

201120007A

厚生労働科学研究費補助金

循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業

エネルギー必要量推定法に関する基盤的研究

(H21-循環器等(生習)-一般-007)

平成23年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 田中 茂穂

平成24(2012)年 3月

目 次

I. 総括研究報告	
エネルギー必要量推定法に関する基盤的研究	1
田中 茂穂	
II. 分担研究報告	
1. 職種別に検討した身体活動レベル	10
高田和子、田中茂穂	
2. 小・中・高校生の基礎代謝量、基礎代謝基準値の検討	16
金子佳代子、高田和子、古泉佳代	
3. 3次元加速度計による中学生の総エネルギー消費量の妥当性—子ども式と成人式による比較 検討—	25
引原 有輝、田中 茂穂、渡邊 将司、高田 和子、中江 悟司	
4. 高強度短時間間欠的運動後の過剰酸素摂取量	39
田畑 泉、街 勝憲	
5. 身体活動レベル評価法の検討—加速度計による装着/未装着時間の判定法—	42
井上 茂、石橋弘子、赤木達規、田中茂穂、高田和子、三宅理江子	
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	51
IV. 研究成果の刊行物・別刷	54

エネルギー必要量推定法に関する基盤的研究

研究代表者 田中茂穂（独）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 室長

「日本人の食事摂取基準」におけるエネルギー必要量を決定するために、身体活動量や基礎代謝量などの推定を通じてエネルギー消費量の推定法を改善・確立することが、本研究の主な目的である。3年度目である23年度は、以下のような結果が得られた。1) 職種、通勤手段、運動習慣、育児・介護の有無などの数項目の区分により、身体活動レベルを推測するための基礎的なデータを得ることができた。これらの項目及び歩数の組み合わせにより、身体活動レベルを推測する質問紙等を検討していく必要がある。2) 小児において、体重1kgあたりのBMRを基礎代謝基準値と比較すると、8-9歳男女、10-11歳女子、中学生および高校生女子以外の群では実測値と基準値の差は±5%以内であった。3) 茨城県水戸市の中学生において、身体活動レベル(PAL)は 1.77 ± 0.16 であり、ほぼ成人の標準値であった。二重標識水(DLW)法と加速度計による推定値との間には強固な相関関係が認められ、また、成人式を用いると3%の過大評価に留まり、より個人レベルでのTEEの推定が可能となることが示唆された。4) 高強度・短時間・間欠的運動は、運動後12時間まで、非運動時に対して酸素摂取量が高くなったが、運動日と非運動日の総エネルギー消費量の差は110kcal程度であった。5) 身体活動量を評価する際に必要な非装着時間は、30~60分間程度の無信号が継続する状態を非装着状態と定義して解析することが妥当であることが示唆された。本結果は、客観的で妥当性の高い評価法の開発に資するものと考えられた。

以上のように、成人および子どもにおける総エネルギー消費量や身体活動レベル、基礎代謝量推定法の問題点を指摘するとともに、新たな方法を提示した。

研究分担者

高田和子（(独)国立健康・栄養研究所 栄養教育研究部 栄養ケア・マネジメント研究室長）

田畑 泉（立命館大学 スポーツ健康科学部 学部長／教授）

金子佳代子（横浜国立大学教育人間科学部 教授）

井上 茂（東京医科大学公衆衛生学 教授）
引原有輝（千葉工業大学工学部 助教）

A. 研究目的

日本人のエネルギー必要量については、「日本人の食事摂取基準（2005年版）」で「推定エネルギー必要量」という概念を導

入し、二重標識水 (DLW) 法から得られたエネルギー消費量の値から策定されるなど、概念から値まで、大きな変化をとげた。その後、「日本人の食事摂取基準 (2010 年版)」でさらに改善されたが、集団・個人レベルでの推定法をはじめ、いくつかの課題を残している。

そこで、3 年度目にあたる 23 年度は、日常生活における身体活動量・総エネルギー消費量、および基礎代謝量の推定法の改善を通して、食事摂取基準の推定エネルギー必要量決定に資する研究を行うこととした。

B. 研究方法

1. 職種別に検討した身体活動レベル

20~69 歳の 255 名の成人男女を対象に、二重標識水 (DLW) 法による 1 日の身体活動レベルの測定と加速度計による歩数の測定を行った。職種、通勤手段、運動習慣、育児・介護の有無による比較と、歩数の検討を行った。

2. 小・中・高校生の基礎代謝量、基礎代謝基準値の検討

小学生 70 名、中学生 80 名、高校生 71 名を対象として、フード法による基礎代謝量 (BMR) の測定および身体計測を実施した。BMR の測定は、前日の夕食後 12 時間以上経過した朝空腹時に、仰臥安静・覚醒状態で、快適な室温 (20-25℃) を維持して行った。身体計測については、身長は身長計を用いて 0.1cm 単位で測定した。体重は、下着及び T シャツ・ハーフパンツの状態、0.1kg の電子体重計を用いて測定し、T シャツ・ハーフパンツの重量を差し引い

た。皮下脂肪厚は、Holtain 式 skinfold caliper (GPM 製) を用いて、上腕前部、肩胛骨下部の 2 部位を測定した。それぞれの計測値は 0.1mm 単位で読み取り、3 回以上測定し、平均値を用いた。2 部位の皮下脂肪厚の合計値から長嶺の推定式により体密度を求め、Brozek らの式から体脂肪率 (%) を算出した。

3. 3 次元加速度計による中学生の総エネルギー消費量の妥当性—子ども式と成人式による比較検討—

対象者は、茨城県水戸市にある中学校に通う中学 1 年生および 2 年生、男女 40 名 (男子 20 名、女子 19 名) であった。対象者の TEE ならびに基礎代謝量 (BMR) の測定には、それぞれ DLW 法とダグラスバッグ法を用いた。TEE の測定期間は 8 日間とし、その同一期間に 3 次元加速度センサを内蔵した AC を腰部に装着させ、子ども式と成人式を用いて TEE を推定した。

