

200926051A

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

(H21-循環器等(生習)-一般-007)

平成21年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 田中 茂穂

平成22(2010)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. 中高年女性における身体組成と一日の身体活動量との関係	9
高田和子、朴 鍾薫、田中茂穂、田畑泉	
2. 肥満者における基礎代謝量推定式の妥当性	17
田中 茂穂、三宅 理江子、高田和子	
3. 身体活動レベル評価法の検討：加速度計調査協力者の特徴と選択バイアスの可能性について	22
井上 茂、下光輝一、大谷由美子、小田切優子、高宮朋子	
4. 中学生の日常生活の身体活動量について	29
金子佳代子、古泉佳代	
5. 3次元加速度計を用いた子どもの総エネルギー消費量の評価—成人の評価法との比較に着目して	42
引原有輝、田中茂穂	
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	53
IV. 研究成果の刊行物・別刷	55

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」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。初年度である 21 年度は、以下のような結果が得られた。

1) 二重標識水（doubly labeled water: DLW）法や加速度計を用いた検討により、過剰な脂肪を有する日本人中高年女性は、1 日の身体活動が少ない可能性が示唆された。2) 肥満者における基礎代謝量推定式の妥当性を検討したところ、特に男性では、国立健康・栄養研究所の式を用いた場合の誤差が小さく、系統誤差もほとんど見られなかった。3) 加速度計調査に協力する者には身体活動度の高い者が多く含まれている可能性があり、これが選択バイアスの原因となっている可能性がある。回収率の高い調査にする工夫が必要であるとともに、調査結果の解釈では選択バイアスが発生している可能性を考慮する必要があるものと考えられた。4) PAL の平均値がやや高い中学生の集団において、PAL が特に高値を示す者は、運動部への参加、買い物や映画を見に行く、友達と遊ぶ、習い事へ行く等で外出する傾向があったが、今後、PAL がより低いレベルでの判定法を検討する必要がある。5) 合成加速度から小学生の METs を推定する際に成人で得られた推定式を用いると過大評価されることが明らかとなった。したがって、子どもの METs を評価する際には、子ども独自に作成した推定式を用いる必要がある。また、各活動時のエネルギー消費量を推定するには、安静時代謝量の推定法にも改善が求められる。

以上のように、肥満者における身体活動量や基礎代謝量に関する新たな知見を提示した。また、成人および子どもにおける身体活動量を推定するにあたって、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 健康増進プログラム 上級研究員）

田畑 泉（（独）国立健康・栄養研究所 健康増進プログラムリーダー）

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 講師）

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、初年度である21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. 中高年女性における身体組成と一日の身体活動量との関係

30-69歳の健康な日本人女性100名を対象に、BMI (body mass index) および体脂肪率(%BF, percent body fat) と二重標識水法により測定された1日の身体活動量の関係を検討した。1日の身体活動量は、二重標識水法から求めた身体活動レベル (PAL, physical activity level)、身体活動によるエネルギー消費量 (PAEE, physical activity energy expenditure)、およびPAEEを除脂肪量と体重で補正した二つの指標 (PAEE/FFM と PAEE/BW) と、加速度計により測定した歩数と活動強度別の活動時間を用いて検討した。

2. 肥満者における基礎代謝量推定式の

妥当性

日本人 BMI25以上の肥満男女34名を対象に、年齢別、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。基礎代謝量の推定には、基礎代謝基準値(日本人の食事摂取基準[2010年版])、国立健康・栄養研究所の式 (Ganpule et al., 2007)、Harris-Benedict式、Schofield式を用いた。ダグラスバッグにより実測した値を実測値とし、4つの推定式から得られた結果と比較した。

3. 身体活動レベル評価法の検討：加速度計調査協力者の特徴と選択バイアスの可能性について

加速度計調査協力者の社会統計学的特徴、生活習慣の特徴を明らかにし、選択バイアスが発生している可能性について検討するために、4都市（つくば市、小金井市、静岡市、鹿児島市）の住民基本台帳から無作為に抽出した20-69歳の住民4,000人を対象に、郵送による質問紙調査、加速度計調査を行った。加速度計は連続した7日間の装着を依頼した。加速度信号より10時間以上装着した日をデータ有効日とし、4日間以上有効データが得られた者を加速度計調査協力者と定義した。その上で、加速度計調査協力者と非協力者の性別、年齢、居住都市を比較検討した。また、更に詳細な社会統計学的要因、生活習慣を、加速度計調査協力者と質問紙調査のみに協力した者で比較検討した。

4. 中学生の日常生活の身体活動量について

神奈川県都市部に在住する中学生80名（男子41名、女子39名）を対象に、二重

標識水 (DLW) 法と安静時代謝量の測定による身体活動量評価に加え、起床時から就寝時までの生活の活動内容は、3次元加速度計の装着、本人による毎日「生活記録」の記入、身体活動量に関連する生活の活動内容についての質問紙調査を実施した。

5. 3次元加速度計を用いた子どもの総エネルギー消費量の評価—成人の評価法との比較に着目して—

合成加速度と身体活動強度 (METs) との関係について子どもと成人との相違を明らかにし、3次元加速度計を用いて子どもにおける METs を評価するための方法について検討するために、小学生男子 42 名 (年齢: 10 ± 2 歳)、女子 26 名 (年齢: 9 ± 2 歳) を対象として、児童の日常生活にみられる代表的な活動として、学習 (椅子座位)、ゲーム (床座位)、片付け、ほうき掃き、雑巾かけ、ボール投げ (以上、歩走行以外の活動)、階段昇り、階段降り、歩行 (2 段階)、走行 (以上、歩走行活動) の計 11 種類を取り上げ、各活動時における 3次元合成加速度とダグラスバッグ法によるエネルギー消費量を測定した。また、座位安静時エネルギー消費量を測定し、各活動時のエネルギー消費量を除して METs を算出した。

