

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700694

研究課題名(和文) 睡眠時エネルギー代謝に影響を及ぼす生活習慣の時系列解析を用いた検討

研究課題名(英文) Analysis of energy metabolism during sleep of human using time-series analysis

研究代表者

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：睡眠時エネルギー代謝に影響を及ぼす生活習慣の一つとして、2種類の夕食(【高炭水化物食(HCD:PFC=10:10:80)】または【高脂肪食(HFD:PFC=10:78:12)】)を被験者に摂取させ、睡眠時代謝および睡眠深度に及ぼす影響を検討した。その結果、一晩の睡眠構造に試行間で差はなかったものの、HCDの深睡眠が第一周期で有意に減少した。夕食の栄養素組成が特に第一周期の睡眠構造に影響を及ぼす可能性が示唆された。

食事誘発性熱産生(TEF)を運動後過剰酸素消費量の概念を組み込んだ算出方法を検討し従来の方法と比較検討した結果、簡易的にTEFの大きさを推定する方法として有効である可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：To investigate the effects on sleep architecture and energy metabolism during sleep, we made the differences between high carbohydrate and high fat meal for dinner. In each session, subjects consumed high carbohydrate (HCD: PFC =10:10:80) or high fat (HFD: PFC = 10:78:12) meal at 2000h. Slow wave sleep was decreased during the first sleep cycle although sleep architecture overnight did not change. Present study suggested the possibility that substrate availability during sleep affects substrate oxidation during sleep, and affects sleep architecture during the first sleep cycle.

We applied our original method that calculated thermic effect of food, considering the prolonged increase in energy expenditure after physical activity. As a results, our original method was rated the best based on two criterions: which returns positive estimates in all the measurements, and returns estimates close to gold standard method, in addition that ability to evaluation of time course of TEF.

研究分野：運動栄養学

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学/スポーツ科学

キーワード：栄養素組成 時系列解析 食事誘発性熱産生

1. 研究開始当初の背景

(1) 我々のこれまでの研究により、エネルギー消費量だけでなく呼吸商や炭水化物酸化量などの酸化基質も睡眠深度によって異なる、つまり睡眠時のエネルギー代謝と酸化基質は睡眠ステージと関連があることを明らかにしてきた。睡眠段階がエネルギー代謝の増減を決定している可能性も否定できないが、逆にエネルギー代謝が睡眠に影響を与えている可能性も考えられる。また日中の身体活動により、夜間の酸化基質が変化することは明らかになっているが、身体活動の実施がその後の睡眠構造に及ぼす影響については、今のところ一致した結果が得られていない。さらに、食組成の違いや欠食が、睡眠深度や1日の総エネルギー消費量、酸化基質の変化に及ぼす影響についても明らかにはなっていない。

(2) ヒトの1日のエネルギー消費量は「基礎代謝量 (basic metabolic rate; BMR)」「運動誘発性熱産生」「食事誘発性熱産生 (Thermic effect of food; TEF)」の3つの構成要素から成り立っており、TEFには、午後や夜間の大きさより午前大きさが有意に高値を示すという日内変動があることが分かっているが、この結果は通常の日常生活とは大きく異なる条件で測定されたものであり、TEFの日内変動の評価としては適切でない可能性が高い。TEFの大きさを求める方法としては、絶食と食べた時のエネルギー消費量を比較する Tataranni の方法とエネルギー消費量と活動量の相関から、活動量が0のときのエネルギー消費量 (EE0) を求め、BMR もしくは睡眠時代謝量 (sleeping metabolic rate; SMR) を減算することにより TEF の大きさを求める Schutz の方法がある。しかし、Tataranni の方法で TEF を求めるためには、24時間の絶食試行が必要であり、また比較的簡易に TEF を求めることのできる Schutz の方法では、理論的に考えるとマイナスになることのない TEF にマイナスの結果が得られるため、方法論として問題があることが指摘されている。

