

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24年 6月 15日現在

機関番号：82613

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008～2011

課題番号：20240064

研究課題名（和文） エネルギー消費量の変動要因に関する基礎的研究

研究課題名（英文） Basic research on determinants of energy metabolism

研究代表者

田中 茂穂（ TANAKA SHIGEHO ）

独立行政法人 国立健康・栄養研究所 健康増進研究部 エネルギー代謝研究室長

研究者番号：50251426

研究成果の概要（和文）：エネルギー消費量を評価するヒューマンカロリメーターの分析精度を向上させ、食事によるエネルギー消費量の評価法を提案した。また、エネルギー消費量に対する身体組成の影響や食習慣・運動習慣の影響について明らかにした。さらに、身体活動の種類と強度が評価できる3次元加速度計を用いて、歩数が中高強度の身体活動量をかなり反映するが、歩・走行以外の身体活動も重要であること、1日の身体活動量に対する歩・走行以外の身体活動の相対的な寄与が職業間で異なっていることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We improved the algorithm to evaluate energy expenditure and developed a new method for evaluation of diet-induced thermogenesis using a whole-body indirect human calorimeter. In addition, we examined the relationship between energy metabolism and body composition, dietary habits, and exercise. Furthermore, using the tri-axial accelerometer which can evaluate type and intensity of physical activity, we demonstrated that total steps reflect amount of moderate-to-vigorous physical activity in children and adults although non-locomotive activity substantially contributes also, and that relative contribution of non-locomotive activities to total physical activity in free-living conditions is different between occupations.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|------------|------------|
| 2008年度 | 8,900,000 | 2,670,000 | 11,570,000 |
| 2009年度 | 9,500,000 | 2,850,000 | 12,350,000 |
| 2010年度 | 9,500,000 | 2,850,000 | 12,350,000 |
| 2011年度 | 9,500,000 | 2,850,000 | 12,350,000 |
| 総計 | 37,400,000 | 11,220,000 | 48,620,000 |

研究分野：健康科学、エネルギー代謝

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学 応用健康科学

キーワード：生活習慣病、エネルギー代謝、身体活動、食事、運動、睡眠時代謝量

1. 研究開始当初の背景

国立健康・栄養研究所（2000年）に続き、2005年までに筑波大や花王（株）、仙台大でもヒューマンカロリメーターが設置された。それらの施設でヒューマンカロリメーター協議会を結成し（2006年）、より成果が上がるよう連携をとり始めていた。そこで、ヒュ

ーマンカロリメーターの特性を生かすべく、短時間における測定精度の向上、食事・運動のタイミングに関する検討、食事誘発性熱産生の評価法の確立の必要性が確認されていた。

一方、3次元加速度計を用いた身体活動量・エネルギー消費量の推定法の検討が進み、

2007年に当研究グループからの論文がいくつか発表されたとともに、2008年からオムロンヘルスケアの市販品が発売となった。それに基づいて、客観的かつ正確なデータがほとんどなかった身体活動の内訳について、測定がしやすくなった。

2. 研究の目的

肥満は、エネルギーバランスのわずかなずれによってもたらされる。そこで、エネルギー消費量の評価法のうち特に精度の高いヒューマンカロリメーター、および様々な身体活動の種類と強度が評価できる新しい加速度計を用いて、エネルギー消費量の変動要因を明らかにする。特に、以下の項目について検討する。

(1) 未だ検討の不十分な「食事誘発性体熱産生」について、評価法を確立した上で変動要因を検討する。

(2) 「運動以外の身体活動」の個人間変動について明らかにする。

(3) 日常生活で観察しうる範囲での異なる食習慣・運動習慣のエネルギー消費量に対する影響を明らかにする。

(4) 臓器・組織レベルの身体組成との関連についても検討を加える。

本研究により、肥満対策にとって有益な知見の獲得が期待できる。

3. 研究の方法

(1) 食事誘発性体熱産生 (DIT) の新たな評価システムの開発

ヒューマンカロリメーターを用いたDITの新たな評価システム確立のため、室内での様々な身体活動量を加速度から推定し、全エネルギー消費量から身体運動に伴うエネルギー消費量を差し引くことで、DITの評価を行った。食事なしの試行で妥当性を、食事ありの試行 (同じ内容と量の食事を1日に3回摂取) を同被験者において2回繰り返して行うことで再現性を検討した。また、混合ガスを矩形波で噴出する装置を用いたヒューマンカロリメーターでのDIT測定の精度評価法の検討も行った。