倫理面への配慮

本研究は、疫学研究に関する倫理指針 (平成 19 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. 中高年女性における身体組成と一日の身体活動量との関係

PAL、PAEE/FFM、および PAEE/BW は、%BF の 4 分位の中で、最も高い群において有意に低値を示した。BMI の 4 分位においては、BMI の最も高い群において PAEE/FFM および PAEE/BW が有意に低い値を示した。加速度計から得られた結果において、歩数および中・高強度身体活動時間は、%BF の 4 分位の中で、最も高い群において有意に低値あるいは少なくなる傾向を示した。しかし、BMI の 4 分位では、加速度計のあらゆる項目において群間の差はみられなかった。

2. 肥満者における基礎代謝量推定式の妥当性

基礎代謝量の実測値は、男性 1698 ± 212 kcal/day、女性 1463 ± 172 kcal/day だった。実測値と推定値で対応のある t 検定を行ったところ、男性では国立健康・栄養研究所の式、女性では Harris-Benedict 式と Schofield 式において有意な差が認められなかった。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。TE が最も小さかったのは、男性は国立健康・栄養研究所の式 (165 kcal/day)、女性は Harris-Benedict 式 (95 kcal/day) だった。

3. 身体活動レベル評価法の検討：加速

度計調査協力者の特徴と選択バイアスの可能性について

加速度計調査協力者は 786 人 (19.7%) だった。加速度計調査協力者は非協力者 (3,214 人) と比較して、女性、中高年が多かった。また、加速度計調査協力者は質問紙調査のみに協力した者 (722 人) と比較して、非喫煙者、飲酒習慣あり、散歩・ウォーキング実施者、歩行時間が週 150 分以上の者が多かった。

4. 中学生の日常生活の身体活動量について

PAL の平均値は 1.85 ± 0.28 で標準よりやや高い傾向であった。PAL と生活項目との間には一定の関連はみとめられなかったが、PAL が特に高値を示す者は、運動部への参加、買い物や映画を見に行く、友達と遊ぶ、習い事へ行く等で外出する傾向があることが示された。また、活発な活動時間の違いによる 4 群間で有意差はみとめられなかった。PAL と歩数との間には有意な相関はみとめられなかったが、3 次元合成加速度との間には、弱い相関関係がみとめられた。

5. 3次元加速度計を用いた子どもの総エネルギー消費量の評価—成人の評価法との比較に着目して—

子どもにおける合成加速度と METs との関係式は、歩走行活動と歩走行以外の活動とで異なっていた。また、検知した加速度とハイパスフィルタ処理後の加速度との比を用いることで歩走行活動とそれ以外の活動とをより高い精度で判別することができた。一方、歩走行活動および歩走行以外の活動ともに、子どもと成人の関係式との

間には相違が認められ、同一加速度に対応する METs は、子どもの方が小さい傾向がみられた。また、推定式から得られた METs に推定安静時代謝量を乗じて各活動時のエネルギー消費量を算出したところ、階段昇りを除きすべにおいて過大評価された (平均推定誤差: $14.8 \pm 12.8\%$)。

D. 考察

1. 中高年女性における身体組成と一日の身体活動量との関係

BMI では評価できない身体組成を考慮することによって、体脂肪が特に多い群において、活動量に差がみられた。この点は、エネルギー消費量を推定する上で有益な結果である。

2. 肥満者における基礎代謝量推定式の妥当性

男女ともに、国立健康・栄養研究所の式は大きな誤差がみられなかったのに対し、Harris-Benedict 式は、女性のみで相対的に誤差が小さく、利用可能と考えられた。

3. 身体活動レベル評価法の検討: 加速度計調査協力者の特徴と選択バイアスの可能性について

調査協力者には身体活動度の高い者が多い可能性は従来から推測できることではあったが、加速度計・歩数計を用いた調査の問題点を、特に対象者の選択バイアスの視点から検討した研究はほとんど認められていない。今後、これらの機器を用いてデータ収集を行ったり、結果を解釈したりする際に参考になる研究結果と考えられる。

4. 中学生の日常生活の身体活動量について

PAL の平均値がやや高い集団で、加速度計法を含め、PAL と強い関連がみられる項目はみられなかったが、PAL が特に高値を示す者にある程度の特徴がみられた。

5. 3次元加速度計を用いた子どもの総エネルギー消費量の評価—成人の評価法との比較に着目して—

子どもにおける合成加速度と METs との関係式は、歩走行活動と歩走行以外の活動とで異なることや、検知した加速度とハイパスフィルタ処理後の加速度との比を用いることで歩走行活動とそれ以外の活動とをより高い精度で判別することは、成人と同様であったが、同一加速度に対応する METs は、子どもの方が小さい傾向がみられた。また、推定式から得られた METs に推定安静時代謝量に乗じて各活動時のエネルギー消費量が過大評価されたのは、推定安静時代謝量の過大評価によると考えられた。

E. 結論

1. 中高年女性における身体組成と一日の身体活動量との関係

過剰な脂肪を有する日本人中高年女性は、1日の身体活動が少ない可能性が示唆された。

2. 肥満者における基礎代謝量推定式の妥当性

特に男性では、国立健康・栄養研究所の式を用いた場合の誤差が小さく、系統誤差もほとんど見られなかった。

3. 身体活動レベル評価法の検討：加速度計調査協力者の特徴と選択バイアスの可能性について

加速度計調査に協力する者には身体活動度の高い者が多く含まれている可能性があり、これが選択バイアスの原因となっている可能性がある。回収率の高い調査にする工夫が必要であるとともに、調査結果の解釈では選択バイアスが発生している可能性を考慮する必要があるものと考えられた。

