

厚生労働科学研究費補助金

循環器疾患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

(H18-循環器等(生習)-一般-041)

平成19年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 田中 茂穂

平成20(2008)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. 加速度計を用いた日常生活活動と歩行活動の活動強度の評価精度	9
田中茂穂、高田和子、引原有輝、大河原一憲	
2. 加速度計を用いた総エネルギー消費量の評価の妥当性	19
高田和子、田中茂穂、引原有輝、大河原一憲、海老根 直之、佐々木 敏	
3. 既存の基礎代謝推定式の妥当性	27
田中茂穂、三宅理江子、高田和子、大河原一憲、引原有輝	
4. 新たな基礎代謝推定式に関する基礎的検討	36
宮地元彦、高田和子、谷本道哉	
5. 身体活動強度の指標における体格補正法	43
田中茂穂、田栗恵美子、高田和子、大河原一憲、引原有輝	
6. 運動強度に着目した身体活動量と内臓脂肪蓄積との関連に関する縦断的検討	49
内藤義彦	
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	55
IV. 研究成果の刊行物・別刷	57

エネルギー必要量推定法に関する基盤的研究

主任研究者 田中茂穂 （独）国立健康・栄養研究所 健康増進プログラム

エネルギー代謝プロジェクトリーダー

「日本人の食事摂取基準（2005年版）」におけるエネルギー必要量の決定法や、2006年に策定された運動基準・運動指針における身体活動量の評価法を改善・確立することが、本研究の主な目的である。19年度（2年目）は、以下のような結果が得られた。

1) 歩行だけを評価の対象とした従来の加速度計では家事活動などの日常生活活動を評価できないが、アルゴリズム等の工夫によって測定精度が大きく改善することが明らかとなった。これにより、エネルギー消費量の推定に加え、日常生活における時間毎の活動強度が評価可能となり、運動基準・指針における身体活動量評価のための妥当基準が確立できた。2) 生活活動を評価できる3次元加速度計は、一部の対象集団において、二重標識水法を妥当基準とした日常生活のエネルギー消費量を、従来の方法より正確に推定できた。3) 体重当たりの基礎代謝量は体重によって異なるため、体重当たりの基礎代謝量を一律に定めている現在の基準値の見直しが必要であることが明らかになるとともに、身体組成を考慮した推定式による推定精度改善の目途がたった。4) 既存の基礎代謝量推定式のうち、国立健康・栄養研究所が発表した推定式が最も優れていることが明らかとなった。5) 活動時のエネルギー消費量を体重で除すると静的活動において、基礎代謝量や座位安静時代謝量で除すると生活活動や歩行活動において、活動強度の評価が体格に依存する可能性が示唆された。6) 健康教室前後における内臓脂肪断面積の変化量は、加速度計で評価した体重当たり総消費エネルギー量の変化との相関が最も強く、運動強度の影響はみられなかった。

以上のように、3次元加速度計により、エネルギー必要量を従来より正確に推定できる方法を提示できた。また、運動基準・指針における身体活動量評価の妥当基準が確立できた。歩行のみを評価できる従来の加速度計は総エネルギー消費量を平均約20%過小評価していたのに対して、家事活動などの日常生活活動を評価できる加速度計を用いるとその点が解消できたことは、総エネルギー消費量評価におけるこれらの日常生活活動の寄与が大きいことを示唆する。したがって、身体活動量や総エネルギー消費量推定のための質問紙法などを開発するにあたって、歩行のみならず日常生活活動の評価法に焦点を当てる必要がある。

分担研究者

高田和子（(独) 国立健康・栄養研究所 健康増進プログラム 上級研究員）

宮地元彦（(独) 国立健康・栄養研究所 健康増進プログラム 運動ガイドラインプロジェクトリーダー）

佐々木敏（東京大学大学院医学系研究科教授）

内藤義彦（武庫川女子大学 生活環境学部教授）

海老根直之（大分大学医学部人間環境・社会医学講座 助手）

A. 研究目的

日本人の栄養所要量は、「日本人の食事摂取基準（2005年版）」で、大きく改定された。その中で、エネルギー必要量についても、「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。しかし、集団における平均値として改善されるものの、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。

また、「健康づくりのための運動基準2006」「健康づくりのための運動指針2006」では、中強度以上の身体活動を23メッツ・時/週以上行うことが望ましいとしている。しかし、その評価法については、十分に吟味されているとは言えない。

そこで、本研究では、エネルギー消費量や身体活動量の推定法を改善・確立し、食事摂取基準のエネルギー必要量や運動基準・指針に資する研究を行うこととした。

B. 研究方法

1. 加速度計を用いた日常生活活動と歩行活動の活動強度の評価精度

健康な成人男女65名を対象に、1次元（鉛直方向）加速度計（Lifecorder：LC）、3次元（前後、上下、左右）加速度計（ActivTracer：AT、activity monitor：AMME）を装着させた上で、基礎代謝量（BMR）および計12種類の身体活動中のエネルギー消費量を測定した。

2. 加速度計を用いた総エネルギー消費量の評価の妥当性

健康な成人男女について、基礎代謝量（Basal metabolic rate：BMR）を測定後、1次元（鉛直方向）加速度計（Lifecorder：LC）、3次元（前後、上下、左右）加速度計（Activity monitor：ME、Active style Pro：OH）を装着させた上で、およそ2週間にわたりTEEを測定した。今年度は、解析の終了している13名（男性6名、女性7名）について報告する。

3. 既存の基礎代謝推定式の妥当性

18-79歳の健康な日本人男女366名を対象に、年代別、体格別に既存の基礎代謝量推定式の妥当性について検討した。ダグラスバッグにより実測した値を、国立健康・栄養研究所の式（Ganpule et al., 2007）を含む6つの推定式から得られた結果と比較した。実測値と推定値の差を評価するために平均誤差平方和の平方根（Total Error（TE））を用いた。

