

機関番号：34310
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20700553
 研究課題名（和文） 二重標識水法による身体障がい者の身体活動量測定：食事ガイドラインを見据えて
 研究課題名（英文） Fundamental study on estimated energy requirement for the Japanese: physically handicapped person
 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・専任講師
 研究者番号：30404370

研究成果の概要（和文）：

本研究は、厚生労働省が5年ごとに改定する日本人の食事摂取基準に示される推定エネルギー必要量に資することを目的として計画されている。基準値を導出するには様々な対象集団で二重標識水法により総エネルギー消費量を測定し、別途求められた基礎代謝量と合わせて身体活動レベルを算出する必要がある。本研究では、事前の文献研究に加え、身体障がい者と小児を対象に実際に調査を行い、今後の大規模調査に反映可能な調査実施上の留意事項ならびに改善点を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

The Ministry of Health, Labour and Welfare revises the Dietary Reference Intakes for the Japanese every five years. In order to brush the estimated energy requirement up, this study was planned to acquire the data of total energy expenditure and basal metabolic rate of physically handicapped persons. In addition, ways to improve the methods of measuring daily physical activity were elucidated.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：健康・スポーツ科学

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学 応用健康科学

キーワード：身体活動，二重標識水法，身体障がい者，基礎代謝量，総エネルギー消費量

1. 研究開始当初の背景

日本人の食事摂取基準は、国民の健康の維持・増進、生活習慣病の予防を目的とし、健康な個人または集団を対象として、エネルギーおよび各栄養素の習慣的な摂取量の基準を示すものである。近年では欠乏症の予防よりも過剰摂取による健康障害の予防と生活

習慣病の一次予防に重点が置かれているのが特徴となっている。

どれだけのエネルギーを食事から摂取すべきかは、エネルギー必要量として示されている。推定エネルギー必要量は、他の栄養素の基準値に影響を及ぼすことから、食事摂取基準の根幹を成すものと位置づけられる。

これは日常生活において消費されるエネルギー量から推定されるため、基準値の作成には一日の総エネルギー消費量 (Total energy expenditure: TEE) の調査結果が必要となる。この調査のために最も有益な手段が二重標識水法である。しかし、この方法が日本人に初めて用いられたのは 1998 年のことで、先進諸外国に比べ後発の本邦においては十分なデータが出揃っておらず、問題点として認識されている。

2. 研究の目的

測定に用いる安定同位体標識水が高価なため、二重標識水法では大規模調査が実施し難く、これまで実施された身体活動量調査の対象は就業年齢帯の集団に偏りがちであった。このため、同法よる小児や高齢者の調査結果については、世界的に不足の状態にある。同様に、身体障がい者の身体活動量については未知の部分が多く、日本人の食事摂取基準では、当該対象者のエネルギー必要量を示すには至っておらず、本邦では調査自体がこれまでに実施されていない。

エネルギー必要量の基準値作成における困難な状況を打破すべく、これまでに敬遠されがちであった身体障がい者や小児を対象とする調査の礎となる検討の重要性を認識し、本研究は、文献研究から測定法の吟味・改善、実際の運用という流れで身体障がい者の日常生活におけるエネルギー消費量ならびに身体活動量を多角的に検討することを目的とした。

3. 研究の方法

目的を達成するために、以下の小規模プロジェクトを計画し研究活動を行った。

(1) ヒト試験における二重標識水法利用の安全性の再評価

これまでにヒトを対象とした二重標識水法の調査は 20 年以上にわたり実施されてきたが、近年のヒト研究倫理審査における方法論的安全性に関する意識の高まりを受け、改めて二重標識水法の安全性についての検討を行った。文献研究に加え、国内外の二重標識水法ユーザーに対して聞き取り調査を行い、これまでに懸念されるような事象の発生がないかを調査した。