4. 中学生の日常生活の身体活動量について

PAL の平均値がやや高い集団で、PAL が特に高値を示す者は、運動部への参加、買い物や映画を見に行く、友達と遊ぶ、習い事へ行く等で外出する傾向があることが示された。今後、PAL がより低い集団における PAL の判定法を検討する必要がある。

5. 3次元加速度計を用いた子どもの総エネルギー消費量の評価—成人の評価法との比較に着目して—

合成加速度から子どもの METs を推定する際に成人で得られた推定式を用いると過大評価されることが明らかとなった。したがって、子どもの METs を評価する際には、子ども独自に作成した推定式を用いる必要がある。また、各活動時のエネルギー消費量を推定するには、安静時代謝量の推定法にも改善が求められる。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

田中茂穂. 身体活動・運動と生活習慣病—運動生理学と最新の予防・治療—身体活動とエネルギー代謝. 日本臨牀: 67(増刊号 2): 11-15, 2009.

田中茂穂. 肥満・糖尿病の病態を解明するエネルギー代謝の最前線: 人の基礎代謝量. 実験医学: 27(7) (増刊): 86(1058)-90(1062), 2009.

田中茂穂. 日本人の運動量・身体活動量の評価と現状. 臨床栄養: 115(1): 57-64, 2009.

田中千晶、田中茂穂. 加速度計と幼児の身体活動量評価 特集 健康スポーツ医学分野における検査・評価法と応用. 臨床スポーツ医学: 26(9): 1079-1087, 2009.

田畑泉. エネルギー. 特集 日本人の食事摂取基準 (2010年版). 臨床栄養: 115(3): 255-260, 2009.

田中茂穂. エネルギー消費量とその測定法 特集: 必要エネルギー量の算出法と投与の実際. 静脈経腸栄養: 24(5): 1013-1019, 2009.

高田和子. 二重標識水法を用いたエネルギー摂取量評価への応用. 臨床スポーツ医学: 26(9): 1097-1102, 2009.

田畑泉. 運動のエネルギー、食事のエネルギー. 体育の科学: 59(10): 651-656, 2009.

田中茂穂. メッツと基礎代謝. 体育の科学: 59(10): 657-663, 2009.

Tanaka C、Tanaka S. Daily physical activity in Japanese preschool children evaluated by triaxial accelerometry: the relationship between

period of engagement in moderate-to-vigorous physical activity and daily step counts. J Physiol Anthropol: 28(6): 283-288, 2009.

Oshima Y、Kawaguchi K、Tanaka S、Ohkawara K、Hikihara Y、Ishikawa-Takata K、Tabata I. Classifying household and locomotive activities using a triaxial accelerometer. Gait Posture: 31(3): 370-374, 2010.

高田和子、田中茂穂. 適切なエネルギー消費量評価. 臨床スポーツ医学: 26(増刊): 226-233, 2009.

Inoue S、Murase N、Shimomitsu T et al. Association of physical activity and neighborhood environment among Japanese adults. Prev Med: 48: 321-325, 2009.

Ishii K、Inoue S、hya Y et al. Socioemographic variations in perceptions of barriers to exercise among Japanese adults. J Epidemiol: 19: 161-168, 2009.

2. 学会発表

朴鐘薫、高田和子、田中茂穂、田畑泉. 中高年女性における BMI (kg/m²) および体脂肪率と一日の身体活動量との関係—横断的研究. 第 64 回日本体力医学会: 2009.9. 新潟.

井上茂. 身体活動環境とは: その定義と評価方法. 日本体力医学会 (シンポジウム): 2009.

井上茂、今給黎希人、北林蒔子、水上健一、大谷由美子、小田切優子、高宮朋子、柴田愛、岡浩一朗、下光輝一. 身体活動としての自転車利用の疫学: 自転車利用と社会統計学的要因との関連. 日本体力医学会: 2009.

石井香織、柴田愛、岡浩一朗、井上茂、下

光輝一. 通勤手段に関連する環境要因. 日本体力医学会: 2009.

Ohkawara K, Tanaka S, Tanimoto M, Miyachi M, Ishikawa-Takata K, Tabata I. Effect of high-intensity resistance training on twenty-four-hour respiratory quotient. American College of Sports Medicine (ACSM): 2009.5. Seattle.

Katayama Y, Ohkawara K, Sasai H, Eto M, Nakata Y, Tanaka S, Tanaka K. Increased daily physical activity contributes to weight reduction during an exercise program in obese men. American College of Sports Medicine (ACSM): 2009.5. Seattle.

Park JH, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Mekata Y, Tabata I. Validation of accelerometers during walking at three step frequency on various walking speeds. American College of Sports Medicine (ACSM): 2009.5. Seattle.

田中茂穂. NEAT を含む身体活動量の個人間変動. 第 63 回日本栄養・食糧学会大会 関連学術集会 日本ヒューマンカロリメーター協議会: 2009.5. 長崎.

引原有輝, 田中千晶, 田中茂穂, 大河原一憲, 高田和子, 大島秀武, 川口加織, 田畑泉. 3次元加速度計を用いた児童の身体活動強度の評価—成人との比較に着目して—. 第 64 回日本体力医学会大会: 2009.9. 新潟.