4. 新たな基礎代謝推定式に関する基礎的検討

被験者は、日常的に高強度・高頻度で運動を実践している者を除いた、健常な18歳～70歳代までの一般成人男女725名を対象にBMRの測定を行い、性別・年代毎の体重との関係を整理した。さらに、体重をDXA法によりLBMと、体脂肪量(Fat Mass: FM)の2要素に分け、それぞれを変数に含めたBMR推定法の検討を加えた。

5. 身体活動強度の指標における体格補正法

健康な成人男女71名について、基礎代謝量(BMR)、座位安静代謝量(RMR)、静的活動3項目、生活活動4項目、歩行活動7項目のEEを測定した。それぞれの活動時のEEを、体格を表す因子(体重(BW)、BMR、RMR)で除し、身体活動強度指標(順に、EE/BW、EE/BMR、EE/RMR)を算出した。身体活動強度指標と体格(体重)の間に有意な関係が見られた場合に、身体活動強度指標の体格補正が不適切であると評価した。

6. 運動強度に着目した身体活動量と内臓脂肪蓄積との関連に関する縦断的検討

運動強度を加味した身体活動量の評価指標と内臓脂肪面積を始めとした各種の肥満指標との関連を横断的および縦断的に検討し、健康診断や保健指導における運動強度を加味した身体活動量評価の有用性について検討した。対象は在阪の医療機関の健康教室参加者の内、教室前後に腹部CT検査を受けた48名である。身体活動量評価は一次元加速度計(ライフコーダEx)を用い複数の指標を用いた。

倫理面への配慮

本研究は、疫学研究に関する倫理指針(平成16年文部科学省・厚生労働省告示第1号)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. 加速度計を用いた日常生活活動と歩行活動の活動強度の評価精度

LCでは、実測値と推定値の差異が、歩行活動と比べて日常生活活動で大きく過小評価された。一方、ATとMEでは歩行活動だけでなく、日常生活活動においても良好な推定精度で評価できることが明らかになった。ただし、日常生活活動の内容によって、それぞれ過小評価と過大評価されることもわかった。また、ATはMEと比較してすべての日常生活活動において実測値との差異が小さい傾向にあった。このことから、日常生活活動と歩行活動をそれぞれの推定式から評価することが推定精度の改善に有用であることが示唆された。

2. 加速度計を用いた総エネルギー消費量の評価の妥当性

LCにより推定されたTEEは、DLW法のそれと比較して有意に過小評価された。一方、MEおよびOHでは、有意差が認められ

なかった。

3. 既存の基礎代謝推定式の妥当性

男女別では国立健康・栄養研究所の式の TE が最も小さかった(男性: 124 kcal、女性: 99 kcal)。TE が最も大きかったのは、男性は FAO/WHO/UNU 式(234 kcal)、女性は Harris-Benedict 式(183 kcal)だった。

4. 新たな基礎代謝推定式に関する基礎的検討

いずれの性別・年代においても、日本人の食事摂取基準の基礎代謝基準値よりも低い値を示し、体重の増加にしたがって体重当たりの BMR が低下する傾向が観察された。また体重を LBM と FM の 2 変数に分けて導出した BMR の推定式は、体重を 2 変数に分けずに導出した推定式よりも高い精度を得ることができた。

5. 身体活動強度の指標における体格補正法

EE/BW では、静的活動の全てにおいて、体重と有意な負の関係がみられた。これらの活動の EE/BW の値は、平均的な体格から 10kg 離れるごとに±5-6%程度の誤差が生じた。EE/BMR では、3 項目の歩行活動で体重と有意な正の関係がみられ、平均的な体格から 10kg 離れるごとに±3-5%程度の誤差が生じた。EE/RMR では、2 項目の生活活動と 5 項目の歩行活動で体重と有意な正の関係がみられ、平均的な体格から 10kg 離れるごとに±3-6%の誤差が生じた。

6. 運動強度に着目した身体活動量と内臓脂肪蓄積との関連に関する縦断的検討

縦断的検討より、食事の改善より身体活動の改善の方が内臓脂肪面積減少に対して影響が大きいことが示唆された。また、内臓脂肪面積の変化に対する身体活動量指標の変化の関連について、単純な相関分析および他の変数を考慮した分析を行った結果、体重当たり総消費エネルギー量の変化との関連性が最も大きく、特に運動強度が内臓脂肪に強く影響することを示すような結果ではなかった。

D. 考察

1. 加速度計を用いた日常生活活動と歩行活動の活動強度の評価精度

歩行を対象として開発されたアルゴリズムでは、日常生活活動時の活動強度を過小評価するが、日常生活活動と歩行活動をそれぞれの推定式から評価することが推定精度の改善に有用であることが示唆された。また、我々が別途開発した新規の加速度計(オムロン・ヘルスケア(株)、Active style Pro)は、3次元合成加速度のフィルタ処理(重力加速度の除去)前後の比を用いることで、日常生活活動と歩行活動に判別でき、日常生活活動時における活動強度の推定精度が更に改善されている。

2. 加速度計を用いた総エネルギー消費量の評価の妥当性

OH では、特に日常生活活動をより適切に評価することをねらいとした推定式が用いられており、これが LC の妥当性との差異が生じた要因と考えられる。今後は、対象特性による、歩行以外の日常生活活動の割合や各加速度計の妥当性の相違について検

討する必要がある。

3. 既存の基礎代謝推定式の妥当性

今回使用した 6 つの推定式の中では、男女とも国立健康・栄養研究所の式の誤差が最も少なかったため、健康な日本人男女において、基礎代謝量の推定に最も良い推定式であることが示唆された。海外の推定式は、全体に推定誤差が大きかった。

4. 新たな基礎代謝推定式に関する基礎的検討

1950-1960 年代の基礎代謝基準値策定当時より LBM が減少し、体重当たりの BMR の減少に影響している可能性が考えられる。

5. 身体活動強度の指標における体格補正法

EE/BW は静的活動において、EE/BMR と EE/RMR は生活活動や歩行活動において、活動強度の評価が体格に依存する可能性が示唆された。体格により生じる誤差の程度は、いずれの活動強度指標においても、平均的な体格より 10kg 離れるごとに 5% 程度であることが示された。

