

## 食事介入が睡眠時エネルギー代謝に及ぼす影響 一時系列解析を用いた検討—

緒形ひとみ\*・矢島克彦\*\*・岩山海渡\*\*\*・麻見直美\*・徳山薫平\*

### The Effect of Sleeping Metabolic Rate in Dietary Intervention with Time Series Analysis

OGATA Hitomi\*, YAJIMA Katsuhiko\*\*, IWAYAMA Kaito\*\*\*,  
OMI Naomi\* and TOKUYAMA Kumpei\*

#### 1. 背景・目的

短眠や長眠が肥満をはじめとする種々の疾病に関係しているという多くの疫学調査の結果より、睡眠時間とエネルギー消費量の関係は近年数多く検討されてきている<sup>2,6,8)</sup>。また、食事の成分構成と睡眠の関係について報告している論文としては、通常食より「高炭水化物+低脂質食」のほうが、睡眠中のエネルギー消費量が高かったという報告<sup>5)</sup>や、低グライセミックインデックス (glycemic index; GI) 食と比べ高 GI 食において睡眠潜時 (消灯から睡眠開始までの時間) が有意に短くなったという報告がある<sup>1)</sup>。また、食事量と食事の成分構成の違いが体重調節にどのような影響を与えるかについて検討した論文では、炭水化物より脂質の食べ過ぎのほうがより体脂肪が蓄積し、さらに初期に最も大きな違いが生じるという報告がある<sup>4)</sup>。一方マウスにおいて、高脂肪食が睡眠の質を改善したという報告もある<sup>7)</sup>。

我々は、以前若年健常者を対象に、間接熱量測定装置 (ヒューマン・カロリメーター) を用いて睡眠中の代謝と終夜睡眠ポリグラフを用いて睡眠深度を測定し、睡眠中の代謝パラメーターについて細かく検討を行った。その結果、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り違いがあることを報告した<sup>9)</sup>。健康を支える3本柱である「栄養」・「運動」・「休養 (睡眠)」について、それぞれの関係に着目し詳細に検討する

ことにより、健康スポーツ科学分野において基礎的かつ普遍的なデータを得ることができると予想される。そこで本研究では、ヒューマン・カロリメーターと睡眠ポリグラフを用いて、若年健常男性を対象とし、短期的な高脂肪食および高炭水化物食の摂取が睡眠の質や睡眠中のエネルギー代謝に影響を与えるか否かについて明らかにすることを目的とし、睡眠深度による解析と合わせて時系列解析を用いて評価することとした。

なお本研究結果は、現在学会誌に投稿準備中につき、概要のみを報告する。

#### 2. 方法

本研究は、筑波大学大学院人間総合科学研究科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。測定は20歳代から30歳代の健常な男性10名 (年齢  $24.6 \pm 0.7$  歳、body mass index  $22.5 \pm 0.7$  kg/m<sup>2</sup>) の協力を得て行った。被験者には、実験当日の朝食、昼食にはエネルギー量を算出した食事を規定食として提供し、2試行で同じ食事を摂取させ、睡眠に影響を及ぼす運動についても2試行で統一とした。被験者には、夕食に高脂肪食 (High Fat (HF)、PFC比 = 10:78:12、主にパンとクリームチーズなどの乳製品) もしくは高炭水化物食 (High Carbohydrate (HC)、PFC比 = 10:10:80、主にごはんとプロセスチーズなどの乳製品) を摂取させ、そ

\* 筑波大学体育系  
Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

\*\* 筑波大学大学院人間総合科学研究科 体育学専攻  
Graduate School of Comprehensive Human Science, Master's Program in Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

\*\*\* 筑波大学 研究員  
Research Fellow, University of Tsukuba

の後ヒューマン・カロリメーター内で安静に過ごし、決められたプロトコルに従って8時間の睡眠をとるよう指示した。なお、起床時刻前に目が覚めてしまった場合でも、起床時刻まではベッドに仰向けになって過ごすように指示した。

