

図-4 幼児の日常生活活動における3軸加速度計の合成加速度とPAR (physical activity ratio) との関係(文献27より引用)

では過大評価になる一方で、ボール投げのような活動は過小評価になるという結果であった(図-3)。このように、Lifecorder EXは、幼児の日常生活における身体活動量を評価するのに有益だと考えられるが、成人の推定式を用いてPARを評価するには限界がある。

幼児を対象とした3軸加速度計の妥当性

幼児の身体活動は、規則的で長時間の活動時間が少なく、活動の種類においても、ブロック遊びなどの成人と異なる種類の活動があることや、低年齢の子どもほど睡眠時間が長いなどの特徴がある。さらに幼児は、児童期の子どもと比較しても垂直方向への動きが少なく、遊びの中に、回転や登るといったような、不規則な動きが多いことが指摘されている。歩行中の動作パターンについても、幼児の場合は、より水平方向への動きが大きい²⁵⁾。このような動作特性から考えると、成人以上に、1軸よりも複数の軸をもつ加速度計の意義は大きいと考えられる。このように、幼児を対象とする場合、遊びを含むさまざまな身体活動を考慮して検討した方法を用いて、日常生活における身体活動強度を評価する必要がある。これまで3軸加速度計の妥当性は、TriTrac-R3D, RT3, Tracmor, および ActivTracer などで行われて

きたものの^{12,26)}、歩行と歩行以外の生活活動では、加速度と活動強度の関係式について検討した報告は限られている。さらに、成人では線形モデルと比較して非線形モデルの方が高い相関関係が得られるという報告があるものの¹³⁾、幼児を対象に検討した研究はほとんどない¹²⁾。

Tanakaら²⁷⁾は、日本人男女幼児(6.1±0.3歳)において、3軸加速度計のActivTracer (AC-210, GMS社, 東京, 67.0×8.0×16.0mm)を用いてさまざまな身体活動量を評価する方法を検討した中で、推定モデルについても検討している。この加速度計は、2mGの分解能で40msecごとに3方向の加速度を検出する本体57gの加速度計である。これを左腰に装着し、5秒ごとに3方向のデータを保存した。図-4は、PARと合成加速度との相関を表している。ボール投げと階段昇降は、歩行と比較して、合成加速度の割にPARが大きい。合成を含む各加速度を線形および非線形モデルに当てはめたところ、いずれの場合もそのような傾向がみられ、ボール投げと階段昇降のPARを顕著に過小評価した。そこで、これら2つの活動を除いて推定式を作成し直したところ、線形モデルでも非線形モデルでも推定誤差はほぼ同様であった。また、垂直方向の加速度を用いた場合は、線形・非線形モデルのいずれでも、低強度の活動を過大評価し、ボール投げや階段昇降を

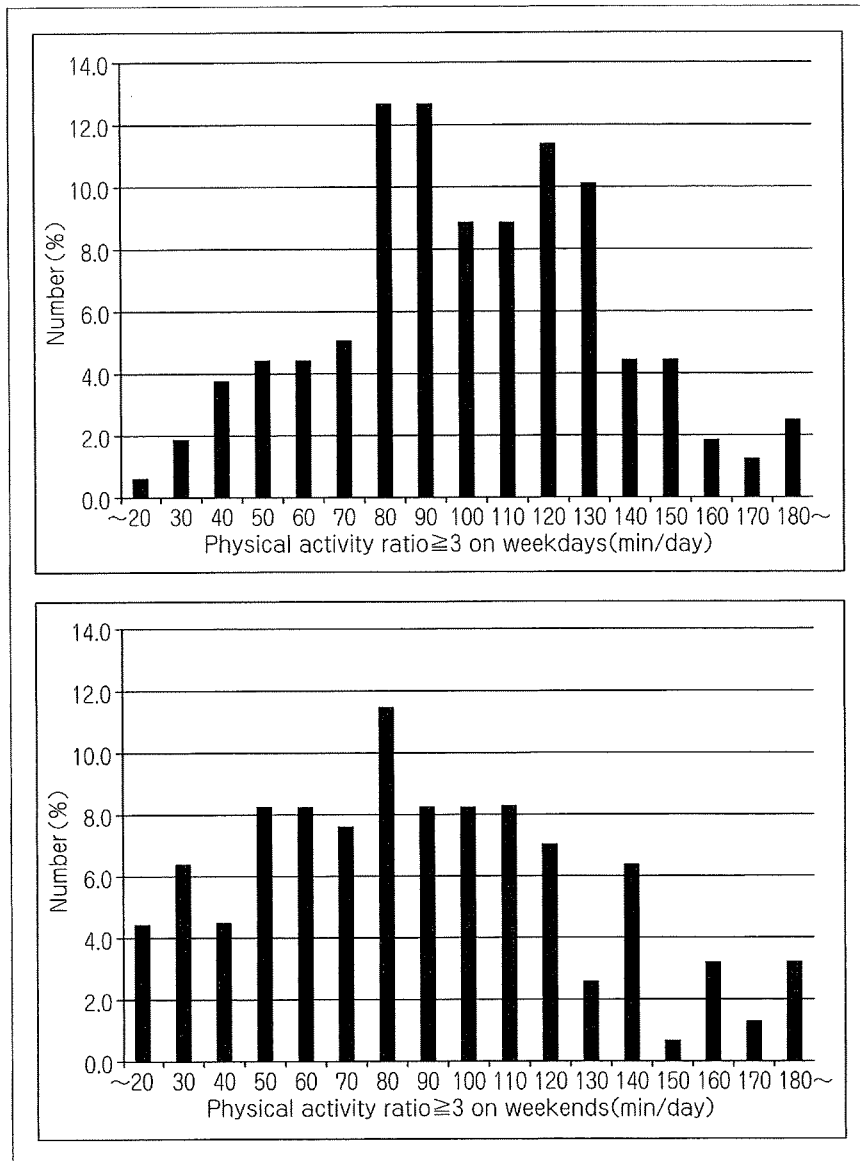


図-5 幼児の平日と休日における中強度以上の活動に要した時間の度数分布

過小評価する傾向が顕著であった。他のモデルにおいては、全体的に比較的良好な推定であったが、ボール投げや階段昇降を過小評価する傾向はみられた。そこで、垂直と水平の比率により、活動の種類を判別したところ、ボール投げの% difference が大きく改善した。このように、成人とは異なり、幼児では、線形モデルと非線形モデルは同程度の推定精度であった。

3軸加速度計により評価した日本人幼児における日常の身体活動量の実際

客観的な方法を用いて評価した日本人幼児の身体活動量に関する研究は、これまで複数なされているが、その多くは歩数を用いたものである。最近、日常における中～高強度活動の実施時間を検討した研究が報告された²⁸⁾。幼稚園と保育所に通う、4～6歳の日本人男女157名を対象に、日常の身体活動量を、平日と休日を含む6日間連続して3軸加速度計(ActivTracer)により評価したものである。図-5に、これらの幼児の平日と休日

における中強度以上の活動(MVPA)に要した時間の度数分布を示した。MVPAに要した時間の最頻値は、平日が80~89分/日と90~99分/日であった。一方、休日でも、80~89分/日が最頻値であったものの、休日は79分/日以下の幼児が平日に比較して多かった。平日と休日の身体活動量の差は、加賀谷ら²⁹⁾が歩数を用いて検討した報告と同様であった。このように、加速度計を用いた活動強度別の検討により、幼児の日常の身体活動量の変動の一部を明らかにすることが可能である。

