

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

（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策実用化研究事業）

総括研究報告書

生活習慣病予防や身体機能維持のためのエネルギー・たんぱく質必要量 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 基礎栄養研究部 部長

「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、特に日本人の知見が不足している高齢者や小児を中心に、身体活動レベル（PAL）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。最終年度である 26 年度は、以下のような結果が得られた。

1) 脳卒中、心筋梗塞、がんなどの既往がなく、日常生活をほとんど支障なく営んでいる在宅高齢者男女を対象に、二重標識水法に基づく総エネルギー消費量および基礎代謝量と、それらから得られる PAL のデータの収集を完了した。データを採用した対象者 67 名における体格および歩数の平均値は国民健康・栄養調査と同程度であり、本研究対象者は標準的な日本人集団に近いと考えられる。しかしながら、いずれの性・年齢区分においても、食事摂取基準の「ふつう」に比べて PAL は高値を示した。一方で、3 次元加速度計を用いて身体活動を評価したところ、活動強度は高いものの歩数としてはカウントされない身体活動が多くみられた。2) その一部の対象者において、指標アミノ酸酸化（Indicator Amino Acid Oxidation; IAAO）法によるたんぱく質代謝要求量を求めた。本年度は 80 歳以上を対象として測定を実施し、最終的に、対象者は、70～74 歳、75～79 歳、80 歳以上のそれぞれ 10 名ずつ（計 30 名）となった。その結果、鶏卵をたんぱく質源とした際の健康な日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量（推定平均必要量：EAR）は 70～74、75～79、80 歳以上でそれぞれ、1.20 g/kg BW/day、1.12 g/kg BW/day、1.20 g/kg BW/day であった。70 歳以上の 3 つの年齢区分でたんぱく質代謝要求量に顕著な違いは認められなかった。高齢者では若年成人と比較して、より多くのたんぱく質を摂取する必要があると考えられた。3) 首都圏内と首都圏外の国立大学附属中学校に通う男女 117 名（男子 60 名、女子 57 名）において、二重標識水法による総エネルギー消費量および基礎代謝量測定を実施した。対象者の平均 PAL は、 1.83 ± 0.25 であった。また、PAL を従属変数、質問紙による生活習慣諸因子を独立変数に投入した重回帰分析により、PAL の多寡に寄与する要因として、休み時間の過ごし方、学校部活動のない日の放課後の過ごし方、ならびに往復通学合計時間が選択された。4) 幼児の推定エネルギー必要量の策定根拠として利用可能な文献資料の収集とその精査を行ったが、基礎代謝量の実測値から求められる身体活動レベルを報告する

新たな文献は見あたらず、幼児の場合、体重あたりのエネルギー必要量の基準値を示すアプローチの方が有効である可能性が示唆された。

以上のように、高齢者や小児を中心に、総エネルギー消費量や PAL、基礎代謝量推定法の問題点を指摘した。

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）

木戸康博（京都府立大学大学院生命環境科学研究科 教授）

吉田英世（東京都健康長寿医療センター研究所 老年医学 副部長）

佐々木敏（東京大学大学院医学系研究科 公共健康医学専攻 教授）

引原有輝（千葉工業大学工学部 准教授）

海老根直之（同志社大学スポーツ健康科学部 准教授）

A．研究目的

「日本人の食事摂取基準（2015年版）」において、エネルギー必要量は、二重標識水（DLW）法から得られたエネルギー消費量の値に基づき策定されている。他の栄養素と比べると、日本人のデータが数多く利用されているが、高齢者や小児の身体活動レベル（PAL）などについては、欧米のデータに依存しているなど、いくつかの課題を残している。

そこで、最終年度にあたる 26 年度は、高齢者や小児を中心に、日常生活における総エネルギー消費量や PAL の推定法の改善を通して、食事摂取基準のエネルギー必要量の推定に資する測定を完遂し、最終的な分析結果を得ることとした。

B．研究方法

1 - 0．エネルギーおよびたんぱく質必要量の推定における調査研究協力者選定について

自立した高齢者におけるエネルギーおよびたんぱく質必要量を推定するために、東京都板橋区の地域在住の高齢者で、東京都健康長寿医療センター研究所にて把握している高齢者に継続的な調査研究を目的とした 2 つの健診コホート（2011 年健診コホート、2008 年健診コホート）を対象とした。これらの健診コホートより、2012 年～2014 年の 3 年間に、調査研究協力者の募集を、第 1 回（2012 年 10～12 月）、第 2 回（2013 年 9～10 月）、第 3 回（2014 年 3～4 月）の計 3 回実施した。対象者は、日常生活が自立している者で、脳卒中、狭心症・心筋梗塞、糖尿病、悪性新生物、うつ病の既往者を、いずれの募集においても調査協力対象者から除外した。第 2 回と第 3 回は、歩数調査を実施した上で対象者を選別した。また、最終年度は、活動的ではない 80～84 歳の高齢女性を対象とするために、歩行速度が同年代の平均値以下の者からも募集を行った。