田中千晶, 田中茂穂. 異なる職業に従事する日本人男女における日常の身体活動量の比較. 第 56 回日本栄養改善学会学術総会: 2009.9. 札幌.

大島秀武, 川口加織, 引原有輝, 田中千晶, 大河原一憲, 高田和子, 田中茂穂, 田畑泉. 児童における加速度センサを用いた歩行活動と日常生活活動の判別. 第 64 回日本体力

医学会大会: 2009.9. 新潟.

田中千晶, 引原有輝, 田中茂穂. 小児の身体活動量・強度測定の留意点 シンポジウム: 小児の体力低下・肥満と身体活動—エビデンスに基づく対策の提言—. 第 64 回日本体力医学会大会: 2009.9. 新潟.

引原有輝, 足立稔, 緑川泰史, 田中千晶, 田中茂穂. 小児の体力と身体活動 シンポジウム: 小児の体力低下・肥満と身体活動—エビデンスに基づく対策の提言—. 第 64 回日本体力医学会大会: 2009.9. 新潟.

田中茂穂. 食事摂取基準策定のための研究—身体活動量— ランチョンセミナー. 第 64 回日本体力医学会大会: 2009.9. 新潟.

三宅理江子, 田中茂穂, 大河原一憲, 引原有輝, 高田和子, 大島秀武, 川口加織, 田畑泉. 歩行と歩行以外の活動別にみた中高強度活動の継続性. 第 64 回日本体力医学会大会: 2009.9. 新潟.

田中千晶, 引原有輝, 大河原一憲, 田中茂穂. 幼児における日常の身体活動量と体力との関係. 第 64 回日本体力医学会大会: 2009.9. 新潟.

Ishikawa-Takata K. エネルギー消費量の評価方法—二重標識水法を中心として. 韓国運動栄養学会: 2009.11. 韓国.

田中千晶, 田中茂穂, 安藤貴史. 幼児の生活環境と日常の身体活動量との関係. 日本発育発達学会第 8 回大会: 2010.3. 山梨.

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

中高年女性における身体組成と一日の身体活動量との関係

研究分担者	高田 和子	健康増進プログラム	上級研究員
研究協力者	朴 鍾薫	健康増進プログラム	特別研究員
研究協力者	田中 茂穂	健康増進プログラム	プロジェクトリーダー
研究協力者	田畑 泉	健康増進プログラム	プログラムリーダー

30-69歳の健康な日本人女性100名を対象に、BMI (body mass index) および体脂肪率 (%BF, percent body fat) と二重標識水法により測定された1日の身体活動量との関係を検討した。1日の身体活動量は、二重標識水法から求めた身体活動レベル (PAL, physical activity level)、身体活動によるエネルギー消費量 (PAEE, physical activity energy expenditure) および PAEE を除脂肪量と体重で補正した二つの指標 (PAEE/FFM と PAEE/BW) と加速度計により測定した歩数と活動強度別の活動時間を用いて検討した。PAL、PAEE/FFM、および PAEE/BW は、%BF の4分位の中で、最も高い群において有意に低値を示した。BMI の4分位においては、BMI の最も高い群において PAEE/FFM および PAEE/BW が有意に低い値を示した。加速度計から得られた結果において、歩数および中・高強度身体活動時間は、%BF の4分位の中で、最も高い群において有意に低値あるいは少なくなる傾向を示した。しかし、BMI の4分位では、加速度計のあらゆる項目において群間の差はみられなかった。過剰な脂肪を有する日本人中高年女性は、1日の身体活動が少ない可能性が示唆された。

A. 研究目的

自由生活下における1日の総エネルギー消費量 (TEE, total energy expenditure) を測定する方法の中で、二重標識水 (DLW, doubly labeled water) 法は最も正確な方法である (Schoeller DA 2001, 2008)。TEE を基礎代謝量で除した身体活動レベル (PAL, physical activity level) は BMI との相関関係はみられず (Ferro-Luzzi and Martino, 1996; Prentice et al. 1996)、BMI (body mass

index) 25kg/m^2 以上の肥満者においても身体活動は減少しない可能性が考えられている。その理由として、脂肪量 (FM, fat mass) は PAL との相関関係がみられるが (Schulz and Schoeller, 1994; Yao et al. 2003)、除脂肪量 (FFM, fat free mass) と相関関係はみられないことから (Butte et al. 2003)、BMI は PAL と関係しない可能性が考えられる。

日本および欧米の中高年女性において、BMI や体脂肪率 (%BF, percent body

fat) と 1 日の歩数に逆相関がみられることが報告されている (Tudor-Locke et al. 2001; Mitsui et al. 2008)。また、% BF は加速度計で測定された 1 日の高強度身体活動時間と逆相関がある (Sternfeld et al. 2005)。したがって、PAL のみならず歩数および運動強度のような他の身体活動の指標も肥満との関連する可能性がある。そこで、本研究では、日本人中高年女性を対象に、BMI および% BF と身体活動量の各種指標との関係を総合的に検討することを目的とした。

B. 研究方法

1. 被験者

被験者は、30 歳から 69 歳で、a) 日常生活に支障がない、b) 妊娠および授乳中ではない、c) BMI が 18.5 kg/m^2 以上 d) 測定前 1 週間と 2 週間の実験期間中自宅以外の場所に 2 泊以上しない、e) 体重減量や治療のために食事制限を行っていない、f) 1 日アルコール摂取量が 40g 未満の者とした。被験者は関東あるいは九州地域において職域やホームページ等による募集に応じた者および佐久肥満プロジェクト (Watanabe et al. 2008) に参加した健康な日本人女性 100 名である。