6. 運動強度に着目した身体活動量と内臓脂肪蓄積との関連に関する縦断的検討

先行研究において運動強度と内臓脂肪面積の関係には一致した見解が得られていないことから、今後対象者の属性や食事を考慮した上で、さらなる検討が必要であると考えられる。

E. 結論

1. 加速度計を用いた日常生活活動と歩行活動の活動強度の評価精度

歩行だけを評価の対象とした加速度計では日常生活活動は十分に評価できないが、アルゴリズム等の工夫によって日常生活活動も評価できることが明らかとなった。

2. 加速度計を用いた総エネルギー消費量の評価の妥当性

LC により推定された TEE は、DLW 法のそれと比較して有意に過小評価された。一方、ME および OH では、有意差が認められなかった。これら 2 種類の 3 次元加速度計は、特に日常生活活動をより適切に評価することをねらいとした推定式が用いられており、LC の結果との差異が生じた要因と考えられる。今後は、対象特性による歩行以外の日常生活活動の割合や、各加速度計の妥当性の違いについて検討する必要がある。

3. 既存の基礎代謝推定式の妥当性

基礎代謝量の実測値と既存の 6 つの推定式を比較したところ、今回の被験者における基礎代謝量の推定に最も良い推定式は、最も誤差の変動が小さかった国立健康・栄養研究所の式 (Ganpule et al., 2007) だった。また、基礎代謝量の推定式は、既存の基礎代謝基準値のように、年齢階級ごとに体重あたりの基礎代謝量を一律に使用するのではなく、体重項と切片を含む式あるいは加算値の改良など、体重を考慮した基礎代謝量の推定式にする必要があることが示唆された。

4. 新たな基礎代謝推定式に関する基礎的検討

現在の基礎代謝基準値は体重あたりの値が性・年齢階級別に一律で採用されているが、体重あたりのBMRが体重によって異なることを考慮したもの、もしくはLBMの値を含めてBMRを評価するものに改定する必要性が示唆される。

5. 身体活動強度の指標における体格補正法

個々人のEEを体格で補正する場合、あるいは、平均の活動強度指標からEEを推定する場合には、EE/BWは静的活動において、EE/BMRは一部の歩行活動において、EE/RMRは一部の生活活動と多くの歩行活動において、活動強度の評価に最大で約±10%の誤差が生じると考えられた。

6. 運動強度に着目した身体活動量と内臓脂肪蓄積との関連に関する縦断的検討

メタボリックシンドロームで重視されている内臓脂肪面積と身体活動量との関連を縦断的に検討した結果、食事に比べ身体活動量の方がより影響が大きいことが示唆された。また、内臓脂肪面積に対して、運動強度よりも体重当たり総消費エネルギー量の方のより強い関連が示唆された。

20年度は、二重標識水(DLW)法を含む日常生活におけるエネルギー消費量・摂取量および身体活動量の測定を継続し、質問紙法や歩数からエネルギー消費量を推定する方法を確立するとともに、当初の身体活動レベルとその後の体重変化との関係より、「体重増加の防止に有効な身体活動レベ

ル」が存在するか検討する。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

Midorikawa T, Tanaka S, Kaneko K, Koizumi K, Ishikawa-Takata K, Futami J, Tabata I. Evaluation of low-intensity physical activity by triaxial accelerometry. *Obesity*. 15: 3031-8, 2007.

Tanaka C, Tanaka S, Kawahara J, Midorikawa T. Triaxial accelerometry for assessment of physical activity in young children. *Obesity*. 15: 1233-1241, 2007.

Ishikawa-Takata K, Tabata I, Sasaki S, Rafamantanantsoa HH, Okazaki H, Okubo H, Tanaka S, Yamamoto S, Shirota T, Uchida K, Murata M. Physical activity level in healthy free-living Japanese estimated by doubly labelled water method and International Physical Activity Questionnaire. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 2007, Epub ahead of print.

Ganpule AA, Tanaka S, Ishikawa-Takata K, Tabata I. Interindividual variability in metabolic rates in Japanese subjects. *Eur J Clin Nutr*, 61: 1256-61, 2007.

Tanaka S, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Morita A, Watanabe S. Accuracy of predictive equations for basal metabolic rate and the contribution of abdominal fat distribution to basal metabolic rate in obese Japanese people. *Anti-Aging Med*, 5: S17-21, 2008.

Ohkawara K, Tanaka S, Miyachi M, Ishikawa-Takata K, Tabata I. A dose-response relation between aerobic exercise and visceral fat reduction: systematic review of clinical trials. *Int J Obes* 31: 1786-97, 2007.

Okubo H, Sasaki S, Rafamantanantsoa HH, Ishikawa-Takata K, Okazaki H, Tabata I. Validation of self-reported energy intake by a self-administered diet history questionnaire using the doubly labeled water method in 140 Japanese adults. *Eur J Clin Nutr* 2007 [Epub ahead of print].

Ohkawara K, Tanaka S, Ishikawa-Takata K, Tabata I. Twenty-four-hour analysis of elevated energy expenditure after physical activity in a metabolic chamber: models of daily total energy expenditure. *Am J Clin Nutr*, in print.

田中千晶, 田中茂穂, 河原純子, 緑川泰史. 一軸加速度計を用いた幼児の身体活動量の評価精度. *体力科学* 56: 489-500, 2007.

田中茂穂: 身体活動レベル (PAL) とエネルギー必要量. *臨床スポーツ医学* 24, 847-53, 2007.

高田和子. 摂取したエネルギーの体内での吸収. *体育の科学* 56: 287-90, 2007.

内藤義彦: 集団を対象とした身体活動・運動量の評価. *体育の科学*, 57: 2-6, 2007.