1 - 1．自立した高齢者におけるエネルギー消費量および身体活動レベル

これまで大きな病歴がなく、日常生活をほとんど支障なく営んでいる 65～85 歳の在宅高齢者男女を対象とした。2014 年 4 月

に、希望者に対する説明会を行い、参加に同意した希望者 33 名全員に対し、歩数調査を行った。それらの対象者から、昨年度までの対象者とあわせて、歩数の平均値が国民健康・栄養調査に近くなるように選ばれた 17 名を対象に、二重標識水 (DLW) 法および基礎代謝量の実測による 1 日の PAL の測定と加速度計による測定を行った。また、昨年度の対象者について、サンプルの分析を進め、総エネルギー消費量・PAL を算出した。

1 - 2 .指標アミノ酸酸化法(IAAO 法)に基づくたんぱく質の推定平均必要量の検討

上記の対象者のうち、80 歳以上の日本人高齢者を被験者とした。その結果、3 年間で、70~74 歳、75~79 歳、80 歳以上の各 10 名 (計 30 名) の結果を得た。摂取たんぱく質量が、0.5、0.7、0.9、1.0、1.2、1.4 g/kg BW/day となるよう調整した 6 段階の実験食を用いた。実験食のエネルギー摂取量は、 $\text{体重} \times \text{基礎代謝基準値} \times 1.5 \text{ kcal/day}$ とした。被験者には、実験前夜 21 時より絶食を依頼し、実験日の 9:00 から 18:00 まで 1 時間ごとに、実験食を 1 日摂取量の 1/12 量ずつ提供した。指標アミノ酸として、L-[1- ^{13}C]-フェニルアラニン (^{13}C -Phe) を用いた。13:00 に ^{13}C -Phe、 ^{13}C 標識炭酸水素ナトリウム ($\text{NaH}^{13}\text{CO}_3$) を経口摂取させた。14:00 から 18:00 まで 1 時間ごとに ^{13}C -Phe を経口摂取させた。 ^{13}C -Phe 経口摂取開始より 19:00 まで、経時的に呼気を採取した。呼気中 ^{13}C 標識二酸化炭素 ($^{13}\text{CO}_2$) 量を赤外分光分析装置により測定し、Mixed Effect Change Point Regression Model (ME-CPRM) により解析し、たんぱく質代謝要求量を算出し

た。

2 . 中学校 3 年間ににおける生徒の身体活動量ならびに体力の経年変化

対象者は、首都圏内 (I 群) と首都圏外 (O 群) の国立大学附属中学校に通う男女 117 名 (男子 60 名、女子 57 名) とした。対象者には、二重標識水法および基礎代謝量の測定を実施した。また、対象者には、生活習慣状況に関する質問紙への回答を依頼した。

3 . 子どもの推定エネルギー必要量のエビデンス収集を目的とする文献レビュー

幼児のエネルギー必要量の策定根拠として利用可能な文献資料の収集とその精査を目的として、国際データベース (PubMed)、国内データベース (医中誌 Web) を活用し、18 歳までの年齢に限定して文献収集を行った。加えて、データベースに掲載されていない学術論文についても探索・収集した。

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 - 1 . 自立した高齢者におけるエネルギー消費量および身体活動レベル

全ての測定を完了した対象者は延べ 67 名となり、いずれの性・年齢区分においても国民健康・栄養調査と比べて体格・歩数は同じ程度であった。また、いずれの性・年齢区分においても、食事摂取基準で定められている身体活動レベル「ふつう」に比べ高めの数値であった。歩数としては反映されない身体活動を強度別に評価することが可能な 3 次元加速度計によると、歩行を伴わないものの強度の高い身体活動が 1 日 30 分～60 分程度みられた。PAL を算出するための分母である基礎代謝量と推定された基礎代謝量との誤差の平均は約 1.7% であり、比較的良好に一致していた。

