

200825006A

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20年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 田中 茂穂

平成21(2009)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. 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	7
高田和子、内藤義彦、佐々木敏、海老根直之、宮地元彦、田中茂穂	
2. 新たな基礎代謝推定式に関する基礎的検討	15
宮地 元彦、高田和子、谷本道哉	
3. 生活習慣病予防を目的とした推奨身体活動量（23エクササイズ）を満たす歩数とは	23
田中茂穂、大河原一憲、高田和子、田畑泉、引原有輝、海老根直之、大島秀武、川口加織	
4. 一般住民を対象とした身体活動質問紙および加速度計による身体活動量評価の妥当性に関する検討	29
内藤義彦	
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	33
IV. 研究成果の刊行物・別刷	35

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 田中茂徳（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。18～19年度に行った加速度計を用いた基礎的な検討や、18年度から開始していた日常生活における身体活動量・総エネルギー消費量の測定に基づき、20年度は以下のような結果が得られた。

1) 20～83歳の健康な成人226名を対象として、二重標識水（doubly labeled water: DLW）法による総エネルギー消費量（TEE）と公益信託日本動脈硬化予防研究基金統合研究身体活動質問紙（JALSPAQ）によるTEEの相関は、海外において実施されたこれまでの研究と比べ高く、95%LOAの幅も比較的小さかった。ただし、身体活動レベルⅠ、Ⅱの区分については、さらに工夫が必要と考えられた。2) いずれの性、年代においても、体重、BMIの増加にしたがって体重あたりのBMRが有意に低下したため、体重あたりのBMRを一律の値としないように考慮した推定式とするとその精度がやや向上する傾向にあった。3) 1日の歩数と強度が3メッツ以上の週当たりの総活動量との間に、男女ともに比較的強い相関がみられたが、特に女性において、歩行以外の生活活動も身体活動量の増加に貢献しており、推奨身体活動量を評価する際に考慮の必要なことが示唆された。4) 今回検討した身体活動質問紙（JALSPAQ）には、活動内容毎の身体活動量を評価でき、それが全体の身体活動量にどのように寄与しているか分かることから、有用性が示唆された。

以上のように、質問紙法により、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・指針に基づいて身体活動量を評価するにあたっての、歩数の有用性と限界を示した。

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）
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（同志社大学スポーツ健康科学部 専任講師）

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、20年度は、18～19年度に行った加速度計を用いた基礎的な検討や、18年度から開始していた日常生活における身体活動量・総エネルギー消費量の測定に基づき、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. 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

20～83歳の健康な成人（学生を除く）226名（男性108名、女性118名）を対象に、二重標識水（doubly labeled water: DLW）法による総エネルギー消費量（total energy

expenditure: TEE)の測定と公益信託日本動脈硬化予防研究基金統合研究身体活動質問紙による調査を実施した。

2. 新たな基礎代謝推定式に関する基礎的検討

健康な一般成人男女781名（男性18-29歳:100名, 30-49歳:149名, 50-69歳:58名, 70歳-:23名 女性18-29歳:106名, 30-49歳:155名, 50-69歳:158名, 70歳-:32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。さらに体重の違いと体型の影響を加味したBMRの推定法の検討を加えた。

3. 生活習慣病予防を目的とした推奨身体活動量（23エクササイズ）を満たす歩数とは

健康な成人男性54名（年齢38.8 ± 11.5歳）および成人女性32名（年齢42.5 ± 12.2歳）を対象に、活動量計を2週間装着してもらい、1日の歩数および3メッツ以上の強度による活動量（メッツ・時）を算出した。

4. 一般住民を対象とした身体活動質問紙および加速度計による身体活動量評価の妥当性に関する検討

大阪府内H市の保健事業に参加した35～65歳の女性118名を対象に、大規模コホート研究用に開発された身体活動質問紙と1軸加速度計の両方の調査を実施し、お互いの身体活動量指標を比較検討した。

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. 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

DLW 法で求めた TEE と質問紙による TEE において、Pearson の相関係数は 0.727 ($p < 0.001$)、Spearman の順位相関係数は 0.742 ($p < 0.001$)、95%LOA は -1192.9 ~ 645.1 kcal であった。ただし、身体活動レベルを日本人の食事摂取基準 2005 年版に従って 3 区分すると、DLW 法と質問紙の一致度は 40% 程度であった。DLW 法により区分した身体活動レベル別に、質問紙から身体活動の内容を比較すると、身体活動レベル III においては、中強度の活動の時間と重労働に従事する人の割合が高かった。

2. 新たな基礎代謝推定式に関する基礎的検討

男女とも 70 歳以上の年代を除いたすべての年代において、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た。いずれの性、年代においても体重、BMI の増加にしたがって体重あたりの BMR が有意に低下することが観察された。このことを考慮し、体重あたりの BMR を一律の値とせず、体重、BMI 別の 2 段階にわけた推

定式とするとその精度がやや向上する傾向にあった。また、体重あたりの BMR を体重の一次式として線形近似した推定式では、その精度がすべての性・年代において向上した。BMI を説明変数に加えても重回帰分析の精度は変わらなかった。

3. 生活習慣病予防を目的とした推奨身体活動量 (23 エクササイズ) を満たす歩数とは

1 日の歩数と強度が 3 メッツ以上の歩行を伴う活動との間には強い相関が得られた一方で、3 メッツ以上の生活活動による週当たりの活動量との間には、男女ともに有意な相関係数は得られなかった。健康の維持・増進に必要な身体活動推奨量である 23 メッツ・時/週に相当する歩数は、男性で 6708 歩/日、女性で 6416 歩/日であった。一方、カウントに含める活動を 3 メッツ以上の歩行活動のみに限定して考えた場合に得られる 23 メッツ・時/週に相当する歩数は、男性で 8125 歩/日、女性で 9495 歩/日であった。