2. 学会発表

引原有輝, 田中茂穂, 大河原一憲, 高田和子, 三宅理江子, 田栗恵美子, 田畑泉. 加速度計を用いた身体活動強度の評価の妥当性. 第62回日本体力医学会, 2007.9., 秋田.

大河原一憲, 田中茂穂, 引原有輝, 高田和子, 大島秀武, 川口加織, 土井龍介, 田畑泉. 1次元および3次元合成加速度を用いた歩行と日常生活活動強度の推定. 第62回

日本体力医学会, 2007.9., 秋田.

Ohkawara K, Tanaka S, Hikiyama Y, Ishikawa-Takata K, Oshima Y, Kawaguchi K, Doi R and Tabata I. Validity of triaxial accelerometry for assessing the intensity of various physical activities during daily living, The North American Association for the Study of Obesity, 2007, Louisiana, New Orleans.

Oshima Y, Kawaguchi K, Doi R, Ohkawara K, Hikiyama Y, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Ebine N, Aoki K, Misumi J and Tabata I. Contribution of Sedentary, Locomotive and Lifestyle Activity in Daily Life Assessed by a Triaxial Accelerometer, Recent Advances and Controversies in the Measurement of Metabolism, 2007, Colorado, Denver.

三宅理江子, 田中茂穂, 大河原一憲, 高田和子, 引原有輝, 田栗恵美子, 栢下淳, 田畑泉: 基礎代謝量の推定式の妥当性. 第62回日本体力医学会, 2007.9., 秋田.

田栗恵美子, 田中茂穂, 大河原一憲, 高田和子, 引原有輝, 三宅理江子, 田畑泉. 活動強度を表す指標における体格補正の妥当性. 第62回日本体力医学会大会, 2007.9., 秋田.

内藤義彦, 加藤亮, 他: 地域における水中運動教室の効果について (第6報) - 栄養教育の強化とその成果. 第66回日本公衆衛生学会, 2007.10., 愛媛.

内藤義彦: 実効性のある保健指導を行うには何が必要か? - ライフスタイルを評価し変容を促すツールの有用性を考える - . 第66回日本公衆衛生学会, 2007.10., 愛媛.

加藤亮, 内藤義彦: 地域の生活習慣病予防・改善のための行動変容プログラムにおける身体活動評価の重要性とその位置づけについて. 第10回運動疫学研究会学術集会,

2007.9. 兵庫

原田亜紀子、内藤義彦、他：加速度計データに基づく日常身体活動の分散成分の検討.
第 10 回運動疫学研究会学術集会, 2007.9.
兵庫.

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

加速度計を用いた日常生活活動と歩行活動の活動強度の評価精度

主任研究者	田中 茂穂	(独) 国立健康・栄養研究所	健康増進プログラム エネルギー代謝プロジェクトリーダー
研究協力者	高田 和子	〃	上級研究員
	引原 有輝	〃	特別研究員
	大河原 一憲	〃	流動研究員

本研究では、日常生活にみられる様々な身体活動について、エネルギー消費量の測定により身体活動強度を評価するとともに加速度計をあわせて装着し、既存の加速度計による身体活動強度の推定精度について検討することを目的とした。

健康な成人男女 65 名を対象に、1 次元（鉛直方向）加速度計（Lifecorder : LC）、3 次元（前後、上下、左右）加速度計（ActivTracer : AT、activity monitor : ME）を装着させた上で、基礎代謝量（BMR）および計 12 種類の身体活動中のエネルギー消費量を測定した。

LC では、実測値と推定値の差異が、歩行活動と比べて日常生活活動で大きく過小評価された。一方、AT と ME では歩行活動だけでなく、日常生活活動においても良好な推定精度で評価できることが明らかになった。ただし、日常生活活動の内容によって、それぞれ過小評価と過大評価されることもわかった。また、AT は ME と比較してすべての日常生活活動において実測値との差異が小さい傾向にあった。このことから、日常生活活動と歩行活動をそれぞれの推定式から評価することが推定精度の改善に有用であることが示唆された。

我々が別途開発した新規の加速度計（オムロン・ヘルスケア（株）、Active style Pro）は、3 次元合成加速度のフィルタ処理（重力加速度の除去）前後の比を用いることで、日常生活活動と歩行活動に判別でき、日常生活活動時における活動強度の推定精度が更に改善されている。以上のように、歩行だけを評価の対象とした加速度計では日常生活活動は十分に評価できないが、アルゴリズム等の工夫によって日常生活活動も評価できることが明らかとなった。

A. 研究目的

1 日の総エネルギー消費量（Total energy expenditure : TEE）の構成要素のうち、最も大きな割合（平均して約 60%）を占めるの

は、基礎代謝量（Basal metabolic rate : BMR）

である。これは、体格から推定することが可能である（Ganpule et al., 2007）。また、食事誘発性体熱産生は、エネルギー消費量の

約 10%で、比較的一定していると考えられている。これら 2 つを除く「身体活動に伴うエネルギー消費量」には、比較的大きな個人間変動がみられる。そのため、TEE を推定するためには、体格とともに、身体活動量を正確に把握することが重要である (田中, 2007)。

近年、加速度計による身体活動量の評価に関心が高まっており、本邦においても 1 次元加速度計 (LC: Lifecorder, SUZUKEN Co Ltd., Nagoya, Japan) が広く普及している。この加速度計は、これまで論文に公表されている結果によると、TEE を過小評価する傾向にある (田中, 2006)。この理由としては、主に上下方向の加速度の大きさと頻度から歩数や活動強度を推定するためのアルゴリズムが用いられているため、歩行以外の日常生活活動を正確に評価できていないことが考えられる。