(2) 安定同位体試料分析拠点構築ならびにヒトエネルギー代謝測定環境の整備

本邦にはこれまで、高濃度同位体試料の分析を行える研究機関がほとんど存在せず、試

料の分析に対する懸念が二重標識水法の利用を困難にしていた歴史がある。そこで、国内での二重標識水法の普及を果たすために、円滑で高精度な分析が行えるよう、福岡大学に付設された身体活動研究所 [代表 田中宏暁 (連携研究者)] への同位体分析装置導入を支援した。

また、正確な基礎代謝量 (Basal metabolic rate: BMR) が測定可能なように、研究代表者が所属する同志社大学スポーツ健康科学部にヒューマンカロリメーターを設置し、基礎検討を繰り返して精度の向上を図った。

(3) 総エネルギー消費量と身体活動レベルについてのシステマティックレビュー

日本人の食事摂取基準 2010 年版に資する目的で、二重標識水法で求められたものに限定し、一日の TEE ならびに身体活動レベル (Physical activity level: PAL) [TEE を BMR で除した指数] についての系統的レビューを実施した。なお、対象は例数が少なく慎重な検討を要する小児に限定した。

国内外の学術論文ならびに入手可能な学術資料を最大限に活用した。手続は、2005 年版策定時に行われた作業に準拠して行われた。二重標識水 (doubly labeled water) ならびに関連キーワードによる検索式 ["energy metabolism" OR "energy requirement" OR "energy requirements" OR "energy expenditure" OR "metabolic rate" OR thermogenesis) AND (DLW OR (doubl* AND water)), Limits: Publication Date from 2002/1/1, Humans, English, All Child: 0-18 years] によってヒットする文献に焦点を当て、文献中で有益と思われる引用文献が見つければ、それらについても内容の精査を行い、水準を超える論文はデータベースに含めることとした。

(4) 小児を対象とした身体活動量調査

世界的に、二重標識法で測定された小児のエネルギー消費量データは不足傾向にある。小児を対象とした研究は、実務面でも多様性への配慮が求められることで、身体障がい者を対象とした測定同様に難易度が高い。本プロジェクトにおいては、11-13 歳の小中学生の男女計 12 名を対象に二重標識水法を用いた TEE の測定と BMR の測定を同時に試みた。

(5) 多様な身体障がい者を対象とした調査実践を通じた測定法についての検討

身体障がい者を対象として身体活動量調

査を実施する場合には、最小限の負担で参加が可能な様に研究をデザインすることが、日常生活を反映した真値を得るために特に重要である。そこで、一連の身体活動量調査の手續における改善点と配慮を要する点を明らかにするため、身体障がい者 8 名に協力を要請し、実際の測定に参加頂きながら方法論に関するヒヤリングを実施した。フィールド調査におけるゴールドスタンダードである二重標識水法で TEE を測定し、BMR を厳密測定可能なヒューマンカロリメーターならびに出張測定が可能なポータブルガス分析器で測定した。

(6) 低身長児のエネルギー消費量測定

大阪府立母子保健総合医療センターとの連携により、4-6 歳の低身長児 7 名（男児 3 名、女児 4 名）を対象に。二重標識水法による TEE 測定とフード法による BMR 測定を実施し、当該障がい児の PAL を求めた。測定期間は 1 週間と設定し、食事記録から食物商 (Food quotient: FQ) を求め、エネルギーの算出に利用した。

4. 研究成果

(1) ヒト試験における二重標識水法利用の安全性の再評価

二重標識水法においては、酸素ならびに水素の安定同位体 (^{18}O , ^2H) を被検者に服用させる。いずれも天然に一定量存在し、名が示すように放射性同位体とは一線を画す物質である。 ^2H については動物を用いた毒性試験により、実験室的条件下で、生体内の ^1H と 30% 程度の置換を生じさせると生体機能の異常が発現することが報告されている。しかし、この試験の様に、多量の ^2H を質量の大きいヒトに連続投与し濃度を高めた上で、その濃度を維持させることは不可能であり、実際の二重標識水法の運用では極微量な投与しか行わない。国際原子力機関 (IAEA)、世界保健機関 (WHO) にて利用が認められ、近年では ISO 規格に定められている点からも、幅広くヒトを対象として用いた場合でも、十分な安全性が保証されていると言える。著者は文献研究に加え同法を利用する国内外の研究者らからも情報収集を行ったが、これまで何らかの深刻な身体的症状が発生した例は聞かれず、現時点においても、得られる成果に照らして依然として有益な方法であると結論づけられた。

