

図1 BMRとPALの関係

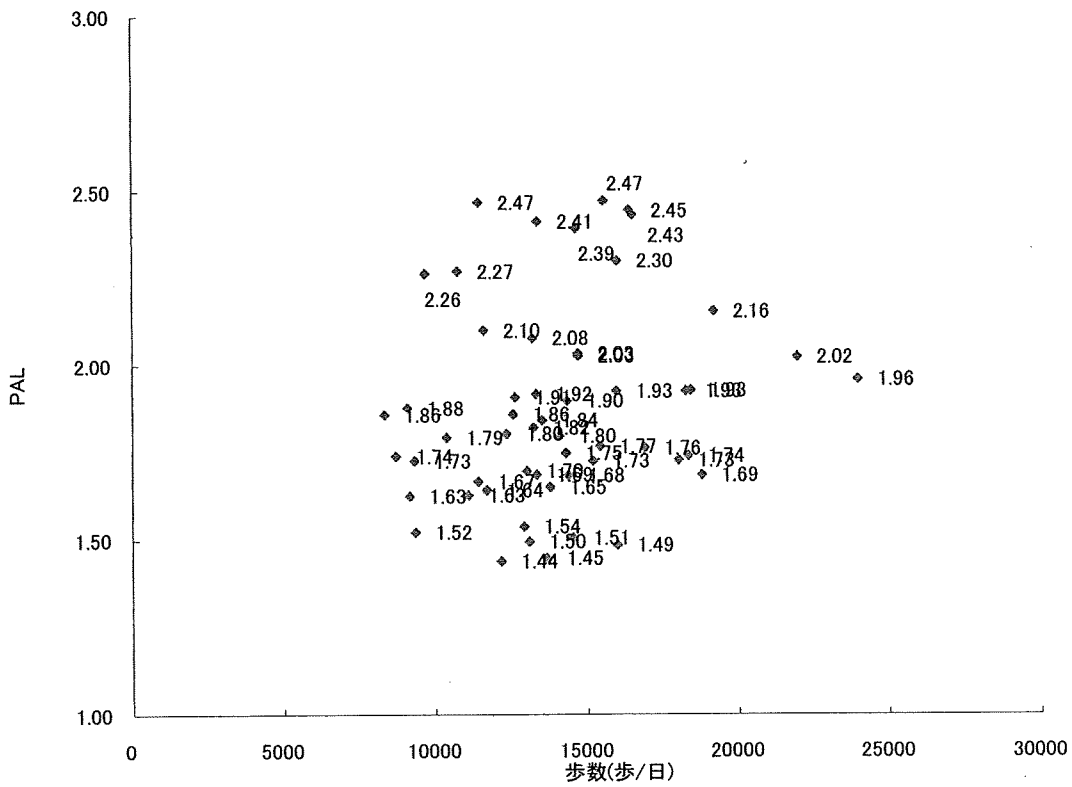


図2 歩数とPALの関係

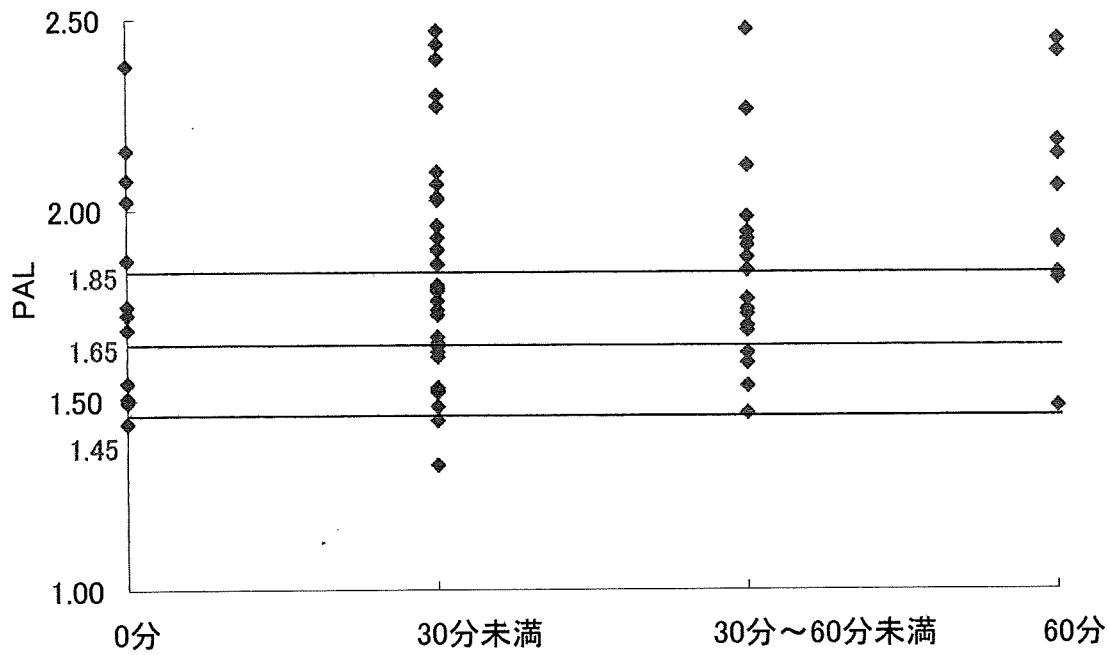


図3 活発な活動の時間とPALとの関連

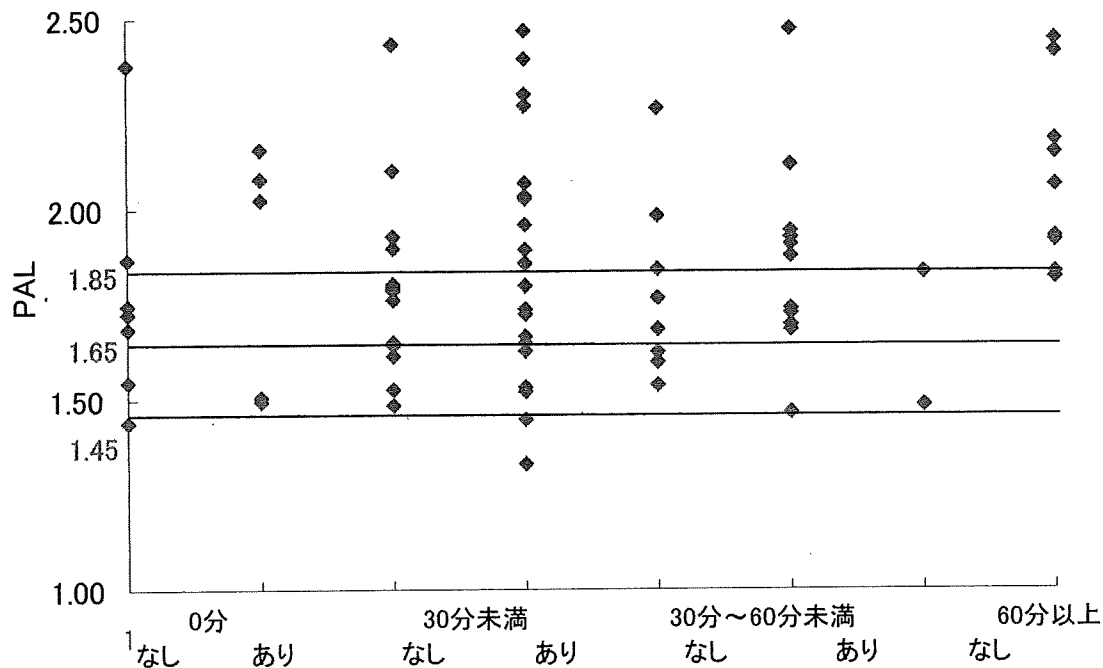


図4 活発な活動の時間と休み時間の動的な遊びの有無とPALとの関連

1)なし:動的な遊びを選択していない あり:動的な遊びを選択している 動的な遊びは「ボール遊び」「鬼遊び」「遊具で遊ぶ」

3次元加速度計を用いた子どもの総エネルギー消費量の評価 —成人の評価法との比較に着目して—

研究分担者 引原有輝 千葉工業大学 工学部 助教
研究代表者 田中茂穂 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

【背景】加速度計を用いた身体活動量の評価が注目されるようになり、多くの特徴的なアルゴリズムを有した加速度計が開発されつつある。特に、成人を対象とした歩行・走行活動の評価を得意とするものが多いことから、子どもの総エネルギー消費量を推定するために適用することは難しい可能性がある。【目的】本研究は、合成加速度と身体活動強度 (METs) との関係について子どもと成人との相違を明らかにし、3次元加速度計を用いて子どもにおける METs を評価するための方法について検討した。さらに、それに基づき各活動時のエネルギー消費量を算出し、その妥当性について検証した。【方法】小学生男子 42 名 (年齢: 10 ± 2 歳)、女子 26 名 (年齢: 9 ± 2 歳) を対象とした。児童の日常生活にみられる代表的な活動として、学習 (椅子座位)、ゲーム (床座位)、片付け、ほうき掃き、雑巾かけ、ボール投げ (以上、歩行・走行以外の活動)、階段昇り、階段降り、歩行 (2 段階)、走行 (以上、歩行・走行活動) の計 11 種類を取り上げ、各活動時における 3 次元合成加速度とダグラスバッグ法によるエネルギー消費量を測定した。また、座位安静時エネルギー消費量を測定し、各活動時のエネルギー消費量を除して METs を算出した。