今後の課題

予防医学の重要なターゲットである幼児における肥満予防・解消、あるいは体力増大に必要な身体活動の量や種類(強度・内容)は未解決である。従来、健康の維持・増進や疾病予防のため、体力の向上に主眼をおいた運動処方が推奨されてきたが、最近では、日常生活での身体活動量の増加に注意が向けられている。成人における「健康づくりのための運動基準2006」でも、中強度以上の身体活動全体を対象としている。肥満や生活習慣病予防、介護予防および文化的に豊かな生活を送るために、子ども、とくに幼児の段階から身体活動・運動の習慣を身につけることは、重要ではないかと考えられている。そのためには、1) どのような強度で、2) どのくらいの時間(分)、活動すればよいか、の基準を提示することが必要となる。現在、諸外国において、子どもについては、いくつかのガイドラインが存在する。現在の子どものためのガイドラインでは、成人と比べ、生活習慣病などの“リスク”が低くなる境界値を決定するというよりは、身体活動が生活習慣病の“リスクファクター”などに有効であること、およびそのために必要な強度(時間)を踏まえて、現在の身体活動量を増加させようという意図で、「1日最低60分から数時間に及ぶ中~高強度活動」などとなっている^{30~32)}。ただし、中強度(moderate intensity)活動の範囲、とくに下限値は、国際的にも定まっているとはいえない³³⁾。

日本ではまだ子どもを対象としたガイドライン

の作成は行われていないものの、重要性が指摘されている³⁴⁾。本来、生活習慣病やメンタルヘルスなどのリスクあるいはリスクファクターの方がアウトカムとしてふさわしいのではないかと考えられるものの、これらのアウトカムを用いて縦断的な検討を行うのは容易ではない³⁴⁾。その点で、一部の体力は、生活習慣病や身体活動習慣との関連も指摘されている。そのため、長期的には生活習慣病などをアウトカムとした縦断的な検討を実施し、その結果に基づいて目標値を設定すべきであるが、短期的には、体力をアウトカムとした検討に基づいて目標値を決定するのが現実的ではないかと考えられる。現在、少しでも根拠のある目標値とするために、日本人幼児を対象に、身体活動量と体力間の関係が検討されつつある³⁶⁾。

最近では、前述したように、とくに間欠的に高強度の身体活動を行うことが多い子どもでは、データ取得単位時間を短くすることが望ましいことが指摘されているものの¹⁴⁾、既存の加速度計では、装置のメモリの問題で、1分間ごとにしかデータが収集されてきていない。そのため、1分間値が、高強度の活動を中強度の活動として誤った分類をしているかもしれない。その一方、前述したように、幼児においても活動的な時間だけでなく、テレビ視聴などの不活動な時間に関しても問題視されている^{4,5)}。評価法の進展、妥当性の検証と、それに基づいた今後のさらなる研究が求められている。

文 献

- 1) Matsushita, Y. et al. : Trends in childhood obesity in Japan over the last 25 years from the national nutrition survey. *Obes. Res.* 12 : 205-214, 2004.
- 2) Bhargava, S. K. et al. : Relation of serial changes in childhood body-mass index to impaired glucose tolerance in young adulthood. *N. Engl. J. Med.* 350 : 865-875, 2004.
- 3) Taylor, R. W. et al. : Early adiposity rebound : review of papers linking this to subsequent obesity in children and adults. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* 8 : 607-612, 2005.
- 4) Proctor, M. H. et al. : Television viewing and change in body fat from preschool to early ado-

- lescence : The Framingham Children's Study. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 27 : 827-833, 2003.
- 5) Rose, D., Bodor, J. N. : Household food insecurity and overweight status in young school children : results from the Early Childhood Longitudinal Study. *Pediatrics* 117 : 464-473, 2006.
 - 6) 田中茂穂 : 運動・身体活動と公衆衛生(5)「日常生活における生活活動評価の重要性」. *日本公衆衛生雑誌* 55 : 474-477, 2008.
 - 7) 山村千晶ら : 身体活動量に関する質問票の妥当性について. *栄養学雑誌* 60 : 265-276, 2002.
 - 8) Yamamura, C. et al. : Activity diary method for prediction of energy expenditure as evaluated by a whole-body indirect human calorimeter. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 49 : 262-269, 2003.
 - 9) Wareham, N. J. et al. : Physical activity and obesity prevention : a review of the current evidence. *Proc. Nutr. Soc.* 64 : 229-247, 2005.
 - 10) Blair, S. N., Haskell, W. L. : Objectively measured physical activity and mortality in older adults. *JAMA* 296 : 216-218, 2006.
 - 11) Janz, K. F. : Use of Heart Rate Monitors to Assess Physical Activity. In : Welk, G. J. ed. *Physical activity assessments for health-related research*. Champaign, IL : Human Kinetics, 143-161, 2002.
 - 12) de Vries, S. I. et al. : Validity and reproducibility of motion sensors in youth : a systematic update. *Med. Sci. Sports Exerc.* 41 : 818-827, 2009.
 - 13) Chen, K. Y., Bassett, D. R. Jr. : The technology of accelerometry-based activity monitors : current and future. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37 : S490-S500, 2005.
 - 14) Rowlands, A. V. : Accelerometer assessment of physical activity in children : an update. *Pediatr. Exerc. Sci.* 19 : 252-266, 2007.
 - 15) Hoos, M. B. et al. : Physical activity pattern of children assessed by triaxial accelerometry. *Eur. J. Clin. Nutr.* 58 : 1425-1428, 2004.
 - 16) Westerterp, K. R. : Pattern and intensity of physical activity. *Nature* 410(6828) : 539, 2001.
 - 17) Guinhouya, C. B. et al. : Moderate-to-vigorous physical activity among children : discrepancies in accelerometry-based cut-off points. *Obesity* 14 : 774-777, 2006.
 - 18) Matthew, C. E. : Calibration of accelerometer output for adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37 : S512-522, 2005.
 - 19) Midorikawa, T. et al. : Evaluation of low-intensity physical activity by triaxial accelerometry. *Obesity* 15 : 3031-3038, 2007.
 - 20) 田中茂穂 : 身体活動レベル(PAL)とエネルギー必要量. *臨床スポーツ医学* 24 : 847-853, 2007.
 - 21) Leenders, N. Y. et al. : Energy expenditure estimated by accelerometry and doubly labeled water : do they agree? *Med. Sci. Sports Exerc.* 38 : 2165-2172, 2006.
 - 22) Kumahara, H. et al. : The use of uniaxial accelerometry for the assessment of physical-activity-related energy expenditure : a validation study against whole-body indirect calorimetry. *Br. J. Nutr.* 91 : 235-245, 2004.
 - 23) 樋口博之ら : 加速度センサーを内蔵した歩数計による若年者と高齢者の日常身体活動量の比較. *体力科学* 52 : 111-118, 2003.
 - 24) 田中千晶ら : 一軸加速度計を用いた幼児の身体活動量の評価精度. *体力科学* 56 : 489-500, 2007.
 - 25) Oliver, M. et al. : Physical activity in preschoolers : understanding prevalence and measurement issues. *Sports Med.* 37 : 1045-1070, 2007.
 - 26) Plasqui, G., Westerterp, K. R. : Physical activity assessment with accelerometers : an evaluation against doubly labeled water. *Obesity* 15 : 2371-2379, 2007.
 - 27) Tanaka, C. et al. : Triaxial accelerometry for assessment of physical activity in young children. *Obesity* 15 : 1233-1241, 2007.
 - 28) 田中千晶, 田中茂穂 : 幼稚園および保育所に通う日本人幼児における日常の身体活動量の比較. *体力科学* 58 : 123-129, 2009.
 - 29) 加賀谷淳子ら : 歩数からみた幼児の身体活動の実態 - 子どもの身体活動量目標値設定に向けて -. *J. Exer. Sci.* 13 : 1-8, 2003.
 - 30) National Association for Sport and Physical Education. *Active start : a statement of guidelines for children birth to five years*, Reston, VA : Author, 2002.
 - 31) National Association for Sport and Physical Education. *Physical activity for children : a statement of guidelines (2nd ed.)*, Reston, VA : Author, 2004.
 - 32) Strong, W. B. et al. : Evidence based physical activity for school-age youth. *J. Pediatr.* 146, 732-737, 2005.