2. 測定項目

(1) 測定手順

測定初日に、空腹条件下で基礎代謝量を測定した。その後、ベースラインとなる尿を 20ml 採取し、体重で規定された量の DLW を経口投与した。また 14 日間に 8 回、採尿した。DLW 法による TEE の測定期間において、加速度計を腰部に

装着させ、通常の日常生活条件下で 2 週間過ごすよう指示した。2 週間後、加速度計を回収し、熟練した管理栄養士が被験者の食事調査 (DHQ) の記入漏れや記載ミスについて確認を行った。

(2) 基礎代謝量 (BMR)

被験者は測定前夜の午後 9 時まで通常の夕食を済ませ、測定当日に朝食をとらずに測定場所に到着した後、30 分以上仰臥させた。その後、10 分間の呼気を 1 分の間隔を置いてダグラスバッグに 2 回採集した。呼気は直ちに質量分析計 (ARCO-1000、アルコシステム、千葉; 久肥満プロジェクト、AR-1、アルコシステム、千葉) を用いて酸素および二酸化炭素量の濃度を分析した。その後、乾式ガスメーター (DC-、品川 5、東京) にて呼気量を測定した。それらの測定値から酸素摂取量と二酸化炭素排出量を算出し、Weir (1949) の式により BMR を求めた。

(3) DLW

$10\% \text{ }^{18}\text{O}$ (太陽日産、東京) と $99.9\% \text{ }^2\text{H}$ (Cambridge Isotope Laboratories, Inc., USA) を混合した液により、体重あたり 0.14g の ^{18}O と 0.06g の ^2H を投与した。14 日間に 8 回、同時刻に採取するように指示した。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 H_2 ガスで、 ^{18}O は CO_2 ガスで平衡法により前処理を行った後、 ^2H 、 ^{18}O の安定同位体比を質量比分析計 (Finnigan Delta Plus, Thermo Fisher Scientific, USA) により分析した。

(4) 身体活動量および身体組成の計算

DLW 投与から経過時間に伴う尿サン

プル中の安定同位体比の自然対数を求め最小二乗法を用いて²Hと¹⁸Oの減衰率(k_h と k_o)を求めた。身体水分量(TBW, total body water)は²Hの希釈容積を1.041で除下したものと、¹⁸Oの希釈容積を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 (mol/day) = $0.4554TBW(1.007k_o - 1.041k_h)$ により求めた。TEEは調査期間中の食事調査より求めたFQを用いて、Weir(1949)の式により求めた。身体活動量の指標として、PALはTEEをBMRで除して算出した。PAEEはTEE×0.9-BMRより算出した。身体組成の計算において、FFMはFFM中の水分量を0.732としてTBWより算出した(Heyward and Wagner, 2004)。FMは体重(BW)-FFMにより求めた。

(5) 加速時計

本研究で用いたライフコーダEX(株式会社スズケン製、名古屋)は垂直方向への加速度を検出する一軸加速度計である。この装置は4秒間の最大電圧と歩数により、9段階の運動強度(1-9)を決定する。運動強度1-3は低強度運動、4-6は中強度運動、7-9は高強度運動に該当する(Kumahara et al. 2004)。

3.統計解析

身体組成の指標であるBMIと%BFをそれぞれ4分位で分割した。群間の身体組成および身体活動量の比較は一元配置分散分析により行った。各データは、等分散が仮定されなかったためpost hoc testとしてFisher's LSDを使用した。さらに、身体組成と身体活動の指標を連続変数としてPearsonの相関係数を求めた。

すべての解析は、Stat View 5.01 software (SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA, 2000-2001)を用いた。

4. 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」の承認を得て、ヘルシンキ宣言の精神に基づいて実施した。測定に当たって、被験者に測定の目的、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、書面による同意を得た。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。

C. 研究結果

本研究における被験者の特徴を表1に示した。年齢は 51.8 ± 11.2 だった。平均体重およびBMIは各々 57.4 ± 12.2 kg および 23.5 ± 4.4 kg/m²であった。PALは 1.88 ± 0.23 (range: 1.36-2.52)であり、一般健康な成人の範囲内であった(Westerterp KR 1998)。

BMIと%BFの4分位の群ごとのデータを表2と3に示した。年齢および身長は、群間の差はなかった。BMIは%BFと強い正の相関関係がみられた($r = 0.747$, $p < 0.001$)。

TEE/BWはBMI($r = -0.588$, $p < 0.001$)と%BF($r = -0.725$, $p < 0.001$)と有意な負の相関関係を示した。PAEE/FFMとPAEE/BWは、BMIがもっとも高い群において有意な低値を示したが、PALには群間による差はなかった(Table 2)。%BFの4分位においては、PALおよびPAEE/FFMが、%BFが高値の2群が2nd群に比べ有意に低値を示したが、

PAEE/BWは%BFが高値の2群が低値の2群に比べて有意に小さかった (Table 3)。

加速度計のデータにおいて、歩数は%BFが最も高い群で他の3群に比べ有意に低い値を示したが (Table 3)、BMIの群間で差はみられなかった (Table 2)。中・高強度運動時間は、BMI、%BFの群間の差はみられなかった (Table 2, 3)。

D. 考察

日本人中高年女性において、DLWおよび加速度計で測定した1日の身体活動量は%BFの最も高い群で著しく低い値を示した。PAEE/FFMおよびPAEE/BWは、BMIの最も高い群において有意に低い値を示した。

