧める脂肪の酸化強度は、最大心拍数の60%である。これを % $\dot{V}O_2\max$ に換算すると36% $\dot{V}O_2\max$ になり、女子中学生の Fat Max Zone は、この観点からも効果的強度になると示唆される。具体的には、気持ち良い速度のウォーキングからジョギングとなろう。

運動中の脂肪酸化量の大きさや最大脂肪酸化量が、どのような生理学的因子によって影響されているのかは興味のある点である。Venables (2005) らによれば、運動中の脂肪酸化量は、体脂肪量より日常の身体活動レベルや最大酸素摂取量と強くリンクしていると報告している。また、Bogdanis ら (2008) は、過体重状態の男女の最大脂肪酸化量は、性別、除脂肪体重、そして最大酸素摂取量の3要素で、最大脂肪酸化量の50%を説明できると述べている。加えて、除脂肪体重当たりで見た最大脂肪酸化量の唯一の重要な予測因子は、最大酸素摂取量のみであった結果も明らかにしている。これらの論文は、最大脂肪酸化量の大きさが、最大酸素摂取量と関連深いことを示唆している。本研究における女子中学生においては最大脂肪酸化量が、体脂肪量や体脂肪率と関係深いという関係は認められなかった。しかしながら、女子中学生の場合、最大脂肪酸化量 (g/min) と除脂肪体重当たり最大脂肪酸化量 (mg/kgFFM/min) は、体重当たり最大酸素摂取量との間にのみ、有意な相関を示した。体重当たり最大酸素摂取量が、脂肪酸化量に深く寄与していることは、Achten らの2003年の論文でも発表されている。その研究では、男性の鍛錬者を最大酸素摂取量で65ml/kg/min以上のグループとその値以下のグループに分けて同一相対強度で比較したところ、最大酸素摂取量の大きいグループの脂肪酸化量が、70% $\dot{V}O_2\max$ まで、0.1g/min も高いレベルにあることを明らかにしている。この成人男子に見られた結果は、体重当たり最大酸素摂取量が、脂肪酸化の最大値に関連しており、女子中学生の場合にも同様な影響を与えていることを推測させる。最大酸素摂取量の大きさが、酸素運搬系と酸素消費系の積で

あることを考慮すると、酸素消費系に含まれる筋の脂肪酸化能力の優劣も最大脂肪酸化量の大きさに一部、関与しているのかもしれない（山地：1992）。

結論

アクティブな女子中学生（平均 14 歳）の相対的運動強度（ $\dot{V}O_{2max}$ ）に対する脂肪酸化量の動態は、35～50% $\dot{V}O_{2max}$ まで増加し、60% $\dot{V}O_{2max}$ 以上の強度からその酸化量は減少する傾向が見られた。最大脂肪酸化量は、脂肪酸化量を g/min と mg/kgFFM/min で表した単位の場合とも、 $56.5 \pm 3.7\%$ $\dot{V}O_{2max}$ で出現した。その最大値は、絶対値で 0.27 ± 0.11 g/min、除脂肪体重当たりでは、 7.34 ± 2.70 mg/kgFFM/min であった。この最大脂肪酸化量は、体重当たり最大酸素摂取量の大きさと有意な相関関係にあることが示唆された。