4. 高強度短時間間欠的運動後の過剰酸素摂取量

被験者は、平均年齢 24 歳の健常成人男性 7 名を用いた。被験者をエネルギー代謝測定室に滞在させ、その中で高強度・短時間・間欠的運動を行った場合と、行わなかった場合の酸素摂取量を測定した。運動前日の睡眠時代謝、運動日の 1 日の酸素摂取量および運動中の酸素摂取量と総酸素借、運動翌日の睡眠時代謝と、運動翌日、翌々日の基礎代謝の測定を行った。運動は、ウォーミングアップとして最大酸素摂取量の 50% の運動強度で 10 分間、自転車運動 (90rpm) を行わせた後、20 秒間運動、10 秒間休憩を

6～7 セットで疲労困憊に至るような自転車運動 (90rpm) を行わせた。実験開始日の夕食、運動を行う日は朝食・昼食・夕食を、その翌日は朝食・夕食を規定食として提供し、食事管理を行った。規定食は日本人の食事摂取基準 (2010 年度版) を基に、被験者と同一年齢の男性の値と体重を加味した一日の推定エネルギー必要量を算出し、決定した。

5. 身体活動レベル評価法の検討ー加速度計による装着/非装着時間の判定法ー

成人 21 名 (男性 42.9%、21-44 歳) に、週末を含む 3 日間の加速度計装着 (OM: オムロン社製 Active style Pro HJA-350IT、SZ: スズケン社製ライフコーダ EX) を依頼した。OM は 10 秒ごとのデータを OM_10、60 秒ごとのデータを OM_60 とした。加速度計は 2 台同時に装着し、同じ日に 1 分単位の装着記録 (Log book) の記載を依頼した。記録された加速度データより、連続無信号時間が①5 分間、②10 分間、③15 分間、④20 分間、⑤30 分間、⑥40 分間、⑦50 分間、⑧60 分間、⑨70 分間、⑩80 分間、⑪90 分間、⑫120 分間以上続いた場合を非装着状態と定義して、①から⑫のそれぞれの方法によって算出される装着時間と、Log book を基に算出した装着時間とを比較した。

倫理面への配慮

本研究は、疫学研究に関する倫理指針 (文部科学省・厚生労働省) に則り、各研究機関における倫理委員会の許可を得て実施した。測定にあたって、対象者に測定の目的、利益、不利益、危険性、データの管理や公表について説明を行い、書面にて同意を得

た。データは厳重に管理し、外部に流出することがないようにした。測定に伴う危険性はない。

C. 研究結果

1. 職種別に検討した身体活動レベル

身体活動レベルは、車通勤で運動習慣のないデスクワークの者が 1.68 と最も低く、運動習慣のない販売・サービス業、育児・介護のある家事従事者、スポーツインストラクター、製造・労務業で 2 を超えていた。運動習慣のある者では、身体活動レベルが約 0.2 高かった。しかし、運動の種目により運動中に加速度計を装着していたかが異なるため、歩数は必ずしも運動習慣のある者で多くはならなかった。デスクワークの者と比較すると車通勤者は身体活動レベルで約 0.2、歩数で約 3,500 歩少ない傾向がみられた。

2. 小・中・高校生の基礎代謝量、基礎代謝基準値の検討

BMR は、男女とも、年齢が上がるにつれて増大し、中学生および高校生では男女間に有意差が認められた。体重 1kg 当りの BMR は年齢が上がるにつれて低減し、中学生および高校生では男女間に有意な差がみられた。FFM1kg 当りの基礎代謝量も年齢が上がるにつれて低減し、中学生において有意な男女差がみられた。BMR と体重あるいは FFM との間には有意な相関が認められ、回帰直線式は、 $BMR \text{ (kcal/day)} = 12.8 \times \text{体重 (kg)} + 742.4$ ($r=0.742$)、 $BMR \text{ (kcal/day)} = 16.9 \times \text{FFM (kg)} + 701.7$ ($r=0.742$) であった。また、体重 1kg 当

りのBMRと体重あるいはFFMとの間には有意な負の相関が認められた。

体重 1kg 当りの BMR を現行の基礎代謝基準値と比較すると、5%以上の差が認められたのは、8-9 歳男女、10-11 歳女子において実測値の方が高く、中学生および高校生女子では基準値と比べて実測値の方が上低い数値であった。これらのグループ以外は実測値と基準値の差は±5%以内であった。

3. 3 次元加速度計による中学生の総エネルギー消費量の妥当性—子ども式と成人式による比較検討—

DLW 法により求められた TEE_dlw の平均値は、 2513 ± 394 kcal/d (男子： 2692 ± 368 kcal/d、女子： 2314 ± 327 kcal/d) であった。一方、PAL_dlw の平均値は 1.77 ± 0.16 (男子： 1.75 ± 0.17 、女子： 1.79 ± 0.16) であった。AC から得られた TEE_child (子ども式) ならびに TEE_adult (成人式) は、それぞれ 2342 ± 260 kcal/d (男子： 2460 ± 258 kcal/d、女子： 2210 ± 194 kcal/d)、 2575 ± 324 kcal/d (男子： 2773 ± 305 kcal/d、女子： 2398 ± 250 kcal/d) であった。

4. 高強度短時間間欠的運動後の過剰酸素摂取量

基礎代謝、睡眠時代謝、睡眠時代謝の内の最初の 3 時間、最後の 3 時間、値の低い連続した 3 時間は、運動を行った場合の値と非運動時の場合の値で、有意な差は認められなかった。運動日の、運動直後から 1225 分間の総酸素摂取量、運動開始から 1230 分間の総酸素摂取量は、非運動日に比べて有意に高かった。運動日の運動直後か

ら昼食摂取前まで、昼食摂取後から 3 時間、夕食摂取後から 2 時間は、非運動日と比べて酸素摂取量は有意に高かったが、昼食摂取時および夕食摂取時は差が認められなかった。

運動終了から 12 時間後までの総酸素摂取量から非運動日の同時間の総酸素摂取量の差、即ち高強度短時間・間欠的運動の過剰酸素摂取量は 18.18 ± 6.57 L (約 90kcal) となった。この値は、運動中に消費された総酸素摂取量 (7.55L) の約 2.4 倍と高い値となった。