- 33) 田中千晶：子どもの身体活動量とエネルギー消費量. トレーニング科学 20 : 233-238, 2008.
- 34) 日本学術会議健康・生活科学委員会健康・スポーツ科学分科会：「子どもを元気にするための運動・スポーツ推進体制の整備」. 2008年8月.
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-t62-10.pdf>
- 35) Twisk, J. W. R. : Physical activity guidelines for children and adolescents : a critical review. Sports Med, 31 : 617-627, 2001.
- 36) 田中千晶ら：幼児における日常の身体活動量と体力との関係. 平成20年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告Ⅱ 日本の子どもにおける身体活動・運動の行動目標設定と効果の検証 - 第3報 - : 6-12, 2009.

Why Exercise and Sports ?

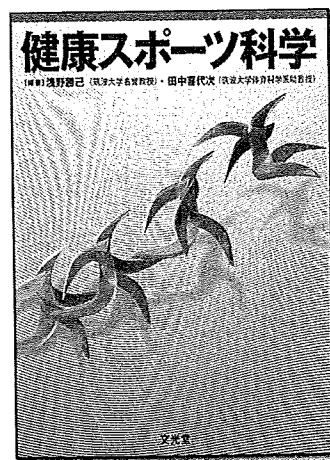
健康スポーツ科学

編著 浅野 勝己 筑波大学名誉教授
田中喜代次 筑波大学教授

好評
発売中

B5判 304頁 2色刷 定価 3,675円 (本体 3,500円 + 税5%)

- スポーツ生理学, スポーツ医学, 健康科学の領域で活躍中の研究者によって執筆された「健康・スポーツ科学」の最新の教科書.
- 健康スポーツ科学の基礎から応用, ライフステージ別に見た運動・スポーツ, 栄養・睡眠・環境などと運動・スポーツについて, 最新情報をもとに詳しく解説.
- 健康スポーツ科学の応用では, 各疾患別の運動プログラムも紹介されており, 実践書としても用いることができる.
- 各項目の最後には要点が「KEY POINT」として簡潔にまとめられていて, 学習内容の確認と整理に役立つ.
- スポーツドクターやスポーツ指導者, またこれから「健康・スポーツ科学」を学ぼうとする学生には最適の書.



<http://www.bunkodo.co.jp> 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-2-7 Tel 03(3813)5478 Fax 03(3813)7241

文光堂

総論 エネルギー消費量とその測定方法*

keywords: エネルギー消費量、基礎代謝量、身体活動レベル

田中茂穂 Shigeho TANAKA, Ph.D.

◆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リーダー)
Health Promotion and Exercise Program, National Institute of Health and Nutrition

総エネルギー消費量は、基礎代謝量と食事誘発性体熱産生、身体活動によるエネルギー消費量に分けられる。基礎代謝量は、標準的な日本人において約6割を占めるが、体格・身体組成からある程度推定できる。ただし、ハリス・ベネディクトの式では、若い年代をはじめ、成人全体において、過大評価する傾向がみられる。一方、身体活動、特に運動以外の身体活動によるエネルギー消費量(NEAT)には、同じ体格でも大きな個人差がみられる。総エネルギー消費量を推定するための方法としては二重標識水(DLW)法がベストの方法とされているが、現実的には、それぞれの方法の特徴をふまえた上で、加速度計法あるいは生活活動記録などを用いることとなる。

I. 総エネルギー消費量 (total energy expenditure; 以下、TEEと略)の内訳

一日当たりのエネルギー消費量= TEEは、以下のような構成要素に分けられる。

1) 基礎代謝量(basal metabolic rate; 以下、BMRと略)

人が生きていく上で必要な最小限のエネルギーを評価しようという意図から出てきた概念である¹⁾²⁾。一般に、以下の条件で測定される。

- ・約12時間以上の絶食
- ・安静仰臥位で、筋の緊張を最小限にした状態
- ・快適な室温で、心身ともにストレスの少ない覚醒状態

BMRは測定前日から、測定実施場所に宿泊して測定をすることもあるが、当日の朝、測定実施場所へ移動し、十分な安静(30分以上)を保った後測定されることも多い¹⁾²⁾。

一般に、BMRがTEEの中で最も大きな構成成分である。TEEをBMRで割った身体活動レベル(physical activity level; 以下、PALと略)の標準値は、日本人の食

事摂取基準(2010年版)³⁾においても、また、欧米人においても⁴⁾1.75程度であるので、逆算すると、BMRはTEEの約60%程度を占めると考えられる。

BMRは、筋肉の緊張を最小限にした状態で測定される。そのため、除脂肪量の約半分を占める筋肉がBMR測定時に消費するエネルギーは20%程度で、その他、脳、肝臓、心臓、腎臓等の内臓も大きな割合を占めている⁵⁾(表1)。したがって、体重、中でも除脂肪量がわかれば、BMRをより高精度で推定することが可能となる。BMRは一般に女性

表1 安静時における臓器別エネルギー消費量 (reference man) .

	重量(kg)	代謝率 (kcal/kg/day)	代謝量の割合(%)
骨格筋	28	13	21.6
肝臓	1.8	200	21.3
脳	1.4	240	19.9
心臓	0.33	440	8.6
腎臓	0.31	440	8.1
脂肪組織	15	5	4.0
その他	23.16	12	16.5
計	70		100.0

*Methodology for evaluation of total energy expenditure

より男性、高齢者より若年者の方が大きいですが、これも、除脂肪量や除脂肪の構成比の違いでおおよそ説明がつく²⁾。体格のバラツキに伴い、BMRの個人間差は非常に大きく、TEEの個人間差の最大の原因でもある。ただし、一方で、体格が決まれば、ほとんどの場合、±150kcal以内の個人間変動であり、バラツキはそれほど大きくないとも言える²⁾⁶⁾。

2) 食事誘発性体熱産生

食後に、主として食物を消化・吸収・運搬するためにみられる熱産生は、たんぱく質を摂取した後に顕著である(摂取したエネルギーの約20～30%)。そのため、長年「特異動的作用(specific dynamic action)」と呼ばれてきた。しかし、糖質や脂質を摂取した場合にも観察される(それぞれ5～10%、～5%)。最近では「食事誘発性熱産生(diet-induced thermogenesis: DITあるいはthermic effect of food (meal): TEF(TEM))」と呼ばれることが多い。摂取エネルギーのおよそ6～10%程度が食事誘発性体熱産生として消費されると考えられている⁷⁾。

3) 活動時代謝量

身体活動によるエネルギー消費量(活動時代謝量)には、歩行や運動はもちろん、家事や仕事等における動作や姿勢の保持(座位を保つための筋の緊張なども含まれる)など、様々な筋活動を伴う広義の身体活動によるエネルギー消費量が含まれる。

TEEをBMRで割ったPALは、スポーツ選手や重労働従事者でなくても、1.4～2.2前後の広い範囲に分布する。BMRを1400kcal/日、食事誘発性体熱産生をTEEの10%とすると、このPALのバラツキによる活動時代謝量の幅は、およそ350kcal/日～1400kcal/日に相当する。スポーツなどの運動は、せいぜい300kcal/日前後か、多くの場合それ以下であると考えられるので、運動以外の身体活動量(nonexercise activity thermogenesis: NEAT)のバラツキも大きく貢献していると考えられる⁸⁾。