4. 一般住民を対象とした身体活動質問紙および加速度計による身体活動量評価の妥当性に関する検討

女性における 1 日全体の身体活動量に家事の寄与が大きく、買い物や通勤などの移動による部分が次いだ。しかし、それらの部分活動量と加速度計による 1 日全体の身体活動量との関連はほとんど認められず、運動部分とのみ有意な関連を認めた。

D. 考察

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

DLW法と質問紙のTEEの相関は、海外において実施されたこれまでの研究と比べ高かった。95%LOAの幅も比較的小さかった。TEEが大きい者が質問紙において過小評価される要因としては、重労働や仕事での歩行、立位のエネルギー換算方法を工夫する必要があると思われた。

2. 新たな基礎代謝推定式に関する基礎的検討

現在の年代別の基礎代謝基準値は体重あたりの値が一律に定められているが、体重あたりのBMRは体重、BMIの増加にともない高い相関で減少する。これを考慮した推定式は、表現がやや複雑になり基準値としては不適かもしれないが、精度としては向上する。

3. 生活習慣病予防を目的とした推奨身体活動量(23エクササイズ)を満たす歩数とは

歩行中心の活動で考えた場合の目安として示されている1日当たり8000~10000歩よりも明らかに低い値が得られた。歩数と3メッツ以上の週当たりの総活動量または歩行活動のみによる活動量との関係式から算出した、23メッツ・時/週に相当する歩数の間には、男女ともに大きな差が認められた。特に女性の方が顕著で、平均値だけからみると、総活動量に対する歩行活動と生活活動の割合はほぼ同じであった。このことから、生活活動も身体活動量の増加に

貢献しており、歩行活動を高く維持することだけが必ずしも23メッツ・時/週を満たす条件ではないことが示唆された。

4. 一般住民を対象とした身体活動質問紙および加速度計による身体活動量評価の妥当性に関する検討

今回検討した身体活動質問紙には、活動内容毎の身体活動量を評価でき、それが全体の身体活動量にどのように寄与しているか分かることから、ライフスタイルを考慮した保健指導を実施する上で有用性が示唆された。また、女性の家事のように、比較的低強度かつ左右の成分を含む身体活動が多いライフスタイルをおくる対象では、現在普及している1軸加速度計は、日常生活の身体活動量を適切に評価できないこと、ウォーキングのような運動による活動を評価している可能性が高いことが示唆された。

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

今後、簡易に身体活動レベルを区分するには、身体活動レベルⅢについては、中強度の活動や重労働への従事程度により区分が可能になる可能性が示されたが、身体活動レベルⅠ、Ⅱの区分については、さらに工夫が必要と考えられた。

2. 新たな基礎代謝推定式に関する基礎的検討

体重あたりのBMRは体重、BMIの増加にともない減少することを考慮した推定式

を検討する価値があるといえる。

3. 生活習慣病予防を目的とした推奨身体活動量(23エクササイズ)を満たす歩数とは

特に女性において、歩行以外の生活活動も身体活動量の増加に貢献しており、身体活動量を評価する際に考慮すべきことが示唆された。

4. 一般住民を対象とした身体活動質問紙および加速度計による身体活動量評価の妥当性に関する検討

日本人を対象とした身体活動量の質問紙は、多くの加速度計では評価できない家事活動のような身体活動を評価することができる可能性がある。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

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*: 87(5): 1268-1276, 2008.

田中茂穂. 運動・身体活動と公衆衛生(5)「日常生活における生活活動評価の重要性」. *日本公衆衛生雑誌*: 55(7): 474-477, 2008
田中茂穂. 生活習慣病予防に関する間欠的運動の効果. *体育の科学*: 59(3): 184-188,

2009.

Ishikawa-Takata K, Tabata I, Rafamantanantsoa HH, Okazaki H, Okubo H, Tanaka S, Yamamoto S, Shiota T, Uchida K, Murata M. Physical activity level in health free-living Japanese estimated by doubly labelled water method and international physical activity questionnaire. *Eur J Clin Nutr*: 62: 885-891, 2008.

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*: 66(4): 195-200, 2008.

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*: 62: 1343-1350, 2008.

Naito M, Naito Y, HIPOP-OHP Research Group. Effect of a 4-year workplace-based physical activity intervention program on the blood lipid profiles of participating employees: the high-risk and population strategy for occupational health promotion (HIPOP-OHP) study. *Atherosclerosis*: 197 (2): 784-790, 2008.
Yamada Y, Naito Y, Yokoyama K, et al. Light-intensity activities are important for estimating physical activity energy expenditure using uniaxial and triaxial accelerometers. *Eur J Appl Physiol*: online, 2008.

内藤義彦. 運動・身体活動と公衆衛生(1)「公衆衛生分野において運動・身体活動をどう考えるか」. *公衆衛生学雑誌*. 186-188,

2008.

2. 学会発表

Oshima Y, Kawaguchi K, Doi R, Ohkawara K, Hikiyama Y, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Ebine N, Tabata I. Significance of Lifestyle Activity in Daily Life Assessed by Triaxial Accelerometer. American College of Sports Medicine (ACSM): 2008.5.28: Indianapolis, IN
川口加織、大島秀武、田中茂穂、引原有輝、大河原一憲、高田和子、海老根直之、田畑泉. 活動量計で評価した23エクササイズと歩数の関係. 第63回日本体力医学会大会, 2008.9. 大分.

三宅理江子、田中茂穂、大河原一憲、引原有輝、高田和子、田畑泉. 自衛隊員における基礎代謝量推定式の妥当性. 第63回日本体力医学会大会: 2008.9. 別府.

