

ルーム・カロリメータによる 一流自転車短距離競技選手の24時間のエネルギー消費量測定

Measurement of the 24 hour energy expenditure of an elite sprint cyclist using whole-body indirect calorimetry

吉武 裕¹⁾, 萩 裕美子¹⁾, 徳山 薫平⁵⁾

斎藤 和人²⁾, 黒川 剛³⁾, 長島未央子¹⁾

山本 正嘉⁴⁾

¹⁾ 鹿屋体育大体育学部スポーツライフスタイル・マネジメント系

²⁾ 鹿屋体育大学保健管理センター, ³⁾ 鹿屋体育大学学生サービス課スポーツ係

⁴⁾ 鹿屋体育大学スポーツトレーニング教育研究センター

⁵⁾ 筑波大学大学院体育人間総合科学研究科

Yutaka Yoshitake¹, Yumiko Hagi¹, Kunpei Tokuyama²,

Kazuto Saito¹, Takeshi Kurokawa¹, Mioko Nagashima¹

and Masayoshi Yamamoto¹

¹National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

²Doctoral program in Physical Education, Health and Sport Sciences University of Tsukuba

Abstract

The purpose of this study was to examine the 24 hour energy expenditure of a male elite-sprint cyclist. The twenty four hour energy expenditure and substrate oxidation were continuously measured using whole-body indirect calorimetry on a training day (a normal training day for the subject cyclist). The total of energy expenditure was calculated to be 3193 kcal (a normal expenditure for such athletes). During the night following the cycling, a gradual decrease in the respiratory quotient was observed. This finding suggests that the rate of fat oxidation therefore increased during the period of sleep after a day of normal training day.

I. 研究目的

スポーツ選手のエネルギー消費量測定は競技力を高めるためのコンディショニングの一つとして重要である^{2,6,8)}。わが国では、スポーツ選手や一般人の身体活動のエネルギー消費量測定法として行動記録法や心拍数法などの推定法が用いられている⁸⁾。しかし、これらの推定法は誤差が大きいことが報告されている。そこで最近、フィールドにおけるエネルギー消費量測定法のゴールドスタンダードである二重標識水法が、スポーツ選手のエネルギー消費量測定法として用いられるようになってきた^{6,8)}。我が

国においても、斎藤らによりスポーツ選手のエネルギー消費量測定に用いられるようになってきた⁶⁾。しかし、二重標識水法は1日の総エネルギー消費量測定ができて、動作毎のエネルギー消費量を測定出来ない^{6,8)}。

一方、ヒトのエネルギー消費量測定法のゴールドスタンダードとしてルーム・カロリメータがある⁷⁾。これはヒトのエネルギー消費量や酸化基質量を動作毎に、しかも経時的に連続測定することが可能である。しかし、この方法によるエネルギー消費量測定は一般人を対象としたものがほとんどであ

る。特に、わが国ではルーム・カロリーメータを用いたエネルギー代謝研究は、平成12年に初めて国立健康・栄養研究所（現独立行政法人国立健康・栄養研究所）に設置されるまで皆無であった⁹⁾。その後、企業の研究所や大学（筑波大学、仙台大学）に設置され、エネルギー代謝研究に用いられている。しかし我が国では、ルーム・カロリーメータを用いたスポーツ選手の運動時のエネルギー消費量や酸化基質質量測定についての研究は実施されていない。

そこで本研究では、症例研究として自転車競技のトップ選手の練習を含めた運動時、安静時、睡眠時の24時間のエネルギー消費量や酸化基質の経時変化について検討した。

II. 方法

対象者は自転車短距離競技選手1名（年齢:21歳、身長:181cm、体重:70kg）である。ルーム・カロリーメータ（図1, 2）は筑波大学に設置されている装置を使用した。被験者は、昼にルーム・カロリーメータに入室し、翌日の昼前に退室した。ルーム・カロリーメータ内滞在中に運動時、安静時及び睡眠時のエネルギー消費量、酸化基質量、心拍数を連続的に同時に測定した。通常のトレーニング時のエネルギー消費量を測定するために、ルーム・カロリーメータ内に自転車エルゴメータを運び込み、自転車エルゴメータによる運動を実施した。

ルーム・カロリーメータ内でのトレーニングは、入室日の昼と翌日の朝に実施した。昼の練習は

ウォーミングアップと本トレーニングである。ウォーミングアップでは、負荷は1～1.5kpの間で、回転数は60回転から徐々に上げ、そして終盤には160～170回転まで回転数を上げた。またトレーニングは、4.4kp負荷で10秒間の全力ペダリングを4セットと、同じ負荷で30秒間の全力ペダリングを行った。翌朝は、90分間のトレーニングを行った。最初は1～1.5kpの軽い負荷から開始し、その後回転数を徐々に上げた。なお、本トレーニングは普段選手が行う競技場での同様なトレーニング及び朝練習である。