II. エネルギー代謝の測定法

1) 直接法

消費されたエネルギーは、熱となって放散されるため、そ

の熱量を直接測ればよい。代表的な直接法の測定機器であるAtwater-Rosa-Benedict human calorimeterの場合、測定室内の被験者が放射する熱を、室内に張りめぐらされた管を流れる水の温度から測定する。また、室内で発生した水蒸気量から呼気等の水蒸気の気化熱を測定するとともに、体温の変化も考慮して、エネルギー消費量を評価する。このように、装置が大がかりで、活動内容も限定されるため、最近ではほとんど使用されていない。

2) 間接法

エネルギーを生み出す際、食物からとりこんだ栄養素が酸素と反応(酸素摂取)し、二酸化炭素を産生する。これらの化学式に基づいて、酸素摂取量と二酸化炭素産生量、および尿中窒素量が正確に得られれば、多くの場合1%程度かそれ以下の誤差で、エネルギー消費量が推定できる。例えば、最もよく利用されるWeir⁹⁾の式は、以下の通りである。
$$EE(kcal) = 3.941 \times \text{酸素摂取量} + 1.106 \times \text{二酸化炭素産生量} - 2.17 \times \text{尿中窒素排泄量}$$

また、三大栄養素のうち、摂取エネルギーに占めるたんぱく質の割合は比較的安定している。そこで、たんぱく質の占める割合を12.5%と仮定すると、先のWeirの式は以下のようなになる。

$$EE(kcal) = 3.9 \times \text{酸素摂取量} + 1.1 \times \text{二酸化炭素産生量}$$

たんぱく質の占める割合が20%を大きく越えるような極端に偏った食事であったり、激しい運動中に限定したりしなければ、尿中窒素排泄量を考慮しないことによる誤差の影響は1%未満であり、呼気分析だけでも十分に正確に測定することができる。

間接法は、直接法と比べて簡便に実施できる上に、ズレの小さい仮定に基づいており、直接法による測定と非常によく一致する。しかも、エネルギー基質の評価が可能である。したがって、しっかりとした呼気分析が行われるのであれば、非常に正確かつ有用な方法である。

III. TEEの評価法

1日あるいはそれ以上の長時間にわたるエネルギー消費量を推定するには、以下のような方法がある。

1) エネルギー代謝測定室

ヒューマンカロリメーターあるいはメタボリックチャン

バーなどとも呼ばれる。人が数時間～数日生活できる部屋(机やベッド、トイレなど) (図1) と、ガス濃度や流量等の測定機器を備えた設備である。被験者は、マスクのような呼気採取用の特別な機器を装着することなく、室内で自由にあるいは一定の実験計画に従って過ごすことができる。被

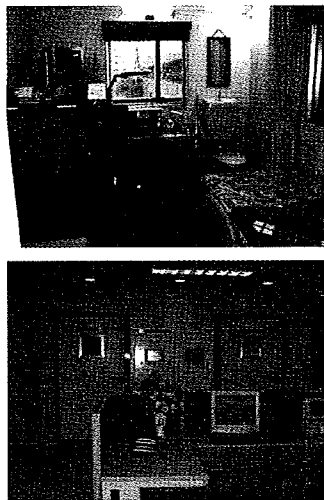


図1 エネルギー代謝測定室の外観(下)と室内(上)

験者は、滞在中に酸素を消費し二酸化炭素を排出するが、給排気される空気の量を流量計により、給気口と排気口における酸素および二酸化炭素の濃度を濃度分析計により測定する。それらから得られる酸素消費量および二酸化炭素産生量よりエネルギー消費量を推定する「間接法」によるものがほとんどである。測定機器を含む設備全体が十分に管理されれば、既存の設備の中では、数時間以上に及ぶエネルギー消費量を、最も正確に測定することができる。例えば、国立健康・栄養研究所のエネルギー代謝測定室の場合、6時間のアルコール燃焼試験の結果は、エネルギー消費量の真値に対して $-0.2 \pm 0.5\%$ である。

ただし、生活の場が室内に限定されるため、個人の生活実態を反映した日常のTEEとは異なる。したがって、実験的に再現した特定の条件下(活動内容、食事、その他の室内環境など)におけるエネルギー消費量を測定したり、他の方法の妥当性を検討したりするのに利用される。

2) 二重標識水(Doubly labeled water: DLW) 法

DLW法は、水素(O) と酸素(H) の安定同位体を用いてエネルギー消費量を測定する方法で、現時点では、日常生活におけるエネルギー消費量の測定方法のうち最も正確であるとされている¹⁰⁾。アメリカ/カナダや日本における食事摂取基準のエネルギー必要量は、DLW法により測定されたエネルギー消費量の値を基準に策定されている。

DLW法では原子核が安定し放射性をもたない安定同位体である ^{18}O と ^2H を、自然界に存在する比率よりも多く含む水(二重標識水)を、体重あたりで一定の割合で摂取

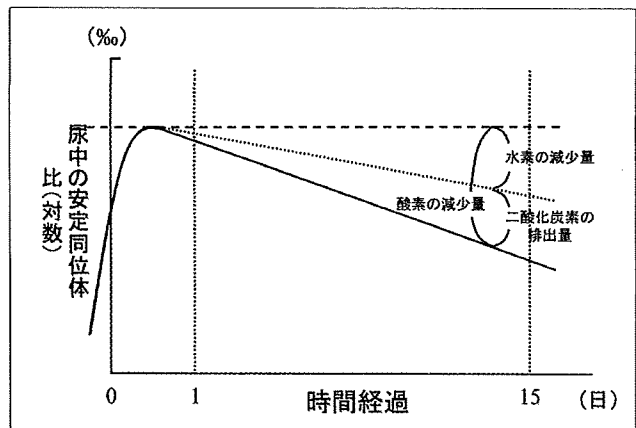


図2 DLW投与後における尿中の安定同位体比の変化

する。この水は4～8時間程度で体全体の水分にまんべんなくいきわたった後、酸素は水分(尿・汗・呼気中の水蒸気)や呼気ガス中の二酸化炭素として、水素は水分として排出される。そこで、体の水分の一部(尿、唾液など)について、同位体比質量分析計を用いて、 ^{18}O と ^{16}O の存在比($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$)と ^2H と ^1H の存在比($^2\text{H}/^1\text{H}$)を測定すると、対数で示したそれらの排出率は、図2のように減少する。ここで、 ^{18}O の排出率が ^2H の排出率より大きく、その差が二酸化炭素の産生量と推測できる。摂取した食物の基質構成比等から推定した呼吸商を用いて酸素摂取量を求め、エネルギー消費量を算出する。

DLW法では、測定される対象者は二重標識水を摂取し、尿や唾液などのサンプルを採るのみで、活動の制約がまったくないため、乳幼児や妊産婦、高齢者など幅広い対象への適用が可能である。一方で、DLW法は、測定期間中の体水分量が一定である、 ^{18}O と ^2H が水分と二酸化炭素としてのみ体外に排出されるなど、いくつかの前提条件のもとに成り立っている。また、 ^{18}O と ^2H を投与後、体内での $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ と $^2\text{H}/^1\text{H}$ が十分に低下した時点まで(1～2週間)の平均のエネルギー消費量を測定する方法であり、短期間のエネルギー消費量を測定するには適さない。 ^{18}O の価格が高く、質量比分析計を用いた分析が簡単ではないことから、多数の対象の測定や保健指導等の現場での測定にはそぐわない。TEEの推定精度は、エネルギー代謝室を基準とした場合、確度・精度ともに一般に $\pm 5\%$ 程度である¹⁰⁾。