(2) 安定同位体試料分析拠点構築ならびにヒトエネルギー代謝測定環境の整備 (連携研究

者：田中宏暁，吉武裕，山田陽介)

①二重標識水法試料 (高濃度安定同位体サンプル) の分析を定常的に行える国内施設は、委託分析を受ける企業 2 社に加え、研究機関としては独立行政法人国立健康・栄養研究所のみであり、自ずと処理できるサンプル数には制限があった。今後の需要の高まりを見越し、福岡大学に付設された身体活動研究所への分析器 IRMS の導入を支援した。装置選定時には、高濃度試料での運用がメインになることを念頭に、分析速度と前処理の簡素化のメリットを優先し、Continuous-flow システムを選択した。装置を安定させるための様々な工夫を凝らした結果、新規性の高い装置構成にも関わらず、実用時においても質量分析器のカタログスペックに相当する精度で分析が行えるようになった。これは、従来型の Dual-inlet システムと遜色ない精度を高速分析システムで実現したことを意味し、当該分野の研究を発展させるためには、極めて有意義な成果である。

②研究代表者の所属する同志社大学スポーツ健康科学部内に、大型環境制御・解析装置であるヒューマンカロリメーターを導入し、統制された条件での厳密な BMR 測定が実施可能となった。繰り返し取得した試験データに基づくメーカーとの議論の末、吸気取り入れ方法を最適化し、PC 上の解析ソフトウェアについても改良を行い、利便性と精度の向上を図った。

(3) 総エネルギー消費量と身体活動レベルについてのシステムティックレビュー (連携研究者：吉武裕，足立稔，中江悟司)

二重標識水法は、日常生活を自由に営んでいる人のある期間の平均 TEE を得ることに特化した、正確度と精密度に優れた測定方法である。このため、本レビューの対象となるデータは、同法を用いた値のみに限定されている。二重標識水法の利用は依然として数居が高く、本邦に導入されてからも 10 年程度と歴史が浅い。世界的な視点からも特に小児を対象としたデータはそれほど多くない。正確な PAL を求めるためには、二重標識水法での TEE 測定に加え、分母となる BMR の正確な測定も求められる。小児を対象としてこの条件をクリアするデータは世界規模でも極限られている。そのため、データが欠如している年齢帯 (5 歳未満) においては、推定 BMR ならびに睡眠時代謝量から求められた PAL についても容認した (図 1, 表 1)。

小児のエネルギー摂取基準をより確かなものとするためには、PAL を算出するための

TEE と BMR の 2 つのデータを揃えて収集することが急務であることは間違いない。

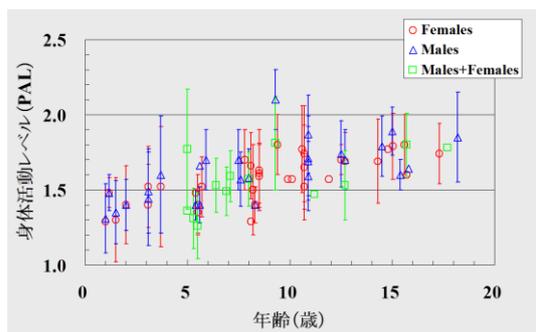


図 1. 小児の身体活動レベル

表 1. 年齢区分毎の小児の身体活動レベルの平均値

年齢区分	2010年版 レビューによる PALの平均値	2005年版 で示される PAL
1-2歳区分	1.36	1.4
3-5歳区分	1.47	1.5
6-7歳区分	1.57	-
8-9歳区分	1.59	1.7
10-11歳区分	1.63	1.7
12-14歳区分	1.66	1.7
15-17歳区分	1.76	1.75