1 - 2 .指標アミノ酸酸化法(IAAO 法)に基づくたんぱく質の推定平均必要量の検討

18:30 に採取した各たんぱく質摂取量での呼気中 $^{13}\text{CO}_2$ 量を解析した結果、呼気中 $^{13}\text{CO}_2$ 量は、たんぱく質摂取量が増すにつれ減少し、ある摂取量で一定となった。この屈曲点に相当するたんぱく質摂取量をたんぱく質代謝要求量とした。鶏卵をたんぱく質源とした際の健康な日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量(推定平均必要量:EAR)は 70～74、75～79、80 歳以上でそれぞれ、1.20 g/kg BW/day、1.12 g/kg BW/day、1.20 g/kg BW/day であった。70 歳以上の 3 つの年齢区分でたんぱく質代謝要求量に顕著な違いは認められなかった。

2 . 中学校 3 年間における生徒の身体活動量ならびに体力の経年変化

対象者の平均 PAL は、 1.83 ± 0.25 であった。男女別では、男子で 1.86 ± 0.28 、女子で 1.79 ± 0.21 であり、男女間に有意差は認め

られなかった。また、学校(I群 vs. O群)と性別による交互作用は認められなかった。また、PAL を従属変数、質問紙による生活習慣諸因子を独立変数に投入した重回帰分析により、PAL の多寡に寄与する要因として、休み時間の過ごし方、学校部活動のない日の放課後の過ごし方(放課後に体を動かす時間 30 分未満)ならびに往復通学合計時間が選択された。

3 . 子どもの推定エネルギー必要量のエビデンス収集を目的とする文献レビュー

PubMed を用いた検索から、幼児ならびに幼児を含む対象者で、一日の総エネルギー消費量と PAL が共に掲載されている原著論文が 4 篇存在した。しかし、いずれの論文も 2010 年版レビューにおける算入基準を満たしてはいなかった。幼児の総エネルギー消費量のみを報告している文献としては、4 篇の原著論文が確認された。日本人幼児・小児を対象に二重標識水(DLW)法を用いた研究は国際データベース上には確認されなかった。

国内データベースを用いた検索においても、過去 5 年間、日本人幼児または小児を対象に DLW 法を用いた研究論文は存在しなかったが、データベースに依存しない情報収集の結果、日本人低身長児(5.2 ± 0.5 歳、8 名)を対象に実施された TEE と PAL の結果を含む論文が、和文学術雑誌にて出版待ちであることが確認された。

D . 考察

1 - 1 . 自立した高齢者におけるエネルギー消費量および身体活動レベル

歩行を伴わない低強度活動が1日3時間から4時間程度、中高強度活動は1日30～60分程度検出されていることから、歩数のみでは高齢者の身体活動の評価には不十分かもしれない。

1 - 2 .指標アミノ酸酸化法(IAAO 法)に基づくたんぱく質の推定平均必要量の検討

本研究でIAAO法により算出されたたんぱく質代謝要求量の値は、現行の高齢者のたんぱく質必要量である0.85 g/kg BW/dayと比較して高値である。現行のたんぱく質必要量は、窒素出納法で算出されており、低たんぱく質摂取に適應させたたんぱく質代謝状態での窒素平衡維持に必要なたんぱく質量である。よって、このたんぱく質必要量を下回るたんぱく質量を継続的に摂取すると、たんぱく質欠乏症が発症すると考えられる。そのため、現行のたんぱく質必要量は、加齢による除脂肪量の低下を防止できる値であるか不明である。サルコペニア等が問題となる高齢者では、骨格筋の変化によるたんぱく質代謝への影響も考慮する必要がある。一方、習慣的に十分量のたんぱく質を摂取している状態でIAAO法によって算出される値は、習慣的なたんぱく質摂取量でのたんぱく質代謝に必要なたんぱく質代謝要求量と考えられる。よって、このたんぱく質摂取量を下回るたんぱく質量を継続的に摂取してもたんぱく質欠乏症は発症しないと考えられる。

2 . 中学校3年間における生徒の身体活動量ならびに体力の経年変化

質問紙に基づいた対象者の生活習慣状況により対象者が必ずしも活動的な運動・ス

ポーツ集団ではないことを踏まえると、食事摂取基準2010年度版に示されている1.65（レベル：普通）を見直す必要があると考えられた。また、PALへ寄与する諸因子の中に、課外活動が含まれていなかったことから、学校部活動のない日や本研究では抽出されなかった休日の過ごし方について詳細に分析できるような質問項目を再検討する必要があると考えられた。

3 . 子どもの推定エネルギー必要量のエビデンス収集を目的とする文献レビュー

幼児を対象に、基礎代謝量の実測値から求められるPALを報告する文献は新規に発見されなかった。このため、反映されるデータの数をエビデンスの強さと考えて基準値策定を行うのであれば、従来型の基礎代謝量×PALから推定エネルギー必要量を求める方法ではなく、例えば、体重あたりの総エネルギー消費量の基準値を示すアプローチの方が、特にデータの少ない幼児のエネルギー基準値策定の際には有効ではないかと考えられた。