3) 心拍数法

心拍数は、特に中～高強度の活動において、エネルギー

消費量と正の相関がみられる。そこで、小型の心拍計モニターを使って1日以上にわたって心拍数を測定し、あらかじめ個人別に作成しておいたエネルギー消費量と心拍数との関係式を用いて1日のエネルギー消費量を推定することができる。しかし、日常生活の大部分を占める低強度の活動時においては、エネルギー消費量と心拍数の相関はそれほど強くないため、推定誤差が生じる。また、常に電極を装着し小型のモニターを腰部のベルトなどに携帯することによる不快感や、活動を多少制限する可能性があるという問題もある。分析にもかなりの手間を要する。

4) 加速度計法

歩数あるいは加速度の大きさはエネルギー消費量と正の相関があることを利用して、エネルギー消費量を推定する方法である。一般に腰部に装着し、その多くは数十gなので、不快感は少ない。歩数計の一部および活動量計の多くは上下方向だけ(1次元)の加速度計であるが、3次元の加速度計もある。ただし、比較的低強度の活動をはじめ、重い物を持ってじっと立っている場合、坂道を昇り降りする場合など、加速度の大きさや加速度の振動の速さは、必ずしもエネルギー消費量と対応しないことがある。そのため、活動量を相対的に評価するには有効な手段となるが、一般に1日のエネルギー消費量を過小評価する傾向にある^{11)~13)}。また、加速度計の種類によって推定の方法、ひいては推定精度に大きな違いがある。そのため、使用する際には、どのような活動をどの程度正確にとらえることができるのか、事前に確認する必要がある。

5) 生活活動記録法

活動内容を本人または観察者が記録し、それぞれの活動時のエネルギー消費量を、メッツ値¹⁴⁾などを用いて推定し、それらを加算することによって、長時間におけるエネルギー消費量を推定する方法である。生活内容に関する情報さえあれば利用できることから、エネルギー消費量・必要量の推定などに、幅広く利用されてきた。ただし、一般に集団の平均値には大きな誤差はないものの、個人における推定誤差はかなり大きいことに留意する必要がある¹⁵⁾¹⁶⁾。

IV. エネルギー必要量の考え方

エネルギー必要量は、“エネルギー消費量”から得られる。子ども・妊婦・授乳婦の場合は、更に成長や授乳などに要する付加量加わる。エネルギー摂取量でないのは、以下の2つの理由による。

・健康な状態であれば、消費した分だけのエネルギーを摂取して、体重を維持する必要があるため

・エネルギー摂取量は、一般に過小評価されるため¹⁷⁾¹⁸⁾

「日本人の食事摂取基準(2010年版)」³⁾では、推定エネルギー必要量(EER)とは、「当該年齢、性別、身長、体重、および健康な状態を損なわない身体活動量を有する人において、エネルギー出納(成人の場合、エネルギー摂取量-エネルギー消費量)がゼロ(0)となる確率が最も高くなると推定される、習慣的なエネルギー摂取量の1日当たりの平均値」と定義される。他の栄養素に適用される摂取基準とは異なり、それより少なくとも多くてもエネルギー収支が適正である確率は同程度に低下する。DLW法を用いた研究結果を踏まえて、システムティックレビューに基づき決定されている。

推定エネルギー必要量は、BMRにPALを乗じて求める。

$$EER = BMR \times PAL$$

2010年版の推定エネルギー必要量は、特に運動をしていない人でも、座る、移動で歩く、家事や余暇などの日常における身体活動だけで、BMRの1.6~1.9倍程度のエネルギーを消費していることを意味している。欧米で得られたDLW法の結果をみても、標準的なPALの値はおおよそ1.75程度である⁴⁾。

尚、成人における基礎代謝基準値は20.7kcal/kg/日(50歳以上の女性)~24.0kcal/kg/日(20歳代の男性)である。これに1.75をかけて得られる体重当たりのTEE(kcal/kg/日)は40kcal/kg/日前後、「低い」の代表値である1.5をかけても31~36kcal/kg/日程度となる。これらの値は、「日本糖尿病学会編 糖尿病治療ガイド 2008-2009」に示されている値と比べると、かなり大きい。

V. BMRの推定法

BMRは、正確に測ることが可能であれば、個人毎に実測するのが望ましい。しかし、体格でおおよそ決定される

表2 「日本人の食事摂取基準(2010年度版)」における基礎代謝基準値と、基準体重における基礎代謝量

性別	男性			女性		
	基礎代謝基準値 (kcal/kg体重/日)	基準体重 (kg)	基礎代謝量 (kcal/日)	基礎代謝基準値 (kcal/kg体重/日)	基準体重 (kg)	基礎代謝量 (kcal/日)
1~2(歳)	61.0	11.7	710	59.7	11.0	660
3~5(歳)	54.8	16.2	890	52.2	16.2	850
6~7(歳)	44.3	22.0	980	41.9	22.0	920
8~9(歳)	40.8	27.5	1,120	38.3	27.2	1,040
10~11(歳)	37.4	35.5	1,330	34.8	34.5	1,200
12~14(歳)	31.0	48.0	1,490	29.6	46.0	1,360
15~17(歳)	27.0	58.4	1,580	25.3	50.6	1,280
18~29(歳)	24.0	63.0	1,510	22.1	50.6	1,120
30~49(歳)	22.3	68.5	1,530	21.7	53.0	1,150
50~69(歳)	21.5	65.0	1,400	20.7	53.6	1,110
70以上(歳)	21.5	59.7	1,280	20.7	49.0	1,010

ので、体重などを用いた推定式が様々な対象について作成されている。「日本人の食事摂取基準(2010年版)」³⁾においては、BMRを推定するために、性・年齢別に体重に乗じる係数(基礎代謝基準値)が示されている(表2)。2005年版とほぼ同様の値が採用されているが、18~29歳の女性における基礎代謝基準値のみ、23.6 kcal/kg/日から22.1kcal/kg/日に変更された。

基礎代謝基準値、ハリス・ベネディクトの式¹⁹⁾、および国立健康・栄養研究所から発表された新たな推定式⁶⁾の3つについて、健常な成人男女を対象に、性・年齢階級別に推定誤差をまとめたのが、図3である。基礎代謝基準値は、全体にやや高めではあるものの、推定誤差の平均値は、多くの性・年齢階級で50kcal/日前後である。ただし、推定誤差の標準偏差は、3つの推定式の中で最も大きい。すなわち、基礎代謝基準値を用いたBMR推定値は、平均としてはそれほどずれていないものの、個人別にみる

と推定誤差が大きいことを示している。これは、性・年齢階級別に一定の係数を体重にかけているだけなのに対し、他の2式が、身長や年齢が連続変数として考慮されていることによると考えられる。また、2010年版で基準値が唯一変更された18~29歳女性においては、新たな基準値を用いると、推定値と実測値の平均値がほぼ一致している。

一方、ハリス・ベネディクトの式では、高齢の男性では推定値と実測値が比較的一致しているものの、それ以外の成人の性・年齢階級では過大評価される。18~29歳女性をはじめとして、男女とも若いほどその差が

大きい。それに対して、国立健康・栄養研究所の式は、いずれの性・年齢階級においても、推定誤差の平均および標準偏差とも相対的に良好な値が得られている。

尚、基礎代謝基準値を用いた場合、基準体位から外れるほど、推定の誤差が大きくなり、過体重者では過大評価²⁰⁾、低体重者は高く推定される。以上で述べたようなBMRの推定誤差は、もしPALが正しく推定できた場合、その分だけ(標準的な成人であれば1.75倍)、TEEの推定誤差として拡大されることとなる。