【結果】子どもにおける合成加速度と METs との関係式は、歩行・走行活動と歩行・走行以外の活動とで異なることが明らかになり、成人での報告と一致した。また、検知した加速度とハイパスフィルタ処理後の加速度との比を用いることで歩行・走行活動とそれ以外の活動とをより高い精度で判別することができた。一方、歩行・走行活動および歩行・走行以外の活動ともに、子どもと成人の関係式との間には相違が認められ、同一加速度に対応する METs は、子どもの方が小さい傾向がみられた。また、推定式から得られた METs に推定安静時代謝量を乗じて各活動時のエネルギー消費量を算出したところ、階段昇りを除く全ての活動において過大評価された (平均推定誤差: $14.8 \pm 12.8\%$)。【結論】合成加速度から子どもの METs を推定する際に成人で得られた推定式を用いると過大評価されることが明らかとなった。したがって、子どもの METs を評価する際には、子ども独自に作成した推定式を用いる必要がある。また、各活動時のエネルギー消費量を推定するには、安静時代謝量の推定法にも改善が求められる。

A. 研究目的

本年度、厚生労働省により食事摂取基準が2010年版として新たに改定され、「エネルギー」の必要量についても幾つかの変更がなされた。従来の内容からの変更点の1つとして、子どもの身体活動レベル(Physical activity level: PAL)が引き下げられたことがあげられる。2005年版策定時に用いた文献を含め、基礎代謝量(Basal metabolic rate: BMR)を実測したものに限定するなどより厳密にレビューされた結果である。しかしながら、このエネルギー必要量の基準値に日本人の子どものエネルギー消費量(Total energy expenditure: TEE)に関するデータは1件のみで、未だ十分に含まれていない。本邦の子どものTEEに関する十分なエビデンスが蓄積されてこなかったのは、基準法となる二重標識水(Doubly labeled water: DLW)法のコスト面ならびに測定分析における技術面の難しさ(齊藤ら, 1999)が原因であると推察されるが、近年ではDLW法の問題点を踏まえて、推定精度が高く簡便性に優れた加速度計を用いたTEEの評価法が提案されつつある(Westerterp, 2009)。