(4) 小児を対象とした身体活動量調査 (連携研究者: 木村みさか, 山田陽介, 中江悟司, 田中宏暁)

文部科学省が公表している新体力テストの結果と比較して, 本被検者は, 握力は全国平均とほぼ同程度であり, 長座位体前屈, 反復横とびにおいてはやや低値, 立ち幅跳びにおいては高値の傾向が認められた。二重標識水法ならびに 3 軸加速度計内蔵活動量計 (アクティマーカー) を用いて計測した TEE の間には差が見られず, 両者には非常に強い相関関係 ($r=0.899$) が認められた。

PAL を算出する目的で, 基礎代謝条件下での代謝量測定をポータブル型ガス分析器で実施したが, 出張調査において測定環境を十分整備することができず, 真値に近いと判断できるデータを取得することはできなかった。BMR 測定の困難さを如何に改善するかがフィールドで小児を対象に活動量調査を行う際の課題として認識された。

(5) 多様な身体障がい者を対象とした調査実践を通じた測定法についての検討 (連携研究者: 藤田紀昭, 中江悟司, 山田陽介, 田中宏暁; 研究協力者: 小西暢子, 三上真二)

①本プロジェクトのように, 二重標識水法ならびにヒューマンカロリメーターの 2 つの信頼性の高い方法により身体障がい者の身体活動量の同時評価が行われるのは国際的にも極めて珍しい例である。健常者の簡易推定法として普及している加速度計法や生活活動記録法では, 身体障がい者の特異的な動きを考慮することができず, 信頼性の高いエネルギー消費量データに変換することは困難である。そのため, コスト面ならびに内訳が評価出来ないことに難点はあるが, 二重標識水法が有益な方法であると考えられた。

②二重標識水法においては, 既知規定量の標識水を投与することと, 生体由来の水試料を採取することで代謝量を算出する。口腔機能に障害がある者では服用の難易度が高くなるが, 自立して水分摂取を行っている者には, 概ね問題なく実施できた。飲み残しが生じる場合には, 規定量を飲むことを強いるのではなく, 前後重量の計量による摂取量把握で対処するのが望ましい。生体水試料としては, 粘性が低く多量に採取できるため尿が一般的である。しかし, 下肢に障害を持つ者では, 定時排尿が困難な事も多く, 採尿袋利用者ではコンタミネーションも生じる。そのため, 尿に代えて非侵襲的に採取できる唾液が試料として比較的有益であると考えられた。採取の際には, 口内での蒸発に起因する同位体分別を抑えるために, 開口を最少化し唾液貯留を行うことが望ましい。また, 定時採取が容易な点でも唾液の選択には大きなメリットがあった。

③加速度計法や生活活動記録法は, 身体組成ならびに活動様式が健常者と同様と見なせる視覚障がい者と聴覚障がい者においては, 適切な事前説明と事後支援 (IC レコーダーの利用など) により, 健常者に近いレベルの妥当性が得られる可能性がうかがえた。

④一日の TEE を求める事に加え, BMR を測定する事は, PAL を通じて結果を汎用化するために重要である。障がい者の場合は, 安静時にも不随意運動が生じることがあり, BMR の測定難易度はおしなべて高い。条件を整えるため, 可能な限り安楽な環境を提供する事が重要となり, 簡易測定においてはフード法が比較的運用面でのメリットがある。しかしながら, 障害に起因し呼吸が安定しない場合もあり, 測定時間の延長が求められるケースが多く見受けられた。長時間の測定は, 被検者の体動を誘発することなどから, 装置内への滞在で代謝測定が可能となるヒューマンカロリメーターの有用性は揺るぎないと思われる。BMR の測定には, 前日からの宿泊が

