

博士学位論文審査要旨

2018年 2月 7日

論文題目： 思春期前期小児の日常生活における総エネルギー消費量と身体活動量との関連：二重標識水法および加速度計法を用いた検討

学位申請者： 香村 恵介

審査委員：

主査： スポーツ健康科学研究科 教授 石井 好二郎

副査： スポーツ健康科学研究科 教授 北條 達也

副査： 早稲田大学スポーツ科学学術院 教授 岡 浩一朗

要旨：

総エネルギー消費量 (total energy expenditure: TEE) は、安静時エネルギー消費量 (resting energy expenditure: REE)、食事誘発性熱産生、身体活動によるエネルギー消費量 (activity energy expenditure: AEE) の3つの構成要素から成る。栄養・運動指導現場では、分析にコストと専門性を有する二重標識水 (doubly labeled water: DLW) 法ではなく、加速度計法や推定式によって TEE を推定する方法が使用されている。

本論文では、DLW 法を用いた小児の TEE の基礎データを明らかにし、国内外の推定式による推定精度を検証するとともに、新たな推定式を開発している。また、三軸加速度計を用いた小児の TEE の推定精度を明らかにした。さらに、DLW 法によって測定した小児の PAL (physical activity level、 $PAL = TEE / REE$) ごとの身体活動の特徴を明らかにしている。

本論文は5章で構成されている。第1章では、本論文の研究背景となる先行研究を詳細にレビューし、当該分野の研究動向と研究課題を包括的かつ具体的にまとめ、本論文の目的を明確にしている。第2章では、日本人小児の TEE の現状を明らかにするとともに、既存の推定式の精度について検討した。その結果、TEE 推定に最も高い精度を示したのは、アメリカ・カナダの食事摂取基準で使用されている推定式であり、今後、日本人小児を対象としても利用できることを提言した。さらに、TEE の推定に PAL を使用しない、除脂肪量と歩数による推定式も開発している。第3章では、オムロン社製の三軸加速度計 Active style Pro (ASP) を用いた TEE の推定精度について検討している。その結果、加速度計の内部で計算されている REE の推定方法を、日本

人小児を対象として開発された Kaneko ら (2013) の式を使用する方法に置き換えた場合、推定精度は向上する (誤差 9%) ことを示した。第 4 章では、小児の PAL に関連する身体活動を検討し、PAL が低い状態の小児と標準以上の小児の差は、平日授業後の、ある程度まとまった活動で蓄積した中強度以上の身体活動量の差であることを明らかにした。また、小児の TEE を増加させるためには、成人とは異なり、低強度よりも中強度以上の身体活動に注目するアプローチが必要であることを提言している。

本研究で得られた成果は、成人と比較して倫理的にも測定条件の限られる小児の TEE を、簡便かつ高精度に推定することに貢献している。加えて、小児の TEE を増加させるための身体活動の方法についても、極めて有益な指針を示した。よって、本論文は、博士 (スポーツ健康科学) (同志社大学) の学位を授与するにふさわしいものであると認められる。

総合試験結果の要旨

2018年 2月 7日

論文題目： 思春期前期小児の日常生活における総エネルギー消費量と身体活動量との関連：二重標識水法および加速度計法を用いた検討

学位申請者： 香村 恵介

審査委員：

主査： スポーツ健康科学研究科 教授 石井 好二郎

副査： スポーツ健康科学研究科 教授 北條 達也

副査： 早稲田大学スポーツ科学学術院 教授 岡 浩一朗

要 旨：

本論文提出者は、2015年4月より本学大学院スポーツ健康科学研究科博士課程（後期課程）に在学している。修了に必要な単位取得としては、授業科目において「身体適応科学深論」「健康社会科学深論」の2科目4単位を、そして研究指導科目において「スポーツ健康科学特殊研究Ⅰ～Ⅵ」の6科目12単位を履修しており、必要単位数を満たしている。また各年度において優れた研究成果を挙げ、英語の語学試験にも合格しており十分な能力を有すると認定されている。

博士論文の内容の一部は *Nutrition & Metabolism* に筆頭著者として掲載され、他の知見に関しては、健康支援ならびに日本未病システム学会雑誌に筆頭著者として2報、体育の科学に総説の第2著者（著者3名中）として1報、合計4報の業績を示している。

2018年1月31日15時30分より約1時間にわたり提出論文に関する学術講演会（博士学位論文公聴会）が開催され、種々質疑応答が行われたが、提出者の説明により十分な理解が得られた。さらに公聴会終了後、論文に関連した諸問題について、審査委員による口頭試験を実施した結果、提出者の十分な学力を確認することができた。