<脚注>

国立健康・栄養研究所の式⁶⁾は、以下のとおりである。

$$\begin{aligned}
 \text{BMR} = & (0.1238 + 0.0481 \times \text{体重(kg)} \\
 & + 0.0234 \times \text{身長(cm)} - 0.0138 \times \text{年齢(歳)} \\
 & - 0.5473 \times \text{性別}^*) \\
 & \times 1000 / 4.186 (\text{性別}^* \text{ 男性:1 女性:2})
 \end{aligned}$$

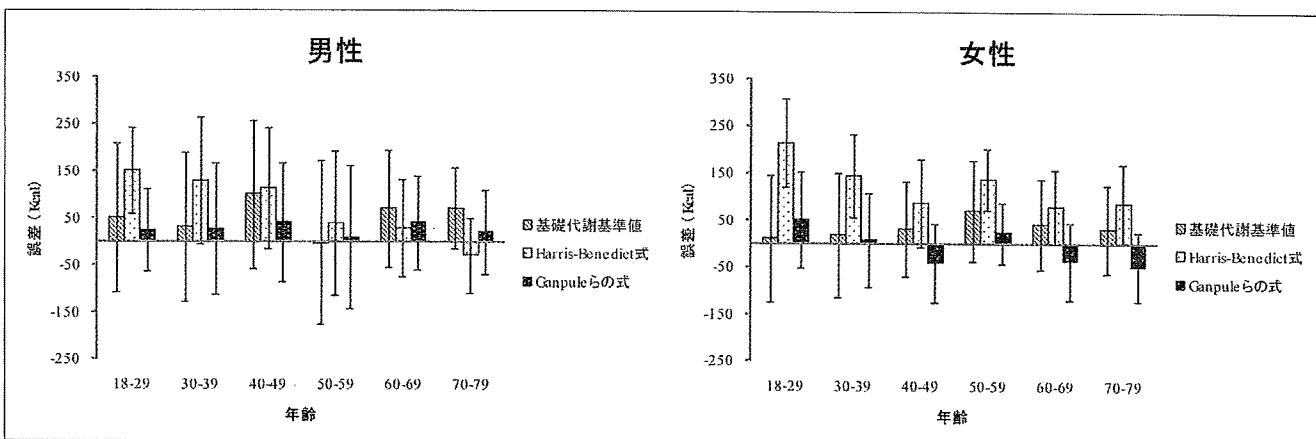


図3 基礎代謝量の各推定式による推定誤差(値は、(推定値-実測値)の平均±標準偏差)

VI. 高齢者

一般に、高齢になるほど身体活動量は減少すると考えられる。「日本人の食事摂取基準(2005年版)」においては、70歳以上における「ふつう」のPALを1.5と低く設定してあった。しかし、2010年版においては、「ふつう」の値が1.7とかなり大きくなり、70歳未満に近い値となった。これは、2005年版策定以降にDLW法を用いた論文で報告された値が全体に大きかったためであり、時代変化というわけではない。

この値は、自立した生活を送っている、比較的元気な高齢者を対象に得られたものであるが、実際は、生活状況により大きな違いがあると考えられる。その点に関するデータはほとんどないが、平均年齢82歳の自宅生活者と施設入居者のPALを比較した報告²¹⁾によると、自宅生活者のPALは平均1.6であったのに対し、施設入居者においては1.4であった。

また、90歳代の男女におけるPALは、それぞれ1.31と1.18であったという報告もある²²⁾。

VII. 入院患者および自宅療養者

これらの対象者においては、BMRに近い値となるが、活動量が少なくても、以下の点は考慮する必要がある。

- ・食事誘発性体熱産生がTEEの約10%を占めること
- ・仰臥位以外の時間や動作量に伴って、エネルギー消費量は大きくなる

(座位は仰臥位より、エネルギー消費量が約10%大きい²³⁾)

これらのことから、ベッド上で仰臥位の時間が長い人でも、食事誘発性体熱産生を考慮して、少なくとも基礎代謝のおよそ10%、多少の動きが加わることを考えると、およそ20%の増加が見込まれる。

また、ヒューマンカロリーメーターで健常人あるいは障害者を測定した結果がいくつか報告されているが、一部はPALが1.2強、多くは1.3前後で、健常人において日常生活で想定される下限に近い軽度のプログラムにおいては、約1.4であった²⁴⁾。また、ヒューマンカロリーメーターを用いた日本人を対象とした研究において、運動等の時間を運動以外の覚醒時の平均で補間すると 1.38 ± 0.12 というPALの値が得られている²⁵⁾。

尚、熱傷をはじめ一部の疾病の場合は、BMRが亢進していることがある²⁶⁾²⁷⁾。それらの対象については、実測するか、BMRの推定値にストレス係数をかけることによって、亢進したBMRを推定する必要がある。ただし、これらの対象者は、身体活動量が非常に少ないため、BMRの亢進があっても、ほとんどの場合、TEEはむしろ低くなる。また、ストレス係数は主に急性期に適用されるべきものであることにも留意する必要がある。

以上の点を踏まえると、ストレス係数が不要である患者におけるエネルギー必要量は、およそ以下のように考えられる。

- ・ベッドで横になっている時間の多い人：BMRの約1.2倍
- ・ベッド上で起き上がりたりベッド周辺を移動したりする時間が長い人：BMRの約1.3倍
- ・ベッド近辺に留まらず、自宅内、病棟内を移動できる人：BMRの約1.4倍

もちろん、生活時間の内訳(座位や立位、歩行の時間など)から、おおよその推定も可能である。尚、睡眠時間全体におけるエネルギー消費量はBMRとほぼ等しいことが、欧米人のみならず、日本人においても確認されている⁶⁾²⁵⁾。

尚、入院患者のBMRの推定にハリス・ベネディクトの式が用いられることが多いが、この式では、先に述べたように、性・年齢階級によって程度は異なるものの、一般健常人においても、全体に高い推定値が得られる。除脂肪量が小さく、栄養状態が低下している入院患者の場合は、更に過大評価の傾向が著しい可能性があると考えられる。