2. 研究の目的

(1) 睡眠時エネルギー代謝に影響を及ぼす生活習慣の一つとして、食事に着目することにした。摂取エネルギー量は等しいが、極端に栄養素組成の異なる2種類の夕食が、その後の睡眠時における代謝パラメータおよび睡眠深度に及ぼす影響を検討することを目的とし、睡眠時脳波とエネルギー代謝の同時測定を行った。

(2) 従来の製品よりも細かい体動を測定することが可能な加速度計を用いて、TEFの計算にこれまでは考慮されてこなかった EPOC (運動後過剰酸素消費量: excess post-exercise oxygen consumption) の概念

を組み込んだ TEF の算出方法を検討し、従来の方法と比較することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 健常若年男性10名(年齢: 24.6 ± 0.7 歳、身長: 172.9 ± 1.3 cm、体重: 67.6 ± 2.3 kg、体脂肪率: 17.4 ± 1.1 %) を対象とし、栄養素組成の異なる2種類の食事をそれぞれ20時にランダムに摂取させた。栄養素組成は【高炭水化物食 (HCD: PFC=10:10:80)】または【高脂肪食 (HFD: PFC=10:78:12)】とした。被験者には脳波の測定を行うため睡眠ポリグラフを装着し、エネルギー代謝を測定するためヒューマン・カロリーメーターに入室させた。なお、睡眠は摂取4時間後の0時~8時までとし、万一起床時刻前に覚醒した場合でもベッド上で安静に過ごすこととした。

(2) 健常若年男性7名(年齢 24.7 ± 2.9 歳、BMI: 23.2 ± 2.8 kg/m²) を対象とし、朝食を摂取する試行としない試行の2試行を行った。被験者は、実験第1日目の夜から実験第3日目の朝まで合計33時間、ヒューマン・カロリーメーター内で過ごし、トイレ・食事・睡眠以外は座位安静に、決められたスケジュールに従って行動するよう指示した。また、3軸加速度計(縦30×横80×高さ17 mm、19g、株式会社タニタ)を胸ポケットに装着し、体動の測定を同時に行い、1分毎の合計加速度を算出し身体活動量とした。

TEFの算出は、以下3つの方法で行った。

- ・Tataranni の方法 (EE) ... 朝食摂取試行のエネルギー消費量から朝食欠食のエネルギー消費量を減算した。

- ・Schutz の方法 (EE0 above BMR および EE0 above SMR) ... エネルギー消費量と活動量の相関から、活動量が0のときのエネルギー消費量 (EE0) を求め、BMR または SMR を減算した。

- ・活動量の積分を用いた方法 (EE free from NEAT above pre-meal EE) ... 活動量から体温を推定する方法を参考に、エネルギー消費量と積分した活動量の相関の中で相関の高い回帰式を作成し、NEATによるエネルギー消費量を減算した。活動量を補正した基礎代謝量との差分を TEF と定義した。

なお、両研究とも筑波大学大学院人間総合科学研科/体育系研究倫理委員会の承認を受け、また全ての被験者に研究の目的・手順を詳細に説明し、参加の同意を得て実施した。

4. 研究成果

(1) 試行毎のエネルギー代謝の経時的変化を図1に示す。夕食に多く摂取した基質が睡眠前半で多く使われていることが分かる。また睡眠時脳波は周波数解析を行ったが、両試行に有意な差は認められなかった。しかし、R&Kにて睡眠段階を判定したところ、HCDとHFDとの比較において、深睡眠 (SWS) はHCD

では睡眠の第一周期で有意に減少し、第二周期と第三周期では差は見られなかった(図2)。一方、エネルギー消費量は食事の影響を受けなかった(両試行とも 463 kcal/480 min)ものの酸化基質には差が認められ、HFDと比較しHCDでは睡眠の第一周期と第二周期における炭水化物酸化量は有意に増加し、脂質酸化量は有意に減少した(図3)。本研究では、夕食の栄養素組成が睡眠時に利用される酸化基質に影響を与え、特に第一周期の睡眠構造に影響を及ぼす可能性が示唆された。