ヒトのTEEは、BMR、食事誘発性熱産生(Diet induced thermogenesis: DIT)および身体活動量(Physical activity energy expenditure: PAEE)から構成されている(田中, 2007)。BMRは体格や体組成から概ね推定することが可能であり、DITはTEEのおよそ10%程度であると認識されている(Maffeis *et al.*, 1993)。したがって、加速度計には、残りのPAEEを正確に評価することが要求される(Plasqui and Westerterp, 2007)。DLW法と比較して、特に加速度計が優れている点は、

各活動時の強度(Metabolic equivalents: METs)に要した時間を把握できることや、それに基づいて各活動時のエネルギー消費量を求めることができることにある。

加速度計は、ヒトの活動時に生じる加速度に基づいて身体活動を定量化する装置であるが、加速度を検知するセンサは1軸から3軸までであることや、その測定分解能や測定周波数などを考慮すると加速度計の仕様は多様である。これまでから、加速度からPAEEやMETsなどを推定するためのアルゴリズムについて提案がなされてきたが、それらは未だ幾つかの問題点を有している。第一に、これまでの加速度計は、成人を対象に開発されたものが多く、子どもへの適用については必ずしも適切でない可能性が考えられる。これは形態(特に下肢長)、体組成、活動時の筋活動などの諸要因により、子どもと成人とでは活動時(特に歩行や走行)のエネルギー消費量に差異が生じていると考えられているためである(Freedson *et al.*, 2005; Allor *et al.*, 2000)。またこの点については、成熟レベル(形態、体組成)が大きく異なる子ども間においても考慮すべき問題である(Freedson *et al.*, 2005)。第二に、既存の加速度計の多くは腰部に装着することもあり、主に歩行や走行など規則性を有した動作様式の評価を得意としていることがあげられる(Matthew, 2005; Trost *et al.*, 1998)。しかしながら、歩行や走行活動から得られた加速度とエネルギー消費量との関係式の傾きや切片は、歩行以外の活動から得られた関係式のそれらとは異なることが指摘されており(Midorikawa *et al.*, 2007; Heil *et al.*, 2005; Hendelman *et al.*, 2000)、従来の加速度計を用いて歩行走行以

外の活動を評価することは、推定した PAEE や METs に大きな推定誤差を生じさせることにつながる (Leenders *et al.*, 2006; Matthew, 2005)。これらの問題を解決するためには、歩行・走行活動とそれ以外の活動において子ども独自の推定式をそれぞれに作成すること、さらに 3 軸の加速度情報から歩行・走行活動からそれ以外の活動であるかを判別する方法が必要である。判別方法については、Ohshima *et al.* (2010) が成人を対象に 3 軸の加速度情報を用いた新しい判別方法を提案しており、その方法に準拠することにより子どもの活動を判別できる可能性がある。

これらことを背景として、本研究は 3 次元加速度計を用いて歩行・走行活動およびそれ以外の活動時の METs を評価するために、子ども独自の推定式について検討した。併せて、それに基づき各活動時のエネルギー消費量を算出し、その妥当性について検証した。

B. 研究方法

1. 対象者

小学生男子 42 名 (年齢: 10 ± 2 歳)、女子 26 名 (年齢: 9 ± 2 歳) を対象とした。学年の内訳は、低学年が 27 名、高学年が 41 名であった。対象者の身体的特性は、男子で 140.4 ± 11.0 cm、 33.6 ± 9.5 kg、女子で 131.9 ± 14.2 cm、 28.8 ± 9.3 kg であった。

2. 実験手順

対象者には、午前 7 時までに朝食を済ませるように指示し、その後、激しい活動を控えながら保護者同伴で午前 10 時に指定の実験室に来室させた。到着後に、朝食有無ならびに内容を確認し、形態計測を行った。さらに、対象者の胸部に心拍計を、腰

部に加速度計をそれぞれ装着し、座位で 30 分間の安静状態をとらせた後、安静時エネルギー消費量と 12 種類の活動時の 3 軸加速度ならびにエネルギー消費量を測定した。

3. 加速度計

測定可能範囲が $\pm 6G$ で、加速度分解能が $3mG$ である 3 次元加速度センサを搭載した加速度計 (大きさ: $W 80 \text{ mm} \times D 20 \text{ mm} \times H 50 \text{ mm}$ 、重さ: 60.7 g) を腰部に装着して、鉛直、前後、左右方向の加速度を 32Hz でサンプリングした。さらに重力加速度を除くためにそれぞれハイパスフィルタ処理を施した加速度データから合成加速度を求めて分析に用いた。

4. 安静時および身体活動時のエネルギー消費量

対象者は、朝食摂取後 3 時間以上経過した後に、座位安静時エネルギー消費量 (Resting energy expenditure: REE) を測定した。その後、歩行・走行以外の活動 (1. 学習: 椅子座位で漢字の書き写し、2. ゲーム: 床座位で Nintendo DS、3. ほうき掃き、4. 片付け: 本を棚に戻す、5. 雑巾がけ、6. ボール投げ: ドッチボールの投げあい) ならびに歩行・走行活動 (7. 階段昇り、8. 階段降り、9. 普通歩行: $60\text{m}/\text{分}$ 、10. 速歩: $80\text{m}/\text{分}$ 、11. 走行: 低学年 $100\text{m}/\text{分}$ ・高学年 $120\text{m}/\text{分}$) の計 11 種類の活動を実施した。活動時の呼気ガスは、専用のガスマスクならびにダグラスバッグを用いて採取された。定常状態として 2 分間を前置きし、その後、各活動に応じて 2 から 7 分間の呼気ガスを採取した。また、採取した呼気ガスの酸素濃度ならびに二酸化炭素濃度を質量分析計 (ARCO-1000, Arco System Inc., Chiba, Japan) により測定した。また呼気量を乾式