(2) 「運動以外の身体活動」の個人間変動

子どもおよび成人それぞれの日常の身体活動量 (PA) について、妥当性を確認するため、歩・走行とそれ以外の活動を区別することのできる3軸加速度計を用いて評価した。また、勤労者 (保育者, サービス業, 運転手, 飲食物調理従事者, 警備員, 主婦, 清掃員および事務職) の総PAに対する、歩・走行以外の活動の相対的な寄与を検討した。

(3) 異なる食習慣・運動習慣のエネルギー消費量に対する影響

ヒューマンカロリメーターのノイズ除去アルゴリズムを作成し、装置の時間分解能について検討した。また、成人に睡眠直前 (就寝30分前) あるいは通常 (就寝4時間前) に夕食を摂取させ、エネルギー消費量の日内変動を測定した。食事摂取時間別におけるDITの違いを検討するために、朝・昼・夕の食後におけるエネルギー消費量の推移を比較検討した。異なる内容 (高脂肪食または高糖質食) の食事が24時間のエネルギー消費量にどのように影響するのかを検討した。運動時刻 (朝食前と朝食後, 夜と朝) による運動中および運動後のエネルギー代謝について検討した。更に、朝食を抜いた昼食と夕食のまとめ食 (1.5倍) が、通常の1日3食と比較して、エネルギー消費量にどのような影響を及ぼすのか、1日の摂取カロリーを揃えて検討した。

(4) 基礎代謝量と身体組成の関連

身体組成の違いが基礎代謝量に与える影響を検討するために、約130名の小学生を対象に、ダグラスバッグ法を用いた安静時代謝量の測定及びDXA法やMRI法による身体組成の測定を行った。また、これまで身体組成と基礎代謝量の関係について十分な知見のない、高い有酸素能力を有する若年男性陸上競技者11名とその対照群6名を対象にヒューマンカロリメーターを用いた睡眠時代謝量及びDXA法やMRI法による身体組成、最大酸素摂取量、血中のホルモンの測定を行った。さらに、低体重 (BMI18.5未満) の若年女性 (18~21歳) の安静時代謝量及び身体組成の測定と食習慣についての調査を行った。

4. 研究成果

(1) 食事誘発性体熱産生 (DIT) の新たな評価システムの開発

DITの妥当性においては、空腹6時間のエネルギー消費量の実測値と推定値の差は 22.4 ± 13.4 kcal/6h (平均 \pm SD)であった。DITの再現性においては、同じ内容と量の食事を摂取した後の計15時間のDITのCV値は33.8%であった。従来用いられてきた評価法でのCV値も30%前後であり、本研究で開発したチャンバーにおけるDITの評価法は、従来法に比べCV値の改善はみられなかったものの、妥当性を確認することができた。また、DIT用に滑らかな曲線でガスを噴出することを目的に、これまでに製作したガス噴出装置を改良し、ヒューマンカロリメーターによる実際のエネルギー消費量測定と同様の12秒間隔で噴出可能とした。

(2) 「運動以外の身体活動」の個人間変動

子どもでは、中高強度のPA (MVPA) の指標として、歩数の妥当性を検討した。その結果、

MVPA と歩数との間には、有意な正の相関関係が見られた。そのため、歩数は、MVPA の指標となる事が明らかとなった。しかし、やや強度が高くなると、歩数では十分に評価することが出来ないことが示唆された。一方、成人では、総 PA に対する歩・走行以外の PA の相対的な寄与は、職業間で異なっており、歩・走行の測定のみでは、一部の職種（例えば、飲食物調理従事者および清掃員）における日常の PA がかなり過小評価されることが示唆された。