### 3. データ解析

#### ・エネルギー消費量の算出

ヒューマン・カロリメーターによって測定された酸素と二酸化炭素の濃度変化より、deconvolutionの方法<sup>11)</sup>を用いて酸素消費量と二酸化炭素産生量を算出し、その値を基にエネルギー消費量、呼吸商、炭水化物酸化量、脂質酸化量をFerranniniの方法<sup>3)</sup>を用いて算出した。

#### ・睡眠深度の判定

測定した脳波は、Rechtschaffen & Kales (国際基準)<sup>10)</sup>を用いレム睡眠、ノンレム睡眠(ステージ1～4)の5つの睡眠段階に分類、また無自覚の覚醒の判定も行った。

#### ・各周波数領域のパワーの算出

測定した脳波は、スペクトル解析<sup>12)</sup>を行い各周波数領域のパワーとして算出した。なお、各波の周波数領域はdelta (0.75～4.0Hz)、theta (4.1～8.0Hz)、alpha (8.1～12.0Hz)、sigma (12.1～14.0Hz)、beta (14.1～30.0Hz)と設定した。

### 4. 結果・考察

睡眠全体における代謝パラメーターでは、エネルギー消費量には試行間に有意な差は認められなかったが、炭水化物酸化量、脂質酸化量、呼吸商に試行間で有意な差が認められた(図1)。また、睡眠全

体における睡眠の量および睡眠構造は高脂肪食または高炭水化物食の摂取では変化しなかったが、睡眠の質を評価する上で重要だと言われる第一周期において、高脂肪食を摂取したときのほうが、ノンレム睡眠の中でも特に深い睡眠であるステージ3とステージ4の割合が増加し、周波数解析によって求められたdeltaパワーも増大させた(図2)。このことから、食事の栄養素等組成に介入することにより、睡眠の質をコントロールすることができると示唆された。特に夕食の影響を受けやすい睡眠前半において違いが認められたことより、日常生活での睡眠時間が制限された場合には、意義のある介入となるかもしれない。