謝辞

本研究の実施に当たり和歌山県海草郡紀美野町立野上中学校、山下育作校長に多大の助力を頂いた。記して感謝の意を表します。

参考文献

- Achten J, Gleeson M, Jeukendrup AE. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med Sci Sports Exerc.* 2002; 34: 92-97
- Achten J, Jeukendrup AE. Maximal fat oxidation during exercise in trained men. *Int J Sports Med* 2003; 24: 603-608
- Achten J, Venables MC, Jeukendrup AE. Fat oxidation rates are higher during running compared with cycling over a wide range of intensities. *Metabolism* 2003; 52: 747-752
- Achten J, Jeukendrup AE. Optimizing fat oxidation through exercise and diet. *Nutrition* 2004; 20(7): 716-727
- American college of Sports Medicine. Position stand on the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 1990; 22: 265-274
- Åstrand Per.-Olof. Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Ejnar Munksgaard, 1952.
- Bogdanis GC, A Vangelakoudi, M Maridaki. Peak fat oxidation rate during walking in sedentary overweight men and women. *J Sports Sci Med* 2008; 7: 525-531
- Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, Lowe RC, Walters TJ. Substrate usage during prolonged exercise following a preexercise meal. *J Appl Physiol* 1985; 59(2): 429-433
- Frayn KN. Calculations of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *J Appl physiol.* 1983; 55(2): 628-634
- Gollnick PD, Saltin B. Fuel for muscular exercise: Role of fat. In: Horton ES; Terjung RL, eds. *Exercise, nutrition and energy metabolism.* New York: Macmillan 1988; 72-87
- Horton TJ, Miller EK, Glueck D, Tench K. No effect of menstrual cycle phase on glucose kinetics and fuel oxidation during moderate-intensity exercise. *Am J physiol.* 2002; 282(4): E752-E762
- Horowitz JF, Mora-Rodriguez R, Byerley LO, Coyle EF. Substrate metabolism when subject are fed carbohydrate during exercise. *Ame. J. Physiol* 1999; 276(5): E828-E835
- 小林寛道. 日本人のエアロビックパワー、加齢による体力推移とトレーニングの影響. 杏林書院 1982 ; 260-261
- Keul J., Doll E. and Keppeler D. Energy metabolism of human muscle *Medicine and Sport* 1972; 7: 136-169
- Lazzer S, Lafortuna C, Busti C, Galli R, Tinozzi T, Agosti F, Sartorio A. Fat oxidation rate during and after a low-or high-intensity exercise in severely obese Caucasian adolescents. *Eur J Appl physiol.* 2010; 108(2): 383-391
- Montain SJ, Hopper MK, Coggan AR, and Coyle EF. Exercise metabolism different time intervals after a meal. *J Appl Physiol* 1991; 70(2): 882-888
- Riddell MC, Jamnik VK, Iscoe KE, Timmons BW, Gledhill N. Fat oxidation rate and the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation decreases with pubertal status in young male subjects. *J Appl Physiol* 2008; 105(2): 742-748
- Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E, Wolfe RR. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol* 1993; 265(3): E380-E391
- Stisen AB, Stougaard O, Langfort J, Helge JW, Sahlin K, Madsen K. Maximal fat oxidation rates in endurance trained and untrained women. *Eur J Appl Physiol* 2006; 98(5): 497-506
- 高橋篤志, 中嶋南紀, 豊岡示朗. 女性の持久性鍛錬者と非鍛錬者における運動中の最大脂肪酸化量. 大阪総合保育大学紀要 2009 ; (4) : 121-128
- 高橋篤志, 中嶋南紀, 山崎大樹, 豊岡示朗. 漸増負荷運動での最大脂肪酸化量に対する Fasting と Feeding の影響. 大阪総合保育大学紀要 2010 ; (5) : 95-104
- 高橋篤志, 山崎大樹, 豊岡示朗. 運動習慣のある女性の運動中の脂肪酸化量, 20 歳代と 60 歳代の比較. 大阪総合保育大学紀要 2012 ; (6) : A137-A148
- Tan S, Wang J, Cao L. Exercise training at the intensity of maximal fat oxidation in obese boys. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 2016; 41(1): 49-54
- 東京都立大学編, 新・日本人の体力標準値, 不昧堂出版 2000
- 豊岡示朗, 吉川潔, 足立哲司. 朝と夕方のジョギングにおける血中基質の動態と代謝特性. *体力科学* 1995 ; 44(4) : 419-430
- 豊岡示朗, 荒松馨, 松生香里. 運動強度と運動時間から見た脂質代謝特性. 大阪体育大学紀要 2004 ; 35 : 39-50
- Timmons BW, Oded Bar-Or et al. Energy substrate utilization during prolonged exercise with and without carbohydrate intake in preadolescent and adolescent girls. *J Appl Physiol*

2007; 103: 995-1000
Venables MC, Acthen J, Jeukendrup AE. Determinants of fat
oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-

sectional study. J Appl Physiol 2005; 98: 160-167
山地啓司. 最大酸素摂取量の科学. 第2章, 第18章 杏林書院
東京 1992.

Maximal Fat Oxidation Rate During Exercise in Active Female Junior High School Students

Atsushi Takahashi*, Akiko Ikeshima**, Sayaka Tomokane**, Jiro Toyooka**

**Osaka University of Comprehensive Children Education*

***Osaka University of Health and Sports Sciences*

The purpose of this study is to clarify the rate of fat oxidation during exercise in female junior high school students who are on school athletic teams and the relative exercise intensity that elicits the rate of fat oxidation. Ten healthy female junior high school students (age: 14.2 ± 0.6 yrs, % of body fat: $24.7 \pm 4.6\%$) participated in the study. Fat oxidation was calculated from expired air analysis using an indirect calorimetry while the students were exercising on treadmills, increasing the intensity every three minutes. The rate of fat oxidation to relative exercise intensity showed a tendency of reaching a plateau after the intensity is increased to 35 to 50% of $\dot{V}O_{2max}$, and then rapidly decreased after the intensity is increased to 60% of $\dot{V}O_{2max}$ or more. Maximal fat oxidation rate in terms of absolute value was 0.27 ± 0.11 g/min and 7.34 ± 2.70 mg/kgFFM/min per kg of lean body mass. Maximal fat oxidation rate was observed at $56.5 \pm 3.7\%$ of $\dot{V}O_{2max}$ both items. The item highly correlating with the rate of maximal fat oxidation (g/min and mg/kgFFM/min) was the maximal oxygen intake per kg of body weight only ($r=0.79$ and $r=0.81$, $p<0.01$). Maximal fat oxidation rate (g/min) of female junior high school students is lower than that of female adults; however, it is suggested that the relative exercise intensity that elicits the rate of fat oxidation is comparable to that of female adults.

Key words : female junior high school student, maximal fat oxidation, $\% \dot{V}O_{2max}$, $\dot{V}O_{2max}/kg$