ガスメータ (DC-5, SHINAGAWA Co.,Ltd., Tokyo, Japan) により測定した。得られた測定値は Weir (1949) の間接熱量測定式を用いてエネルギー消費量に換算された。また、各身体活動時のエネルギー消費量を安静時エネルギー消費量で除すことにより身体活動強度 (METs) を求めた。

5. 歩行走行活動とそれ以外の活動との判別

Ohshima *et al.* (2010) が提案する判別方法に準拠して、各活動時に検知された3軸の合成加速度と重力加速度を除去した3軸の合成加速度との比を歩行走行活動とそれ以外の活動とを判別するための境界値として用いた。

6. 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 (疫学研究部会)」の承諾を得て実施した。測定にあたっては、対象者に測定目的、利益、不利益、危険性、個人情報の管理について説明し、書面にて同意を得た。測定データは外部流出することがないように厳重に管理した。なお、測定にともなう重大な危険性はない。

7. 統計処理

得られた測定値は平均値±標準偏差で示した。また、活動時の加速度と METs との関係は、回帰分析を用いて検討した。また、暦年齢が回帰式に寄与するか否かについては重回帰分析を用いて検討した。これまでに我々の研究グループが、成人を対象に実施した合成加速度と METs との関係式 (ただし、測定した活動内容は子どもの場合と異なる) を参照し、回帰直線の傾き、切片ならびに決定係数 (R^2) について子どもと成人とでの比較検討を行った。また、Ohshima *et al.* (2010) の判別方法を用いて

歩行走行活動とそれ以外の活動との判別境界値を決定するために Receiver Operating Characteristic (ROC) 曲線を用いて感度ならび特異度を求めた。統計処理は、JMP8.0 (SAS Institute, Tokyo, Japan) を用いて行い、その際の統計的有意水準は5%未満とした。

C. 研究結果

合成加速度と METs との関係を Figure 1 に示した。その結果、歩行走行活動とそれ以外の活動とにプロットが分離していることがわかった。またそれぞれプロットは、階段昇降を除くと直線的な関係 (歩行走行活動: $y = 0.0004687x + 0.966569$, $R^2 = 0.8851$, それ以外の活動: $y = 0.0011558x + 1.2242151$, $R^2 = 0.7766$) を示していた。残念ながら、階段昇りについては、歩行走行活動にみられる直線的な関係から大きく外れており、むしろそれ以外の活動の直線的な関係に近似していた。

成人で得られた関係式との比較を Figure 2 に示した。その結果、歩行走行活動とそれ以外活動ともに回帰直線の傾きならびに切片において、子どもと成人 (歩行走行: $y = 0.0008x + 1.2311$, $R^2 = 0.9038$, それ以外: $y = 0.002x + 1.556$, $R^2 = 0.8945$) との間で相違が認められた。特に、両活動ともに、加速度が大きくなるに伴い、成人と子どもの METs により大きな差異が生じやすいことが明らかになった。

歩行走行活動とそれ以外の活動との判別率については、検知された合成加速度とハイパスフィルタ処理後の合成加速度との比を用いた結果、その値が1.12であったときに判別率が最大(99.5%)となった(Table 1)。

得られた判別閾値に基づいて得られた歩

歩行活動とそれ以外の活動との判別結果から、歩行活動とそれ以外の活動のそれぞれの回帰式に検知された加速度を外挿して推定値 METs を算出した。さらに、それに推定 REE (kcal/min) を乗じて、各活動時のエネルギー消費量を算出し、実測値との比較を行った。なお、推定 REE は、年齢、性別に応じた日本人の基礎代謝基準値に体重を乗じて BMR を推定し、さらにそれを 1.1 倍した (田中, 2009)。その結果、各活動時の実測エネルギー消費量に対して、推定エネルギー消費量は 6.0–43.1% (階段昇降を除く) で過大評価された (Figure 5)。

D. 考察

これまでの加速度計の多くは、主に歩行活動に対して優れた評価精度を有していることが報告されてきた (Kumahara *et al.*, 2004 ; Mattew, 2005)。また、それらの加速度計は疫学研究において子どもから高齢者までの多岐にわたった対象に利用されている。しかしながら、子どもと成人とは形態や体組成の相違により安静時ならびに活動時のエネルギー消費量に相違があることや、多岐にわたる活動が短時間 (3 秒) に変化していくという子ども特有の行動パターンを有している (Bailey *et al.*, 1995) ことなどから、成人を対象に開発された加速度計を子どもに適用することは必ずしも適切でないと考えられる。本研究は、加速度から METs を推定するために子どもの独自の推定式を作成することに加え、歩行活動ならびにそれ以外の活動を評価できる方法について検討した。その結果、子どもの場合でも合成加速度と METs との関係性が歩行活動とそれ以外での活動とでは大

きく異なっており、従来の加速度計に多かった歩行活動の推定式を用いて歩行活動以外の活動を評価することは、METs が過小評価されることが明らかになった。特に、子どもの日常生活を考えた場合、歩行活動だけでなく遊びやスポーツ活動の中でみられる不規則な動作様式が多分に含まれていることを想定すると、本研究が提案する歩行活動とそれ以外の活動をそれぞれの推定式で評価することは、子どもの TEE の推定精度に大きく貢献する可能性が考えられる。また、階段昇降を除いた上で、両活動ともに回帰式に強い直線性 (歩行活動 : $R^2=0.8851$ 、それ以外 : $R^2=0.7766$) が得られたことから、METs を評価するための有効な推定式として利用できる。残念ながら、階段昇りについては歩行活動の式から推定すると顕著な過小評価 (63%) が生じた。ただし、1 日の中で階段を利用している時間は少ないことや階段降りを過大評価 (23%) していることなどを考慮すると、TEE への影響は必ずしも大きくないと考えられる。