運動後にシャワーを利用するためにルーム・カロリーメータを退室した以外は、ルーム・カロリーメータ内に滞在した。食事もルーム・カロリーメータ内において摂った。

なお、本研究は実験に先立ち被験者に測定の内容について十分な説明し、承諾を得た後に実施した。また、研究内容については鹿屋体育大学倫理委員会と筑波大学倫理委員会の承認を得た。

III. 結果

今回、自転車競技のような激しい運動のエネルギー消費量もルーム・カロリーメータを用いて測定できた（図1, 2）。図3は、安静時及び運動時の酸素摂取量と二酸化炭素排出量の経時変化を示したものである。自転車競技選手（短距離）の通常のトレーニングにおけるエネルギー消費量は3193kcalであった。睡眠中の呼吸商の低下が認められ、激しい運動



図1 ルーム・カロリーメータの外観（筑波大学）



図2 ルーム・カロリーメータ内でのトレーニング風景（被験者は前田）

O₂ consumption CO₂ production

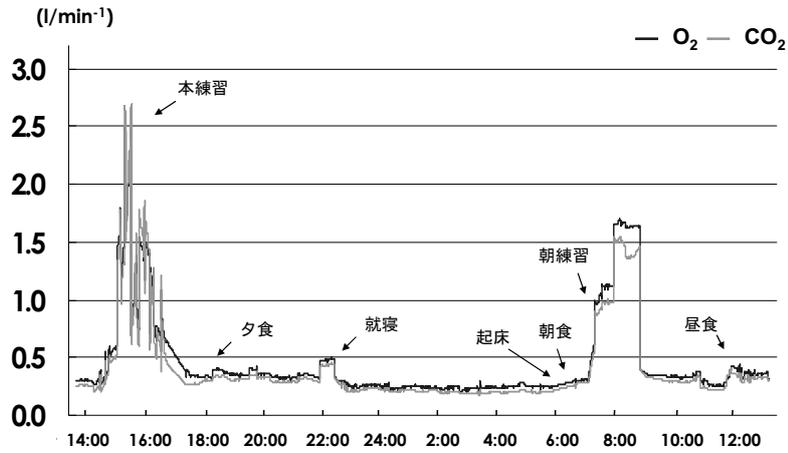
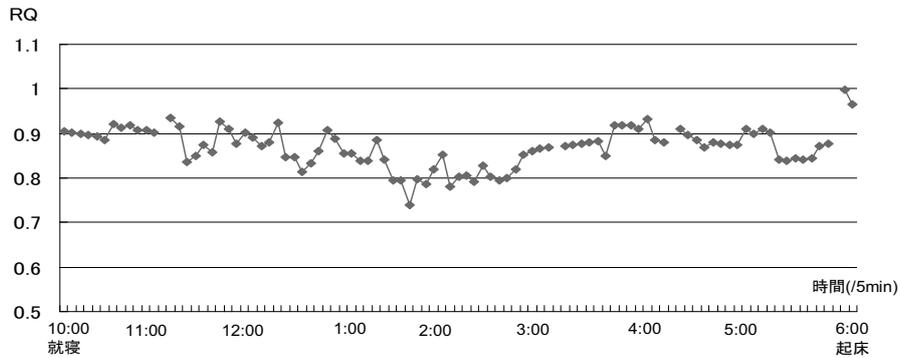


図3 酸素摂取量と二酸化炭素排泄量の経時変化



睡眠中の呼吸商の経時変化

図4 睡眠時の呼吸商 (RQ) の変化

後の睡眠時にはエネルギー基質として脂質の増大が認められた (図4)。

IV. 考察

これまで、わが国におけるスポーツ選手のエネルギー消費量測定は行動記録法や心拍数数法などの推定法によるものであった⁸⁾。しかし、わが国においても、斎藤らにより二重標識水法が導入され、シンクロナイズドスイミング選手やサッカー選手の1日の総エネルギー消費量測定が実施された⁶⁾。しかし、その他のスポーツ競技選手のエネルギー消費量は測定されておらず、種目毎のエネルギー消費量について十分に把握されていないのが現状である。

二重標識水法は動作毎のエネルギー消費量を測定出来ない欠点がある^{6,8)}。そこで本研究では、自転

車短距離球技選手の1日の総エネルギー消費量と酸化基質量の経時変化をルーム・カロリーメータを用いて測定した。ルーム・カロリーメータはヒトのエネルギー消費量測定法のゴールドスタンダードとして、ヒトの代謝研究に用いられている⁷⁾。