本研究におけるBMI 4分位の中で、PALの群間の差はみられなかった。この結果は、BMIとPALとの相関はみられないという多くの欧米の先行研究の結果と一致している (Ferro-Luzzi and Martino, 1996; Prentice et al. 1996)。一方、206名の中年女性を対象に、DLW法を用い検討したToozeら (2007)の研究においては、BMI 30kg/m²以上の肥満女性はBMI 25 kg/m²以下の正常体重の女性に比べ、PALが有意に低かったと報告している。しかし、Toozeらは、PALを求めるために安静時代謝を実測値でなく計算式による推定値を用いた。基礎代謝の推定誤差は、正常体重と肥満の人の中で大きく異なる可能性が知られている (Tanaka et al. 2008)。したがって、Toozeら (2007)の研究では、正常体重と肥満の人々における安静時代謝の推

定誤差がPALに影響を与えている可能性が考えられる。

本研究において、PAEE/FFMとPAEE/BWはBMI、%BFの最も高い群において有意な低値を示した。BMI、%BFの最も高い群におけるFMおよびFFMの平均値はほぼ同量であった。このことは、高めのBMIを有している人は同時に高めの%BFを有しており、PAEEをFFMおよびBWで補正することにより肥満人々における誤差は大きくならない可能性が考えられる。

本研究では、BMI 25 kg/m²以上の者においては1日の身体活動が減少する可能性が認められたが、BMI 25 kg/m²未満の正常体重者ではBMIによる身体活動量の差は認められなかった。このことは、BMI 25 kg/m²未満の正常体重者において身体組成の違いが大きいことから説明できる。BMIの3rd群に属している被験者において、%BFの3rd群にも属している被験者の割合は40%であり、%BFの低い群 (1stと2nd)にも36%が属していた。この結果はBMIの2nd群の場合にも類似であった。例えば、同様のBMIを有している正常体重の被験者の中では、各々かなり異なるFFMとFMの割合がみられていることから、PAEEをFFMで補正することは大きな誤差を招く可能性が考えられる。

本研究の加速度計から得られた1日の身体活動において、歩数および中・高強度の身体活動時間は%BFの最も高い群で有意に低下および低い傾向を示した。BMIの最も高い群では、有意な差には至らなかった。Levineら (2005)は

、BMI 30 kg/m²以上の肥満の人はBMI 25 kg/m²未満の正常体重の人に比べ1日の立位および歩行時間が著しく低いことを明らかにしている。しかし、Levineら (2005) の研究においては身体活動が極端に少ない被験者のみが募集されている。本研究における被験者はPALが1.36から2.52であり、身体活動の分布が大きい被験者であった。

E. 結論

過剰な脂肪を有する日本の中高年女性は、1日の身体活動、とくに中・高強度の身体活動量が少ない可能性が示唆された。また、肥満と身体活動との関係性を調査する際には、BMIだけでなく身体組成を考慮する必要があることも本研究の結果から考えられた。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

朴鐘薫, 高田和子, 田中茂穂, 田畑泉:
中・高年女性におけるBMI (kg/m²) およ
び体脂肪率と一日の身体活動量との関
係—横断的研究 第64回日本体力医学
会 2009.9., 新潟

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 Participant characteristics and energy expenditure components

	Women (<i>N</i> = 100)		
	<i>Mean</i>	<i>s.d.</i>	<i>Range</i>
Age, y	51.8	11.2	31–69
Height, m	1.56	0.1	1.42–1.69
Weight, kg	57.4	12.2	41.7–109.7
BMI, Kg/m ²	23.5	4.4	18.8–40.0
Percent fat mass, %	34.8	6.8	15.9–49.1
Fat-free mass, kg	36.9	5.4	29.2–55.5
Fat mass, kg	20.4	7.8	6.7–53.4
TEE (kcal/d)	2164	323	1435–3150
BMR (kcal/d)	1162	174	834–1895
PAL (TEE/BMR)	1.88	0.2	1.36–2.52
AEE (kcal/d)	786	223	213–1392
AEE (kcal/d/kg FFM)	21.5	6.1	7.6–38.3

All values are means \pm s.d. BMI, body mass index; TEE, total energy expenditure; BMR, basal metabolic rate; PAL, physical activity level; AEE, activity energy expenditure; FFM, fat free mass.

Table 2 Participant characteristics, energy expenditure components, and physical activity variables by BMI grouping