参考文献

- 1) 柏崎浩. エネルギー所要量の歴史と現状. 小林修平編著, 栄養所要量・基準量と食生活ガイドライン. 建帛社、東京、1997、p.61-125.
- 2) 田中茂穂. 人の基礎代謝量. 実験医学 27 (増刊 肥満・糖尿病の病態を解明するエネルギー代謝の最前線): 1058-1062, 2009.
- 3) 厚生労働省. 日本人の食事摂取基準 (2010年版) (日本人の食事摂取基準策定検討委員会報告書) 2009.
- 4) Westerterp KR. Impacts of vigorous and non-vigorous activity on daily energy expenditure. Proc Nutr Soc 62: 645-650, 2003.
- 5) Elia M. Organ and tissue contribution to metabolic rate. Edited by Kinney JM and Tucker HN. Energy Metabolism. Tissue Determinants and Cellular Corrolaries. Raven Press, New York, 1992, p.61-77.
- 6) Ganpule AA, Tanaka S, Ishikawa-Takata K, et al. Interindividual variability in sleeping metabolic rate in Japanese subjects. Eur J Clin Nutr 61: 1256-1261, 2007.
- 7) Van Zant RS. Influence of diet and exercise on energy expenditure--a review. Int J Sport Nutr 2: 1-19, 1992.
- 8) 田中茂穂. 日常生活における生活活動評価の重要性. 日本公衛誌 55: 474-477, 2008.
- 9) Weir JBdV. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. J Physiol 109: 1-9, 1949.
- 10) Speakman JR. The history and theory of the doubly labeled water technique. Am J Clin Nutr 68: 932S-938S, 1998.
- 11) 田中茂穂. 間接熱量測定法による1日のエネルギー消費量の評価. 体力科学 55: 527-532, 2006.
- 12) 田中茂穂. 身体活動レベル(PAL)とエネルギー必要量. 臨床スポーツ医学 24: 847-853, 2007.
- 13) Plasqui G, Westerterp KR. Physical activity assessment with accelerometers: an evaluation against doubly labeled water. Obesity (Silver Spring) 15: 2371-2379, 2007.
- 14) Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC, et al. Compendium of Physical Activities: An update of activity codes and MET intensities. Med Sci Sports Exerc 32: S498-S516, 2000.
- 15) 山村千晶, 田中茂穂, 柏崎浩. 身体活動量に関する質問票の妥当性について. 栄養学雑誌 60: 265-276, 2002.
- 16) Neilsen HK, Neilson HK, Robson PJ, Friedenreich CM, et al. Estimating activity energy expenditure: how valid are physical activity questionnaires? Am J Clin Nutr 87: 279 -291, 2008.
- 17) Livingstone MB, Black AE. Markers of the validity of reported energy intake. J Nutr 133: 895S-920S, 2003.
- 18) Okubo H, Sasaki S, Rafamantanantsoa HH, et al. Validation of self-reported energy intake by a self-administered diet history questionnaire using the doubly labeled water method in 140 Japanese adults. Eur J Clin Nutr 62: 1343-1350, 2008.
- 19) Harris JA, Benedict FG. A biometric study of basal metabolism in man. Carnegie Institute of Washington, Washington DC, 1919.
- 20) Tanaka S, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, et al. Accuracy of predictive equations for basal metabolic rate and contribution of abdominal fat distribution to basal metabolic rate in obese Japanese people. Anti-Aging Med 5: 17-21, 2008.
- 21) Fuller NJ, Sawyer MB, Coward WA, et al. Components of total energy expenditure in free-living elderly men (over 75 years of age) : measurement, predictability and relationship to quality-of-life indices. Br J Nutr 75: 161-173, 1996.
- 22) Rothenberg EM, Bosaeus IG, Westerterp KR, et al. Resting energy expenditure, activity energy expenditure and total energy expenditure at age 91-96 years. Br J Nutr 84: 319-324, 2000.
- 23) 沼尻幸吉. 活動のエネルギー代謝. 増補第2版. 労働科学研究所出版部, 東京, 1979.
- 24) Black AE, Coward WA, Cole TJ, et al. Human energy expenditure in affluent societies: an analysis of 574 doubly-labelled water measurements. Eur J Clin Nutr 50: 72-92, 1996.
- 25) 田中茂穂, 田中千晶, 二見順, ほか. ヒューマンカロリメーターを用いて測定した座位中心の生活における1日あたりのエネルギー消費量. 日本栄養・食糧学会誌 56: 291-296, 2003.
- 26) Gibney ER. Energy expenditure in disease: time to revisit? Proc Nutr Soc 59: 199-207, 2000.
- 27) Kulstad R, Schoeller DA. The energetics of wasting diseases. Curr Opin Clin Nutr Metab Care. 10: 488-493, 2007.

特集

運動と新しい食事摂取基準2010



メッツと基礎代謝

田中 茂穂

1. 活動強度の指標

エネルギー消費量は、活動時における動作量が同じでも、体格によって異なる。そのため、個々の身体活動別に強度を表す指標を大別すると、

①体重（あるいは除脂肪量）当たりのエネルギー消費量 (kcal/kg/min)

②安静時におけるエネルギー消費量で除することによる補正

のいずれかが一般的である。

これらのうち、①体重当たりのエネルギー消費量は、体重の測定が簡単であるため利用しやすい。しかし、以下のような問題がある。

- ・性・年齢によって、体重当たりの安静時代謝量は大きく異なる。そのため、エネルギー消費量の推定に用いようとすると、誤差が大きくなる。
- ・体重の移動あるいは保持するタイプの活動（立位、歩行・走行など）の場合、エネルギー消費量は体重に比例する。しかし、その他の多くの活動（座位、仰臥位、自転車漕ぎなど）の場合、体重の1乗未満に比例する¹⁾。すなわち、体重で除すると、過剰な補正となる。

そのため、一般には②の方法が用いられる。具体的には、以下の3つの指標がある。

1) activity factor (Af) あるいは physical activity ratio (PAR)

Af あるいは PAR は、基礎代謝量 (basal metabolic rate : BMR) の倍数で表した、各身体活動の強度の指標である^{2,3)}。Af は、日本の栄養所要量・食事摂取基準などで用いられてきた用語である。国際的にも、身体活動毎に限らず、1日当たりのエネルギー必要量 (⇒後述の身体活動レベル (PAL)) について利用されることもあった。しかし最近では、身体活動別の強度については、FAO/WHO/UNU⁴⁾ を含め PAR と呼ぶことが多い。

なお、PAR は一般に1分間当たりの指標であるのに対し、身体活動レベル (physical activity level : PAL) は、1日当たりの身体活動量の指標である (= 総エネルギー消費量 (total energy expenditure : TEE) ÷ BMR)³⁾。PAR あるいは Af は、PAL と分母が同じ (= BMR) であるため、PAL への換算がしやすい。

分母の BMR は、食後約12時間経過後に仰臥位安静にて、快適な温度条件で測定したもので、性・年齢や体格からの推定式が数多く発表されている。そのため、対象特性にあった適切な推定式を選べば、エネルギー消費量を比較的小さな誤差で推定できる。

各身体活動時のエネルギー消費量は、絶食状態

で実施することもあるが、食後2~5時間程度で実施することが多い。したがって、BMRの方には食事誘発性体熱産生 (diet-induced thermogenesis: DIT) の影響が入っていないのに対して、分子の「身体活動のエネルギー」については、多量なりとも含まれていることが一般的である。

2) エネルギー代謝率 (relative metabolic rate: R.M.R.)

エネルギー代謝率は、労働科学の立場から、各種作業のエネルギー消費量、ひいては労働時間全体や1日のエネルギー必要量を推定するために考えられた指標である⁵⁾。指標が決定するまでには紆余曲折があった⁶⁾が、最終的には、作業環境における安静状態からのエネルギーの増加分を、BMRで除することによって、体格等の影響を除くこととした。

$$\text{R.M.R.} = (\text{労作時のエネルギー消費量} - \text{座位安静時代謝量}) \div \text{BMR}$$

ここでの座位安静時代謝量は、「労作強度を測定する前あるいは後に同じ被験者について、その現場と同じ環境条件下で測定する。なおこの場合には作業の直接影響を除くため、5~20分程度安静を保たせておいてから測定する」という労働強度測定法に関するエネルギー代謝率研究委員会協定 (1952) に従っている。すなわち、DITや環境温度などの影響も受ける。労作時のエネルギーについても同様である。

それに対し、BMRは、仰臥位・覚醒状態であるのはもちろん、12時間程度の絶食や快適な室温なども条件に入っている。そのため、実際の作業場での基礎代謝の測定は不可能で、理論値 (推定値) によることが原則となっている⁷⁾。

エネルギー代謝率の座位安静時を考える際に、「座位は仰臥位の約10%増」としているが、その根拠については、沼尻⁷⁾も指摘しているように、科学技術庁資源局調査会「昭和34年日本人の栄養所要量」(1959)のわずか4例の結果である。絶食状態など、DITの影響が同じ条件で座位安