(3) 異なる食習慣・運動習慣のエネルギー消費量に対する影響

ヒューマンカロリメーターのノイズ除去アルゴリズムを作成し、装置の時間分解能を向上させた。睡眠深度とエネルギー代謝が相関すること、就寝からの時間が経つにつれて睡眠時エネルギー代謝が減衰すること、などを示した。また、睡眠直前の食事（遅い時刻の夕食摂取）が睡眠時エネルギー代謝に及ぼす影響を検討し、睡眠時エネルギー代謝が亢進したが、24 時間のエネルギー消費量には差を認めなかった。朝・昼・夕の食後におけるエネルギー消費量の推移を比較検討した結果、朝食による DIT が他の食事に比べて助長される可能性が示された。異なる内容の食事がエネルギー代謝に及ぼす影響について検討した結果、24 時間のエネルギー消費量は高脂肪食により一般食と比較して低くなる傾向がみられたが、高糖質食と高脂肪食の間で有意な差を認めることができなかった。24 時間のエネルギー消費量に対する朝食前あるいは朝食後の持久運動の影響については、両運動条件下で 24 時間のエネルギー消費量に差は無かったが、脂肪酸化量は朝食後の運動に比べて朝食前の運動で多いことが分かった。運動時刻（夜と朝）による運動中および運動後のエネルギー代謝について検討した結果、朝の運動の方が運動中のエネルギー消費量が高い傾向がみられたが、運動後のエネルギー消費量および酸素摂取量は、夜の運動後の方が有意に高い値を示した。

更に、朝食を抜いた昼食と夕食のまとめ食いの影響も検討したところ、1 日当たりのエネルギー消費量が低下するという結果（藤井ら、未発表データ）と、基質酸化の経時変化のみに影響を与える（徳山ら、未発表データ）という異なる結果が得られた。

(4) 基礎代謝量と身体組成の関連

低体重を呈する若年女性における安静時代謝量（早朝時）の実測値は、日本人の食事摂取基準(2010 年)によるその推定値と比較して高値を示す傾向にあった。同時に実施した食事調査の結果から得られた 1 日のエネルギー摂取量は同基準(2010 年)により算出

した推定エネルギー必要量と比較して低値であった。

小学生及び若年男性の基礎代謝量と身体組成の関係に関しては、現在、MRI 法で得られた画像から、骨格筋量および内臓重量の丁寧な分析を進めており（分析時間 16 時間/人）、データが出そろい次第すぐに身体組成と安静時代謝量に関する詳細な検討を行う予定である。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 49 件）

- ① Tanaka C, Hikiyama Y, Ohkawara K, Tanaka S. Locomotive and non-locomotive activity as determined by triaxial accelerometry and physical fitness in Japanese preschool children. *Pediatr Exerc Sci.*, 査読有, (in press)
- ② 田中千晶, 田中茂穂. 日本人勤労者の日常の身体活動量における歩・走行以外の身体活動の寄与. *体力科学*, 査読有, (印刷中)
- ③ 大島 秀武, 引原 有輝, 大河原 一憲, 高田 和子, 三宅 理江子, 海老根 直之, 田畑 泉, 田中 茂穂. 加速度計で求めた「健康づくりのための運動基準 2006」における身体活動の目標値 (23 メッツ・時/週) に相当する歩数. *体力科学*, 査読有, 61(2), 2012, 193-199, JOI:JST.JSTAGE/jspfsm/61.193
- ④ Hikiyama Y, Tanaka S, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Tabata I. Validation and comparison of three accelerometers for measuring physical activity intensity during nonlocomotive activities and locomotive movements. *J Phys Act Health.*, 査読有, 2011, 27 [Epub ahead of print]
- ⑤ Tudor-Locke C, Craig CL, Beets MW, Belton S, Cardon GM, Duncan S, Hatano Y, Lubans DR, Olds TS, Raustorp A, Rowe DA, Spence JC, Tanaka S, Blair SN. How many steps/day are enough? for children and adolescents. *Int J Behav Nutr Phys Act.*, 査読有, 28(8), 2011, 78, Review, HP:<http://www.ijbnpa.org/content/8/1/78>
- ⑥ Sato M, Nakamura K, Ogata H, Miyashita A, Nagasaka S, Omi N, Yamaguchi S, Hibi M, Umeda T, Nakaji S, Tokuyama K. Acute effect of late evening meal on diurnal variation of blood glucose and energy metabolism.