内藤義彦、加藤亮、他. "メタボリックシンドロームの諸問題(シンポジウム)(3)メタボリックシンドロームに身体活動は有用か". 第11回運動疫学研究会学術集会, 広島, 2008.9.

内藤義彦、加藤亮、他. BMI・ウエスト・体組成・内臓脂肪と身体活動量との関連. 第63回日本体力医学会大会, 大分, 2008.9.

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

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

研究分担者 高田和子 (独)国立健康・栄養研究所
研究分担者 内藤義彦 武庫川女子大学
研究分担者 佐々木敏 東京大学大学院
研究分担者 海老根直之 同志社大学
研究分担者 宮地元彦 (独) 国立健康・栄養研究所
研究代表者 田中茂徳 (独) 国立健康・栄養研究所

本研究では、質問紙により簡易に身体活動レベルを判断する方法を開発するために、日本人を対象とした既存の身体活動量の質問紙の妥当性と身体活動レベル別の身体活動の特徴を検討した。

20～83歳の健康な成人（学生を除く）226名（男性108名、女性118名）を対象に、二重標識水（doubly labeled water: DLW）法による総エネルギー消費量（total energy expenditure: TEE）の測定と公益信託日本動脈硬化予防研究基金統合研究身体活動質問紙による調査を実施した。

その結果、DLW法で求めた TEE と質問紙による TEE において、Pearson の相関係数は 0.727 ($p < 0.001$)、Spearman の順位相関係数は 0.742 ($p < 0.001$)、95%LOA は -1192.9～645.1kcal であった。DLW法と質問紙の TEE の相関は、海外において実施されたこれまでの研究と比べ高かった。95%LOA の幅も比較的小さかった。しかし、身体活動レベルを日本人の食事摂取基準 2005 年版に従って 3 区分すると、DLW法と質問紙の一致度は 40%程度であった。DLW法により区分した身体活動レベル別に、質問紙から身体活動の内容を比較すると、身体活動レベルⅢにおいては、中強度の活動の時間と重労働に従事する人の割合が高かった。また、TEE が大きい者が質問紙において過小評価される要因としては、重労働や仕事での歩行、立位のエネルギー換算方法を工夫する必要があると思われた。

以上のことから、今後、簡易に身体活動レベルを区分するには、身体活動レベルⅢについては、中強度の活動や重労働への従事程度により区分が可能になる可能性が示されたが、身体活動レベルⅠ、Ⅱの区分については、さらに工夫が必要と考えられた。

A 研究目的

日本人の食事摂取基準（2005年版）においては、初めて日本人を対象に二重標識水（Doubly labeled water: DLW）法により測定されたデータを用いて、身体活動レベルの基準を策定した。しかし、2005年版では、どのよう

な人がどの身体活動レベルに該当するかを知る方法を示すことができなかった。そこで、本研究では、日本人を対象とした既存の身体活動量の質問紙を使用して、質問紙の精度の検証と、各身体活動レベル別の身体活動内容の特徴を検討し、今後、簡易に身体活動レベルを評価する方法を検討するための資料とした。

B 研究方法

1. 対象者

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、学生は対象としなかった。本研究の対象は 20~83 歳の 226 名 (男性 108 名、女性 118 名) である。

2. 調査内容

①基礎代謝量

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℃ 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、心拍を計測した後に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 BMR を求めた。

②DLW 法による身体活動量測定

10%¹⁸O (太陽日酸、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℃ 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, サーマ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 (mol/day) = $0.4554TBW(1.007ko - 1.041kh)$ により求めた。ko は ¹⁸O の減衰率、kh 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。

③質問紙による身体活動量調査

公益信託日本動脈硬化予防研究基金統合研究 (Japan Arteriosclerosis Longitudinal Study: JALS) において使用されている身体活動質問紙 (JALSPAQ) を使用した。この質問紙は、24 時間活動記録や 7-day recall による検討から明らかになった、日本における活動の特徴をもとにして作成されたものである。特に、中強度 (3~6METs) の活動による効果が評価できるようにスポーツなどの余暇活動に限定せずに、家事、仕事などの日常活動も調査の対象としている。質問紙は A4 両面であり、睡眠、仕事、通勤・買い物などの移動、家事、余暇の 6 区分についての質問がされている。

④統計解析

先行研究での結果と比較するために、DLW 法により測定した TEE と質問紙によ

り調査した TEE の比較では、以下の指標を求めた。

- ・Pearson の相関係数
- ・Spearman の順位相関
- ・paired t test
- ・standard error (SE)
- ・95% limit of agreement (LOA)
- ・intraclass correlation coefficients (ICC)

また、DLW 法により測定した身体活動レベル (PAL) 別の TEE、及び各強度の身体活動時間の比較は一元配置分散分析により行った。各データについて、等分散が仮定されなかったため post hoc test として Dunnett の T3 を使用した。すべての解析は、SPSS ver.16.0 for windows を用いて行った。

(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

対象者の特性を表 1 に示した。各性・年代の人数は 20 名前後であるが、男性の 40 歳代、50 歳代、女性の 20 歳代、50 歳代がやや少なかった。BMI の平均は、20~26 程度で男性の 40 歳代が最も高く、女性の 20 歳代が最も低かった。

1 日あたり、1 日あたり体重 1kg あたりの基礎代謝量 (basal metabolic rate: BMR)、DLW 法により測定した TEE、PAL (DLW 法により測定した TEE/BMR)、質問紙により調査した TEE を表 2 に示した。PAL は男性では 30 歳代と 50 歳代では平均で 2 を超えており、身体活動量の多い集団であった。20、40、60 歳代でも平均は 1.9 を超えており、身体活動量は高かった。70 歳以上では平均が 1.71 と他の年代に比べるとやや低くなった。女性における PAL も 70 歳以上ではやや低くな