5. 身体活動レベル評価法の検討—加速度計による装着/非装着時間の判定法—

Log book から計算した平均装着時間は 15.3 ± 2.3 時間/日であった。加速度データは連続する無信号時間の下限値を長くすればするほど、装着と判定された時間が長くなり、平均値が Log book に最も近い解析方法は OM_10 では 30 分、OM_60 では 40 分と 50 分、SZ では 40 分であった。Log book による装着時間と加速度データによる装着時間とは、どちらの加速度計も全てにおいて有意な正の相関関係が見られた。級内相関係数が 0.80 以上だったのは OM_10 は無信号時間が 5~120 分、OM_60 は 10~120 分 SZ は 20~120 分だった。級内相関係数が最も高かったのは OM_10 は 30 分前後、OM_60 は 50 分前後、SZ は 60 分前後で、Log book による装着時間と同様の値が得られた。

D. 考察

1. 職種別に検討した身体活動レベル

職種や運動習慣、通勤手段等を考慮することで、身体活動レベルが異なることが明

らかになった。これらの結果をもとに今後、身体活動レベルを推測する簡易な質問項目の開発などの検討が可能と考えられる。

2. 小・中・高校生の基礎代謝量、基礎代謝基準値の検討

一般に子どもは、RMR 測定時に安静仰臥位を保つことが困難である。本研究においては、RMR を測定できた小学生の多くはその姿勢をとることができていた。しかし、心理的な緊張などによりわずかながら RMR を過大評価した可能性も考えられる。

基礎代謝量は身体組成と関連し、とくに FFM の影響は大きいと考えられる。本研究では皮脂厚法により FFM を推定し、FFM 1kg 当たりの BMR を算出して検討を行ったが、今後さらに、身体組成等と BMR の関連性について詳しく検討する必要があると考えられる。

3. 3次元加速度計による中学生の総エネルギー消費量の妥当性—子ども式と成人式による比較検討—

TEE_dlw と TEE_child ならびに TEE_adult との間に統計的な有意差が認められたものの、両者ともに TEE_dlw との間に強固な相関関係が認められた。また、発育段階の指標となる身長と TEE_dlw との差異との関係から、成人式を用いた場合の方が中学生の TEE の代表値を把握できる可能性の高いことが考えられた。本研究の対象者の PAL_dlw は 1.77 ± 0.16 であり、ほぼ成人の標準値であることがわかったが、横浜市の中学生の PAL と比較するとわずかに低値を示した。今後の課題として、中学生の PAL の多寡に関与する要因（学校や地域の環境、

通学時間、運動時間等）について明らかにするための解析を進める必要がある。

4. 高強度短時間間欠的運動後の過剰酸素摂取量

運動日の運動直後から昼食摂取前まで、昼食摂取後から 3 時間、夕食摂取後から 2 時間は、非運動日と比べて酸素摂取量は有意に高かったが、昼食摂取時および夕食摂取時は差が認められなかった。これは、一過性の高強度短時間間欠的運動が食事誘発性熱産生 (DIT) を相乗的に亢進させたことを示唆している。

5. 身体活動レベル評価法の検討—加速度計による装着/非装着時間の判定法—

Log book による平均装着時間と装着時間が近かった 30~60 分間程度の無信号時間を非装着と定義することが最適である可能性が高いと考えられた。この値は加速度計の種類によって若干異なる可能性があるが、今回使用した OM と SZ では大きな違いはなかった。検討結果は対象者の行動パターン、体型等によっても異なってくる可能性が考えられるが、30~60 分間程度の非装着状態を判定のための基準として用いることはおおそ妥当と考えられた。

本検討では日本で最も広く活用されている加速度計を用いたが、機種によって最適値が異なる可能性は否定できない。今後、他の機種においても同様の検討を実施することが望ましいと考えている。

E. 結論

1. 日本人を対象とした身体活動量の質問表の精度と身体活動レベルに影響する活動

内容の検討

職種、通勤手段、運動習慣、育児・介護の有無などの数項目の区分により、身体活動レベルを推測するための基礎的なデータを得ることができた。今後は、これらの項目及び歩数の組み合わせにより、身体活動レベルを推測する質問紙等を検討していく必要がある。

2. 小・中・高校生の基礎代謝量、基礎代謝基準値の検討

男女とも年齢が上がるとともに基礎代謝量 (BMR) は増大し、体重 1kg あたりの BMR は低減した。BMR と体重あるいは FFM との間には有意な相関が認められた。体重 1kg あたりの BMR を基礎代謝基準値と比較すると、8-9 歳男女、10-11 歳女子において実測値の方が基準値より 5%以上高く、中学生および高校生女子では基準値と比べて実測値の方が 5%以上低い数値であったが、その他の群では実測値と基準値の差は±5%以内であった。

3. 3次元加速度計による中学生の総エネルギー消費量の妥当性—子ども式と成人式による比較検討—

本研究の対象者の PAL_{dlw} は 1.77 ± 0.16 であり、ほぼ成人の標準値であることがわかったが、横浜市の中学生の PAL と比較するとわずかに低値を示した。TEE_{dlw} と TEE_{child}ならびに TEE_{adult} との間には強固な相関関係が認められ、より個人レベルでの TEE の推定が可能となることが示唆された。今後の課題として、中学生の PAL の多寡に関与する要因 (学校や地域の環境、通学時間、運動時間等) について明らかに

するための解析を進める必要がある。

4. 高強度短時間間欠的運動後の過剰酸素摂取量

本実験において、高強度・短時間・間欠的運動は、運動後 12 時間まで、非運動時に対して酸素摂取量が高くなった。その理由として、このような高強度・短時間・間欠的運動が食事誘発性熱産生を増大させた結果であることが明らかになった。しかし、今回の結果からは、運動日と非運動日の総エネルギー消費量の差は 110kcal 程度であり、その体重減少効果は限定的と考えられた。

5. 身体活動レベル評価法の検討—加速度計による装着/非装着時間の判定法—

身体活動量を評価する際に必要な非装着時間は、30~60 分間程度の無信号が継続する状態を非装着状態と定義して解析することが妥当であることが示唆された。装着・非装着の判定は、加速度計データを分析する際に必ず必要となるもので、本研究の結果は、客観的で妥当性の高い評価法の開発に資するものと考えられた。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

