

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：34310

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2014

課題番号：23680068

研究課題名(和文) 食事摂取基準の補完を目的とする二重標識水法を用いた幼児のエネルギー代謝測定

研究課題名(英文) Reconsideration of the Dietary Reference Intakes for the Japanese: measurement of total energy expenditure of infants using the doubly labeled water method

研究代表者

海老根 直之(EBINE, Naoyuki)

同志社大学・スポーツ健康科学部・准教授

研究者番号：30404370

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、世界的にデータ不足にある幼児を対象に、二重標識水法を用いた総エネルギー消費量(TEE)の実態調査を行い、これにシステマチックレビューを加えることで、日本人の食事摂取基準(DRI)に示される推定エネルギー必要量(EER)の拡充に取り組んだ。

調査の結果、DRIに示される3～5歳の年齢帯の身体活動レベルが実態に比べて低値である可能性が示唆された。一方、TEEはDRIに示されるEERとほぼ同値であり、別途実施した最新のシステマチックレビューの結果とも良く一致していた。これらの知見から、幼児については、従前の基礎代謝量を介したEERの導出方法に再考の余地があることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)： The purpose of this study was to expand the valid evidence of Estimated Energy Requirement (EER) in Dietary Reference Intakes (DRI) for Japanese as there is still a lack of data for infants. A field survey of Total Energy Expenditure (TEE) was conducted on infants (age range of 3 to 5 yrs) using the Doubly Labeled Water (DLW) method, which is the gold standard for measuring TEE, and in addition, a systematic review was accomplished.

Results of Physical Activity Level (PAL) obtained from DLW show that the value of PAL indicated in DRI was significantly lower. Whereas, results of the average TEE of infants obtained from the systematic review, mostly matched the results obtained from the field survey. This becomes a problem as PAL is calculated by using TEE and BMR, which further affects EER.

From these findings, it is suggested that obtaining EER from BMR and PAL which is the traditional method, may not be the most appropriate method, especially for infants.

研究分野：複合領域

キーワード：幼児 二重標識水法 食事摂取基準 エネルギー消費量 エネルギー必要量

1. 研究開始当初の背景

国民が日常生活を営むために摂取すべきエネルギーの量は、厚生労働省によって5年ごとに改定される「日本人の食事摂取基準」に、エネルギー必要量として示されている。これは他の栄養素の摂取基準にも影響を及ぼすため、とりわけ重要度の高い項目となっている。推定エネルギー必要量 (Estimated Energy Requirement: EER) を導き出すためには、幅広い年代の日常生活でのエネルギー消費動態の調査データが必要となる。一日の総エネルギー消費量 (Total Energy Expenditure: TEE) を基礎代謝量 (Basal Metabolic Rate: BMR) の倍数で示した身体活動レベル (Physical Activity Level: PAL) について、2005年版の改定時から、世界的に活動量評価法のゴールドスタンダードと位置づけられている二重標識水 (Doubly Labeled Water: DLW) 法を用いた研究データに限定した系統的レビューが実施されるようになった。DLW法は、天然に存在する無害な安定同位体を濃縮した標識水を対象者に服用させることで、いかなる機器も装着することなしに、正確に代謝量測定が行える優れたフィールド調査法である。

2010年版の改定作業においては、前版よりも厳格な基準に則った系統的レビューが実施されたが、小児に関するPALのレビューに反映された日本人を対象とする研究論文は僅か一報であり、先進諸国で取得されたデータに依存して導き出した代表値が日本人の基準として機能するかどうかについては、懐疑的な見解も示されていた。さらに、5歳未満の幼児年齢帯については、BMRとTEEの同時測定を行った研究報告自体が世界的にも存在せず、この年齢帯に限っては、推定値についてもエビデンスとして許容することで基準値を導き出すという苦渋の決断がなされている。