- Obes Res Clin Pract., 査読有, 5, 2011, e220-e228, DOI:http://dx.doi.org/10.1016/j.orcp.2011.02.001
- ⑦ Midorikawa T, Ohta M, Hikihara Y, Torii S, Bembem MG, Sakamoto S. Predicting total fat mass from skinfold thicknesses in Japanese prepubertal children: A cross-sectional and longitudinal validation. *Asia Pac J Clin Nutr.*, 査読有, 20(3), 2011, 426-431, HP:http://apjcn.nhri.org.tw/server/APJCN/Volume20/vol20.3/Finished/10_1943.pdf
- ⑧ Midorikawa T, Ohta M, Hikihara Y, Torii S, Bembem MG, Sakamoto S. Prediction and validation of total and regional fat mass by B-mode ultrasound in Japanese prepubertal children. *Br J Nutr.*, 査読有, 106(6), 2011, 944-950, DOI:http://dx.doi.org/10.1017/S0007114511001103
- ⑨ 田中千晶, 田中茂穂, 安藤貴史. 日本人幼児における日常の身体活動量と生活環境の関係. 発育発達研究, 査読有, 51, 2011, 37-45
- ⑩ Taguri E, Tanaka S, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Hikihara Y, Miyake R, Yamamoto S, Tabata I. Validity of physical activity indices for adjusting energy expenditure for body size: do the indices depend on body size? *J Physiol Anthropol.*, 査読有, 29(3), 2010, 109-117, DOI:10.2114/jpa2.29.109
- ⑪ Midorikawa T, Sakamoto S, Ohta M, Torii S, Konishi M, Takagi S, Bembem MG, Kondo M. Metabolic profiles and fat distribution in Japanese college Sumo wrestlers. *Int J Body Compos Res.*, 査読有, 8(2), 2010, 57-60
- ⑫ 平良拓也, 後藤健二, 高橋弘彦, 藤井久雄. ヒューマンカロリメーターを用いた朝食, 昼食および夕食の食後におけるエネルギー消費量の推移の比較検討. 栄養学雑誌, 査読有, 68(6), 2010, 373-377, DOI:http://dx.doi.org/10.5264/eiyogakuzashi.68.373
- ⑬ Katayose Y, Tasaki M, Ogata H, Nakata Y, Tokuyama K, Satoh M. Metabolic rate and fuel utilization during sleep assessed by whole-body indirect calorimetry. *Metabolism*, 査読有, 58(7), 2009, 920-926, DOI:10.1016/j.metabol.2009.02.025
- ⑭ Tokuyama K, Ogata H, Katayose Y, Satoh M. Algorithm for transient response of whole body indirect calorimeter: deconvolution with a regularization parameter. *J Appl Physiol.*, 査読有, 106(2), 2009, 640-650, DOI:10.1152/jappphysiol.90718.2008
- ⑮ Tanaka C, Tanaka S. Daily physical activity in Japanese preschool children evaluated by triaxial accelerometry: relationship between period of engagement in moderate-to-vigorous physical activity and daily step counts. *J Physiol Anthropol.*, 査読有, 28(6), 2009, 283-288, DOI:10.2144/jpa2.28.283
- ⑯ Midorikawa T, Sanada K, Yoshitomi A, Abe T. Is the use of ultrasound-derived prediction equations for adults useful for estimating total and regional skeletal muscle mass in Japanese children? *Br J Nutr.*, 査読有, 101(1), 2009, 72-78, DOI:10.1017/S000711450899440X
- ⑰ 山本 祥子, 高田 和子, 別所 京子, 谷本道哉, 宮地 元彦, 田中 茂穂, 戸谷 誠之, 田畑 泉. ボディービルダーの基礎代謝量と身体活動レベルの検討. 栄養学雑誌, 査読有, 66(4), 2008, 195-200, DOI:http://dx.doi.org/10.5264/eiyogakuzashi.66.195
- [学会発表] (計 67 件)
- ① Tanaka S. Evaluation of Physical Activity in Children. MASO (Malaysian Association for the Study of Obesity) 2011 Scientific Conference on Obesity, 2011.6.28, Kuala Lumpur, Malaysia
- ② 田中 茂穂. 身体活動量と肥満予防・解消. 第 32 回日本肥満学会, 2011.9.23-24, 兵庫県, 淡路
- ③ 田中 茂穂. シンポジウムⅡ「職域における生活習慣病予防・改善と運動療法」「エネルギー消費量の構成成分と肥満」第 46 回日本成人病 (生活習慣病) 学会学術集会, 2012.1.15, 東京都
- ④ Tokuyama K. Metabolic rate and fuel utilization during sleep. 2nd international conference on Recent Advances and Controversies in Measuring Energy Metabolism (RACMEM), 2011.11.2-4, Maastricht, Netherlands
- ⑤ Tanaka C, Tanaka S. Relationship between daily physical activity and neighborhood environment among Japanese preschool children. American college of sports medicine 58th Annual