一方、1 次元加速度計より 3 次元加速度計の方が、比較的低強度の活動を定量化することが可能であると考えられており (Westerterp, 1999)、Midorikawa et al. (2007) は、3 次元加速度の情報から歩行活動と日常生活活動を判別し、それぞれの回帰式から活動強度を推定している。このように、加速度計は軸が 1 次元か 3 次元という違いだけでなく、推定式によっても活動時のエネルギー消費量や活動強度の評価精度に違いが生じる可能性が考えられる。今後、TEE の評価精度を高めるためには、異なるアルゴリズムを有する加速度計毎に、種々の活動時におけるエネルギー消費量や活動強度の評価精度について把握しておくことが重要である。

そこで本研究は、既存の 2 種類の加速度計による、日常生活にみられる代表的な活動時

の活動強度の推定精度について、それぞれの加速度計が持ち備えたアルゴリズムと関連付けながら検討した。また、我々が最近開発した 3 次元加速度計の推定精度と比較した。

B. 研究方法

1. 被験者

被験者は、健康な成人男性 33 名 (年齢 41.8 ± 14.0 歳、身長 169.6 ± 6.2 cm, 体重 67.3 ± 14.1 kg) および女性 32 名 (年齢 43.1 ± 12.8 歳、身長 158.0 ± 5.2 cm, 体重 55.6 ± 9.6 kg)であった (Table 1)。

2. 測定手順

前日は、午後 9 時までに夕食終え、その後の飲食を禁止した。当日の朝は、水以外の飲食を控えさせ、午前 8 時頃に実験室に入室するように依頼した。その際、できる限り静かにゆっくりとした歩行で入室するように指示した。実験室に到着後に、本実験の主旨を説明し、実験への協力に関する同意を得た上で実験を開始した。まず初めに、被験者の身体計測を行い、その後、1 次元 (鉛直方向) 加速度計、3 次元 (前後、上下、左右) 加速度計を装着させた上で基礎代謝量 (BMR) および計 12 種類の日常生活活動中のエネルギー消費量を測定した。

3. 加速度計

a. Lifecorder EX (LC)

この加速度計 (LC) は、1 次元加速度計であり、主に歩行や走行活動をより正確に評価することをねらいとしている。この機

器は、4 秒ごとに記録される上下方向の加速度の出現頻度と大きさから「運動強度(任意の単位)」を 11 段階に分類することが可能である。そこで、「運動強度」と METs (Metabolic equivalents) との関係について報告した先行研究 (Kumahara, 2004) の推定式に基づいて METs を算出した。

$$\text{MET} = 0.043x^2 + 0.379x + 1.361$$

x : 運動強度

b. *ActivTracer (AT)*

AT (AC-210, GMS Co. Ltd., Tokyo, Japan) は、3 次元加速度計である。4 秒ごとに記録される上下方向と水平方向の加速度との比から日常生活活動と歩行活動に判別し、それぞれの推定式に外挿することで PAR (Physical activity ratio : PAR) を推定した (Midorikawa et al., 2007)。さらに、得られた PAR を 1.1 で除して METs に換算した。

Ratio : <0.750 (Housework)

$$\text{Housework : METs} = 0.0123 X (\text{mG}) + 1.7208 / 1.10$$

Ratio : >0.751 (Walk)

$$\text{Walk : METs} = 0.00081 X (\text{mG}) + 0.9234 / 1.10$$

X : 3 軸合成加速度

c. *Activity monitor (ME)*

ME (Matsushita Electric Works, Ltd., Osaka, Japan) は、12 秒ごとの加速度を記録することが可能な 3 次元加速度計である。METs への換算式は以下の通りである。

$$\text{EE(kcal/min)} = ax \times \text{BMR (kcal/day)} + \text{REE (kcal/min)}$$

$$\text{METs} = \text{kcal (min)} / \text{REE (kcal/min)}$$

EE : energy expenditure

a : coefficient

x : 加速度計のカウント数

BMR : 体表面積あたりの基礎代謝基準値

REE : BMR × 1.2

4. 基礎代謝量 (BMR)

被験者に仰臥位での安静状態を 30 分間保持させた後、ダグラスバッグを用いて 10 分間の呼気を 2 回採取した。採取した呼気の酸素濃度および二酸化炭素濃度を質量分析計 (ARCO-1000, Arco System Inc., Chiba, Japan) により測定した。また、呼気量を乾式ガスメータ (DC-5, SHINAGAWA Co., Ltd., Tokyo, Japan) により測定した。測定値は 2 回の平均値とし、Weir (1949) の式を用いて BMR を算出した。

5. 身体活動時のエネルギー消費量

日常生活活動として座位安静、パソコン作業、掃除機かけ、洗濯物干し、皿洗い、歩行活動として階段降り、階段昇り、ゆっくり歩行 (55m/min)、普通歩行 (70m/min)、速歩 (100m/min)、物 (3kg のかばん) を持って歩行 (70m/min) およびジョギング (原則として 140m/min) を対象者に行ってもらい、各身体活動中の呼気を採取して、エネルギー消費量を求めた。それを座位安静時エネルギー消費量で除して、METs を算出した。

6. 倫理面への配慮

本研究は、独立行政法人 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

LCでは、「運動強度」とMETsとの関係が日常生活活動と歩行活動で大きく異なることが明らかになった。一方、ATとAMでは合成加速度とMETsとの関係において日常生活活動と歩行活動が1本の直線式に収束する傾向にあった(Figure 1)。ただし、ATにおいては日常生活活動と歩行活動の関係性に違いが認められた。Midorikawa et al. (2007)の判別閾値に基づいた日常生活活動と歩行活動の判別率は、日常生活活動で23%~85%の感度を、歩行活動で97%以上の感度を有した(Table 2)。

LCにおける実測値と推定値を比較すると、歩行活動と比べて日常生活活動で過小評価された(Figure 2)。また、LCにより評価された歩数は、歩行活動時と比較して日常生活活動時で極端に少なかった(Table 3)。

一方、ATとAMでは歩行活動だけでなく、日常生活活動においても良好な推定精度で評価できることが明らかになった。ただし、日常生活活動の内容によって、それぞれ過小評価あるいは過大評価されることが明らかになった(Figure 2)。また、ATはAMと比較して、すべての日常生活活動において実測値との差異が小さい傾向にあった。

