

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25282215

研究課題名(和文) 24時間の脂肪酸化に及ぼす運動の影響：運動後の代謝亢進を考慮した間接熱量測定

研究課題名(英文) Effect of exercise performed at different time of day on 24 h fat oxidation.

## 研究代表者

徳山 薫平 (TOKUYAMA, Kumpei)

筑波大学・体育系・教授

研究者番号：00207565

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：社会生活基本調査では、有業者が平日にスポーツを行う時間帯のピークは午後8時頃となっているが、朝食前に運動している者もいる。本研究は「いつ運動すると効果的か」について、ヒューマン・カロリメータを用いた間接熱量測定で検討した。運動を朝食前、朝食後、昼食後、夕食後に行う、あるいは運動しない試行間で24時間の脂肪酸化量を比較した。早朝空腹時に行った運動は他の時間帯に行った運動に比べて24時間の脂肪酸化量が多く、運動を行わなかった試行に比べて24時間の脂肪酸化を増大させたのも朝食前に運動を行った試行のみであった。運動後のグリコーゲン枯渇が転写因子の細胞内分布を変えることがその機序として示唆された。

研究成果の概要(英文)：The present study compared the effect of exercise performed at various time of the day, including before breakfast, after breakfast, after lunch or after dinner, measuring 24 h fat oxidation by whole room metabolic chamber. A bout of endurance exercise at moderate intensity increases 24 h fat oxidation in male and female subjects, only when performed before breakfast. Time course of relative energy (carbohydrate) balances, calculated from time course of energy expenditure (carbohydrate oxidation) and time of meals, revealed a transient energy (carbohydrate) decrease after morning exercise. The magnitude of transient decrease in body energy (carbohydrate) content was correlated to 24 h fat oxidation. The present results are consistent with the notion that tissue glycogen functions not only as carbohydrate reserve but also as molecular sensor capable of activating signaling pathways in response to exercise responsible for an increase in fat oxidation.

研究分野：運動栄養学

キーワード：ヒューマンカロリメータ

### 1. 研究開始当初の背景

平成 18 年の総務省統計局の社会生活基本調査によると、15 歳以上の有業者が平日にスポーツを行う時間帯のピークは午後 8 時頃となっている。この傾向は都市部におけるスポーツ・ジムやランナーズ・ステーション等の夜間営業の充実に伴って今後も加速する可能性がある。一方、朝食前に運動していると思われる集団も存在している。「いつ運動すると効果的なのか」という問いはわが国の現状に照らして意義のある検討課題である。

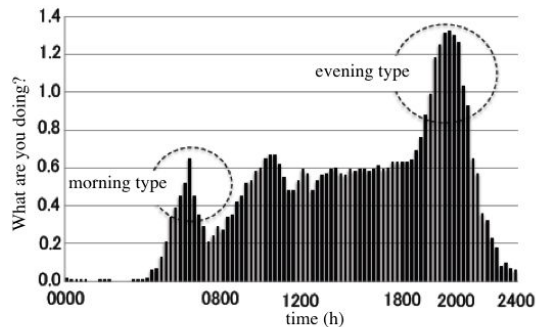


図1 有職者が週日に運動する時間帯(社会生活基本調査より作成)

運動後には運動後余剰酸素消費としてエネルギー消費の増大が続き、特に脂肪酸化が亢進する。この脂肪酸化の亢進は翌朝まで続くこともあるので、運動の体脂肪減少効果を検討するためには、運動後の回復期も含めた丸一日の脂肪酸酸化量を測定する必要がある。低強度運動は運動中の脂肪の酸化が多いので体脂肪減少に効果的だと考えられているが、長時間の間接熱量測定では1日の脂肪酸酸化量に運動強度の違いの影響が検出されず、「脂肪の酸化を促すには低強度運動にこだわる必要はない」と提言されている。また、運動で消費するエネルギーを食事で補い、エネルギー・バランスが釣り合っている条件下では「運動が1日の脂肪の酸化量を増大させることはない」とも報告されている(J Appl Physiol 92:1045,2002)。

運動は1日の脂肪酸酸化量を増やさないという先行研究が多いが、運動の実施時間帯の違いについては検討されていない。運動を行う時間帯についてはこれまで注目されてこなかったが、申請者らは1日の脂肪の酸化量が朝食前に運動することで朝食後に運動する場合よりも多いことを見出し、運動の実施時間帯が1日の脂肪の酸化量に影響することを示した最初の研究として Metabolism 誌に投稿している(主な発表論文3)。