E . 結論

1 - 1 . 自立した高齢者におけるエネルギー消費量および身体活動レベル

体格および歩数に関しては日本人高齢者の平均的な値であったものの、本研究対象者のPALは食事摂取基準に比べて高値であった。本研究では、体格・歩数に焦点を絞って自立した高齢者を対象として調査を進めてきたが、今後は、様々な特性を有する日本人高齢者についても検討する必要がある。本研究結果は、日本人高齢者、特に後

期高齢者が含まれている点、および対象特性がかなり明確である点で、国際的にも貴重な資料であり、食事摂取基準の策定に資する成果が得られたといえる。

1 - 2 .指標アミノ酸酸化法(IAAO 法)に基づくたんぱく質の推定平均必要量の検討

鶏卵たんぱく質をたんぱく質源とした際の健康な日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量は 1.20 g/kg BW/day と算出され、70 歳以上の 3 つの年齢区分でたんぱく質代謝要求量に顕著な違いは認められなかった。高齢者では若年成人と比較して、より多くのたんぱく質を摂取する必要があると考えられた。

2 . 中学校 3 年間における生徒の身体活動量ならびに体力の経年変化

本研究結果より食事摂取基準 2010 年度版に示されている 1.65 (レベル : 普通) を見直す必要があること、ならびに学校部活動のない日や本研究では抽出されなかった休日の過ごし方についての質問項目の再検討の必要があることが示唆された。

3 . 子どもの推定エネルギー必要量のエビデンス収集を目的とする文献レビュー

幼児のエネルギー必要量の策定根拠として利用可能な文献資料の収集とその精査を行ったが、基礎代謝量の実測値から求められる PAL を報告する新たな文献は見あらず、幼児の場合、体重あたりのエネルギー必要量の基準値を示すアプローチの方が有効である可能性が示唆された。

F . 健康危険情報

なし

G . 研究発表

1 . 論文発表

田中茂穂. エネルギー代謝の加齢変化. 高石昌弘監修、樋口満・佐竹隆編著 からだの発達と加齢の科学. 大修館書店, 98-111, 2012

Hikihara Y, Tanaka S, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Tabata I. Validation and comparison of 3 accelerometers for measuring physical activity intensity during nonlocomotive activities and locomotive movements. J Phys Act Health, 9(7), 935-943, 2012

Tanaka S. Status of physical activity in the Japanese population. J Phys Fitness Sports Med, 1(3), 491-497, 2012

Hibi M, Ando T, Tanaka S, Tokuyama K. Human calorimetry: energy expenditure and substrate utilization measurements using a respiratory chamber. J Phys Fitness Sports Med, 2(1), 93-99, 2013

Tabata I, Ebine N, Kawashima Y, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Higuchi M, Yoshitake Y. Dietary Reference Intakes for Japanese 2010: Energy. J Nutr Sci Vitaminol, 59(Supplement), S26-S35, 2013

Ohkawara K, Hikihara Y, Matsuo T, Melanson EL, Hibi M. Variable factors of total daily energy expenditure in humans. Journal of Physical Fitness