さらに本研究は、合成加速度と METs との関係について子どもと成人との比較を行った。その結果、歩行活動ならびにそれ以外活動ともに、回帰式の切片と傾きに相違が認められた。すなわち、成人の推定式を用いて子どもの METs を評価すると両活動ともに過大評価されることが明らかになった (Figure 2)。歩行活動以外の活動については、対象とした身体活動内容に相違があるため、合成加速度と METs との関係性について直接的な比較を行うことは困難であるが、TEE を構成する活動内容には成人との相違があることを考慮すると、い

れにしても成人の式を用いて子どもに特有の身体活動を評価することは適切でないと考えられる (Figure 2)。

本研究は、合成加速度から METs を算出するための推定式を導き出しているため、活動時のエネルギー消費量に変換する際には推定 REE (本研究では BMR の 1.1 倍を採用) を乗じる必要がある。実測値に対する各活動時の推定エネルギー消費量は、平均して 14.8 ± 12.8 (6.0–43.1%) の過大評価傾向 (Figure 3) にあったが、推定 REE がすでに $10.6 \pm 13.5\%$ 過大評価 (Figure 4) されていることから、加速度計を用いて子どもの TEE を評価するためには、REE あるいは BMR の推定精度についても併せて検討していく必要がある。

本研究で対象とした身体活動は 11 種類のみであるが、先行研究や活動記録に基づいて日常生活中でも出現頻度の多いものを選定している。今後の課題として、これらの活動に基づいて提案されたアルゴリズムが多様な活動内容を有する子どもの TEE をどの程度推定できるかについて検討する必要がある。

E. 結論

合成加速度から子どもの METs を推定する際に成人で得られた推定式を用いると過大評価されることが明らかとなった。したがって、子どもの METs を評価する際には、子ども独自に作成した推定式を用いる必要がある。また、推定 METs からエネルギー

消費量を算出すると過大評価される傾向にあった。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

引原有輝、田中千晶、田中茂穂、大河原一憲、高田和子、大島秀武、川口加織、田畑泉。3次元加速度計を用いた児童の身体活動強度の評価—成人との比較に着目して—。第 64 回日本体力医学会大会: 2009.9. 新潟。田中千晶、引原有輝、田中茂穂。小児の身体活動量・強度測定の留意点 シンポジウム: 小児の体力低下・肥満と身体活動—エビデンスに基づく対策の提言—。第 64 回日本体力医学会大会: 2009.9. 新潟。

引原有輝、足立稔、緑川泰史、田中千晶、田中茂穂。小児の体力と身体活動 シンポジウム: 小児の体力低下・肥満と身体活動—エビデンスに基づく対策の提言—。第 64 回日本体力医学会大会: 2009.9. 新潟。

G. 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

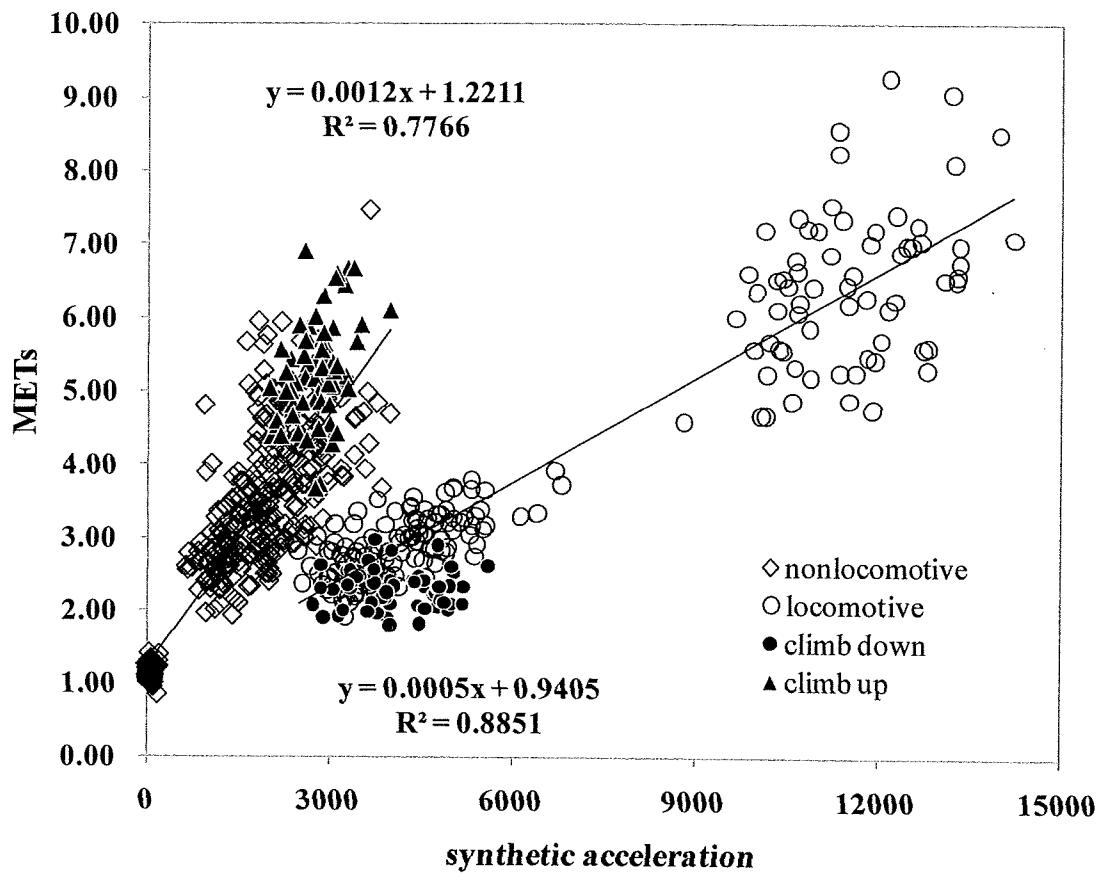


Figure 1 Relation of synthetic acceleration in both nonlocomotive activity and locomotive movements to METs.