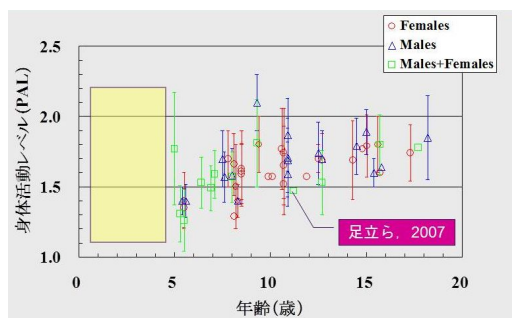


図1. 幼児帯 PAL データの不足

2. 研究の目的

今後の食事摂取基準の改定を見据え、現状のエネルギー基準が内包する脆弱性を解消するため、本研究では以下の2つの目標を設定した。

(1) これまでにデータ未取得となっている日本人幼児を対象に、DLW法を用いた日常生活でのエネルギー消費量 (身体活動量) に

関するフィールド調査を実施し、EERの強化に対して直接的な貢献が期待できる科学的エビデンスとして、幼児年齢帯のTEEとBMRならびにPALを取得すること。

(2) 既存のエビデンスの有効活用の視座に立ち、小児を対象としてDLW法を用いて行われたエネルギー消費量の調査に関する研究資料を収集・整理し、TEEならびにPALに関するシステムチェックレビューを実施すること。

3. 研究の方法

(1) 二重標識水法の安全性の再検証

安定同位体をヒトに投与する本研究では、対象者らへの安全性に関する情報の提供に慎重な姿勢が求められるため、文献データベース等を活用し、関連情報を可能な限り収集し、幼児にDLW法を用いることの安全性と妥当性について改めて検討を行った。また、実際にDLW法をヒト研究に用いている学識者らに対して聞き取りを行うことで、同法の運用による有害事象が発生していないことの確認を行った。また、方法の原理に立ち返っての安全性の検証も実施した。

(2) 基礎代謝量の測定方法の検討

小児を対象とするBMR測定の至適方法の検討のため、3歳から7歳までの小児11名を対象として、測定方法と測定条件を変えての比較試験を行った。対象児に、19時まで日常的な夕食を摂取させたうえで保護者とともに来室させた。来室後は、フード法にて仰臥位での安静時エネルギー消費量 (Resting Energy Expenditure: REE) を測定した後、ヒューマンカロリメーター (Human Calorimeter: HC) に保護者と共に入室させ、対象児の入眠後に保護者を退室させる方法にて睡眠時代謝量 (Sleeping Metabolic Rate: SMR) を測定した。翌朝、フード法によりBMRを測定し、最後に、HCに単独入室させることでBMRを測定した。なお、睡眠中の測定を除き、対象者には穏やかなアニメ映像を視聴させることで、安静状態が発現・保持されるよう配慮した。

(3) 健常幼児を対象とするフィールド調査

幼児のTEEならびにPALの実態把握のため、複数地域 (東京、北海道、和歌山、長崎、福岡) で計44名 (男児23名と女児21名、 4.5 ± 0.8 歳、 107.5 ± 8.1 cm、 17.8 ± 3.0 kg; 平均値 \pm 標準偏差) を対象とする調査を行った。対象が幼児であるため、安全を重視し、慎重な手順を踏みつつ正確な測定を実施した。フィールド調査において最も優れた方法であり、エネルギー基準のエビデンス取得法として標準化されているDLW法によってTEEを測定し、事前に実験室で検討を行い正確な評価が行えるよう改善したフード法にてBMRを同時に測定した。

(4) 低身長児を対象とするフィールド調査

基礎疾患のない低身長児のエネルギー必要量を検討するため、低身長児 8 名 (男児 4 名と女児 4 名, 5.2 ± 0.5 歳) を対象に DLW 法で TEE を測定し、加えて早朝空腹時の BMR 測定をフード法にて実施することで PAL を算出した。文献に示される基礎代謝基準値を用いて求めた算出値と比較検討を行った。また、食事調査によってエネルギーと三大栄養素の摂取量についても評価した。全ての測定手続は大阪府立母子保険総合医療センターにて実施された。

(5) 小児のエネルギー消費量に関するシステマチックレビュー

「日本人の食事摂取基準 (Dietary Reference Intakes: DRI)」の中には、EER が定められているが、これを求める方法として、これまでは BMR と PAL の積として算出するアプローチが用いられている。しかし、BMR の測定条件は極めて厳格であり、小児を対象とする場合、不意な体動も生じることから、測定を適切に実施すること自体が容易ではなく、真に BMR と呼べる値を得るのはなかなか困難である。一方で TEE の測定に用いられる DLW 法は、日常生活への介入を最小限に留めての運用が可能であり、得られたデータの信頼性も高い。本研究では、BMR を変数とせず、これまでに DLW 法で取得された TEE のデータを最大数活用する観点で、エビデンスの量と質を高めて小児の EER を導き出すため、2015 年 10 月 21 日時点で入手可能な関連文献を対象に、システマチックレビューを行った。