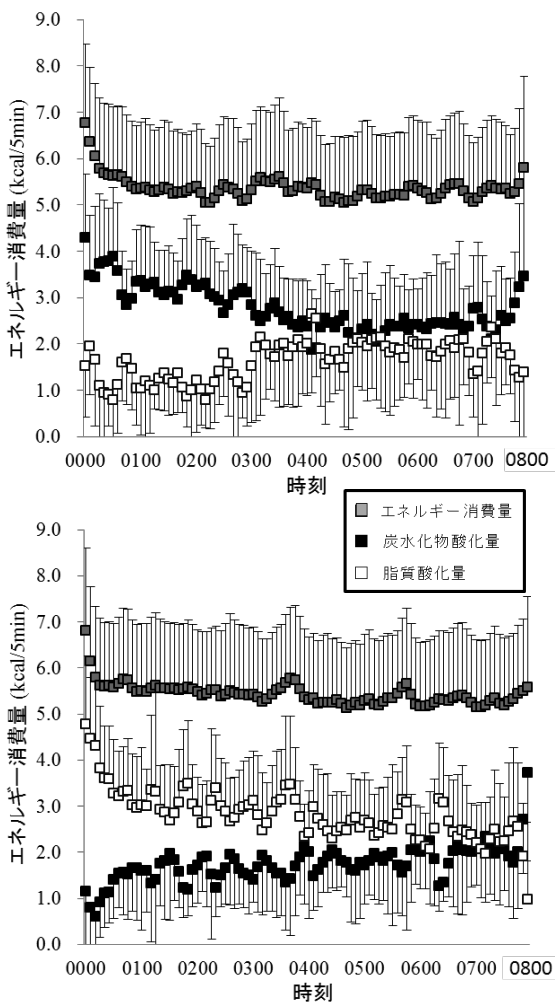


図1.(上)高炭水化物食、(下)高脂肪食を摂取した際の睡眠時エネルギー代謝の経時の変化

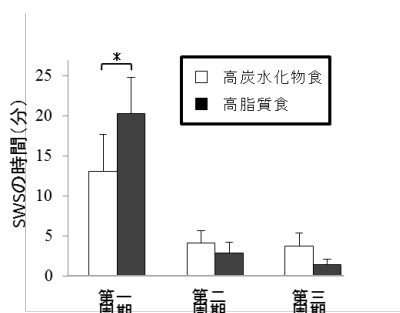


図2. 周期毎の深睡眠(SWS)の時間

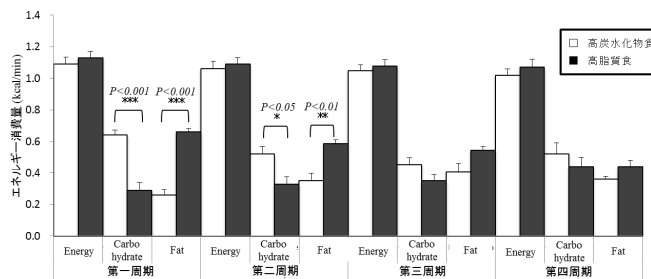


図3. 周期毎のエネルギー代謝

(2)1日の総エネルギー消費量(朝食あり: 1,865 ± 202 kcal/日、朝食なし: 1,876 ± 179 kcal/日)および平均身体活動量(朝食あり: 3,455 ± 487 counts/分、朝食なし: 3,521 ± 469 counts/分)には2試行間に有意な差はなかった。TEFの大きさをSchutzの方法(図4)および活動量の積分(図5)を用いて算出した一例を示す。

朝食のTEFおよび3食合計のTEFを算出した結果、Schutzの方法であるEE0 above BMRにおいてマイナスの値が得られた(Table 1)。また朝食のTEFの大きさを比較した結果、4群間に有意差はつかなかったものの、EEに比べてEE0 above SMRは大きい傾向を示した(P = 0.11)。3食合計のTEFの大きさを比較した結果、EE0 above BMR、EE free from NEAT above pre-meal EE、EE0 above SMRという順に大きい値を示した。