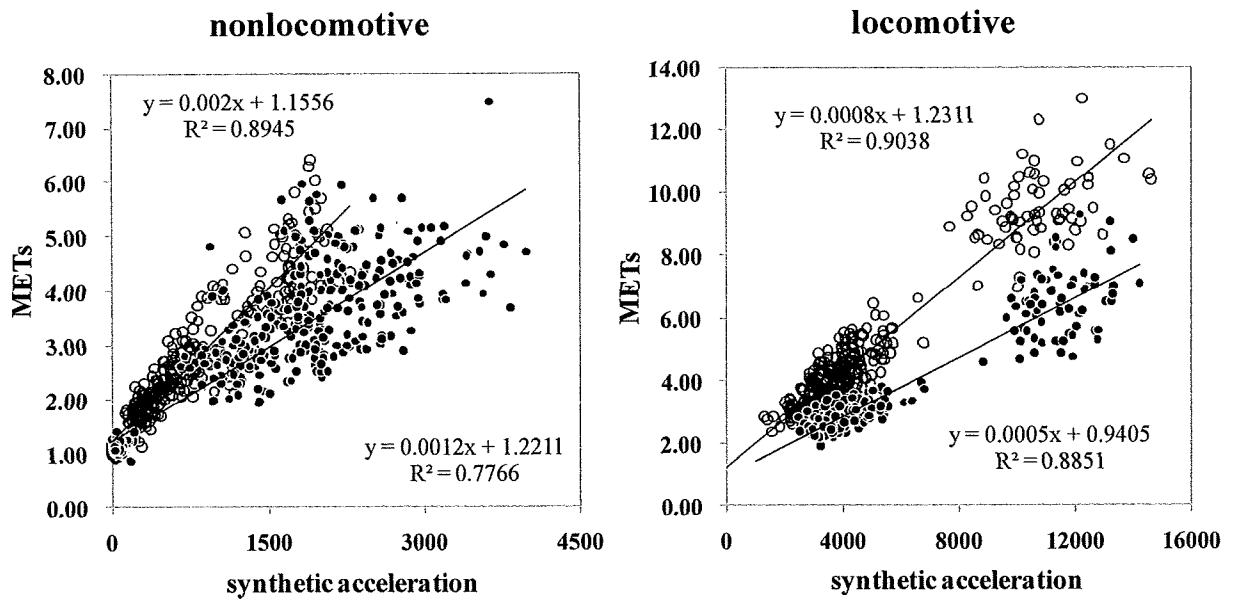


Figure 2 Comparison of relation of synthetic acceleration to METs in children and adults. Black plots show relation of synthetic acceleration to METs in children, while white plots show the relation in adults.

Table 1 Sensitivity of discriminating locomotive movements from nonlocomotive activities

threshold	un filtered / filtered ratio				
	1.12	1.13	1.14	1.15	1.16
desk work	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Nintendo DS	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
sweep up	100.0	98.2	96.4	94.6	94.6
clear away	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
wash floor	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ball throw	98.2	96.4	94.6	91.1	91.1
climb down	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
climb up	96.4	98.2	98.2	100.0	100.0
normal walk	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
brisk walk	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
jogging	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
discrimination (%)	99.5	99.3	99.0	98.7	98.7

▲
adult cut off value

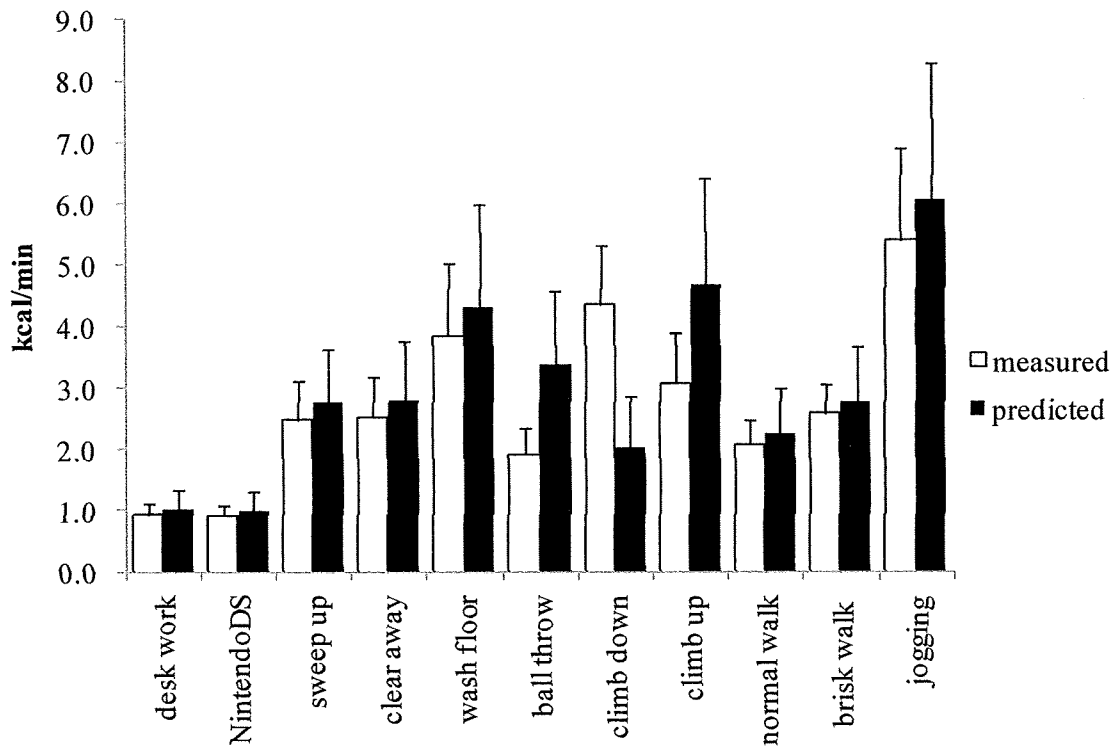


Figure 3 Predicted errors of measured energy expenditure and predicted for each physical activity.