Inoue S, Ohya Y, Tudor-Locke C, Yoshiike N, Shimomitsu T. Step-defined physical activity and cardiovascular risk among

- middle-aged Japanese: the National Health and Nutrition Survey of Japan 2006. *J Phys Act Health*. In press, 2012
- Park JH, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Hikihara Y, Ohkawara K, Watanabe S, Miyachi M, Morita A, Aiba N, Tabata I. Relation of body composition to daily physical activity in free-living Japanese adult women. *Br J Nutr*, 106(7), 1117-1127, 2011
- Park JH, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Tabata I. Effects of walking speed and step frequency on estimation of physical activity using accelerometers. *J Physiol Anthropol*, 2011; 30: 119-127.
- Miyake R, Tanaka S, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Hikihara Y, Taguri E, Kayashita J, Tabata I. Validity of predictive equations for basal metabolic rate in Japanese adults. *J Nutr Sci Vitaminol*, 57, 224-232, 2011
- Miyake R, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Morita A, Watanabe S, Tanaka S. Obese Japanese adults with type 2 diabetes have higher basal metabolic rate than non-diabetic adults. *J Nutr Sci Vitaminol*, 57(3); 224-232, 2011
- 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*, 8: 78, 2011
- Tudor-Locke C, Craig CL, Brown WJ, Clemes SA, De Cocker K, Giles-Corti B, Hatano Y, Inoue S, Matsudo SM, Mutrie N, Oppert JM, Rowe DA, Schmidt MD, Schofield GM, Spence JC, Teixeira PJ, Tully MA, Blair SN. How Many Steps/day are Enough? For Adults. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 8: 79, 2011
- Kawahara J, Tanaka S, Tanaka C, Aoki Y, Yonemoto J. Estimation of daily inhalation rate in preschool children using a tri-axial accelerometer: a pilot study. *Sci Total Environ*, 409: 3073-3077, 2011
- Inoue S, Ohya Y, Tudor-Locke C, Tanaka S, Yoshiike N, Shimomitsu T. Time trends for step-determined physical activity among Japanese adults. *Med Sci Sports Exerc*, 43: 1913-1919, 2011
- Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Park JH, Tabata I, Tanaka S. How much locomotive activity is needed for an active physical activity level: analysis of total step counts. *BMC Res Notes*. 4: 512, 2011
- Okuda M, Yoshitake N, Tanaka S, Kunitsugu I, Tan N, Uechi H, Sasaki S, Hobara T. Validity and reliability of physical activity questionnaire in Japanese students. *Pediat Int*, 53(6); 956-963, 2011
- Hikihara Y, Tanaka S, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Tabata I. Validation and comparison of three accelerometers for measurement of physical activity intensity during nonlocomotive activity and locomotive movement *J Phys Act Health*. 2011 [Epub ahead of print]
- 田中茂穂, 日本人の代謝基準値の再評価,

体育の科学; 61(8); 576-582, 2011

田中茂穂, エネルギー代謝と加齢, 医と食; 3(4); 180-182, 2011

Inoue S, Sugiyama T, Takamiya T, Oka K, Owen N and Shimomitsu T. Television viewing time is associated with overweight/obesity among older adults, independent of meeting physical activity and health guidelines. *J Epidemiol.* 22(1):50-56, 2012

Liao Y, Harada K, Shibata A, Ishii K, Oka K, Nakamura Y, Sugiyama T, Inoue S, Shimomitsu T. Joint associations of physical activity and screen time with overweight among Japanese adults. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 8:131, 2011

Ohkawara K, Oshima H, Hikihara Y, Ishikawa-Takata K, Tabata I, Tanaka S. Real-time estimation of daily physical activity intensity by triaxial accelerometer and a gravity-removal classification algorithm. *Br J Nutr*, 105: 1681-1691, 2011

2. 学会発表

Tanaka S, Evaluation of Physical Activity in Children. MASO (Malaysian Association for the Study of Obesity) 2011 Scientific Conference on Obesity, Kuala Lumpur (Malaysia), 2011

Park JH, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Oshima Y, Yoshida A, Hirohata M, Kimura T, Tabata I, Validation of accelerometers for measurement of METs during walking in independent and

dependent elderly people. American College of Sports Medicine (ACSM) 58th Annual Meeting, Denver, Colorado, 2011

Usui C, Ando T, Ohkawara K, Miyake R, Oshima Y, Hibi M, Tokuyama K, Tanaka S, Prediction of energy expenditure of low-intensity physical activity from triaxial acceleration in indirect human calorimeter. RACMEM 2011 Recent Advances and Controversies in the Measurement of Energy Metabolism, Maastricht University (Maastricht), 2011

Tanaka C, Hikihara Y, Ando T, Oshima Y, Usui C, Ohgi Y, Kaneda K, Tanaka S, Estimation of physical activity intensity with classifying locomotive and nonlocomotive activities by a triaxial accelerometer in young children. RACMEM 2011 Recent Advances and Controversies in the Measurement of Energy Metabolism, Maastricht University (Maastricht), 2011

Yamaguchi S, Hibi M, Mitsui Y, Katashima M, Tokuyama S, Tanaka S, Reproducibility of diet-induced thermogenesis and activity-induced thermogenesis evaluated using triaxial accelerometry and respiratory chamber. RACMEM 2011 Recent Advances and Controversies in the Measurement of Energy Metabolism, Maastricht University (Maastricht), 2011

田中茂穂, 日本人の身体活動量の現状 ランチョンセミナー5 健康づくり施策の普及・啓発活動, 第66回日本体力医学会, 2011
田中茂穂, 高齢者のエネルギー出納状態

ワークショップ：日本抗加齢医学栄養運動療法ガイドラインの策定に向けて，第 11 回日本抗加齢医学会総会，2011

田中茂穂，身体活動量と肥満予防・解消 イブニングセミナー ヒトを対象としたエネルギー代謝測定の実際と肥満研究へのアプローチ，第 32 回日本肥満学会，2011

田中茂穂，「エネルギー消費量の構成成分と肥満」 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」，第 46 回日本成人病（生活習慣病）学会学術集会，2012