SMRはBMRより低い値を示すため、差分を用いてTEFの大きさを推定するSchutzの方法では大きい値となってしまうことが予想され、また今回の結果からも、TEFの推定にSMRを使うのは望ましくないと思われる。我々が提案した加速度計の積分時間を考慮してTEFを求める方法は、1日絶食する必要もなく簡易的にTEFの大きさを推定する方法としては有効な方法かもしれない。

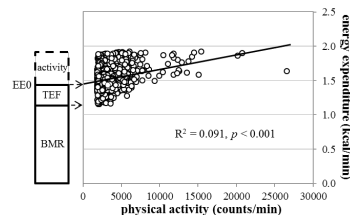


図4. Schutzの方法で求めたTEF

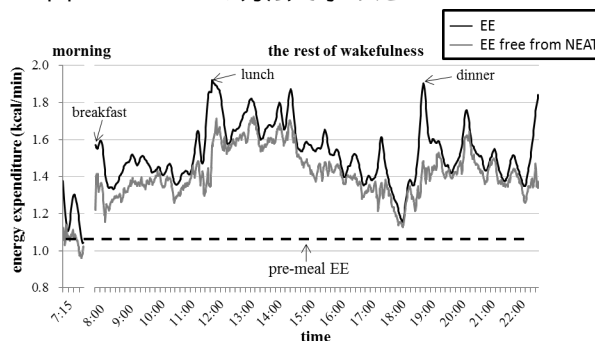


図5. 活動量の積分を用いて求めたTEF

Table 1. Estimates of TEF by four calculation methods.

Condition	Three-meal	Two-meal
Breakfast TEF (% of breakfast energy content)		
ΔEE	5.4 ± 3.5 [1.6–12.7]	
EE0 above BMR	-0.6 ± 6.8 [-13.1–5.9]	
EE0 above SMR	9.8 ± 5.7 [0.3–19.1]	
EE free from NEAT above pre-meal EE	4.1 ± 2.5 [0.3–7.4]	
TEF during wakefulness* (% of daily energy intake)		
EE0 above BMR	2.6 ± 8.7 [-16.0–9.0]	3.0 ± 4.8 [-7.2–7.4] [‡]
EE0 above SMR	14.5 ± 2.5 [12.4–19.2]	9.5 ± 3.3 [3.0–13.2]
EE free from NEAT above pre-meal EE	6.8 ± 4.0 [0.6–11.9] [†]	7.7 ± 2.6 [3.4–11.5]

The data are expressed as the means ± SD [range]. TEF was expressed as % of energy intake during the measurement. * TEFs during wakefulness in the two-meal condition were assessed during 11 h (12:00–23:00). †‡ Mean values was significantly different from that of EE0 above SMR ($p < 0.05$), determined by 1-way ANOVA followed by a post hoc Bonferroni test.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計7件)

Katsuhiko Yajima, Tomomi Seya, Kaito Iwayama, Masanobu Hibi, Sayaka Hari, Yu Nakashima, Hitomi Ogata, Naomi Omi, Makoto Satoh, Kumpei Tokuyama, Effects of Nutrient composition of dinner on sleep architecture and energy metabolism during sleep, *Journal of Vitaminology (Tokyo)*, 査読有, 60(2), 2014, in press.