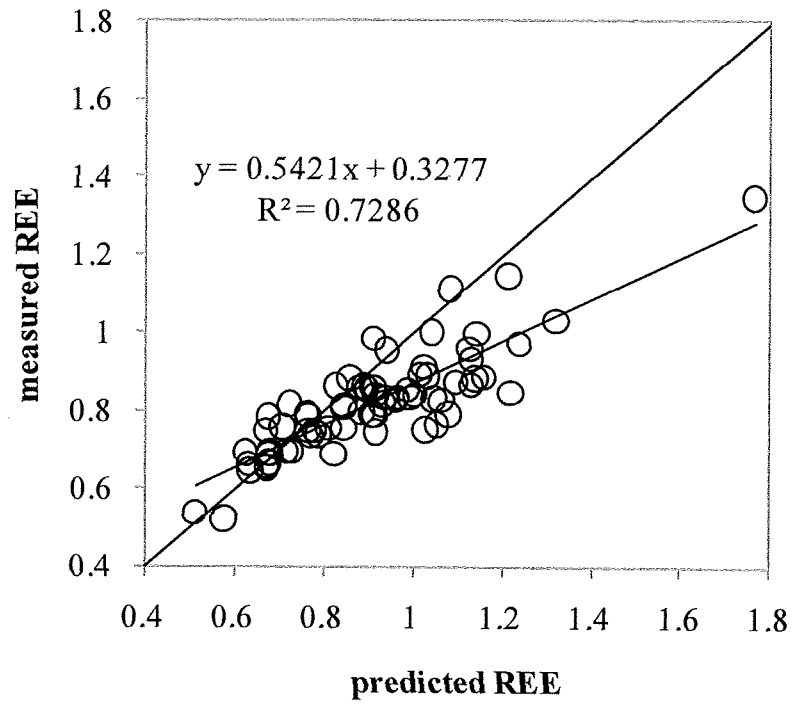


Figure 4 Relation of predicted resting energy expenditure to measured resting energy expenditure.

Ⅲ. 研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
なし							

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
田中茂穂	身体活動とエネルギー代謝	日本臨牀 身体活動・ 運動と生活 習慣病 —運動生理 学と最新の 予防・治療 —	67 (増刊 号2)	11-15	2009
田中茂穂	肥満・糖尿病の病態を解明するエネルギー代謝の最前線: 人の基礎代謝量	実験医学	27(7) (増刊)	86(1058) -90(1062)	2009
田中茂穂	日本人の運動量・身体活動量の評価と現状	臨床栄養	115(1)	57-64	2009
田中千晶、田中茂穂	加速度計と幼児の身体活動量評価 特集 健康スポーツ医学分野における検査・評価法と応用	臨床スポーツ医学	26(9)	1079-1087	2009
田中茂穂	エネルギー消費量とその測定法 特集:必要エネルギー量の算出法と投与の実際	静脈経腸栄養	24(5)	1013-1019	2009
田中茂穂	メッツと基礎代謝	体育の科学	59(10)	657-663	2009

Tanaka C、 <u>Tanaka S</u>	Daily physical activity in Japanese preschool children evaluated by triaxial accelerometry: the relationship between period of engagement in moderate-to-vigorous physical activity and daily step counts.	J Physiol Anthropol	28(6)	283-288	2009
Oshima Y、Kawaguchi K、 <u>Tanaka S</u> 、Ohkawara K、 <u>Hikihara Y</u> 、 <u>Ishikawa K</u> 、 <u>Takata K</u> 、 <u>Tabata I</u>	Classifying household and locomotive activities using a triaxial accelerometer.	Gait Posture	31(3)	370-374	2010
<u>高田和子</u>	二重標識水法を用いたエネルギー摂取量評価への応用	臨床スポーツ医学	26(9)	1097-1102	2009
<u>高田和子</u> 、 <u>田中茂穂</u>	適切なエネルギー消費量評価	臨床スポーツ医学	26 (増刊)	226-233	2009
<u>田畑泉</u>	エネルギー. 特集 日本人の食事摂取基準 (2010年版)	臨床栄養	115(3)	255-260	2009
<u>田畑泉</u>	運動のエネルギー、食事のエネルギー	体育の科学	59(10)	651-656	2009
<u>Inoue S</u> 、Murase N、Shimomitsu T et al	Association of physical activity and neighborhood environment among Japanese adults.	Prev Med,	48	321-325	2009
<u>Ishii K</u> 、 <u>Inoue S</u> 、 <u>Ohya Y</u> 、et al	Socioemographic variations in perceptions of barriers to exercise among Japanese adults.	J Epidemiol	19	161-168	2009

IV. 研究成果の刊行物・別刷

日本臨牀 67 卷 増刊号 2 (2009 年 4 月 28 日発行) 別刷

身体活動・運動と生活習慣病

—運動生理学と最新の予防・治療—

I. 身体活動の基礎

身体活動とエネルギー代謝

田中茂穂

I. 身体活動の基礎

身体活動とエネルギー代謝

Physical activity and energy metabolism

田中茂穂

Key words : 身体活動, エネルギー代謝, 運動, 基礎代謝量, NEAT

1. 身体活動と運動の定義

身体活動とは, ‘骨格筋の活動により安静時よりも多くのエネルギー消費を伴う身体の状態’であり¹⁾, 健康増進や体力の維持・増進を目的とした計画的・組織的で継続性のある‘運動’と, それ以外の余暇・家事・仕事からなる‘生活活動’に大別できる。