- and Sports Medicine, 1(3), 389-399, 2012
- 田中茂穂. エネルギー消費量の構成成分と肥満. 成人病と生活習慣病, 42(5), 527-531, 2012
- 三宅理江子, 田中茂穂. エネルギーを知る・運動を知る - その関係と仕組みを学ぶ - 4 基礎代謝の推定式について. 臨床栄養, 121(7), 786-790, 2012
- 大島秀武, 引原有輝, 大河原一憲, 高田和子, 三宅理江子, 海老根直之, 田畑泉, 田中茂穂. 加速度計で求めた「健康づくりのための運動基準 2006」における身体活動の目標値(23 メッツ・時/週)に相当する歩数. 体力科学. 61(2), 193-199, 2012
- 田中千晶, 田中茂穂. 日本人勤労者の日常の身体活動量における歩・走行以外の身体活動の寄与 体力科学. 61(2), 435-441, 2012
- Park J, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Hikihara Y, Ohkawara K, Watanabe S, Miyashi M, Morita A, Aiba N, Tabata I. The relationship of body composition to daily physical activity in free-living Japanese adult men. Br J Nutr, 111(1), 182-188, 2014
- Tanaka C, Fujiwara Y, Sakurai R, Fukaya T, Yasunaga M, Tanaka S. Locomotive and non-locomotive activities evaluated with a triaxial accelerometer in adults and elderly individuals. Aging Clin Exp Res, 25(6), 637-643, 2013
- Kaneko K, Ito C, Koizumi K, Watanabe S, Umeda Y, Ishikawa-Takata K. Resting energy expenditure (REE) in sic- to seventeen-year-old Japanese children and adolescents. J Nutr Sci Vitamiol, 59(4), 299-309, 2013
- Ishikawa-Takata K, Keneko K, Koizumi K, Ito C. Comparison of physical activity energy expenditure in Japanese adolescents assessed by EW4800P triaxial accelerometry and the doubly labeled water method. Br J Nutr, 110(7), 1347-1355, 2013
- 田中茂穂, 安藤貴史. 活動量計による身体活動のモニタリング. 体育の科学, 64, 534-540, 2014.
- 田中茂穂. 子どもの食事とエネルギー. 子どもと発育発達. 12, 91-96, 2014.
- 田中茂穂. . 肥満症の予防・治療 食事療法「エネルギー摂取と体重管理」. 日本臨牀 増刊号「最新肥満症学」, 72(増刊号4): 423-427, 日本臨牀社(東京), 2014.
- 笹井浩行, 引原有輝, 岡崎勘造, 中田由夫, 大河原一憲. 加速度計による活動量評価と身体活動増進介入への活用(総説)、運動疫学研究(印刷中), 2015.
- 田中千晶, 引原有輝, 安藤貴史, 大河原一憲、薄井澄誉子、佐々木玲子、田中茂穂. 関東圏在住幼児の体力・運動能力と就学前の保育・教育施設内および施設外における運動・スポーツの実施状況や日常の身体活動量に関する横断的研究、体力科学、63、323-331, 2014.
- Hikihara Y, Tanaka C, Oshima Y, Ohkawara, Ishikawa-Takata K, Tanaka S. Prediction Models Discriminating between Nonlocomotive and Locomotive Activities in Children Using a Triaxial Accelerometer with a Gravity-removal Physical Activity

Classification Algorithm, PLoS One, 9, e94940, 2014.

2. 学会発表

田中茂穂. 総エネルギー消費量の変動に寄与する身体活動の種類及び肥満への関与. 第14回日本健康支援学会年次学術大会, 2013

Hikihara Y, Midorikawa T, Ohta M, Tanaka S. Validity of Triaxial Accelerometer for Assessment of Total Energy Expenditure in Primary School Children against Doubly Labeled Water Method, European College of Sports Science, 2012, Bruges.

Tanaka S, Nakae S, Ando T. Accuracy of activity monitors for assessing low intensity physical activity: a systematic review. 2013 International Conference on Ambulatory Monitoring of Physical Activity and Movement (ICAMPAM 2013): 2013

田中茂穂. 食事摂取基準における推定エネルギー必要量の改定に資する研究. 第68回日本体力医学会大会 ランチョンセミナー, 2013

田中茂穂. 食事誘発性体熱産生(DIT). 第11回大連合大会: 第35回日本臨床栄養学会総会・第34回日本臨床栄養協会総会ワークショップ1: 食べ方と血糖管理, 2013

後藤千景, 小川亜紀, 小林ゆき子, 桑波田雅士, 吉田英世, 木戸康博. 指標アミノ酸酸化法による日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量の算出. 第60回日本栄養改善学会学術総会(神戸), 2013年9

月.

清水香名子, 近藤祐美加, 大嶋美咲, 小川亜紀, 速水耕介, 小林ゆき子, 桑波田雅士, 吉田英世, 木戸康博. 指標アミノ酸酸化法を用いた日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量の算出. 第13回日本栄養改善学会近畿支部学術総会(京都), 2014年12月.

大嶋美咲, 清水香名子, 近藤祐美加, 小川亜紀, 速水耕介, 小林ゆき子, 桑波田雅士, 木戸康博. 指標アミノ酸酸化法を用いた日本人成人女性のたんぱく質必要量の個人内変動・個人間変動の検討. 第13回日本栄養改善学会近畿支部学術総会(京都), 2014年12月.

引原有輝. 乳児期から児童期,そして思春期へ,経年的にみる子どもの身体能力,身体組成,身体活動およびそれらの相互関連,第71回大会日本生理人類学会(シンポジウム),神戸大学,2014年11月.

引原有輝. 様々な側面からみた子どもの身体活動の意義:遊び,運動・スポーツ,中高強度活動,座位行動,「子どもにおける運動・スポーツの意義」,第13回日本発育発達学会(シンポジウム),日本大学,2015年3月.

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