	1 st (18.6 - 20.4)	2 nd (20.5 - 22.1)	3 rd (22.3 - 24.7)	4 th (24.7 - 40.0)	P (ANOVA)	r
Physical characteristics						
Age, years	49.7±11.9	51.4±11.8	53.9±11.9	52.4±9.4	0.630	0.038
Height, m	1.55±0.04	1.56±0.06	1.56±0.04	1.56±0.06	0.890	0.133
Weight, kg	47.1±3.1	52.1±4.2 ^a	57.2±3.3 ^{aa b}	73.0±13.4 ^{aa bb cc}	< 0.001	0.948 ^{***}
BMI, kg/m ²	19.5±0.6	21.3±0.5 ^{aa}	23.5±0.9 ^{aa bb}	29.8±3.9 ^{aa bb cc}	< 0.001	1
% BF	28.9±5.1	32.3±4.3 ^a	36.0±5.0 ^{aa bb}	42.0±4.6 ^{aa bb cc}	< 0.001	0.747 ^{***}
FFM, kg	33.5±2.5	35.7±3.6	36.3±3.8 ^a	42.2±6.7 ^{aa bb cc}	< 0.001	0.743 ^{***}
FM, kg	13.7±2.8	16.9±2.7 ^a	20.6±3.3 ^{aa bb}	30.5±7.7 ^{aa bb cc}	< 0.001	0.930 ^{***}
Energy expenditure						
TEE (kcal/d)	2016±274	2038±211	2229±297 ^{a b}	2374±364 ^{aa bb}	< 0.001	0.527 ^{***}
TEE (kcal/d/kg)	42.9±6.5	39.3±5.1 ^a	39.1±5.5 ^a	33.0±4.9 ^{aa b cc}	< 0.001	-0.588 ^{***}
BMR (kcal/d)	1073±84	1108±113	1141±140	1328±213 ^{aa bb cc}	< 0.001	0.725 ^{***}
PAL	1.88±0.23	1.85±0.22	1.97±0.27	1.80±0.18	0.065	-0.187
PAEE (kcal/d)	742±218	726±184	865±255	809±212	0.099	0.120
PAEE/FFM	22.1±5.9	20.5±5.3	24.0±7.3 ^b	19.4±4.8 ^c	0.040	-0.207 [*]
PAEE/BW	15.8±4.9	14.1±3.9	15.3±4.7	11.3±3.1 ^{aa b cc}	0.001	-0.403 ^{***}
Accelerometer						
Step counts	8994±2151	8872±2619	8624±2729	7808±3402	0.427	-0.286 ^{**}
Light (min/d)	57.0±15.8	58.4±23.0	62.0±24.8	55.0±20.3	0.691	-0.107
Moderate (min/d)	28.8±12.0	27.1±13.8	23.3±10.2	21.0±13.8	0.122	-0.316 ^{**}
Vigorous (min/d)	3.7±3.4	3.0±2.9	2.7±2.7	2.0±2.7	0.246	-0.239 [*]

All values are means ± s.d. BMI, body mass index; TEE, total energy expenditure; BMR, basal metabolic rate; PAL, physical activity level (=TEE/BMR); PAEE, Physical activity energy expenditure (= 0.9TEE-BMR); FFM, fat free mass; FM, fat mass. Subjects were categorized by quartile. The number of subjects in each quartile is 25. In the 9 intensity levels (1-9) of physical activity assessed by accelerometer, 1-3 indicate light intensity, 4-6 moderate intensity, and 7-9 vigorous intensity. ^a indicates a significant difference from 1st quartile (^a $P < 0.05$; ^{aa} $P < 0.01$). ^b indicates a significant difference from 2nd quartile (^b $P < 0.05$; ^{bb} $P < 0.01$). ^c indicates a significant difference from 3rd quartile (^c $P < 0.05$; ^{cc} $P < 0.01$). * indicates a significance correlation with BMI (* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$).

Table 3 Participant characteristics, energy expenditure components, and physical activity variables by % BF grouping

	1 st (15.9 - 31.0)	2 nd (31.4 - 34.5)	3 rd (34.6 - 38.8)	4 th (39.1 - 54.3)	P (ANOVA)	r
Physical characteristics						
Age, years	48.7±10.6	53.8±12.3	50.3±11.3	53.8±10.2	0.596	0.138
Height, m	1.56±0.06	1.55±0.04	1.56±0.05	1.57±0.06	0.839	0.112
Weight, kg	49.0±5.4	53.4±6.5	54.8±4.3 ^a	72.3±13.9 ^{aa bb cc}	< 0.001	0.710 ^{***}
BMI, kg/m ²	20.1±1.3	22.1±2.2 ^a	22.6±2.0 ^{aa}	29.3±4.5 ^{aa bb cc}	< 0.001	0.749 ^{***}
% BF	26.2±4.1	32.7±0.9 ^{aa}	37.0±1.2 ^{aa bb}	43.2±3.4 ^{aa bb cc}	< 0.001	1
FFM, kg	36.1±4.2	36.0±4.5	34.5±2.6	41.0±7.2 ^{aa bb cc}	< 0.001	0.278 ^{**}
FM, kg	12.9±2.7	17.5±2.4 ^{aa}	20.3±1.8 ^{aa b}	30.9±7.2 ^{aa bb cc}	< 0.001	0.889 ^{***}
Energy expenditure						
TEE (kcal/d)	2113±261	2227±328	2054±260	2264±396	0.074	0.122
TEE (kcal/d/kg)	43.5±6.4	41.8±4.6	37.4±3.1 ^{aa bb}	31.6±3.7 ^{aa bb cc}	< 0.001	-0.725 ^{***}
BMR (kcal/d)	1117±91	1129±127	1118±133	1286±249 ^{aa bb cc}	< 0.001	0.368 ^{***}
PAL	1.90±0.22	1.98±0.26	1.85±0.22 ^b	1.78±0.19 ^{bb}	0.013	-0.243 [*]
PAEE (kcal/d)	785±213	876±256	731±193	751±208	0.099	-0.124
PAEE/FFM	21.8±6.0	24.5±7.1	21.1±4.9 ^b	18.6±4.9 ^{bb}	0.006	-0.244 [*]
PAEE/BW	16.2±4.8	16.4±4.3	13.3±3.1 ^{aa bb}	10.6±2.9 ^{aa bb c}	< 0.001	-0.515 ^{***}
Accelerometer						
Step counts	8675±2082	9449±2173	9067±3288	7107±2869 ^{a bb c}	0.013	-0.293 ^{**}
Light (min/d)	58.0±16.2	64.9±23.1	59.2±24.6	50.4±18.1	0.113	-0.168 [*]
Moderate (min/d)	25.7±10.2	26.4±11.2	28.7±15.7	19.4±11.8	0.057	-0.154
Vigorous (min/d)	3.4±3.4	3.9±3.0	2.3±2.3	1.8±2.7	0.052	-0.287 ^{**}