学術文献検索サイトである PubMed 等を用い、取りこぼしが無い検索ワードの組み合わせを検討し、最終的に 398 報の文献をレビューの対象とした。文献値をデータベースに採用するための必要条件は、DLW 法を用いて 3~17 歳の一般的な体格の健常児を対象に TEE を測定していることとし、文献を精査した。事前に決定した抽出項目 (性別、年齢、身体組成、TEE など) のデータを抜き出しデータベース化することで、性、年齢階級別に日本人小児の EER を検討した。

4. 研究成果

(1) 二重標識水法の安全性の再検証

検討の結果、DLW 法は世界各国において食事基準作成時に用いられる標準的手法とされており、実態調査においても、これを凌ぐ信頼性の測定法は実用されていないことが確認された。また、標準化された方法に則って DLW 法を運用する限りにおいては、一時的に体内で生じる同位体濃度の上昇は、対象者の安全を第一に考えても許容の範囲内にあり、実際に有害事象も発生していないことが明らかとなった。

(2) 基礎代謝量の測定方法の検討

フード法で測定された REE と BMR、HC 法により測定された深夜または早朝起床前の SMR ならびに起床後、早朝空腹時の BMR の中で、HC 法で測定した BMR がフード法で測定した REE を除く 3 つの代謝量と比較して有意な高値を示した。フード法による測定値と比較した場合、REE には食事または移動で生じる代謝亢進が含まれるため、BMR の方が有意な低値を示した。HC 法は、実験室的に用いられる間接熱量測定法の中でゴールドスタンダードと位置づけられている。しかし、HC 法で測定した SMR の結果は入眠後すぐと早朝で一致しているのに対し、BMR の値は、測定時に開放的な空間が提供されることがあだとなり、対象児に体動が誘発されてしまうため、著しく高い結果となった。幼児を対象とする BMR 測定には、検者ならびに保護者が対象児の安静維持に介入できるフード法での測定が好ましいことが明らかとなった。

(3) 健常幼児を対象とするフィールド調査

実態調査の結果として得られた PAL は 1.59 ± 0.21 (男児 1.63 ± 0.20 , 女児 1.54 ± 0.21) で、日本人の DRI2015 年版の掲載値 (3~5 歳) である 1.45 と比較すると高値であった。一方、取得された TEE は 1259 ± 229 kcal/日 (男児 1341 ± 208 kcal/日, 女児 1152 ± 215 kcal/日) であり、DRI に示される EER (1300 kcal/日) と大きな違いは認められなかった。この PAL と TEE に生じている不均一な比較結果は、PAL の分母となる BMR において、DRI で想定している値と実測値の間で差があることで生じる現象と推察され、とりわけ幼児年齢帯においては、BMR を媒介として EER を導出する従前の手続きに再考の余地があると考えられた。

(4) 低身長児を対象とするフィールド調査

DLW 法で実測した低身長児の TEE は 1133 ± 162 kcal/日で、フード法で測定した BMR は 796 ± 164 kcal/日であった。なお、算出された PAL は 1.45 ± 0.15 であった。低身長児の TEE と BMR の実測値は実年齢から推定された算出値より有意に高かったが、PAL については日本人の DRI に示される同年齢帯の値と同等であった。しかしながら、上記の実態調査から得られた健常幼児の PAL と比較した場合、幾分低値であった。

食事の炭水化物エネルギー比率は食事摂取基準と比較して低値であった。低身長児のエネルギー代謝が亢進している原因は、十分明らかとなっているわけではないが、炭水化物摂取が少ないことが影響している可能性も考えられた。

(5) 小児のエネルギー消費量に関するシステマチックレビュー

本研究において、データベース作成に用い

られた文献は 87 件であり，採択されたデータ総数は 4790 名分であった．このデータベースをもとに日本人小児の性，年齢階級の EER を導き出した．

1100 名以上のデータが反映された幼児年齢帯（3～5 歳）の TEE として，男児 70.7 kcal/kg 体重/日，女児 70.2 kcal/kg 体重/日が求められた．これにエネルギー蓄積量を加味し，EER を算出すると，男児で 71.3 kcal/kg 体重/日，女児で 70.8 kcal/kg 体重/日であった．

日本人小児に対して DLW 法を用いた研究はごく僅かしか存在せず，現在，エネルギー必要量基準の幼児年齢帯のエビデンスに日本人のデータは含まれていない．公表待ちの結果も含めて数えると，日本人小児を対象とした DLW 法での TEE 調査の数も増加してきているが，依然として基準値作成に十分な数が確保されているとは言い難く，日本人の生活背景や生活水準を反映したより強固な基準値が導き出せるよう，エビデンスの継続収集は必要不可欠である．

< 主要参考文献 >

厚生労働省，日本人の食事摂取基準（2005 年版），2004，22-36.