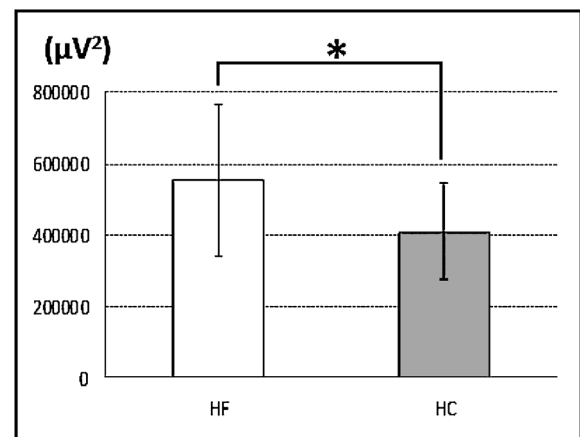


図2 第一周期におけるノンレム睡眠中のdeltaパワーの違い

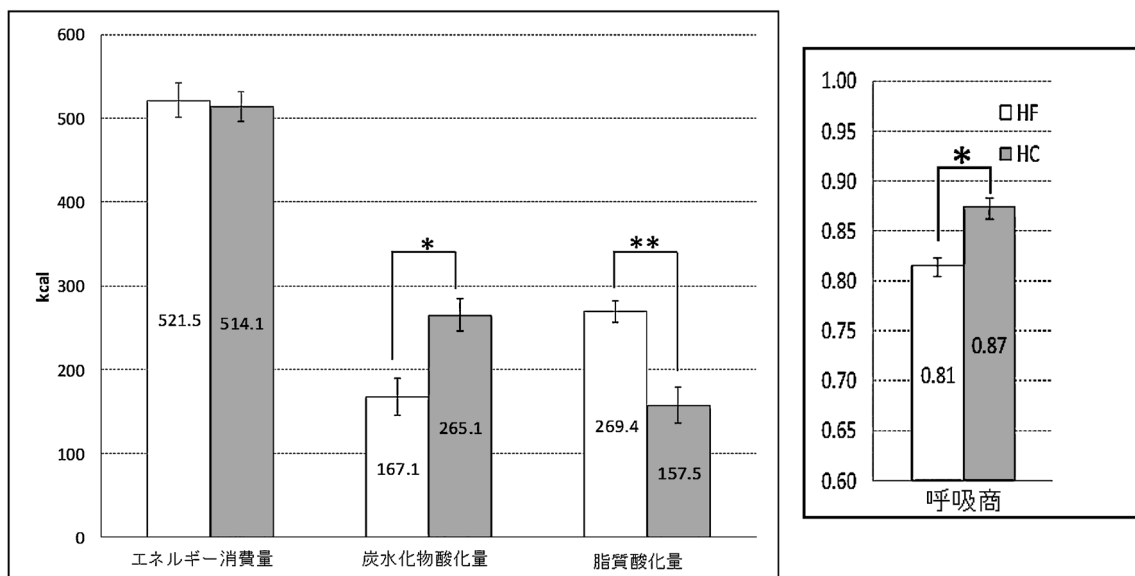


図1 試行間における睡眠全体における代謝パラメーターの違い

## 5. 謝 辞

本研究の費用の一部は、平成 23 年度体育科学系研究プロジェクト支援経費によるものであり、ここに深く感謝いたします。

## 文 献

- 1) Afaghi A, O'Connor H, and Chow CM (2007): High-glycemic-index carbohydrate meals shorten sleep onset. *Am J Clin Nutr* 85:426-430.
- 2) Bass J and Takahashi JS (2010): Circadian integration of metabolism and energetics. *Science* 330:1349-1354.
- 3) Ferrannini E (1988): The theoretical bases of indirect calorimetry: a review. *Metabolism* 37:287-301.
- 4) Horton TJ, Drougas H, Brachey A, Reed GW, Peters JC, and Hill JO (1995): Fat and carbohydrate overfeeding in humans: different effects on energy storage. *Am J Clin Nutr* 62:19-29.
- 5) Hurni M, Burnand B, Pittet P, and Jequier E (1982): Metabolic effects of a mixed and a high-carbohydrate low-fat diet in man, measured over 24 h in a respiration chamber. *Br J Nutr* 47:33-43.
- 6) Hursel R, Rutters F, Gonnissen HK, Martens EA, and Westerterp-Plantenga MS (2011): Effects of sleep fragmentation in healthy men on energy expenditure, substrate oxidation, physical activity, and exhaustion measured over 48 h in a respiratory chamber. *Am J Clin Nutr* 94:804-808.
- 7) Jenkins JB, Omori T, Guan Z, Vgontzas AN, Bixler EO, and Fang J (2006): Sleep is increased in mice with obesity induced by high-fat food. *Physiol Behav* 87:255-262.
- 8) Jung CM, Melanson EL, Frydendall EJ, Perreault L, Eckel RH, and Wright KP (2011): Energy expenditure during sleep, sleep deprivation and sleep following sleep deprivation in adult humans. *J Physiol* 589:235-244.
- 9) Katayose Y, Tasaki M, Ogata H, Nakata Y, Tokuyama K, and Satoh M (2009): Metabolic rate and fuel utilization during sleep assessed by whole-body indirect calorimetry. *Metabolism* 58:920-926.
- 10) Rechtschaffen A and Kales A (1968): A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects. US Government Printing Office, National Institute of Health Publication, Washington DC.
- 11) Tokuyama K, Ogata H, Katayose Y, and Satoh M (2009): Algorithm for transient response of whole body indirect calorimeter: deconvolution with a regularization parameter. *J Appl Physiol* 106:640-650.
- 12) Zhang L, Samet J, Caffo B, Bankman I, and Punjabi NM (2008): Power spectral analysis of EEG activity during sleep in cigarette smokers. *Chest* 133:427-432.