三宅理江子、大河原一憲、高田和子、森田明美、田中茂穂，糖尿病患者における基礎代謝量，第 58 回日本栄養改善学会学術総会，2011

三宅理江子、井上茂、石橋弘子、赤木達規、高田和子、田中茂穂，加速度計の装着/非装着の判定法，第 66 回日本体力医学会大会，2011

古泉佳代、高田和子、田中茂穂、金子佳代子，中学生の身体活動レベルと日常生活における生活活動との関連，第 66 回日本体力医学会大会，2011

引原有輝「スポーツ科学・健康医科学分野における二重標識水法の活用－国内外の研究事例の紹介－」、ワークショップ 1、ヒトを対象とした身体活動量・エネルギー消費量に関する最新研究を求めて－ブレスバイブレス法、ヒューマンカロリメータ、二重標識水法、加速度計で何ができるか？－、第 66 回日本体力医学会（山口大会）

伊藤千夏、金子佳代子、高田和子、古泉佳代、渡邊桜子、梅田有希子．小・中・高校生の基礎代謝量、基礎代謝基準値の検討第 65 回日本栄養・食糧学会、東京、2011.

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

職種別に検討した身体活動レベル

研究分担者 高田和子（独）国立健康・栄養研究所

研究代表者 田中茂穂（独）国立健康・栄養研究所

本研究では、職種といくつかの関連要因を考慮することで、個人の身体活動レベルを推測する方法を検討するための基礎的データをえることを目的とした。

20～69歳の255名の成人男女を対象に、二重標識水法による1日の身体活動レベルの測定と加速度計による歩数の測定を行った。職種、通勤手段、運動習慣、育児・介護の有無による比較と、歩数の検討を行った。

身体活動レベルは、車通勤で運動習慣のないデスクワークの者が1.68と最も低く、運動習慣のない販売・サービス業、育児・介護のある家事従事者、スポーツインストラクター、製造・労務業で2を超えていた。運動習慣のある者では、身体活動レベルが約0.2高かった。しかし、運動の種目により運動中に加速度計を装着していたかが異なるため、歩数は必ずしも運動習慣のある者で多くはならなかった。デスクワークの者で比較すると車通勤者は身体活動レベルで約0.2、歩数で約3,500歩少ない傾向がみられた。

これらのデータにより、職種や運動習慣、通勤手段等を考慮することで、身体活動レベルが異なることが明らかになった。これらの結果をもとに今後、身体活動レベルを推測する簡易な質問項目の開発などの検討が可能と考えられる。

A. 研究目的

栄養所要量や食事摂取基準では、各性・年代におけるエネルギー必要量を、身体活動レベルを3～4段階に区分して示している。第3次改定栄養所要量までは、各身体活動レベルでの職種の例が示されており、その後の第4次～6次の栄養所要量では、最も身体活動レベルの高い群の例として「木材の運搬や農繁期の農耕作業など強い作業に従事」という例が示されている。食事摂取基準2005以降は、重労働に従事する人の減少や1日の様々な生活活動を総合して強度別の活動時間として評価する傾向が強くなっている。しかしながら、勤務や通勤に要する時間は1日の中でも長時間を占めており、職種にかかわる身体活動量の影響は大きいと推測される。また、各個人が身体活動を推測する際にも職種は簡易な指標といえる。そこで、本研究では、いく

つかの職種について二重標識水（Doubly Labeled Water: DLW）法により求めた身体活動レベル（Physical Activity Level: PAL）を比較すること及び職種以外に関連すると予測される指標を合わせて評価することとした。

B. 研究方法

1. 被験者

研究所のホームページ、地域の保健センター及び職域を通じて協力者を募集した。本研究では、身体活動レベルの異なる対象を意図的に収集したため、職域としては、事務職、教員、営業職、造船、主婦、無職等、異なる職種を対象とした。なお、本解析では、学生は対象とせず、1職種が10名以上になる職種を対象とし、さらに年齢は20～69歳の者とした。本

研究における解析対象者は、255名（男性117名、女性138名）である。

2. 測定手順

①安静時代謝量（RMR）

対象者には、測定日前日は激しい運動を避け、21時までには通常通りの夕食を摂り、その後は水以外の飲食をしないように指示した。測定当日には朝食を食べずに、測定場所に来所し、室温 20-25°Cの条件下において覚醒・仰臥安静状態を30分以上とり、基礎体温、心拍を計測した後、呼気ガスの採取を行った。呼気ガスの採取は、マスクを装着してダグラスバッグに呼気を10分間2回採取した。呼気はガスメーター（DC-50、品川製作所）にて換気量を測定し、質量分析計（ARCO-1000、アルコシステム社製）を用いてガス濃度を分析して Weir の式（Weir, 1949）により RMR を求めた。

10%¹⁸O（大陽日酸、東京）と 99.9%²H（Cambridge Isotope Laboratories, Inc, USA）を混合した液により、体重あたり 0.14g の¹⁸O と 0.06g の²H を投与した。

投与前及び投与翌日から 8 日目まで、1日1回あるいは、1、2、3、7、8、13、14、15 日目の 8 回、同時刻に採尿した。サンプルは密閉した状態で、分析まで -30°C で保存した。²H は Pt を触媒として H₂ ガスで、¹⁸O は CO₂ ガスで平衡法により前処理を行った後、²H、¹⁸O の安定同位体比を質量比分析計（Finnigan Delta Plus、サーモフィッシャーサイエンティフィック、USA）により分析した。

尿中の安定同位体比から、標準化した安定同位体濃度は、 $[18.02a(\delta s - \delta b)]/[WA(\delta a - \delta t)]$ で求められる。ただし、W は同位体比分析の際に DLW を希釈するのに用いた飲料水の量 (g)、A は投与した DLW の量 (g)、 δa は希釈した DLW における同位体比、 δt は DLW の希釈に用いた飲料水の同位体比、a は同位体比分析の際に飲料水で希釈された DLW の量 (g)、 δs は尿中の同位体比、 δb はベースラインでの尿の同位体比である。標準化した安定同位体濃度を対数変換し、投与時刻か