るものの、年代別の平均値は 1.8~1.9 と高かった。

DLW 法により求めた TEE と質問紙により求めた TEE の関係を図 1 に示した。Pearson の相関係数は 0.727 ($p < 0.001$)、Spearman の順位相関係数は 0.742 ($p < 0.001$)、ICC は 0.648 ($p < 0.001$) であった。Paired t test の結果からは、DLW 法により求めた TEE と質問紙から求めた TEE の差は $-273.9 \pm 459.5 \text{ kcal}$ で有意な差 ($p < 0.001$) がみとめられた。SE は 30.6 kcal 、95% LOA は $-1192.9 \sim 645.1 \text{ kcal}$ であった。Bland & Altman の解析による比較を図 2 に示した。2 法で測定された TEE の平均値と TEE の差の相関係数は -0.270 ($p < 0.001$) であった。TEE の大きな対象ほど、質問紙の TEE が大きく過小評価する傾向にあるが、2 法の差は TEE の大きい対象で、過大、過少の両方向に差が大きくなっていった。

体重当たりで示した TEE について、DLW 法により調査した値と質問紙により求めた値を比較した (図 3)。Pearson の相関係数は 0.305 ($p < 0.001$)、Spearman の順位相関係数は 0.346 ($p < 0.001$)、ICC は 0.203 ($p < 0.001$) であった。Paired t test の結果からは、DLW 法により求めた TEE と質問紙から求めた TEE の差は $-4.7 \pm 7.2 \text{ kcal/kg}$ で有意な差 ($p < 0.001$) がみとめられた。SE は 0.5 kcal/kg 、95% LOA は $-19.1 \sim 18.9 \text{ kcal/kg}$ であった。

表 3 には、DLW 法により調査した TEE から求めた PAL を食事摂取基準 2005 の区分により 3 区分に分類し、質問紙の回答から検討した TEE、総メッツ・時、及び中強度と高強度の活動時間を示した。質問紙で求めた TEE は群間で有意な差があり、身体活動レベル III にくらべ、I と II では有意に小さい値となった。しかし、群ごとの分布には重なりが多かった。総メッツ・時も群間で有意な差が認められ、身体活動レベル I は、身体活動レベル II、III に比べて有意に小さい値となった。質問紙の項目から、中強度 (3~5.9 METs :

掃除・育児・介護などの家事、歩行、余暇の身体活動のうち3~5.9METsの活動)と高強度(6METs以上:余暇における身体活動のうち6METs以上の活動)の1日の平均時間を比較した。中強度の活動は身体活動レベルⅢにおいて、Ⅰ、Ⅱに比べて有意に短かった。また、質問紙においてTEEの計算には使用されていないが、仕事の中で重い物の運搬やそれと同程度の力仕事に従事している時間のある人の割合は、身体活動レベルⅠ、Ⅱ、Ⅲでそれぞれ6、24、36%と身体活動レベルが高くなるに従って増加した。

D 考察

本研究では、今後、質問紙により簡易に身体活動レベルを判断する方法を検討するために、日本人を対象とした既存の身体活動量の質問紙の精度の検討と身体活動レベル別の身体活動の特徴を検討した。

Neilsonら(2008)は2006年10月までに刊行された身体活動の質問紙をDLW法により評価した研究についてのレビューを行っている。この報告では、質問紙により活動によるエネルギー消費量(activity energy expenditure: AEE)と総エネルギー消費量(TEE)に分類している。このレビューで報告されている質問紙によるTEEとDLW法によるTEEの相関係数はPearsonの相関係数で0.32~0.63、Spearmanの順位相関係数で0.15~0.36であり、本報告の0.727、0.742はこれまでの報告に比べると高かった。Neilsonらは個別の一致度として、TEEの95%LOAの幅は1,133~17,948kcalであったと報告しているが、本研究では1,834kcalであり、これまでの報告より良いものではないが、比較的小さかった。

先行研究では、TEEやAEEの比較を行っている。TEEは、体重あるいは基礎代謝量の影響を大きく受けているため、PALや体重当たりのTEEが精度よく評価される必要がある。そこで、本研究では、それぞれの方法から求め

たTEEを体重当たりで示して比較した。体重当たりのTEEでは、相関係数は、1日あたりのTEEに比べ、かなり小さくなり、個別の活動量の差を十分評価できていない可能性が認められた。質問紙によるTEEは過小評価の傾向にあり、特にエネルギーの大きい人が十分に評価されていないかった。

DLW法のTEEと実測によるBMRから求めたPALと、質問紙によるTEEと実測のBMRから求めたPALをそれぞれ3区分すると、一致する割合は41%であり、50%が低い区分に分類された。質問紙から求めたTEEや総メッツ・時はDLW法によるPALの3区分において大きく重なっており、これらの値から身体活動レベルを分けることは困難であった。

各身体活動レベルの区分における身体活動の特徴を比較すると、身体活動レベルⅢにおいては、中強度(3~5.9METs)の身体活動の時間が多い傾向にあった。TEEが大きい者でTEEを過小評価する要因として下記のことが推測される。質問紙においてTEEや総メッツ・時の計算には使用されていないが、仕事での重労働がある人の割合は、身体活動レベルの高い群で多くなっており、この評価を加えることで、TEEの大きい者での過小評価を小さくできる可能性がある。また、この質問紙では仕事での活動について、「ほとんど座っている」「半分より多く座っている」「ほとんど半分くらい」「半分より少ない」「ほとんど座らない」の5つの選択枝で回答している。さらに、ほとんど座っている以外の回答者には、立って仕事をしている時間のうちで「歩いている方が多い」「歩いているのと立ったままが半々くらい」「歩かないで立ったままの方が多い」の3つの選択枝を用いている。ほとんど座っている者は活動レベルⅠ、Ⅱ、Ⅲにおいてそれぞれ、47.4、33.3、16.0%であり、逆にほとんど座らない者は、10.5、12.5、34.7%と大きく異なっている。さらに、歩いている方が多いという回答は身体活動レベルⅢで45.5%と最も多く、身