D. 考察

本研究は、1次元または3次元という加速度計の軸の相違だけでなく、特徴的なアルゴリズムを備えた3種類の加速度計による活動強度の評価精度について検討した。LCにより歩行と認識されるためには、初回の加速度信号が検出された後、1.5秒以内に2回目の信号が検出されることおよび加速度が規定の閾値に達することが条件付けられている。そして、その歩数と上下方向の加速度の大きさから「運動強度」が決定される(Mcclain et al. 2007)。また、歩行時において、LCの「運動強度」とMETsの間には有意な関係がみられることが報告されている(Kumahara et al. 2004)。しかしながら、LCにより評価されたTEEは、二重標識水法により評価されたTEEと比較して有意に過小評価されることが複数の研究により明らかにされている(田中, 2006)。

この点について、本研究では、TEEが過小評価される要因の1つとして、日常生活活動を適切に評価しきれていないことを明らかにした(Figure 2)。おそらく、LCのアルゴリズムに従えば、日常生活活動のような加速度が断続的に出現する活動では、歩行としての認識がなされていないことが考えられる。実際に、1分間当たりの歩数を日常生活活動と歩行活動とで比較すると、歩行活動において極端に歩数が少ない(Table 3)。このことが、日常生活活動時の活動強度が低く見積られる結果につながっているものと予想される。

また、歩行活動では階段昇りが過小評価されていた。ただし、1日の中で行う階段昇りの合計時間を考えた場合、エネルギー消費量としてはさほど問題にならないの

かもしれない。これらのことから、日常生活の中で、今回の日常生活活動の比重が大きいくらいほど、先に述べた TEE の過小評価が説明できると考えられる。

一方、3次元加速度計の場合は、階段昇りを除くと、実測値と推定値との差異において日常生活活動と歩行活動との間に大きな相違は認められていない。特に、AT では Midorikawa et al. (2007) の判別方法を適用したことが、より良好な精度を保持することにつながったと考えられる。日常生活活動の中でも荷物運びは、歩行活動と動作様式が類似しているため判別が難しく (Table 3)、そのことが比較的大きな誤差を引き起こしたものと考えられる (Figure 2)。また、掃除機および皿洗いについても判別率が 70%程度に留まっており、判別の精度を高められれば推定精度の改善できるはずである。

ただし、日常生活の中で、日常生活活動と歩行活動や活動のタイプがどのような割合で観察されるか、現時点ではわからない。したがって、本研究での AT と ME の差異が TEE にもそのまま反映されるとは限らない。この点について、Leenders (2006) は歩行時の加速度とエネルギー消費量との関係から得られた推定式はいずれも、TEE を約 10%かそれ以上過小評価する傾向がみられたが、日常生活活動と歩行活動を含めた推定式では、必ずしもそのような傾向がみられないことを示唆している。

一方、我々は、オムロン・ヘルスケア (株) と共同で、新規の 3次元加速度計を開発し、検知された加速度とそこから重力加速度を除去した加速度との比を用いてしており、日常生活活動と歩行活動を 100%に近い

確率で判別することを可能にした。

Figure 3 は、本研究と同様の身体活動を実施した際の推定誤差を示している。本研究では、既存の加速度計についてはこれらの身体活動の推定精度を評価したのに対し、Figure 3 は、これらの身体活動から推定法を開発し、その交差妥当性の検討結果である。その点では、既存の加速度計の推定精度と単純に比較できないが、日常生活活動、歩行活動ともに良好な結果が得られた。特に、日常生活活動に改善が認められたが、新たなアルゴリズムによる判別率の向上がその大きな要因ではないかと考えられる。

ただし、今回の評価精度の改善は、ある特定の活動によって得られた結果である。今後は、既存の加速度計も含め、活動の種類をさらに増やして検討することや、様々な対象者の日常生活における TEE の評価精度についても検討を進める予定である。

E. 結論

LC では、日常生活活動時の活動強度を評価することは難しいことが明らかになった。一方、AT と AM では歩行活動だけでなく、日常生活活動においても良好な推定精度で評価できたが、日常生活活動と歩行活動を独自の推定式から評価する AT では、AM と比較して大半の活動で推定精度が良好であった。

また、新規の加速度計でも、日常生活活動と歩行活動の判別により、特に日常生活活動時の活動強度の評価に改善が認められている。以上のように、歩行だけを評価の対象とした加速度計では日常生活活動

は十分に評価できないが、アルゴリズム等の工夫によって日常生活活動もある程度評価できることが明らかとなった。

F. 研究発表

1. 学術論文

Midorikawa T, Tanaka S, Kaneko K, Koizumi K, Ishikawa-Takata K, Futami J, Tabata I. Evaluation of low-intensity physical activity by triaxial accelerometry. *Obesity*. 15: 3031-8, 2007.

Tanaka C, Tanaka S, Kawahara J, Midorikawa T. Triaxial accelerometry for assessment of physical activity in young children. *Obesity*. 15: 1233-1241, 2007.

田中千晶, 田中茂穂, 河原純子, 緑川泰史. 一軸加速度計を用いた幼児の身体活動量の評価精度. *体力科学* 56: 489-500, 2007.

2. 学会発表

引原有輝, 田中茂穂, 大河原一憲, 高田和子, 三宅理江子, 田栗恵美子, 田畑泉. 加速度計を用いた身体活動強度の評価の妥当性, 日本体力医学会, 2007, 秋田大会.

大河原一憲, 田中茂穂, 引原有輝, 高田和子, 大島秀武, 川口加織, 土井龍介, 田畑泉. 1次元および3次元合成加速度を用い

た歩行と日常生活活動強度の推定, 日本体力医学会, 2007, 秋田大会.

Ohkawara K, Tanaka S, Hikiyama Y, Ishikawa-Takata K, Oshima Y, Kawaguchi K, Doi R and Tabata I. Validity of triaxial accelerometry for assessing the intensity of various physical activities during daily living, The North American Association for the Study of Obesity, 2007, Louisiana, New Orleans.