2. 総エネルギー消費量の内訳

1日当たりのエネルギー消費量=総エネルギー消費量(total energy expenditure: TEE)は, 一般に, 表1のように分けられる。

TEEに関する指標として,

$$\begin{aligned} & \text{身体活動レベル(physical activity level: PAL)} \\ & = \text{TEE} \div \text{基礎代謝量(basal metabolic rate: BMR)} \end{aligned}$$

がある。食事に伴う熱産生(食事誘発性体熱産

生)も含んでいるものの, 1日全体での身体活動量が大きいほど大きな値となる。

3. TEEに占めるBMRの位置づけ

TEEの中で最も大きな構成成分は, BMRである。日本人の食事摂取基準(2005年版)においても, また, 欧米人においても, PALの標準値は1.75程度であるので^{2,3)}, 逆算すると, BMRはTEEの約60%程度を占めると考えられる。

BMRのバラツキの大部分は, 体格, 特に除脂肪量や体脂肪量, あるいは各組織・器官重量で説明できる⁴⁾。それに伴い, BMRの個人間差はしばしば数百kcal/日に及び, TEEの個人間差の最大の原因でもある。ただし, 一方では, 体格が同程度であればバラツキが小さいともいえる⁵⁾。

身体活動・運動によって, 主に身体組成の変化を介してBMRを増加させることは可能であ

表1 総エネルギー消費量の内訳とバラツキ

成分	割合(%)	個人差(kcal/日)	備考
基礎代謝量	60	100	割合は大きい ⁶⁾ , 体格でおおよそ決定
食事誘発性体熱産生	10	50	割合も変動幅も小さい ⁶⁾ , 相対的な測定誤差が大きい
運動	0-5	50-100	日本人で週2日以上 ⁷⁾ の運動を実施している者は30%弱
運動以外の身体活動	25-30	200-300	PALの大きな個人差(1.4-2.2)を生じる主な原因

数値は, 標準的な体格の日本人(スポーツ選手等は除く)における, おおよその値。

個人差は, 標準偏差あるいは推定の標準誤差からの概算。

Shigeho Tanaka: Project for Energy Metabolism, Health Promotion and Exercise Program, National Institute of Health and Nutrition 独立行政法人 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

表 2 日常生活活動による PAL の分類

活動の概略	PAL の値
ベッドまたは椅子での生活	1.2
動き回る事のない座位中心の仕事で、激しい余暇活動はなし	1.4-1.5
動き回ることもある座位中心の仕事だが、激しい余暇活動はなし	1.6-1.7
立位の仕事(例:主婦, 販売員)	1.8-1.9
スポーツまたは激しい余暇活動(30-60分×4-5回/週)	+0.3
激しい仕事あるいは非常に活動的な余暇	2.0-2.4

(文献⁸⁾より引用)

る。成人における全身の平均的な代謝量が20-25kcal/kg程度であるのに対して、安静時における筋の代謝量は約13kcal/kgである⁴⁾。そのため、筋量は除脂肪量の約半分を占めるにもかかわらず、安静時におけるエネルギー消費については、約20%程度にしかならない。したがって、運動によって筋量だけが増加するのであれば、あまり大きなBMRの増加にはつながらないはずである。しかし、アスリートにおいては、除脂肪のうち、筋量だけではなく、肝臓や腎臓といった代謝率の大きい内臓の量も大きい⁶⁾。報告による差が大きいものの、運動に伴う除脂肪量の増加に対するBMRの変化率は、一般に13kcal/kgFFMより大きい(おおよそ50kcal/kgFFM前後)。これは、一部の研究では運動後の代謝亢進の影響を考慮できていない可能性があることに加えて、運動による内臓の量の変化も関係していることが十分に考えられる。この点については、データに基づいて検証する必要がある。

4. アスリートにおける PAL

高強度のトレーニングあるいは競技を行っている期間中における、アスリートのPALについて、幾つかの報告がある⁷⁾。特に高いPALは、強い強度を長時間持続する必要があるため、持久性の運動を行っているアスリートにおいて観察されている。

Sjodinら(1994)は、クロスカンリースキーのスウェーデン・ナショナルチームの選手を対象に、トレーニングキャンプ中の6日間において、TEEなどの測定を実施した。その結果、6

日間におけるPALは4.5に達したと報告している。また、その間、エネルギーバランス(エネルギー摂取量=エネルギー消費量)をほぼ維持している。また、ツール・ド・フランスの競技中における測定(Westerterpら, 1986)では、23日間にわたって身体組成をほぼ維持した状態で、二重標識水(doubly labeled water: DLW)法から得られたPALが3.5-5.5であった。

これだけのPALを保ちつつエネルギーバランスを維持するには、高強度の身体活動を継続できる体力があることはもちろん、エネルギーバランスを維持するに足るだけの十分量の食事を摂取できなければならない。また、糖質を豊富に含んだドリンクを積極的に摂ること、やや少量の食事を短い間隔で摂ると実現しやすい。

5. 一般健常者における日常生活の PAL および身体活動量の個人間変動

DLW法から得られたPALのデータに基づくと、1.2から2.2-2.5程度が、維持可能な(sustainable)PALの値であると考えられている^{3,7,8)}。先に述べたような例外もあるが、アスリートにおいても、多くの場合は、2.2-2.5前後かそれ以下の値が得られる。

PALが1.2-1.3程度となるのは、寝たきりあるいは病気療養中の者である(表2)。この場合、姿勢の維持を含む若干の身体活動や食事誘発性体熱産生により、BMRより若干高くなる。

これらを除いて、日常生活を特に不自由なく送っている者の多くにおいて、PALは1.4程度から2.2-2.5程度に分布すると考えられている^{3,7,8)}。食事誘発性体熱産生をTEEの約10%と