- Meeting, 2011.5.31-6.4, Denver, USA
- ⑥ Tanaka C, Tanaka S (8 番目). Estimation of physical activity intensity with classifying locomotive and nonlocomotive activities by a triaxial accelerometer in young children. 2nd international conference on RACMEM, 2011.11.2-4, Maastricht, Netherlands
- ⑦ Usui C, Tokuyama K (7 番目), Tanaka S (8 番目). Prediction of energy expenditure of low-intensity physical activity from triaxial acceleration in indirect human calorimeter. 2nd international conference on RACMEM, 2011.11.2-4, Maastricht, Netherlands
- ⑧ Yamaguchi S, Tokuyama K (5 番目), Tanaka S (6 番目). Reproducibility of diet-induced thermogenesis and activity-induced thermogenesis evaluated using triaxial accelerometry and respiratory chamber. 2nd international conference on RACMEM, 2011.11.2-4, Maastricht, Netherlands
- ⑨ Midorikawa T. Prediction and validation of total and regional skeletal muscle volume by B-mode ultrasound in Japanese prepubertal children. 9th International Symposium on IN VIVO BODY COMPOSITION STUDIES, 2011.5.21-24, Hangzhou, China
- ⑩ Midorikawa T. Is the use of ultrasound-derived prediction equations for adults useful for estimating total and regional skeletal muscle mass in Japanese prepubertal children? 16th Annual Congress of the European College of Sports Science, 2011.7.6-9, Liverpool, UK

[図書] (計 3 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

国立健康・栄養研究所研究成果データベース
<http://www.nutritio.net/monthly-report2006/FMPro?-db=monthly2006.fp5&-lay=lay1&-format=repo-to.html&-error=repo-to-error.html&-max=500&year=2011&month=5&-del=no&-sortfield=title&-SortOrder=ascnd&-Find>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 茂穂 (TANAKA SHIGEHO)

国立健康・栄養研究所・健康増進研究部・

エネルギー代謝研究室長

研究者番号：50251426

(2) 研究分担者

徳山 薫平 (TOKUYAMA KUMPEI)

筑波大学・人間総合科学科・教授

研究者番号：00207565

藤井 久雄 (FUJII HISAO)

仙台大学・体育学部・教授

研究者番号：90275587

田中 千晶 (TANAKA CHIAKI)

桜美林大学・総合科学系・講師

研究者番号：40369616

緑川 泰史 (MIDORIKAWA TAISHI)

桜美林大学・総合科学系・講師

研究者番号：50434345

二見 順 (FUTAMI JUN)

東日本国際大学・経済情報学部・教授

研究者番号：60258829