Oshima Y, Kawaguchi K, Doi R, Ohkawara K, Hikiyama Y, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Ebine N, Aoki K, Misumi J and Tabata I. Contribution of Sedentary, Locomotive and Lifestyle Activity in Daily Life Assessed by a Triaxial Accelerometer, Recent Advances and Controversies in the Measurement of Metabolism, 2007, Colorado, Denver.

G. 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

Table 1 対象者の身体的特徴

	Male (n=33)	Female (n=32)
Age (yrs)	41.8 ± 14.0	43.1 ± 12.8
Height (cm)	169.6 ± 6.2	158.0 ± 5.2
Weight (kg)	67.3 ± 14.1	55.6 ± 9.6
BMR (kcal)	1482 ± 172	1189 ± 107

BMR, basal metabolic rate

Table 2 日常生活活動と歩行活動との判別率

classification	kind of physical activity	lifestyle activity (%)	locomotive activity (%)
lifestyle activity	desk work	100%	0%
	vacuum	72%	28%
	laundry	69%	31%
	wash dishes	85%	15%
	carry a baggage	23%	77%
locomotive activity	climbing down stair	2%	98%
	climbing up stair	2%	98%
	slow walk (55m / min)	3%	97%
	normal walk (70m / min)	2%	98%
	brisk walk (100m / min)	2%	98%
	jogging (140m / min)	0%	100%

判別方法は、Midorikawa et al.(2007)の判別閾値に基づいて行った。

(AT を用いた場合)

Table 3 各活動中の1分間あたりの歩数

	rate of steps
desk work	0.0 ± 0.0
vacuum	6.8 ± 8.0
laundry	1.6 ± 2.6
wash dishes	0.3 ± 1.6
carry a baggage	44.4 ± 9.4
climbing down stair	104.1 ± 14.6
climbing up stair	90.9 ± 13.9
slow walk	100.0 ± 6.8
normal walk	111.1 ± 6.2
brisk walk	121.0 ± 6.8
walk with a baggage	115.5 ± 6.0
jogging	161.0 ± 25.5

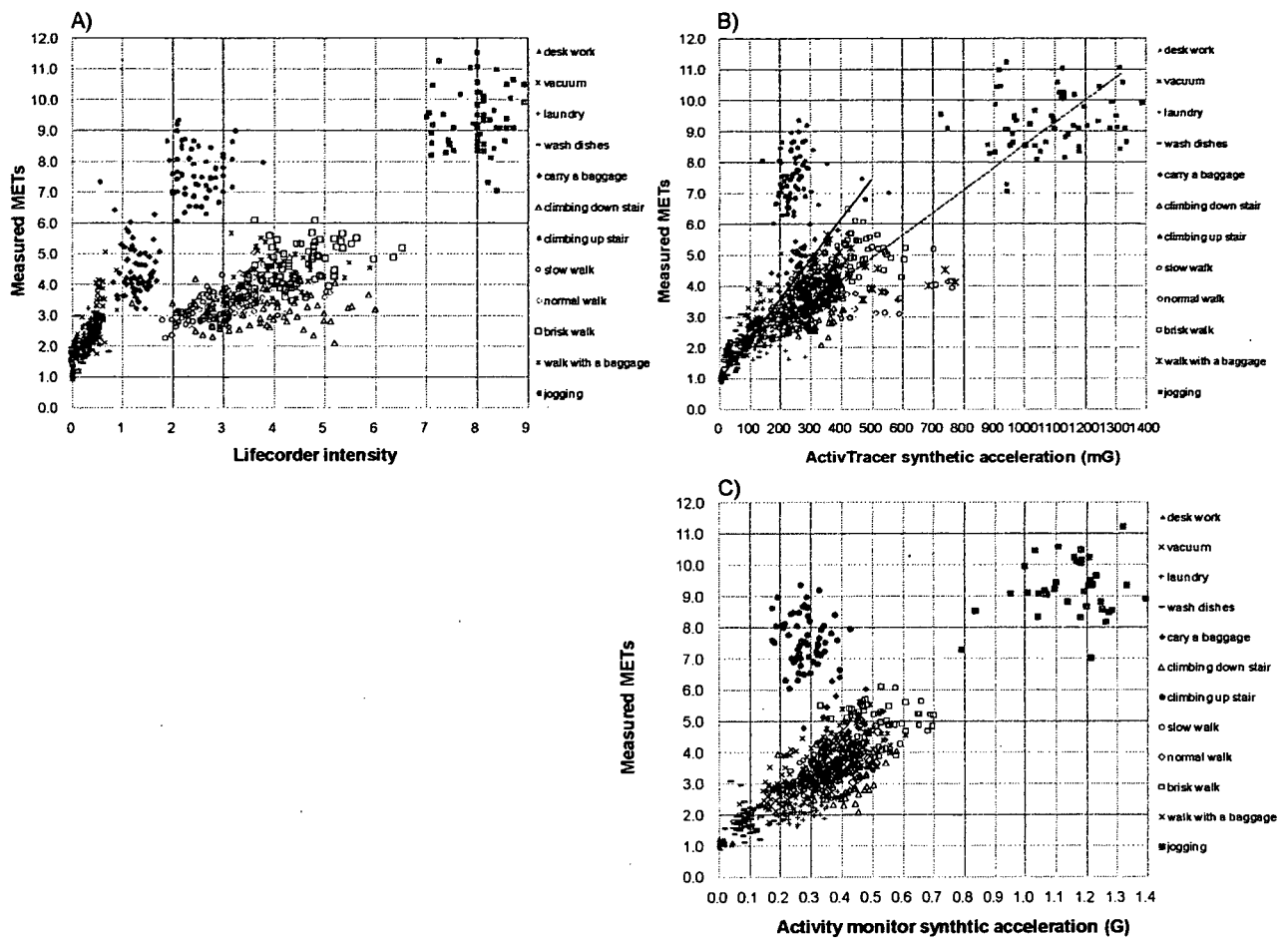


Figure 1 実測値と運動強度（Lifecorder）および合成加速度（ActivTracer、activity monitor）との関係（A: Lifecorder、B: ActivTracer、C: activity monitor）