<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jnsv/-char/ja/>

Yasuo Sengoku, Kazuteru Nakamura, Hitomi Ogata, Yoshiharu Nabekura, Shoichiro Nagasaka, Kumpei Tokuyama, Continuous glucose monitoring during a 100 km race - A case study in an elite ultra-marathon runner, *IJSP (International Journal of Sports Physiology and Performance)*, 査読有, 2014, in press

<http://journals.humankinetics.com/ijsp>

Fumi Kobayashi, Hitomi Ogata, Naomi Omi, Shoichiro Nagasaka, Sachiko Yamaguchi, Masanobu Hibi, Kumpei Tokuyama, Effect of breakfast skipping on diurnal variation of energy metabolism and blood glucose, *Obes Res Clin Pract.*, 査読有, e249-e257, 2014

<http://www.obesityresearchclinicalpractice.com/home>

Miki Okada-Iwabu, Toshimasa Yamauchi, Masato Iwabu, Teruki Honma, Ken-ichi Hamagami, Koichi Matsuda, Mamiko Yamaguchi, Hiroaki Tanabe, Tomomi Kimura-Someya, Mikako Shirouzu, Hitomi Ogata, Kumpei Tokuyama, Kohjiro Ueki, Tetsuo Nagano, Akiko Tanaka, Shigeyuki Yokoyama, Takashi Kadowaki, A small-molecule AdipoR agonist for type 2 diabetes and short life in obesity, *Nature*, 査読有, 503, 493-499, 2013.

doi: 10.1038/nature12656.

Hitomi Ogata, Kazuteru Nakamura, Maki

Sato, Kumpei Tokuyama, Shoichiro Nagasaka, Naoyuki Ebine, Ken Kiyono, Yoshiharu Yamamoto, Lack of negative correlation in glucose dynamics by NEAT restriction in healthy adults, *Med Sci Sports Exerc.* 査読有, 45, 60-66, 2013. doi: 10.1249/MSS.0b013e31826c2dfc.

Hitomi Ogata, Kumpei Tokuyama, Shoichiro Nagasaka, Takeshi Tsuchita, Ikuyo Kusaka, Shun Ishibashi, Hiroaki Suzuki, Nobuhiro Yamada, Kumiko Hamano, Ken Kiyono, Zbigniew R. Stuzik, Yoshiharu Yamamoto, The lack of long-range negative correlations in glucose dynamics is associated with worse glucose control in patient with diabetes mellitus, *Metabolism*, 査読有, 61, 1041-1050, 2012.

doi: 10.1016/j.metabol.2011.12.007.

中村和照, 仙石泰雄, 緒形ひとみ, 鍋倉賢治, 100km マラソンレースペースとレース中の炭水化物および給水量の関係, *ランニング学研究*, 査読有, 23, 37-46, 2012.

<http://www.e-running.net/0410journal.html>

[学会発表](計21件)

相川悠貴, 角谷雄哉, 縣右門, 服部聡士, 日野野通人, 緒形ひとみ, 徳山薫平, 麻見直美, 成長期雌ラットにおける食餌制限と走運動の負荷がエネルギー有効性, 月経, 骨に及ぼす影響, 第27回女性スポーツ医学研究会, 2013年12月7日, 東京慈恵会医科大学(東京都西新橋キャンパス)

Kaito Iwayama, Insung Park, Ryouyusuke Kawabuchi, Reiko Kurihara, Masashi Kobayashi, Yoshiharu Nabekura, Hitomi Ogata, Sachiko Yamaguchi, Masanobu Hibi, Naomi Omi, Kumpei Tokuyama, Timing of exercise relative to meal ingestion affects 24 hours fat oxidation, *Obesity Society (TOS) and the American Society for Metabolic and Bariatric Surgery (ASMBS)*, 2013年11月11~16日, Atlanta, USA

Momoko Kayaba, Kaito Iwayama, Hitomi Ogata, Yumi Seya, Kumpei Tokuyama, Makoto Satoh, Drowsiness and lowering energy metabolism on the following morning induced by nocturnal blue light exposure, 5th World Congress on Sleep Medicine, 2013年9月28~10月2日, Valencia, Spain