らの経過時間との間で直線回帰式をもとめ、その傾きを安定同位体の減衰率 (k) とした。安定同位体の希釈容積 (N) は、直線回帰式より時間 0 における安定同位体濃度の逆数より求められ、²H の N を 1.041 で除したものと、¹⁸O の N を 1.007 で除したものの平均値とした。二酸化炭素の排出量は、 $rCO_2 \text{ (mol/day)} = 0.4554 \times TBW \times (1.007k_o - 1.041k_h)$ により求めた。k_o は¹⁸O の減衰率、k_h は²H の減衰率である。DLW 法においては、全期間を通じた RQ の直接測定が不可能なため、体重変動のないエネルギーバランスのとれた状態では食事調査より求めた食物商 (Food quotient: FQ) を使用して、TEE を求めることが最も適切とされている。そこで、TEE は DLW 法による身体活動量の調査期間中の食事調査より求めた FQ を用いて、Weir の式により求めた。

PAL は TEE/RMR により求めた。

3. 倫理面への配慮

本調査は、(独) 国立健康・栄養研究所「研究倫理審査委員会（ヒトゲノム・遺伝子解析を除く研究に関する部会）」の承諾を得て実施した。対象者には研究の目的と方法、危険性等をすべて説明し、書面にて同意を得た。解析時には、データはすべて ID 番号で管理し、個人情報とは別途、管理した。

C. 研究結果

本解析では、国民健康・栄養調査の職業分類表及び仕事内容を考慮し、デスクワーク、医療従事者（医師、看護師、保健師、臨床検査技師、栄養士等）、営業職、教育・研究職（研究者、大学教員、中高教員）、販売・サービス業（販売業、ホテル勤務、コンサルタント等）、家事従事者、スポーツインストラクター、製造・労務業（造船、鉄鋼、塗装、自動車整備等）に分類した。また、職種以外に関連している項目として、通勤時の移動方法として自家用車での通勤（車通勤）とそれ以外（バス、電車、徒歩、自転車等）に区分した。さらに育児や介護による高強度

の活動（子供をおんぶ、高齢者や障害者の移動・更衣・入浴・排泄等の補助）を1日1時間以上している場合を「育児・介護あり」とした。運動習慣は、3メッツ以上の運動及び余暇活動の合計の身体活動量が週に2メッツ・時以上ある場合を運動習慣ありとした。これは3メッツの活動の場合、週に約40分の実施となる。

各職種等によるPALの値を表1に示した。通勤や育児等を考慮しない場合、最もPALが小さいのは、教育・研究職の1.74であり、次いでデスクワークの1.83であった。スポーツインストラクターと製造・労務業はPALが2を超していた。また、運動習慣のない販売・サービス職においてもPALは2をこえていた。デスクワークでは、通勤手段を車とそれ以外に分類すると、車通勤では1.72、それ以外では1.90と車通勤者でのPALが小さかった。さらに運動習慣を考慮すると、車通勤で運動習慣のない者がPALが1.68と最も小さく、それ以外の通勤で運動習慣のある者のPALが1.96と最も大きくなった。家事従事者においては、育児・介護ありでPALが2.02で、育児・介護のない者の1.93より大きくなった。しかし、育児・介護の有無にかかわらず運動習慣の有無の違いはあまりなかった。

各職種等による歩数を表2に示した。歩数は、製造・労務業では平均で1万歩を鼓していた。運動習慣無の者と比較すると、1日1万歩を平均して超えているのは、車通勤以外のデスクワーク、販売・サービス業、製造・労務業の3職種であった。デスクワークでは、車通勤に比べて、それ以外の通勤では約3,500歩歩数が多くなった。

D. 考察

本研究は、今後、各個人が職種やその他いくつかの要因を考慮することで、身体活動レベルを簡易に推測するための資料を得ることを目的として実施された。これまでDLW法により実施された研究では、学生や研究室の技術者でPALが1.77 (Sawaya AL,1995)、1.98(Roberts

SB,1991)、1.85(Roberts SB,1990)の他は、農業での3.1または2.8(Diaz E,1991)、消防士や警察官などの2.8,2.5(Ruby BC,2002)、1.99, (男性)1.63(女性)(Livingstone MB,1990)、2.2(東野,2003)など職種に限られ、職種を参考に身体活動レベルを推測するデータとしては十分ではなかった。また、対象者数も10人程度と少ない。本研究では、多くの人が従事している職種を中心に1つの職種で10人以上について検討を行えるようにしたものである。1職種における人数が多いために、職種以外に関連する要因として通勤の状況、運動習慣、育児・介護などについても検討することが可能であった。

本研究の結果において、育児・介護をしている家事従事者、スポーツインストラクター、製造・労務業ではPALが2以上の高い身体活動をしていた。この値は、先行研究の消防士や農業など身体活動レベルの高い職種と比較しても妥当なレベルと推測される。

今回、職種以外に通勤の状況や運動習慣を考慮した。人数の多いデスクワークで比較すると、通勤が車以外になることで、歩数で約3,500歩、PALで約0.2の増加がみられた。また、比較的、身体活動量の低い職種では運動習慣があることで、PALが約0.2増加した。一方で、販売・サービス業、家事従事者、製造・労務業では運動習慣がある者でのPALの増加がみられなかったが、これら仕事による身体活動が比較的多い職種であった。これらの対象では、運動習慣を有する者が仕事による拘束時間がやや短い、あるいは身体活動量が少ないなど運動をする余裕があるために、仕事による身体活動量の減少が運動によって補い切れていない場合があると考えられた。また、他の仕事による身体活動が少ない職種の者にくらべて、運動による身体活動量が少なめであることも影響していると考えられる。

運動習慣のない者における歩数を比較すると、デスクワークの車通勤者が約6,500歩と最も少なく、車通勤以外のデスクワーク、販売・サービス業、製造・労務業が10,000歩を超す歩数であった。