時間生物学の観点から栄養学をとらえ、「いつ、何を、どのように食べるのがよいか」を考える時間栄養学という領域が注目を集めている。同様に、「いつ運動するのか」によって運動が代謝内分泌機能に及ぼす影響も異なると考えられる。運動時の脂肪酸化は早朝空腹時において多いが、これが1日の脂肪酸酸化量に反映し、早朝空腹時の運動が体脂肪減少に有効か否かについて、運動後の脂肪酸化を長時間(24時間)の連続測定で安静日

と比較した研究はない。

女性は男性に比べて運動中に多くの脂肪を酸化するが、運動トレーニングによる体脂肪の減少効果は小さいという矛盾が知られている(J Appl Physiol 68:302,1990)。これは運動後の脂肪の酸化亢進が女性は男性に比べて小さいということで説明することが可能であるが、運動後の男女の脂肪酸化を長時間に亘る連続測定により比較した定量的な研究はない。

### 2. 研究の目的

運動を行う時間帯の違いが24時間の脂肪酸化に及ぼす影響について、以下の2つの仮説を検証した。

(1) 運動を行う時間帯の違いが1日の脂肪酸酸化量を決める重要な要因であり、安静日も含めて1日の脂肪酸酸化量を比べると、朝食前運動 > 朝食後運動 = 安静日 > 夕食後運動という順となる。朝食前の運動のみが1日の脂肪酸酸化量を増大させ、夕食後は体脂肪減少のために運動する時間帯としては相応しくない。

(2) 女性は男性に比べて運動後の脂肪酸化が少ない。そのために、朝食前に運動を実施しても体脂肪減少効果が小さい(1日の脂肪酸酸化量の増大が小さい)。

### 3. 研究の方法

朝食前、朝食後、昼食後あるいは夕食後に運動した場合と、運動しなかった場合の24時間のエネルギー代謝をヒューマン・カロリメータによる連続測定から男性被験者で比較した。また同様の検証を女性被験者についても行った。被験者には規定食を提供し、ヒューマン・カロリメータでのエネルギー代謝測定中のエネルギー摂取とエネルギー消費が釣り合った条件で上記の検討を進めた。



写真1 ヒューマンカロリメータ  
密閉室で間接熱量測定中(左)、食事は二重扉を介して供給する

実験1：男性被験者12名が最大酸素摂取量の50%強度で1時間の運動を朝食前か朝食後に行った(主な発表論文3)。

実験2：男性被験者9名が最大酸素摂取量の65%強度で100分間の運動を朝食前、昼食後、あるいは朝食前と昼食後に分割して行った(主な発表論文2)。

実験3：男性被験者10名が最大酸素摂取量の50%強度の運動を1時間、朝食前、昼食後あるいは夕食後に行い、運動をしない非運動試行も併せておこなった(主な発表論文1)。

実験4：女性被験者10名が最大酸素摂取量

の 50%強度の運動を朝食前か昼食後にいき、運動をしない非運動試行も併せておこなった(未発表データ)。

#### 4. 研究成果

運動条件を変えて行った 4 実験のいずれにおいても、早朝空腹時に行った運動は他の時間帯に行った運動に比べて 24 時間の脂肪酸酸化量が多く、運動を行わなかった試行に比べて 24 時間の脂肪酸酸化を増大させたのも朝食前に運動を行った試行のみであった。

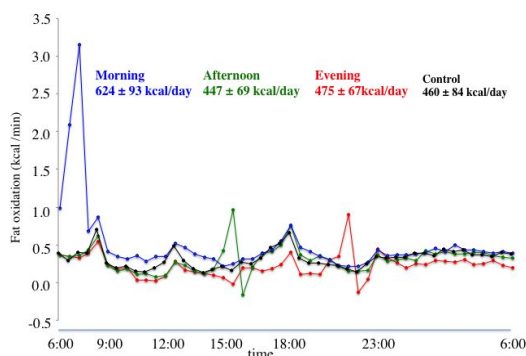


図2 朝食前、昼食後及び夕食後の運動と、非運動条件下での脂肪酸化の経時変化

エネルギー消費や炭水化物酸化の経時変化と食事の摂取時刻からエネルギーや炭水化物の体内貯蔵量の経時変化を解析すると、朝食前に運動を行うことで貯蔵エネルギーや貯蔵炭水化物(グリコーゲン量)が著しく減少することが明らかになった。この貯蔵エネルギー( $r=-0.72$ )や貯蔵炭水化物( $r=-0.51$ )の減少の程度は24時間の脂肪酸化と負の相関があり、体内グリコーゲンの枯渇が24時間の脂肪酸化量増大の機序の一部であることが示唆された。その機序としては、エネルギー(グリコーゲン)貯蔵量の少ない時間帯での運動がさらにグリコーゲンを減少させることで、グリコーゲンに親和性のある転写因子の細胞内分布が変わることによって脂肪の酸化に参与する遺伝子の発現が上昇すること可能性が考えられる(Am J Physiol 302:E1343, 2012)。