理想的であるが、介助なくして起床が困難な対象者の場合には、声かけにより覚醒を誘導し、覚醒後はそのまま連続しての測定を開始するのが現実的である。睡眠時代謝量と BMR の関係性を明らかにするなど、理想的には障害に応じた柔軟な運用が行えるよう、さらなる知見の集約が求められる。

⑤上記の改善点などは、研究代表者である海老根が 2011 年度より調査協力者として参画が予定されている大規模調査「特別支援学校における児童生徒の望ましい食事の提供に関する調査研究」（文部科学省事業、調査代表者：茨城キリスト教大学大学院 大和田浩子）において、幅広い対象者に対しての調査結果の厳格化として役立つ事になる。

⑥8 名の平均 PAL は 1.87 ± 0.33 であった。PAL を簡便に推定するためにビジュアルアナログスケールの主観的身体活動レベル評価を考案したが、本プロジェクトの対象者においては有効性が認められなかった。

⑦5 名の対象者については、ヒューマンカロリメーターとポータブルガス分析器、2 つの方法による BMR 測定を実施したが、ポータブル装置の BMR の方が幾分低値となる傾向がみられた。更なる検討により運用面の改善が求められる。

(6) 低身長児のエネルギー消費量測定（連携研究者：宮谷秀一、位田忍、恵谷ゆり；研究協力者：西本裕紀子）

対象者（ 5.5 ± 0.7 歳）の平均体重は 14.3 ± 2.1 kg、平均身長は 99.2 ± 4.8 cm であった。フード法で実測された BMR は 849 ± 54 kcal/day であった。各自の年齢と体重に基づき基礎代謝基準値から推定された値は、体格が標準から隔たることを受け、 711 ± 69 kcal/day と実測値と比べて有意な低値を示した ($P < 0.01$)。TEE は 1180 ± 170 kcal/day であり、PAL は 1.38 ± 0.14 となった。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 4 件）

- ① Ishikawa-Takata K, Naito Y, Tanaka S, Ebine N, Tabata I, Use of doubly labeled water to validate a physical activity questionnaire developed for the Japanese population, Journal of Epidemiology, 査読有, Vol. 21, No. 2, 2010, pp. 114-121

〔学会発表〕（計 12 件）

- ① 西本裕紀子, 谷口祐子, 恵谷ゆり, 河本浩二, 宮谷秀一, 海老根直之, 中江悟司, 位田忍, 二重標識水法による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）, 第 8 回日本小児栄養研究会, 2011 年 3 月 12 日, 栃木県総合文化センター（栃木県）
- ② 海老根直之, スポーツ選手のエネルギー消費を測る：二重標識水法, 第 21 回日本臨床スポーツ医学会学術集会, 2010 年 11 月 7 日, つくば国際会議場（茨城県）
- ③ 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, 健康づくりのための身体活動量の基準値 (23 エクササイズ) と歩数の関係, 第 65 回日本体力医学会大会, 2010 年 9 月 18 日, 千葉商科大学（千葉県）
- ④ Shirai M, Ushijima A, Oda E, Yamamoto T, Yamamoto M, Ebine N, Niizuma Y, Oka N, Field metabolic rate in relation to flight cost of Streaked Shearwaters Calonectris leucomelas, 1st World Seabird Conference, 2010 年 9 月 8 日, Victoria Conference Centre (Victoria, Canada)
- ⑤ 白井正樹, 山本麻希, 牛島明美, 小田英美子, 新妻靖章, 山本誉士, 海老根直之, 岡奈理子, DLW 法を用いたオオミズナギドリ野外活動時エネルギー消費量計測, 日本生態学会第 57 回大会, 2010 年 3 月 16 日, 東京大学駒場キャンパス（東京都）
- ⑥ 山田陽介, 藤林真美, 中江悟司, 海老根直之, 伊藤陽一, 諏佐準一, 池田利勝, 小田伸午, 木村みさか, 子どもに適用できる精度の高い身体活動量評価法の提案, 第 139 回京都体育学会大会, 2010 年 3 月 6 日, 京都教育大学（京都府）
- ⑦ 内藤義彦, 高田和子, 田中茂穂, 田畑泉, 佐々木敏, 海老根直之, 原田亜紀子, 荒尾孝, 井上茂, 北島義典, DLW 法による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) の妥当性に関する研究, 第 64 回日本体力医学会大会, 2009 年 9 月 20 日, 朱鷺メッセ（新潟県）
- ⑧ 佐々木将太, 中江悟司, 海老根直之, 青井渉, 石井好二郎, 食事摂取タイミングが中等度有酸素運動中の脂質酸化に与える影響, 第 64 回日本体力医学会大会, 2009 年 9 月 18 日, 朱鷺メッセ（新潟県）
- ⑨ 海老根直之, 中江悟司, 引原有輝, 足立稔, 石井好二郎, 食事摂取基準と小児の身体活動, 第 64 回日本体力医学会大会, 2009 年 9 月 18 日, 朱鷺メッセ（新潟県）