運動習慣のある者では、ウォーキングやジョギングなど加速度計を装着して運動をしていた者で 10,000 歩をこす歩数であったため、運動習慣のない者より歩数が多くなっていたが、水泳や激しいスポーツで加速度計を装着できなかった者もいたため、平均値で比較すると必ずしも運動習慣があることで、歩数が多くはならなかった。

E. 結論

職種、通勤手段、運動習慣、育児・介護の有無などの数項目の区分により、身体活動レベルを推測するための基礎的なデータを得ることができた。今後は、これらの項目及び歩数の組み合わせにより、身体活動レベルを推測する質問紙等を検討していく必要がある。

F. 健康危険情報

該当せず

G. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

表1 職種、運動習慣の有無別に比較した身体活動レベル

	全体	運動習慣無	運動習慣あり
デスクワーク	1.83±0.25 (62)	1.78±0.21 (43)	1.96±0.29 (19)
車通勤	1.72±0.21 (23)	1.68±0.14 (19)	1.94±0.38 (4)
それ以外	1.90±0.24 (39)	1.86±0.22 (24)	1.96±0.27 (15)
医療従事者	1.87±0.19 (30)	1.80±0.17 (18)	1.99±0.15 (12)
車通勤を除く	1.87±0.19 (29)	1.79±0.17 (17)	1.99±0.15 (12)
営業職	1.93±0.18 (24)	1.91±0.19 (15)	1.95±0.18 (9)
教育・研究職	1.74±0.15 (14)	1.67±0.13 (4)	1.77±0.16 (10)
販売・サービス業	1.96±0.25 (20)	2.02±0.26 (7)	1.93±0.25 (13)
家事従事者	1.95±0.30 (57)	1.96±0.28 (24)	1.94±0.32 (33)
育児・介護あり	2.02±0.25 (11)	2.06±0.24 (6)	1.96±0.28 (5)
育児・介護無	1.93±0.31 (47)	1.93±0.29 (18)	1.93±0.32 (29)
スポーツインストラクター	2.13±0.30 (17)		
製造・労務業	2.26±0.33 (29)	2.35±0.36 (17)	2.14±0.25 (12)

() は人数

表2 職種、運動習慣別にみた1日の平均歩数

	全体	運動習慣無	運動習慣あり
デスクワーク	8,840±2,806	8,502±2,730	9,622±2,897
車通勤	7,285±2,435	6,531±1,775	10,866±1,972
それ以外	9,734±2,632	10,000±2,362	9,291±3,066
医療従事者	8,571±2,453	7,995±2,205	9,435±2,644
車通勤を除く	8,635±2,471	8,071±2,249	9,435±2,644
営業職	9,402±2,443	8,627±2,184	10,694±2,409
教育・研究職	9,676±2,931	7,733±3,125	10,454±2,608
販売・サービス業	9,051±3,481	10,751±3,977	8,136±2,947
家事従事者	8,896±2,885	9,484±2,502	8,469±3,101
育児・介護あり	9,032±2,951	9,732±1,989	8,192±3,900
育児・介護無	9,016±3,055	9,401±2,697	8,778±3,280
スポーツインストラクター	9,566±3,582		
製造・労務業	11,355±3,162	10,804±2,403	12,135±3,990

小・中・高校生の基礎代謝量、基礎代謝基準値の検討

研究分担者 金子佳代子 横浜国立大学
研究分担者 高田和子 (独) 国立健康・栄養研究所
研究協力者 古泉佳代 日本女子体育大学

わが国の小・中・高校生の年齢階級における基礎代謝量および基礎代謝基準値を算出するためのデータを得ることを目的として、小学生 70 名、中学生 80 名、高校生 71 名を対象として、フード法による基礎代謝量 (BMR) の測定および身体計測を実施した。

男女とも年齢が上がるとともに、BMR は増大し、体重 1 kg あたりの BMR は低減した。体重 1 kg あたりの BMR と体重または FFM との間には有意な相関が認められた。体重 1kg あたりの BMR を基礎代謝基準値と比較すると、8-9 歳男女、10-11 歳女子において実測値の方が基準値より 5%以上高く、中学生および高校生女子では基準値と比べて実測値の方が 5%以上低い数値であったが、それ以外は実測値と基準値の差は±5%以内であった。

A. 研究目的

近年わが国では、大人も子どもも身体活動量が減少しており、肥満をはじめ高脂血症、虚血性心疾患、糖尿病、骨粗鬆症などの増大の要因と考えられている。子どものこころと身体の健康状態についてもさまざまな問題が指摘され、基礎的な体力の低下が懸念されている。子どもの生活に関する研究によると、屋外で活発に活動する時間よりも、屋内で過ごす時間の長いことが報告されており、個人差も大きいと考えられる。このような身体活動量の低下、消費エネルギー量減少の問題と食生活の問題とを総合的に把握して、心身の健康との関わりを明らかにすることが必要である。

成長期のエネルギー必要量については、日本人の食事摂取基準 (2005 年版、2010 年版)^(1,2) では成長期の推定必要エネルギー (kcal/日) を、

基礎代謝量 (kcal/日) × 身体活動レベル + エネルギー蓄積量として算定している。身体活動レベル (physical activity level : PAL) は、1 日の総エネルギー消費量を 1 日当りの基礎代謝量で除した指数である。現時点で、日常生活を自由に営んでいる状態でのエネルギー消費量を最も正確に測定する方法は二重標識水 (doubly labeled water : DLW) 法である。しかし、日本人を対象として、成長期の 1 日エネルギー消費量を二重標識水法で測定したデータはないため、日本人の食事摂取基準では諸外国における研究報告の系統的レビューを行い、各年齢階級における PAL を推定している。2010 年版では、6 歳以降について PAL の個人差を考慮するために、成人と同じ 3 区分 (レベル I (低い)、レベル II (ふつう)、レベル III (高い)) とされた。今回初めて、学童期にもレベル I (低い) が設

定されたのであるが、これらの年代の PAL に関するわが国のデータはみられないことから、今後検討する必要があるとされている。

そこで、小・中・高校生の基礎代謝量および身体活動レベル (PAL) を正確に測定し、この年齢階級の推定エネルギー必要量 (Estimated Energy requirement: EER) 算出のための日本人のデータを得ることを目的として、小・中・高校生を対象とした測定実験を行った。本論文では、小・中・高校生の基礎代謝量測定結果について報告する。