体活動レベル I では、歩行と立位が半々で 63.6% を占めていた。これらの仕事での活動内容の違いを比較すると、仕事での活動の換算方法を工夫することで、誤差を小さくできるのではないかと考えられる。一方で、どの活動においても身体活動レベル I と II では活動の差が小さく、この 2 群を分けることが困難と考えられた。我々は、先の研究において International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) と DLW 法による TEE を比較している (Ishikawa-Takata et al, 2008) が、IPAQ により分けた 3 群においても、身体活動レベルの低い 2 群において DLW 法により求めた TEE に違いはなく、活動レベルの低い人を質問紙により区分することは難しいと考えられる。

E 結論

日本人を対象とした身体活動量の質問紙は、これまで海外で行われている DLW 法による質問紙の精度の検証結果に比べると比較的良く、身体活動レベルを評価していた。しかし、個別の評価には、問題点も残った。身体活動レベルの高い人は、中強度あるいは重労働により区分できる可能性があるが、身体活動レベル I と II の人を区分することは困難と思われた。

F 健康危険情報

特になし

G 研究発表

1. 論文発表

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 health free-living Japanese estimated by doubly labelled water method and international physical activity questionnaire. Eur J Clin Nutr: 62: 885-891, 2008.

Yamada Y, Naito Y, Yokoyama K, et al. Light-intensity activities are important for estimating physical activity energy expenditure using uniaxial and triaxial accelerometers. Eur J Appl Physiol: online, 2008.
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. 66: 195-200, 2008
内藤義彦. 運動・身体活動と公衆衛生 (1) 「公衆衛生分野において運動・身体活動をどう考えるか」. 公衆衛生学雑誌. 186-188, 2008.
田中茂穂. 運動・身体活動と公衆衛生 (5) 「日常生活における生活活動評価の重要性」. 日本公衆衛生雑誌: 55(7): 474-477, 2008.

2. 学会発表

なし

H 知的財産権の出願・登録状況

なし

表1 対象者の特性

	N	Age (yr.)	Height (cm)	Body weight			BMI (kg/m ²)	Fat Free Mass (kg)
				pre (kg)	post (kg)	change (kg)		
Male								
20-29 yr.	18	25.0±2.5	171.5±6.0	62.1±7.9	62.3±8.0	0.2±0.7	21.1±2.0	48.7±6.4
30-39 yr.	29	33.7±3.0	175.4±5.7	74.1±18.2	74.3±18.2	0.2±1.0	24.0±5.1	56.1±12.7
40-49 yr.	13	43.3±2.8	170.9±7.4	76.5±13.2	76.2±12.9	-0.3±1.1	26.1±3.8	57.4±7.9
50-59 yr.	14	53.9±3.0	165.1±7.4	64.5±9.7	64.6±9.7	0.0±0.7	23.6±2.8	49.1±6.9
60-69 yr.	17	65.4±2.7	162.8±5.8	63.4±6.7	63.5±7.2	0.1±1.0	23.9±2.1	45.3±3.8
70 < yr.	17	75.1±4.0	162.1±5.0	60.7±8.1	60.8±8.2	0.2±0.9	23.1±2.7	43.4±5.8
Female								
20-29 yr.	8	25.3±2.4	157.0±3.9	51.3±2.5	51.2±2.5	-0.1±0.8	20.9±1.6	34.9±2.0
30-39 yr.	22	35.3±2.5	158.3±6.0	53.3±10.4	53.5±10.6	0.2±0.7	21.2±3.9	36.2±4.7
40-49 yr.	20	42.6±2.4	157.6±4.8	54.2±5.3	54.0±5.2	-0.2±0.6	21.8±2.2	37.0±4.2
50-59 yr.	14	55.2±2.9	155.8±3.5	56.7±10.0	56.7±10.2	0.0±0.8	23.3±3.9	36.6±3.8
60-69 yr.	35	64.7±2.5	153.3±4.9	53.8±6.8	53.9±6.8	0.1±0.7	22.9±2.8	34.7±3.6
70 < yr.	19	73.4±3.9	148.0±4.4	50.2±6.1	50.1±6.1	0.1±0.6	22.9±2.8	32.5±2.7

表2 基礎代謝量 (BMR)、DLW 法により求めた総エネルギー消費量 (TEE)、身体活動レベル (PAL)、及び質問紙により求めた総エネルギー消費量

	BMR (kcal/day)	BMR (kcal/kg/day)	TEE (kcal/day)	PAL	TEE by Questionnaire (kcal/day)
Male					
20-29 yr.	1,454±128	23.6±2.1	2,830±369	1.95±0.19	2,406±411
30-39 yr.	1,622±312	22.2±2.1	3,256±855	2.00±0.34	2,711±715
40-49 yr.	1,568±218	20.8±2.8	2,986±668	1.90±0.30	2,874±573
50-59 yr.	1,389±246	21.7±3.1	2,975±667	2.16±0.39	2,405±386
60-69 yr.	1,328±186	21.1±3.1	2,529±341	1.93±0.32	2,172±194
70 < yr.	1,319±187	21.9±2.7	2,239±344	1.71±0.21	1,997±328
Female					
20-29 yr.	1,107±80	21.6±0.8	1,979±219	1.79±0.19	1,708±201
30-39 yr.	1,125±158	21.4±2.6	2,038±293	1.83±0.28	1,847±433
40-49 yr.	1,166±114	21.6±1.3	2,156±271	1.85±0.20	1,890±259
50-59 yr.	1,116±173	20.0±3.4	2,035±302	1.83±0.23	2,202±516
60-69 yr.	1,078±156	20.2±3.0	2,102±292	1.98±0.35	1,881±253
70 < yr.	1,028±139	20.7±3.1	1,780±264	1.75±0.27	1,687±198