川淵良輔, 栗原玲子, 岩山海渡, 朴寅成, 小林優史, 緒形ひとみ, 日比壮信, 山口幸子, 鍋倉賢治, 麻見直美, 徳山薫平, 朝食前の運動が24時間のエネルギー代謝に及ぼす影響, 第68回日本体力医学会, 2013年9月21~23日, 日本教育会館(東京都) 中村和照, 仙石泰雄, 渡部厚一, 緒形ひと

み, 白井祐介, 鍋倉賢治, トレーニングが漸増負荷走時のホルモンと血糖値の動態に与える影響, 第 68 回日本体力医学会, 2013 年 9 月 21~23 日, 日本教育会館(東京都)

Reiko Kurihara, Kaito Iwayama, Hitomi Ogata, Insung Park, Ryousuke Kawabuchi, Yoshiharu Nabekura, Masashi Kobayashi, Sachiko Yamaguchi, Masanobu Hibi, Kumpei Tokuyama, Effects of exercise on 24-h fat oxidation depend on when it is performed, 18th annual congress of the European College of Sport Science (ECSS), 2013 年 6 月 26~29 日, Barcelona, Spain

中村和照, 仙石泰雄, 緒形ひとみ, 鍋倉賢治, 100 km マラソンレースのエネルギー摂取タイミングとペース変化の関係について, 第 25 回ランニング学会, 2013 年 3 月 23~24 日, 東京学芸大学(東京都)

萱場桃子, 岩山海渡, 緒形ひとみ, 瀬谷友美, 佐藤誠, 徳山薫平, 本田靖, フィールド調査における客観的な睡眠評価指標の検討 マット式睡眠計測計と睡眠ポリグラフ検査の判定結果の比較, 第 77 回日本民族衛生学会, 2012 年 11 月 16~17 日, 東京大学(東京都本郷キャンパス)

矢島克彦, 瀬谷友美, 日比壮信, 中島雄, 播さや香, 清野健, 徳山薫平, 佐藤誠, 緒形ひとみ, 異なる栄養素組成の夕食が睡眠の質とエネルギー代謝に与える影響, 第 33 回日本肥満学会, 2012 年 10 月 11~12 日, ホテルグランヴィア京都(京都府)

緒形ひとみ, 小林芙美, 清野健, 徳山薫平, ヒューマン・カロリメーターを用いた安静時代謝の日内変動に関する基礎的検討, 第 67 回日本体力医学会, 2012 年 9 月 14~16 日, 長良川国際会議場・岐阜都ホテル(岐阜県)

緒形ひとみ, 徳山薫平, 清野健, 時系列解析を用いた生体データの解釈についての試み, ダイナミカルバイオインフォマティクスの展開(統計数理研究所共同研究集会), 2012 年 9 月 13~15 日, 統計数理研究所(東京都)

緒形ひとみ, 矢島克彦, 萱場桃子, 瀬谷友美, 清野健, 徳山薫平, 佐藤誠, 周波数解析を用いた睡眠段階と睡眠時エネルギー消費量に関する基礎的検討, 第 37 回日本睡眠学会, 2012 年 6 月 28~30 日, パシフィコ横浜(神奈川県)

矢島克彦, 瀬谷友美, 清野健, 日比壮信, 中島雄, 播さや香, 徳山薫平, 佐藤誠, 緒形ひとみ, 異なる栄養素組成の食事が睡眠の質とエネルギー代謝に与える影響, 第 37 回日本睡眠学会, 2012 年 6 月 28~30 日, パシフィコ横浜(神奈川県)

萱場桃子, 岩山海渡, 緒形ひとみ, 瀬谷友美, 徳山薫平, 佐藤誠, 就寝前の短波長光暴露が睡眠と代謝に及ぼす影響, 第 37 回

日本睡眠学会, 2012 年 6 月 28~30 日, パシフィコ横浜(神奈川県)

〔図書〕(計 1 件)

緒形ひとみ, 徳山薫平, 日本臨牀社, NEAT(非運動性活動熱産生)の意義, 脂質異常症 基礎・臨床研究の最新知見, 2013 年, 512-5

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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