B. 方法

1. 被験者

神奈川県内の小学校 3 校、中学校 1 校、高等学校 3 校において実施した。児童生徒および保護者に対して本研究の目的と内容について文書にて説明を行い、本人及び保護者から書面による同意の得られた者 (小学生 80 名、中学生 80 名、高校生 72 名) を対象として測定を行った。

2. 基礎代謝量 (Basal metabolic rate: BMR) の測定および身体計測

BMR の測定は、前日の夕食後 12 時間以上経過した朝空腹時に、仰臥安静・覚醒状態で、快適な室温 (20-25°C) を維持して行った。

測定は、2006~2008 年の 3 年間にわたり、各対象者の都合にあわせて 5 月から翌年 1 月に順次行い、学校の長期休暇、試験や学校行事により通常と身体活動の異なる期間は除いて実施した。

対象者は、測定初日の前日午後 8 時までに夕食を終了させ、当日は朝食を食べずに 8 時に登校し、身体計測を実施した後、30 分間仰臥位で安静をとり、体温と脈拍の測定により安静状態

を確認したうえで、フードを使用して 20 分間、BMR を測定した (AR-1、アルコシステム、千葉)。

BMR は、酸素消費量及び二酸化炭素排出量がほぼ定常状態になった 10~13 分の平均値から、STPD 換算した上で、Weir の式⁵⁾を用いて、1 日当たりのエネルギー量として求めた。なお、AR-1 によるフードでの測定精度については、熊江らにより誤差は最大でも 0.02% であることが報告されている⁴⁾。

身体計測については、身長は身長計を用いて 0.1cm 単位で測定した。体重は、下着及び T シャツ・ハーフパンツの状態、0.1kg の電子体重計を用いて測定し、T シャツ・ハーフパンツの重量を差し引いた。皮下脂肪厚は、Holtain 式 skinfold caliper (GPM 製) を用いて、上腕前部、肩胛骨下部の 2 部位を測定した。それぞれの計測値は 0.1mm 単位で読み取り、3 回以上測定し、平均値を用いた。2 部位の皮下脂肪厚の合計値から長嶺の推定式⁶⁾により体密度を求め、Brozek らの式⁶⁾から体脂肪率 (%) を算出した。

体重と身長より Body Mass Index を算出し ($BMI = \text{体重 (kg)} / \text{身長 (m)}^2$)、体脂肪率と体重から Fat Free Mass ($FFM = \text{体重 (kg)} * \{100 - \text{体脂肪率}\} / 100$) を求めた。

3. 統計処理

対象者特性に関するデータは平均値±標準偏差で示した。統計解析は SPSS ver10.0 (SPSS Inc. USA) により行った。各年齢階級における男女間の比較には対応のない t 検定、年齢階級間の比較は一元配置分散分析により行い、post hoc test として Dunnett の T3 を使用した。体重 1 kg あたり基礎代謝量と体重、または FFM との相関については Pearson の相関係

数を求めた。

4. 倫理面への配慮

本調査は、国立大学法人横浜国立大学の研究倫理審査委員会の承認を得て実施した。対象者・保護者には研究の目的と方法、危険性等をすべて説明し、書面にて同意を得た。解析時には、データはすべてID番号で管理し、個人情報 は別途、管理した。

C. 研究結果

表1に、調査対象者の身体計測結果をまとめた。基礎代謝測定中、安静状態を保てなかった者を除いた対象者は、小学生70名、中学生80名、高校生71名であった。安静状態を保てなかった者は、6-7歳の男子8名、女子2名が手足を動かさず等じとしていられない状態、高校生男子1名はくしゃみ・鼻水が出る状態であったので除いた。

身長、体重、除脂肪量 (FFM) は、小学生では男女差がみられなかったが、中学生、高校生では有意な男女差が認められた。体脂肪率は、6-7歳、中学生、高校生において男女間に有意な差がみられた。

表2に基礎代謝量 (BMR) の測定結果をまとめた。BMRは、男女とも、年齢が上がるにつれて増大し、中学生および高校生では男女間に有意差が認められた。体重1kg当りのBMRは年齢が上がるにつれて低減し、中学生および高校生では男女間に有意な差がみられた (表2, 図1)。FFM1kg当りの基礎代謝量も年齢が上がるにつれて低減し、中学生において有意な男女差がみられた (表2, 図1)。

BMRと体重あるいはFFMとの間には有意な相関が認められ、回帰直線式は、BMR

(kcal/day) = 12.8 × 体重 (kg) + 742.4 (r=0.742)、BMR (kcal/day) = 16.9 × FFM (kg) + 701.7 (r=0.742) であった。また、図2に示すように、体重1kg当りのBMRと体重あるいはFFMとの間には有意な負の相関が認められた。

体重1kg当りのBMRを現行の基礎代謝基準値^②と比較すると (図1、表3)、5%以上の差が認められたのは、8-9歳男女、10-11歳女子において実測値の方が高く、中学生および高校生女子では基準値と比べて実測値の方が低い数値であった。これらのグループ以外は実測値と基準値の差は±5%以内であった。

D. 考察

一般に子どもは、RMR測定時に安静仰臥位を保つことが困難である。本研究においては、RMRを測定できた小学生の多くはその姿勢をとることができていた。しかし、心理的な緊張などによりわずかながらRMRを過大評価した可能性も考えられる。

基礎代謝量は身体組成と関連し、とくにFFMの影響は大きいと考えられる。本研究では皮脂厚法によりFFMを推定し、FFM1kg当たりのBMRを算出して検討を行ったが、今後さらに、身体組成等とBMRの関連性について詳しく検討する必要があると考えられる。

E. 結論

男女とも年齢が上がるとともに基礎代謝量 (BMR) は増大し、体重1kgあたりのBMRは低減した。BMRと体重あるいはFFMの間には有意な相関が認められた。体重1kgあたりのBMRを基礎代謝基準値と比較すると、8-9歳男女、10-11歳女子において実測値の方