女性は男性に比べて運動時の脂肪酸酸化が多く、運動後の脂肪酸酸化は少ないという特徴があると報告されているが(J Physiol 584:963-981, 2007)、24時間の脂肪酸酸化を増大させるには早朝空腹時の運動が効果的であるという点では一致している(小川、岩山、緒形、麻見ら未発表データ)。

これまで運動が代謝内分泌機能に及ぼす影響についての運動生理学実験は食事摂取の影響を除外することを意図して早朝空腹時に行われることが多かった。一方、多くの人々は夕方に運動しており、実験室で実証された運動の脂肪燃焼効果を楽しんでいない可能性が大きい。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計3件)

K.Iwayama, R.Kawabuchi, I.Park, R.Kurihara, M.Kobayashi, M.Hibi, S.Oishi, K.Yasunaga, H.Ogata, Y.Nabekura, K.Tokuyama. Transient energy deficit induced by exercise increases 24-h fat oxidation in young trained men. J Appl Physiol. 査読有 118: 80-85, 2015. DOI: 10.1152/jappphysiol.00697.2014

K.Iwayama, R.Kurihara, Y.Nabekura, R.Kawabuchi, I.Park, M.Kobayashi, H.Ogata, M.Kayaba, M.Satoh, K.Tokuyama. Exercise increases 24-h fat oxidation only when it is performed before breakfast. EBioMedicine 査読有 2:2003-2009, 2015. DOI:10.1016/j.ebiom.2015.10.029

K.Shimada, Y.Yamamoto, K.Iwayama, K.Nakamura, S.Yamaguchi, M.Hibi, Y.Nabekura, K.Tokuyama. Effect of exercise performed before or after breakfast on 24h fat oxidation. Metabolism. 査読有 62:793-800, 2013. DOI: 10.1016/j.metabol.2012.12.008

[学会発表](計5件)

Tokuyama K. Does breakfast matter? "Ergonic Aids and Nutritional Supplements for Health and Sports" Jan 20-23, 2016 (Khon Kaen, Thailand)

K.Iwayama, Y.Nabekura, R.Kurihara, R.Kawabuchi, I.Park, H.Ogata, A.Ogawa, A.Ando, M.Kayaba, K.Tokuyama. Exercise acts as fat burning pills if it is taken before breakfast. Cell Symposia "Exercise Metabolism" July 12-14, 2015 (Amsterdam, The Netherlands)

K.Iwayama, P.Insong, R.Kawabuchi, R.Kurihara, M.Kobayashi, H.Masanobu, S.Yamaguchi, Y.Nabekura, H.Ogata, N.Omi, K.Tokuyama. Timing of exercise relative to meal ingestion affects 24 hours fat oxidation. "Obesity Week 2013". November 13-16, 2013 (Atlanta, USA)

K.Tokuyama, K.Iwayama, R.Kurihara, R.Kawabuchi, I.Park, H.Ogata, N.Kurosawa, M.Kobayashi, K.Nakamura, Y.Nabekura. Effects of exercise on 24-h fat oxidation depend on when it is performed. "5th International Sports Science Congress in Memory of the 1988 Seoul Olympic Games" August. 22-23, 2013 (Suwon, Korea)

R.Kurihara, K.Iwayama, H.Ogata, I.Park, R.Kawabuchi, Y.Nabekura, M.Kobayashi, S.Yamaguchi, M.Hibi, K.Tokuyama. Effects of exercise on 24-h fat oxidation depend on when it is performed. "19th annual congress of the European college of sport science" June. 26-29, 2013 (Barcelona, Spain)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

徳山 薫平 (TOKUYAMA, Kumpei)  
筑波大学・体育系・教授  
研究者番号：00207565

### (2) 研究分担者

麻見 直美 (OMI, Naomi)  
筑波大学・体育系・准教授  
研究者番号：10300005

緒形 ひとみ (OGATA, Hitomi)  
筑波大学・体育系・特別研究員 (RPD)  
研究者番号：80455930

鍋倉 賢治 (NABEKURA Yoshiharu)  
筑波大学・体育系・教授  
研究者番号：60237584

佐藤 誠 (SATOHI Makoto)  
筑波大学・国際統合睡眠医科学研究機構・  
教授  
研究者番号：50242409