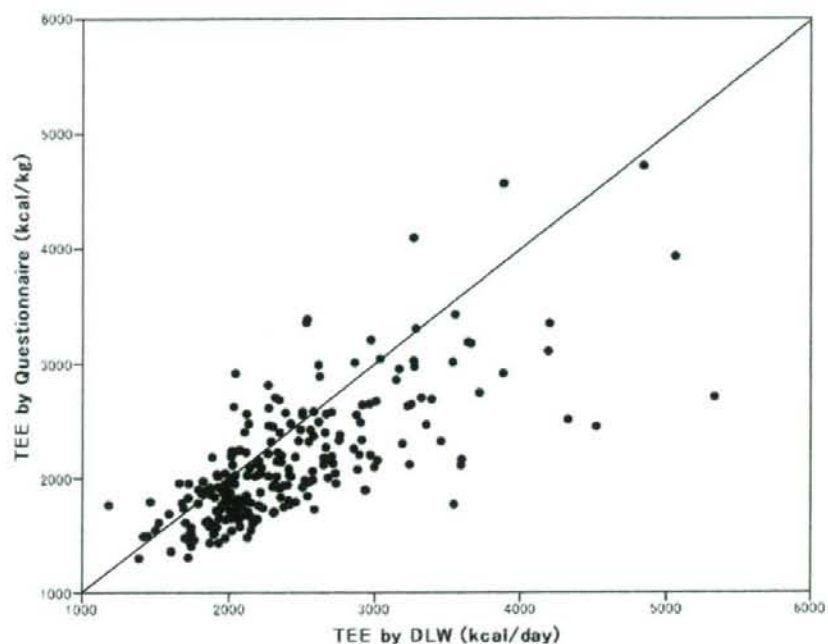


図1 DLW法で測定した総エネルギー消費量(TEE by DLW)と質問紙により調査した総エネルギー消費量(TEE by Questionnaire)

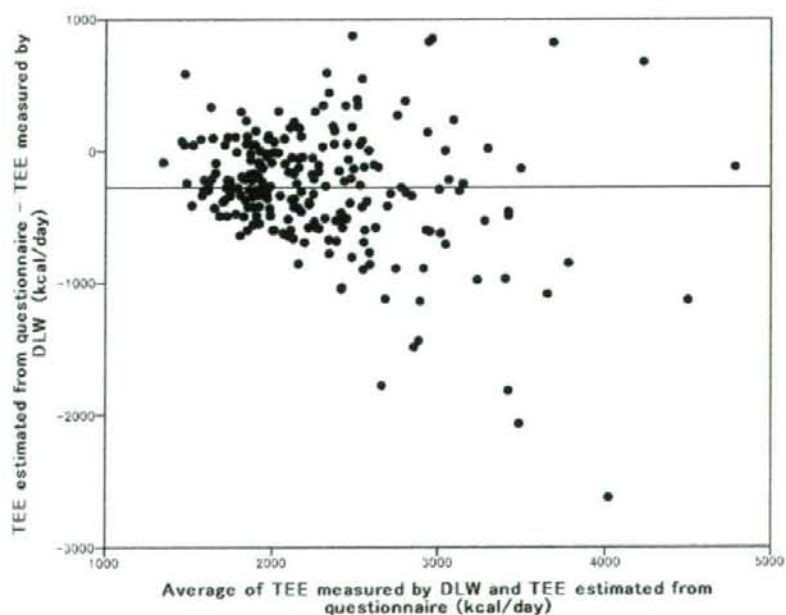


図2 Bland & Altmanの解析によるDLW法で測定したTEEと質問紙によるTEEの比較

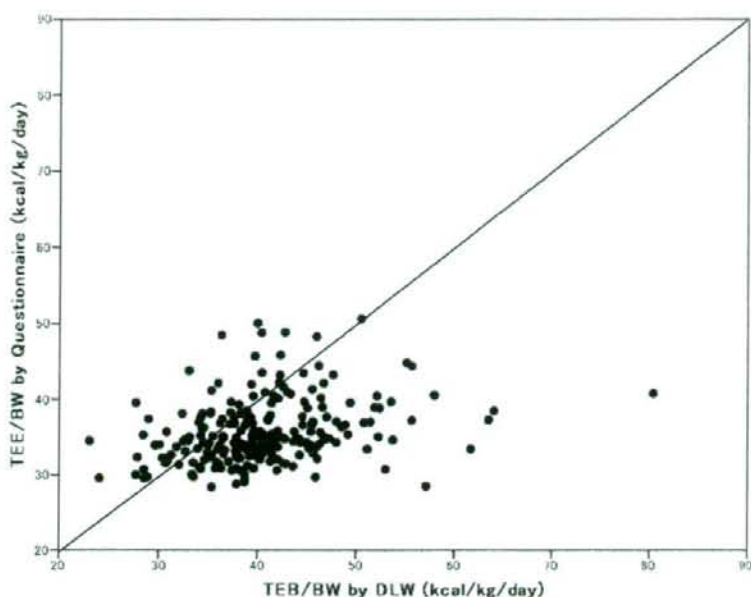


図3 DLW法で測定した総エネルギー消費量(TEE by DLW)と質問紙により調査した総エネルギー消費量(TEE by Questionnaire) (体重あたりのエネルギー消費量での比較)