よって、総合試験の結果は合格であると認める。

博士學位論文要旨

論文題目： 思春期前期小児の日常生活における総エネルギー消費量と身体活動量との関連：二重標識水法および加速度計法を用いた検討

氏名： 香村 恵介

要旨：

【背景】

総エネルギー消費量 (total energy expenditure: TEE) は、安静時エネルギー消費量 (resting energy expenditure: REE)、食事誘発性熱産生、身体活動によるエネルギー消費量 (activity energy expenditure: AEE) の3つの構成要素から成る。

TEEの正確な評価は、主に栄養・運動指導の現場で求められる。栄養面では、1日に必要な推定エネルギー必要量 (estimated energy requirements: EER) を求める場合に、食事アセスメント法ではエネルギー摂取量を過小評価するため、TEEから接近する方法が用いられる。運動面では、身体活動によってAEEを高めることで身体活動レベル (physical activity level: PAL, $PAL = TEE / REE$) を向上させ、フィジカル、メンタル面の健康促進につなげている。

自由生活下のTEEの測定においては、二重標識水 (doubly labeled water: DLW) 法が最も測定誤差の小さい方法であり、ゴールドスタンダードとされている。しかし、DLW法は分析にコストと専門性を有することから、大規模調査や栄養・運動指導現場で使用することは難しい。このため、特に日本人小児を対象としたデータは限られており、食事摂取基準には小学生のデータは1編 (n = 12) しか引用されていない。日本人小児のDLW法によるTEEの基礎データの蓄積が望まれている。

一方、栄養・運動指導現場では、DLW法ではなく、加速度計法や推定式によってTEEを推定する方法が使用されている。加速度計法に関して、成人を対象としたレビューでActive style Pro (ASP) (Omron社製) が自由生活下のTEEを最も小さい誤差で推定したことが報告されていることから、小児を対象としても有用である可能性があるが、妥当性は検討されていない。また、現在の食事摂取基準で使用されている推定式の小児に対する推定精度に加え、諸外国の大規模な調査によって開発された小児用推定式の日本人小児に対する利用可能性は不明である。

さらに、成人ではPALの3階級 (レベルI-III) ごとの身体活動の特徴を明らかにすることで、PALが低い状態にある者の身体活動状態が明確にされているが、小児を対象とした検討はなされていない。

これらの問題点を検討することで、小児のEERの基礎データを明らかにすることに加えて、加速度計や推定式によって小児のTEEを評価する際に必要な科学的根拠を提供することができる。さらに、PALの低い小児の現状を理解してPALを高いレベルに移行させていくための具体的な方策を検討する際に有用である。

【目的】

本博士論文では、以下の3つの目的を設定した。1) DLW法を用いた小児のTEEの基礎データを明らかにし、国内外の推定式による推定精度を検証するとともに、新たな推定式の開発を行うこと (第2章)。2) 3軸加速度計ASPを用いた小児のTEEの推定精度を明らかにすること (第3章)。3) DLW法によって測定した小児のPALごとの身体活動の特徴を明らかにすること (第4章)。

【方法】

対象者は、第2章は小学5、6年生56名、第3章は6年生15名、第4章は小学5年生42名であった。全ての測定において、DLW法によるTEEの測定(TEE_{DLW})および同期間の加速度計による身体活動量の測定を、通常授業が行われている1週間に実施した。また、PALはTEE_{DLW}をKaneko et al.の推定式から求めたREE(REE_{Kaneko})で除して算出した。

第2章では、以下の3つの推定式;日本人の食事摂取基準で使用されている推定式(TEE_{J-DRI})、Institute of Medicine (IOM)が公表しているアメリカ・カナダの食事摂取基準で用いられている推定式(TEE_{IOM})、Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)の推定式(TEE_{FAO})の推定精度を検討した。また、ASPから歩数を、DLWの分析から、対象者の除脂肪量(FFM)を算出した。

第3章では、先行研究の補正式を適用してASPが10秒ごとに出力するmetabolic equivalents (METs)値を小児用に補正した上で、以下の3つのTEE推定方法の精度を分析した。Body surface area (BSA)に基づいたREE推定式を用いてTEEを推定する方法(TEE_{ASP-BSA}, 機器従来方法)、食事摂取基準のREE推定式に基づいてTEEを推定する方法(TEE_{ASP-DRI})、REE_{Kaneko}に基づいてTEEを推定する方法(TEE_{ASP-Kaneko})。