厚生労働省，日本人の食事摂取基準（2010 年版），2009，43-61.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件)

香村恵介，中江悟司，平川和文，海老根直之，鈴木和弘，小澤治夫，山田陽介，木村みさか，石井好二郎．小児における身体活動レベル別の身体活動量 - 二重標識水法および加速度計法を用いた検討 - ，日本未病システム学会雑誌，査読有，印刷中，2016 ．

Sagayama H, Jikumaru Y, Hirata A, Yamada Y, Yoshimura E, Ichikawa M, Hatamoto Y, Ebine N, Kiyonaga A, Tanaka H, Higaki Y. Measurement of body composition in response to a short period of overfeeding. *Journal of Physiological Anthropology*, 査読有, 39:29. 2014.

doi:10.1186/1880-6805-33-29

Yamada Y, Blanc S, Nishida Y, Nishijima K, Ebine N, Shriver T, Schoeller DA. Validity of doubly labeled water in obese subjects: questioning the validity of any technique requires an indisputable accuracy of the reference method. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, 査読なし, 305(9), 2013, E1178-180.

Sagayama H, Yoshimura E, Yamada Y, Ichikawa M, Ebine N, Higaki Y,

Kiyonaga A, Tanaka H. Effects of rapid weight loss and regain on body composition and energy expenditure. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 査読有, 39(1), 2013, 21-27.

西本裕紀子，位田忍，恵谷ゆり，海老根直之，中江悟司，宮谷秀一．二重標識水法と呼気ガス分析法による低身長児の総エネルギー消費量についての検討．日本栄養・食糧学会誌．査読有, 66(3), 2013, 133-139 ．

Tabata I, Ebine N, Kawashima Y, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Higuchi M, Yoshitake Y. Dietary reference intakes for Japanese 2010: Energy. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 査読なし, 59, 2013, S26-S35.

海老根直之．二重標識水法を用いたスポーツ選手の代謝測定．*体育の科学*，査読なし, 61(8), 2011, 569-575 ．

[学会発表] (計 26 件)

香村恵介，海老根直之，石井好二郎 他．小児における連続的な座位行動とエネルギー消費量の関係．日本発育発達学会第 14 回大会．2016 年 3 月 5 日，神戸大学（兵庫県・神戸市）．

香村恵介，海老根直之，石井好二郎 他．小児における身体活動レベル別の身体活動量 - 二重標識水法および加速度計法を用いた検討 - ．第 22 回日本未病システム学会学術総会．2015 年 10 月 11 日，北海道大学（北海道・札幌市）．

Morikawa A, Ebine N, et al. Total body water estimation: bioimpedance analyzer versus D₂O method. 第 36 回日本肥満学会．2015 年 10 月 2 日，名古屋国際会議場（愛知県・名古屋市）．

石原達朗，海老根直之 他．長時間の安静維持に有効な提示課題-DIT 測定のための基礎検討 - ．第 70 回日本体力医学会大会．2015 年 9 月 18 日，和歌山県民文化会館（和歌山県・和歌山市）．

後藤駿介，海老根直之 他．ActiGraph を用いた日本人の活動量評価に関する基礎的検討～心拍数と加速度の組み合わせ法開発のために～ ．第 70 回日本体力医学会大会．2015 年 9 月 18 日，和歌山県民文化会館（和歌山県・和歌山市）．

中江悟司，海老根直之．小児における基礎代謝量推定の妥当性に関する予備的検討．第 62 回日本栄養改善学会学術総会．2015 年 9 月 24 日，福岡国際会議場（福岡県・福岡市）．

Sagayama H, Ebine N, Tanaka H et al. Total energy expenditure of collegiate table tennis players measured by the doubly labeled water method. The 3rd

International Conference on Recent Advances and Controversies in Measuring Energy Metabolism. 2014年10月11日, 花王墨田営業所(東京都・墨田区).