表3 DLW法により分類した身体活動レベルごとの身体活動の特徴

	Physical activity level			p
	I	II	III	
TEE by Questionnaire	1,889±294** (1,302-2685)	2,137±533* (1,309-4720)	2,239±600 (1,435-4564)	0.006
Total Mets (Mets hr)	33.5±3.0**# (28.3-42.5)	34.9±3.4 (28.3+43.6)	36.9±4.9 (28.5-50.1)	<0.001
Moderate (3-5.9 Mets)	1.6±1.2** (0.2-5.1)	2.0±1.7* (0-8.6)	3.1±2.9 (0.1-12.3)	0.001
Vigorous (6<= Mets)	0.1±0.2 (0-0.6)	0.1±0.2 (0-1.1)	0.1±0.2 (0-1.3)	0.646

** p<0.001, * p<0.01 compared with physical activity level III

p<0.05 compared with physical activity level II

新たな基礎代謝推定式に関する基礎的な検討

研究分担者 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

研究協力者 高田和子 // エネルギー代謝プロジェクト 上級研究員

谷本道哉 // 特別研究員

[背景] 現行の基礎代謝基準値は性、年代別に体重あたりの数値として一律に設定されている。しかしながら、体重あたりの基礎代謝量（Basal Metabolic Rate : BMR）の実測値は、体重が大きいほど低い傾向にある。ここには、体重増加による体重あたりの体表面積の減少や、体重の増加に伴う体脂肪率の増加による影響の可能性が示唆される。[目的と方法] 本研究では、昨年度よりも被験者を増やして青年期以降の男女の BMR の測定を行い、性別、年代毎の体重との関係を整理した。さらに体重の違いと体型の影響を加味した BMR の推定法の検討を加えた。ここでは体型の指標として体格指数（BMI : Body Mass Index）を用いた。[結果] 男女とも 70 歳以上の年代を除いたすべての年代において、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た。いずれの性、年代においても体重、BMI の増加にしたがって体重あたりの BMR が有意に低下することが観察された。このことを考慮し、体重あたりの BMR を一律の値とせず、体重、BMI 別の 2 段階にわけた推定式とするとその精度がやや向上する傾向にあった。また、体重あたりの BMR を体重の一次式として線形近似した推定式では、その精度がすべての性・年代において向上した。年齢と体重のほか BMI を説明変数とし、BMR を従属変数とした重回帰分析を行ったところ、男女とも BMI は説明変数としては不採用であり、BMI を説明変数に加えても重回帰分析の精度は変わらなかった。[考察] 現在の年代別の基礎代謝基準値は体重あたりの値が一律に定められているが、体重あたりの BMR は体重、BMI の増加にともない高い相関で減少する。これを考慮した推定式は、表現がやや複雑になり基準値としては不適かもしれないが、精度としては向上する。新たな基準値として検討する価値があるといえる。

A. 研究目的

現在使用されている「厚生労働省策定 日本人の食事摂取基準（2005 年版）」に用いられている基礎代謝基準値は 1951-66 年に実測された値をもとにしたものであり、1969 年以来大きな変更はされていない。当時と現在とでは食事内容は大きく変化し、身体活動量などの生活環境とともに身体組成も大きく変化している。時代

の経過に伴う身体条件の変化を考慮して、新たな基礎代謝基準値の算定法を検討する必要性がある。

現行の基礎代謝基準値は性、年代別に体重あたりの数値として体重の大小にかかわらず一律に設定されている。しかしながら、体重あたりの基礎代謝量の実測値は体重の増加に伴って高い相関で低下する。これには体重の増加による

体重あたりの体表面積の減少や体脂肪率の増加の影響が示唆される。

恒温動物であるヒトの BMR は熱放散量の重要な決定要因である体表面積の影響を大きく受ける。また、脂肪組織と比べて代謝率の高い除脂肪体重 (Lean Body Mass : LBM) は BMR に強く関係する要因とされている。

昨年度の出発研究報告「新たな基礎代謝推定式に関する基礎的な検討」では、DXA 法を用いた LBM と脂肪量 (Fat Mass : FM) の値を用いた推定式の作成を行った。しかしながら、LBM と FM を変数に用いた重回帰分析による推定式の重相関係数は男性 0.726、女性 0.625 であり、体重を変数に用いた場合の男性 0.708、女性 0.606 と比べて高い精度は得られるものの、それほど大きな変化を得られるものではなかった。また、LBM、FM を変数に用いた推定法には LBM、FM を簡便に正確に測ることが現時点で不可能であるという問題もある。

そこで本年度は被験者を増やして、簡便に正確な値を得ることのできない LBM の代わりに、体脂肪率と高い相関のある体格指数 (BMI : Body Mass Index) を用いて以下の方法による基礎代謝推定式の検討を行った。

検討 1 : 体重あたりの BMR を各年代、性別ごとに基準体重を境界に 2 段階で評価した推定式の検討

検討 2 : 体重あたりの BMR を各年代、性別ごとに、BMI=22 を境界に 2 段階で評価した推定式の検討

検討 3 : 体重の増加に伴って減少する体重あたりの BMR を固定値とするのではなく、体重の一次関数として評価した推定式の検討。

検討 4 : BMR を性別ごとに、年齢、体重に加えて BMI を説明変数として重回帰分析により導出した推定式の検討

B. 研究方法

1. 被験者

被験者は、健康な一般成人男女 781 名 (男性 18-29 歳: 100 名, 30-49 歳: 149 名, 50-69 歳: 58 名, 70 歳-: 23 名 女性 18-29 歳: 106 名, 30-49 歳: 155 名, 50-69 歳: 158 名, 70 歳-: 32 名) であった。