All values are means ± s.d. BMI, body mass index; TEE, total energy expenditure; BMR, basal metabolic rate; PAL, physical activity level (=TEE/BMR); PAEE, Physical activity energy expenditure (= 0.9TEE-BMR); FFM, fat free mass; FM, fat mass. Subjects were categorized by quartile. The number of subjects in each quartile is 25. In the 9 intensity levels (1-9) of physical activity assessed by accelerometer, 1-3 indicate light intensity, 4-6 moderate intensity, and 7-9 vigorous intensity. ^a indicates a significant difference from 1st quartile (^a $P < 0.05$; ^{aa} $P < 0.01$), ^b indicates a significant difference from 2nd quartile (^b $P < 0.05$; ^{bb} $P < 0.01$). ^c indicates a significant difference from 3rd quartile (^c $P < 0.05$; ^{cc} $P < 0.01$). * indicates a significance correlation with % BF (* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$).

肥満者における基礎代謝量推定式の妥当性

研究代表者 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 三宅 理江子 // 技術補助員
研究協力者 高田 和子 // 上級研究員

肥満者においては、一般に非肥満者より基礎代謝量の推定誤差が大きいことが欧米で報告されているが、日本人の場合、肥満者における推定式の誤差がどの程度あるのかほとんど検討されていない。

そこで、BMI25以上の日本人肥満男女34名を対象に、年齢別、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。基礎代謝量の推定には、基礎代謝基準値（日本人の食事摂取基準[2010年版]）、国立健康・栄養研究所の式（Ganpule et al., 2007）、Harris-Benedict式、Schofield式を用いた。ダグラスバッグにより実測した値を実測値とし、4つの推定式から得られた結果と比較した。

基礎代謝量の実測値は、男性 1698 ± 212 kcal/day、女性 1463 ± 172 kcal/day だった。実測値と推定値で対応のある t 検定を行ったところ、男性では国立健康・栄養研究所の式、女性では Harris-Benedict 式と Schofield 式において有意な差が認められなかった。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。TE が最も小さかったのは、男性は国立健康・栄養研究所の式（165 kcal/day）、女性は Harris-Benedict 式（95 kcal/day）だった。

今回対象とした肥満者において、特に男性では、国立健康・栄養研究所の式を用いた場合の誤差が小さく、系統誤差もほとんど見られなかった。

A. 研究目的

エネルギー消費量の中でも約 60%を占める基礎代謝量を知ることは、エネルギー必要量を設定する上で重要なことであるが、マスク

を装着することにより普段の生活が制限されたり、測定を行う人材や時間の確保が難しいなど、日常生活において正確な測定を行うことは難しい。そこで、基礎代謝量を測定する

代わりに、推定式から基礎代謝量を算出する方法が一般的に用いられている。

推定式には、日本人を対象に作成された基礎代謝基準値や国立健康・栄養研究所の式、国際的に広く使用されている Harris-Benedict 式などがある。肥満者においては、一般に非肥満者より基礎代謝量の推定誤差が大きいことが欧米で報告されているが、日本人の肥満者における推定式の誤差がどの程度あるのかほとんど検討されていない。そこで、肥満者における基礎代謝量推定式の妥当性について検討した。

B. 研究方法

1. 被験者

被験者は、佐久肥満克服プロジェクトに参加した男性 17 名 (52±3 歳、BMI30.5±3.1 kg/m²)、女性 17 名 (54±3 歳、BMI 31.9±3.4 kg/m²) だった。

2. 測定手順

基礎代謝量の測定はダグラスバッグ法を用いた。測定日の前日には激しい運動を避け、測定の前 12 時間前までに通常の夕食を摂ってもらった。測定当日には朝食を食べずに測定場所に来てもらい、およそ 25℃の室温で、覚醒・仰臥安静状態においてマスクを装着して呼気ガスの採集を行った。呼気ガスの採集は、安静仰臥位を 30 分以上保った後、ダグラスバッグに呼気を 10 分間ずつ 2 回採集した。呼気はガスメーター (DC-5C、品川製作所) にて換気量を測定し、呼気ガス濃度分析計 (AR-1、アルコシステム社製) を用いて酸素および二酸化炭素の濃度を分析した。測定値は 2 回の平均値とし、Weir の式(1949)を用いて基礎代謝量を算出した。

基礎代謝量の推定には、基礎代謝基準値 (日本人の食事摂取基準[2010 年版])、国立健

康・栄養研究所の式 (Ganpule et al., 2007)、Harris-Benedict 式、Schofield 式を用いた (表 1)。4 つの推定式から得られた推定値と実測値を比較した。

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) : $\sqrt{(\sum (\text{推定値} - \text{実測値})^2 / \text{被験者数})}$) を求めた。

3. 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 (疫学研究部会)」と佐久総合病院の倫理委員会の承認を得て、ヘルシンキ宣言の精神に則り実施した。測定に当たって、被験者に測定目的、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、書面による同意を得た。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

本研究で対象とした被験者の特徴を表 2 に示した。男女間で身長、体重、体脂肪率には有意な差が見られたが、年齢と BMI は有意な差が見られなかった。

基礎代謝量の実測値は、男性 1698±212 kcal/day、女性 1463±172 kcal/day だった。実測値と推定値で対応のある t 検定を行ったところ、男性では国立健康・栄養研究所の式、女性では Harris-Benedict 式と Schofield 式において有意な差が認められなかった。

TE が最も小さかったのは、男性は国立健康・栄養研究所の式 (165 kcal/day)、女性は Harris-Benedict 式 (95 kcal/day) だった。