第4章では、Lifecorder PLUS (LC) (スズケン社製)を用いて、微小運動(LC 0-0.5)、軽強度身体活動時間(LPA, LC 1-4)、中高強度身体活動時間(MVPA, LC 5-9)を測定した。また、MVPAをその継続時間に応じて、sporadic (<4 min)、short bouts (≥4 and <10 min)、medium-to-long bouts (≥10 min)に分類した。なお、20分以上のLC 0が続いた場合を非装着と判断した。PALは日本人の食事摂取基準の区分に従って、PAL I群(PAL < 1.55, 低い)およびPAL II・III群(標準以上, PAL ≥ 1.55)に分類した。

【結果】

第2章の結果として、10-12歳児のTEE_{DLW}(過体重、肥満は除外)は男子2067 ± 230 kcal/d、女子1830 ± 262 kcal/d、全対象者のPALは1.58 ± 0.17であった。TEE_{J-DRI}(男子2264 kcal/d、女子2007 kcal/d)およびTEE_{FAO}(男子2320 kcal/d、女子2031 kcal/d)は、TEE_{DLW}と有意な差が認められた(p < 0.05)。TEE_{IOM}は、男女とも最も推定誤差が小さく(平均2%)、90%以上の対象者を±10%以内の誤差で推定した。偏相関分析の結果、TEE_{DLW}と全ての推定TEEの間に有意な関連が認められた(p < 0.05)。重回帰分析によって、FFMと歩数でTEEを推定する式を検討し、以下のTEE(kcal/d)の推定式を得た。男子: $47.1 \times \text{FFM (kg)} + 0.0568 \times \text{step count (steps/d)} - 122$, 女子: $55.5 \times \text{FFM (kg)} + 0.0315 \times \text{step count (steps/d)} - 117$ 。

第3章の結果として、TEE_{ASP-BSA}およびTEE_{ASP-DRI}は、小児のTEEをそれぞれ12.4%、19.5%過大評価した。一方、TEE_{ASP-Kaneko}は、TEE_{DLW}よりも有意に過大評価したものの、従来方法よりも推定精度は向上し(8.8%の過大評価)、60%の小児のTEEを誤差10%以内で推定した。全ての推定方法がTEE_{DLW}とr = 0.69から0.79の有意な相関関係を示したことに加え、座位行動時間ともr = 0.53から0.71の有意な相関関係を示した。

第4章の結果として、微小運動時間(PAL I群: 457 min/d, PAL II・III群: 438 min/d)およびLPA(PAL I群: 296 min/d, PAL II・III群: 318 min/d)にはPAL群間で有意な差は認められなかった一方、歩数(PAL I群: 11395 steps/d, PAL II・III群: 14188 steps/d)およびMVPA(PAL I群: 48 min/d, PAL II・III群: 60 min/d)には有意な差が認められ、PAL I群の方が歩数およびMVPAが少なかった。平日および週末の15時前後での身体活動量を比較した結果、平日の15時以降のMVPAにのみPAL群間で有意差が認められ、PAL II・III群の方が有意に高い値を示した。MVPAの構成要素をみると、PAL II・III群は、sporadic (PAL I群: 9 min/d, PAL II・III群: 10 min/d)ではなく、total bouts (short + medium-to-long) (PAL I群: 9 min/d, PAL II・III群: 20 min/d)が有意に多かった。

【結論】

本博士論文の結果から、以下の5つの結論を得た。

- 1) 現在の10-12歳児の食事摂取基準に示されているEERは過大評価している可能性がある。
- 2) IOMのTEE推定式は、日本の食事摂取基準の推定式よりも、BMIの影響を小さく、かつ高い精度で10-12歳の日本人小児のTEEを推定する。
- 3) FFMと歩数で、10-12歳の日本人小児のTEEを約65%推定することができる。
- 4) 3軸加速度計ASPは、小児用METsの補正式を適用し、Kaneko et al.の安静時エネルギー消費量の推定式に基づいて推定することで、小児の自由生活下のTEEを体格に関わらず平均誤差8.8%で評価する。ただし、座位行動時間が長い小児のTEEほど過大評価することに注意が必要である。
- 5) PALの低い10-11歳の小児は、標準以上の小児に比べて、平日授業後の、特に連続的に蓄積したMVPAが少ない。PALを標準以上にしていくためには、平日の授業後に身体活動量を高めるような方策が有効かもしれない。