2. 測定方法

1) 基礎代謝

被験者には測定日の前日は激しい運動を避け、前夜の午後 9 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被験者に測定場所に来所してもらい、排便・排尿後、室温 20-25℃ の条件下において覚醒・仰臥安静状態で基礎体温、心拍を計測した後に呼気ガスの採取を行った。

呼気ガスの採取は、マスクを装着後 30 分以上仰臥させた後、仰臥位のまま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 BMR を求めた。

3. 身体計測

身長、体重を、排尿をすませた早朝空腹時に測定した。

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 (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

各性別・年代の実測の体重あたりの BMR は表 1 に示すとおりであった。男女とも 70 歳以上

の年代を除いて 2-7%ほど基準値よりも低い値を示した(表 1)。

体重あたりの BMR は、すべての性別・年代で体重、および BMI と有意な負の相関を示した。

(図 1,2)。体重あたりの BMR が体重、BMI とそれぞれ負の相関を示したことから、体重あたりの BMR の推定式を基準体重、および BMI の標準値 22 を境界として 2 段階で評価した(表 2)。体重あたりの BMR を体重および BMI で 2 段階で評価することにより、推定式の標準回帰誤差 (SEE: Standard Error of Estimate) が全体としてやや小さくなる傾向が見られた。

体重あたりの BMR が、すべての性別・年代において体重とほぼ線形の負の相関を示したことから、体重あたりの BMR を体重の一次関数として線形近似した推定式を最小二乗法により算出した。この推定式は BMR を切片 0 とした体重の二次式として表すことになる。この推定式と現状の基礎代謝基準値の評価法である体重あたりの BMR を固定値とした場合 (BMR を切片 0 とした体重の一次式で表す方法) との比較を表 3 に示した。いずれの性別・年代においても体重あたりの BMR を固定値とせずに、BMR を体重の二次式として表す方法のほうが SEE の値が小さくなり、評価の精度が向上することが示された。

年齢(Age)、体重(Body Mass: BM)の 2 つに、体脂肪率と高い相関のある BMI を足した 3 つの説明変数をもとに BMR のステップワイズ重回帰分析を行ったところ、男性、女性ともに Age と BM の 2 変数が説明変数として採用された。重回帰分析よりこの 2 変数を用いた以下の算定式を導出した。男性の算定式の R 値は 0.783、P 値は 0.001 以下であった。女性では R 値は 0.622、P 値は 0.001 以下であった。

Age・BM・BMI を用いた重回帰分析による BMR 算定式

男性:

採用された変数: Age, BM

不採用の変数: BMI

$$\text{BMR(kcal/day)}=642.0+14.2\times\text{BM(kg)}-2.8\times\text{Age(year)}$$

$$R=0.783, p<0.0001, \%SEE=9.8\%$$

女性:

採用された変数: Age, BM

不採用の変数: BMI

$$\text{BMR(kcal/day)}=640.1+11.0\times\text{BM(kg)}-2.4\times\text{Age(year)}$$

$$R=0.622, p<0.0001, \%SEE=12.3\%$$

D. 考察

本研究では、男女ともに体重あたりの BMR が、70 歳-の年代を除いたすべての年代において日本人の食事摂取基準 (2005 年版) の基礎代謝基準値よりも低い値を示した。これは基準値策定当時との体脂肪率の変化、平均体重の変化と関係しているかもしれない。体脂肪率の増加、つまり LBM の減少と体重の増加に伴い体重当たりの BMR は低い値を示すことは以前から知られていた (Luke and Schoeller 2002、薄井ら 2005 など)。

今回の実測の結果でもすべての性別・年代において体重当たりの BMR と体重、および体脂肪率との相関が高い BMI との間に有意な負の相関が観察された。性別・年代ごとの体重当たりの BMR を固定値として一律に規定する現行の推定式は、標準的な体重、BMI から外れるほど実測の BMR の値と乖離してくる。

体重および BMI 別の 2 段階にわたる推定式では、全体として推定の精度が向上する傾向にあった。今回は推定式算出のための各群の被験者数が減少してしまうため行わなかったが、これをさらに多段階にわたることで、より推定式の

精度があがるものと思われる。しかしながら、基準値を多段階にわけるとは表現が複雑化するため、その特質から考えて望ましくないかもしれない。

体重の増加に伴って減少する体重あたりの BMR と体重との関係を線形で近似する推定式では、すべての性別、年代においてその精度が向上した。しかし、この推定法も推定式が 2 次式となり表現がやや複雑化するという問題がある。

BMR を年代別に分割して評価するのではなく、体重とともに年齢を説明変数に入れて推定式を導出する方法では、男性で SEE9.8%、女性で、SEE12.3%という現行の年代別に体重あたりの基準値を定める方法よりもやや高い精度が得られた。体組成の違いを考慮するために、ここでの説明変数として BMI を使用したが、重回帰分析の結果、不採用となった。体組成の影響は体重にも反映されていること、BMI が体脂肪率の完全な指標にはならないことなどが理由と考えられる。ここでの推定式は年齢と体重による 2 元 1 次式として表現された。この推定式は年代別の区別がなく、推定式もそれほど複雑ではない。推定の精度にも優れた有効な推定法といえそうである。

以上のように体重あたりの BMR の変化を考慮した BMR の新しい推定法には表現の複雑化という問題があるが、精度の上がる方法ということでは可能。新たな推定式として検討する価値があるといえる。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

なし

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