注）B（ActivTracer）の場合のみ、実線は日常生活活動の関係を、点線は歩行活動の関係を示す

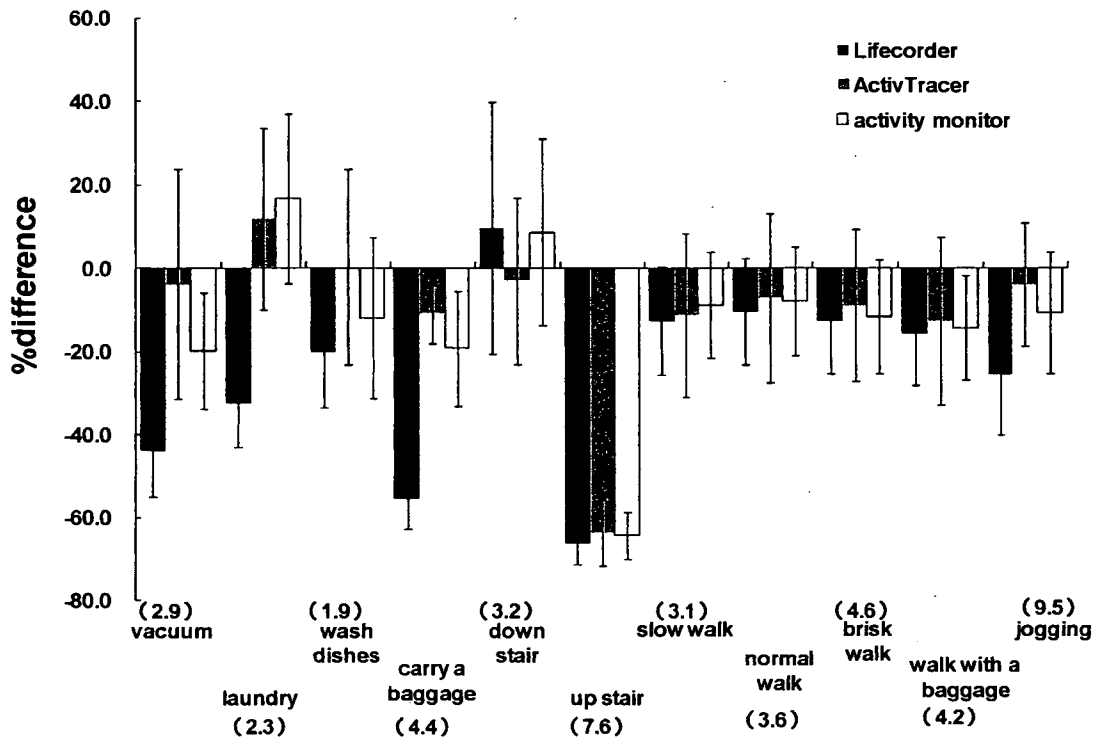


Figure 2 実測値 (METs) と各加速度計による推定値 (METs) との差異 (n=66)

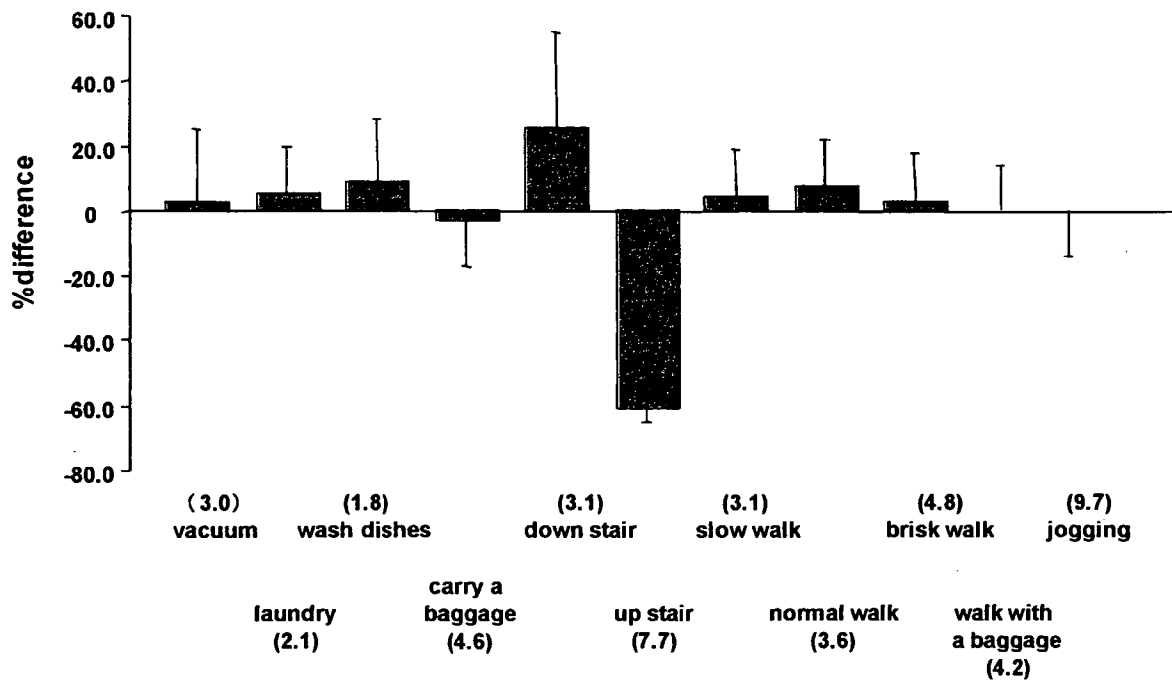


Figure 3 実測値 (METs) とOHによる推定値 (METs) との差異 (n=22)