- ⑩ 佐々木将太, 中江悟司, 海老根直之, 青井涉, 東あかね, 石井好二郎, 食後からの経過時間がアスリートにおける中等度有酸素運動時の糖質および脂質酸化率に及ぼす影響, 第3回スポーツ栄養学研究会学術集会, 2009年7月11日, 神奈川県立健康福祉大学(神奈川県).
- ⑪ 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年9月20日, 別府ビーコンプラザ(大分県)
- ⑫ Oshima Y, Kawaguchi K, Doi R, Ohkawara K, Hikihara Y, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Ebine N, Aoki K, Misumi J, Tabata I, Significance of Lifestyle Activity in Daily Life Assessed by Triaxial Accelerometer, 55th Annual Meeting of the American College of Sports Medicine, 2008年5月28日, Indiana Convention Center (USA)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

海老根 直之 (EBINE NAOYUKI)

同志社大学・スポーツ健康科学部・専任講師

研究者番号: 30404370

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

木村 みさか (KIMURA MISAKA)

京都府立医科大学・医学部看護学科・教授
研究者番号: 90150573

田中 宏暁 (TANAKA HIROAKI)

福岡大学・スポーツ科学部・教授
研究者番号: 00078544

吉武 裕 (YOSHITAKE YUTAKA)

鹿屋体育大学・体育学部・教授
研究者番号: 00136334

山田 陽介 (YAMADA YOUSUKE)

福岡大学・身体活動研究所・研究員
研究者番号: 60550118

石井 好二郎 (ISHII KOUJIROU)

同志社大学・スポーツ健康科学部・教授
研究者番号: 30243520

中江 悟司 (NAKAE SATOSHI)

同志社大学・健康体力科学研究センター・研究員

研究者番号: 80613819

宮谷 秀一 (MIYATANI SHUICHI)

大阪府立大学・総合リハビリテーション学部・教授
研究者番号: 30247829

位田 忍 (IDA SHINOBU)

大阪府立母子保健総合医療センター・消化器・内分泌科・主任部長

研究者番号: 80177500

恵谷 ゆり (ETANI YURI)

大阪府立母子保健総合医療センター・消化器・内分泌科・医師

研究者番号: 80346220

藤田 紀昭 (FUJITA MOTOAKI)

同志社大学・スポーツ健康科学部・教授
研究者番号: 40199344

足立 稔 (ADACHI MINORU)

岡山大学・教育学研究科・教授

研究者番号: 70271054

(3) 研究協力者

西本 裕紀子 (NISHIMOTO YUKIKO)

大阪府立母子保健総合医療センター・栄養管理室・管理栄養士

宮本 明奈 (MIYAMOTO AKINA)

同志社大学・スポーツ健康科学部・学生

田中 歌 (TANAKA UTA)

同志社大学・スポーツ健康科学部・学生

小西 暢子 (KONISHI NOBUKO)

大阪市長居障害者スポーツセンター・スポーツ課主任

三上 真二 (MIKAMI SHINJI)

大阪市長居障害者スポーツセンター・指導課長