本研究においては、国内トップの男子自転車短距離競技選手1名を対象にルーム・カロリーメータを用い、通常練習時のエネルギー消費量を測定した。1日の総エネルギー消費量は約3193kcalであった。スポーツ選手の練習時のエネルギー消費量についての正確なデータは乏しく、またエネルギー消費量は競技種目により異なる^{6,10)}。自転車競技においては、ツールドフランスの自転車レースにおけるエネルギー消費量がもっとも高く8000kcalを超えることもある⁸⁾。本研究の自転車短距離競技選手のエネル

ギー消費量は、男子のスポーツ競技の中では持久性種目に近い水準であった¹⁰⁾。

本研究において、運動実施費の睡眠中の呼吸商は低下傾向にあった。これまで、長時間運動後、睡眠時のRQは低下し、エネルギー基質として脂質の酸化が増大することが報告されている^{1,3,5)}。これは、運動により減少した骨格筋中のグリコーゲンの再補充を促すために、食事の炭水化物がグリコーゲン合成に多く利用され、それを補うためにエネルギー基質として脂質の酸化が増大したものと考えられている⁵⁾。このことから、本研究においても睡眠中のRQの低下は食事の炭水化物が骨格筋のグリコーゲン合成に優先的に利用され、その結果脂質の酸化が増大したことによるものと推察される。本研究の睡眠時におけるRQ低下の度合いは、これまでの報告^{1,3)}と比べて少なかった。これは、これまでの研究^{1,3)}と比べて運動によるエネルギー消費量が低く、運動による骨格筋中グリコーゲン量の減少が少なかったことによるものと考えられる。

これまで、運動後における日常生活活動時や睡眠時のエネルギー消費量やエネルギー基質利用について多くの研究がなされているが、身体活動が1日の総エネルギー消費量やエネルギー基質利用に及ぼす影響については明らかにされていない⁴⁾。このことから、今後スポーツ選手だけでなく、一般人の身体活動状態と1日の総エネルギー消費量やエネルギー基質利用との関係についての研究が必要と思われる。

今後、スポーツ選手の栄養管理だけでなく、二重標識水法やルーム・カロリーメータを用いたエネルギー消費量の測定は、競技力の向上はもちろんのこと、健康管理の面からも必要であると思われる。

V. 引用文献

1. Bielinski R, Schutz Y and Jequier E. Energy metabolism during the postexercise recovery in man. *Am J Clin Nutr*, 42: 69–82, 1985.
2. Fudge BW, Weterterp KR, Kiplamai FK, Onywera VO, Boit MK, Kayser B and Pitsilandis YP: Evidence of negative energy balance using doubly labeled water in elite Kenyan endurance runners prior to competition. *Brit J Nutr*, 95:59–66, 2006.
3. Horton TJ, Drougas HJ, Sharp TA, Martinez LR, Reed GW and Hill JO. Energy balance in endurance-trained female cyclists and untrained controls. *J Appl Physiol*, 76(5):1937–1945, 1994.
4. Kuo CC, Fattor JA, Henderson GC, Brooks GA: Lipid oxidation in fit young adults during postexercise recovery. *J Appl Physiol*, 99, 349–356, 2005.
5. Sonko BJ, Murgatroyd PR, Goldberg GR, Coeard WA, Ceesay AM and Prentice AM. Non-invasive techniques for assessing carbohydrate flux: II. Measurement of deposition using ¹³C-glucose. *Acta Physiol Scand*, 147: 99–108, 1993.
6. 齋藤慎一, 海老根直之, 島田美恵子, 吉武 裕, 田中宏暁: 二重標識水法によるエネルギー消費量測定の原理とその応用: 生活習慣病対策からトップアスリート選手の栄養処方まで. *栄養学雑誌*, 57(6): 317–332, 1999.
7. 吉武 裕, 島田美恵子, 海老根直之, 齋藤真一, 田中宏暁: ヒューマンカロリーメータ. *栄養学雑誌*, 58, 185–194, 2000.
8. 吉武 裕: 身体活動量評価のゴールドデンスタンダード—二重標識水法から歩数計まで—. *運動疫学研究*, 3, 18–28, 2001.
9. Yoshitake Y, Oka J, Hirota K, Tsuboyama-Kasaoka N, Takimoto H, Ishikawa K, Ikemoto S, Sugiyama M, Matsumura Y, Nishimuta M, Higuchi M, Sawa H: Respiratory chamber in Japan. *Calorimetry 2000-symposium on Energy Regulation Research, Maastricht, The Netherland*. 2000. 11.
10. 吉武 裕: スポーツ栄養学 (樋口 満編著). 第2章 トレーニングとエネルギー消費量, 市村出版, 11–22, 2001.