海老根直之. スポーツ選手の栄養アセスメント-スポーツ選手のエネルギー消費量の評価-. 日本スポーツ栄養学会第1回大会. 2014年7月13日, 早稲田大学東伏見キャンパス(東京・西東京市). 大場一輝, 海老根直之 他. 活動量評価における小型心電計の効果的運用法に関する基礎検討. 第24回体力・栄養・免疫学会大会. 2014年8月31日, 同志社大学(京都府・京都市).

石原達朗, 海老根直之 他. 代謝量評価における安静維持課題の検討. 日本生理人類学会第69回大会. 2013年10月27日, 同志社大学(京都府・京都市).

海老根直之. エネルギー代謝研究とエネルギー摂取基準. 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. 2013年10月5日, 京都テルサ(京都府・京都市).

中江悟司, 海老根直之. 日本人の食事摂取基準(2010年版)における幼児の推定エネルギー必要量の妥当性に関する予備的検討. 第60回日本栄養改善学会学術総会. 2013年9月13日, 神戸国際会議場(兵庫県・神戸市).

海老根直之 他. 安静時の代謝評価における Breath-by-breath 型呼気ガス分析器の有効性の検討. 第67回体力医学会大会. 2012年9月16日, 長良川国際会議場(岐阜県・岐阜市).

田中歌, 海老根直之 他. 二重標識水法・重水希釈法運用時における被験者の負担軽減に関する検討. 第67回体力医学会大会. 2012年9月14日, 長良川国際会議場(岐阜県・岐阜市).

中江悟司, 海老根直之 他. ヒューマンカロリメーターを用いた簡易エネルギー消費量測定法の検討. 第22回体力・栄養・免疫学会大会. 2012年8月25日, 能登・志賀の郷温泉いこいの村能登半島(石川県・志賀町).

西本裕紀子, 海老根直之, 位田忍 他. 低身長児のエネルギー消費量と三大栄養素の摂取バランスに関する研究(第2報)~二重標識水法を用いた総エネルギー消費量と食事摂取基準値との比較~. 第9回日本小児栄養研究会. 2012年3月10日, 武庫川女子大学(兵庫県・西宮市).

西本裕紀子, 海老根直之, 位田忍 他. 低身長児のエネルギー消費量と三大栄養素の摂取バランスに関する研究(第1報)~二重標識水法による総エネルギー消費量の測定方法~. 第9回日本小児栄養研究会. 2012年3月10日, 武庫川女子大学(兵庫県・西宮市).

山本満, 海老根直之 他. ヒューマンカロリメーターを用いた簡易エネルギー消費量測定法の妥当性の検討. 第141回京都体育学会. 2012年3月3日, びわこ成蹊スポーツ大学(滋賀県・大津市).

山本満, 海老根直之. フード法による安静時代謝量測定の精度について-ヒューマンカロリメーターとの比較検討-. 第21回体力・栄養・免疫学会大会. 2011年8月27日, 北里大学(東京都・港区).

〔図書〕(計3件)

海老根直之 他, 丸善出版, 人間科学の百科事典, 第3章 カラダの機能 エネルギー代謝, 2015, 全802頁(166-168).

福岡義之, 海老根直之, 丸善出版, 人間科学の百科事典, 第3章 カラダの機能 呼吸・第7章 ヒトの営み 作業能力・第7章ヒトの営み 身体作業, 2015, 全802頁(114-116, 408-409, 414-415).

海老根直之 他, 市村出版, 体育・スポーツ指導者と学生のためのスポーツ栄養学, 第2章 エネルギー消費量の評価とエネルギーバランス, 2014, 全216頁(13-29).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

海老根 直之 (EBINE, Naoyuki)
同志社大学・スポーツ健康科学研究科・
准教授
研究者番号: 30404370

(2) 研究協力者

中江 悟司 (NAKAE, Satoshi)
西本 裕紀子 (NISHIMOTO, Yukiko)
恵谷 ゆり (ETANI, Yuri)
位田 忍 (IDA, Shinobu)
宮谷 秀一 (MIYATANI, Shuichi)
石井 好二郎 (ISHII, Kojiro)
檜垣 靖樹 (HIGAKI, Yasuki)
田中 宏暁 (TANAKA, Hiroaki)