静時代謝量とBMRを比較したものとして、Stricklandら⁸⁾は、安静仰臥位と比較して安静座位でのエネルギー消費量は7.3%高かったと報告している。われわれが、成人男性34名 (43±14歳, BMI: 22.6±2.4kg/m²) および女性37名 (43±13歳, BMI: 22.1±3.4kg/m²) を対象に、約12時間絶食後の安静仰臥位 (20分間) と安静座位 (10分間) を測定し、その比率を検討したところ、男性では1.09±0.05、女性では1.12±0.08で、男女で平均すると10%の違いであった (未発表データ)。

一方、DITに関して、座位安静時代謝量および労作時のエネルギーは、普通食摂取から2時間以上経過後に実施することとなっている。座位安静時代謝量とBMRを比較した野村⁹⁾も、実は論文中に明示していないものの、食後2~3時間程度での測定が多かったのではないかと推察される。鈴木¹⁰⁾によると、他の多くの報告と同様、普通の献立・熱量の場合、食後2時間で30%、3時間で18%、3時間以降は平均して約6.2%の増加となっており、10%の増加に相当するのは、3時間を超えたあたりと考えられる。快適な環境で食後2~3時間を実施されていれば、+10%という仮定はやや少なめ、3~5時間程度に実施されているとすればほぼ合っていると考えられる。

以上より、R.M.R.の座位安静時代謝量は、快適な環境であれば、BMRと比べ、

- ・仰臥位→座位の違いや昼間労働により朝起床時よりは活発化することによって、およそ+10%かそれ以下
- ・DITでおよそ+10%かそれ以上とすると、合計しておよそ+20%になっているものと考えられている^{5,7,9)}。そのため、一般的に用いるAfとR.M.R.の換算式は、以下のとおりである。

$$\text{Af} = \text{R.M.R.} + 1.2$$

確認になるが、ここでのAfには、DITの影響が含まれている。

R.M.R.の数値が得られた活動の種類は600を優に超えており、欧米では知られていないものの、

国際的にも質・量ともに優れたデータベースである。問題点としては、

- ・主に戦前に測定が行なわれているため、最近の活動に対する値がないこと
- ・式がやや複雑でわかりづらいこと

があげられる。ただし、後者については、座位安静時代謝量 = 1.2 などと仮定すれば、BMR の倍数で表すことができるし、その仮定が 0.1 程度ずれていた (例: 1.1) としても、実用上はほとんど問題がない。

3) メッツ (metabolic equivalent : MET)

メッツは、現在、身体活動強度の指標としては米国を中心として国際的に最も利用されている。そのため、「健康づくりのための運動基準 2006」や「健康づくりのための運動指針 2006 (エクササイズガイド 2006)」, 「日本人の食事摂取基準 (2010 年版)」¹¹⁾でも採用されている。

利用頻度が多い理由として、

- ・計算がしやすいこと (後述)
- ・アメリカスポーツ医学会 (ACSM) としてコンペンディウム (概説) が作成されていること^{12,13)}
- ・若干の重複を含めて約 600 もの活動について、値が提示されていること

などが考えられる。

1941 年に, Gagge ら¹⁴⁾ は, 快適な室温で座位安静時における熱産生が 50kcal/h/m^2 (体表面積) に相当し, これを 1 単位とした。彼らが, はじめてメッツという用語をあてたのではないかと考えられる。ACSM は, 1993 年に, 身体活動量に関する各種質問紙調査や McArdle や Katch 兄弟による 2 つの書籍 (Exercise Physiology 2nd ed, 1988 Nutrition, Weight Control, and Exercise, 3rd ed, 1988) など, 8 つの出典に掲載されていた値をまとめてコンペンディウムを作成した¹²⁾。ただし, その多くは, Passmore ら¹⁵⁾ のエネルギー消費量のリストからきているはずなので, 安静時における酸素摂取量 = 3.5mL/kg/min , 酸素 $1\text{L} = 5\text{kcal}$ として計算したと考えられる。その後,

2000 年に一部の値の修正および追加をし¹³⁾, それ が現在利用されている。そこには, 0.9 メッツの睡眠から 18 メッツのランニング (17.4km/h) まで, 若干の重複を含めて約 600 種類の活動について, 値が提示されている (日本語訳は, (独) 国立健康・栄養研究所の HP : http://www.nih.go.jp/eiken/programs/pdf/mets_n.pdf を参照)。なお, これらのコンペンディウム^{12,13)} の中では, $1\text{メッツ} = 1\text{kcal/kg/h}$ ($\div 3.5\text{mL/kg/min} \times 5\text{kcal/L} \div 1,000 \times 60\text{min/h}$) と記載されている。

メッツの本来の定義は以下の通りである。

メッツ = 快適な温度条件で測定した活動時のエネルギー消費量 ÷ 座位安静時代謝量 (食事の影響については明記なし)

2. 「日本人の食事摂取基準 (2010 年版)」における身体活動強度の指標

2009 年 5 月に改定された「日本人の食事摂取基準 (2010 年版)」¹¹⁾ では, 身体活動強度の指標として, はじめてメッツが採用された。2005 年版を含め, これまでは長年にわたって, エネルギー代謝率に基づいて計算された Af, あるいは体重当たりのエネルギー消費量 (kcal/kg/min) が用いられてきていたので, 大きな変化といつてよいだろう。

今回メッツが新たに採用されたのは, 以下の 2 つの理由による。

- ①国際的に最も利用されている指標である。
- ②「健康づくりのための運動指針 2006 (エクササイズガイド 2006)」でもメッツが採用されており, 統一した方がよい。

メッツと Af の値は, 10~20% 前後異なる。しかし, たとえば 3 メッツ以上の活動時間と Af が 3 以上の活動時間を尋ねても, ほとんどの人は区別できない。このように, 少なくとも 1 日当たりの各活動強度の所要時間を尋ねる質問紙程度であれば, Af からメッツに移行してもほとんど影響

ないのではないかと考えられる。

②に関して、今後の分析によっては、食事摂取基準における身体活動レベルの評価とエクササイズガイドにおける身体活動量の評価を連動させることができるようになるかもしれない（例：「中強度活動（+高強度活動）に要した時間」が1日〇〇分であれば、身体活動レベルは「ふつう」と分類し、23エクササイズ（Ex）も満たしていると考えられる）。

ただし、以下のような問題点もある。

- ・PALを推定する時に、係数をかけて補正しなければならない

$$\text{PAL} = \text{メッツの1日当たりの平均値} \times \text{係数}$$

米国のDRI（食事摂取基準）¹⁶⁾の場合、後述するような方法でPALを推定することとしている。ちなみに、FAO/WHU/UNU⁴⁾は、エネルギー消費量推定法の詳しい記述はないものの、メッツではなくPARの値を提示している。

3. メッツ値をBMRの倍数に換算する方法

メッツ値からPALを推定するための係数を考えるには、メッツ値の求め方として、少なくとも以下の2通りを考慮する必要がある。

1) 各活動のメッツ値決定時に、座位安静時代謝量を実測する場合

メッツ値を決めたデータの多くは、Passmoreら¹⁵⁾など各活動時のエネルギー消費量のデータに基づいており、座位安静時代謝量とセットで測定したものは少ないのではないかと考えられる。しかし、2000年のコンペンディアム¹³⁾で新たに採用されたものの一部などは、定義通りに座位安静時もあわせて測定し、比率をとっている。その場合、座位安静時と各活動時のいずれのエネルギー消費量にも、DITは同等に含まれていると考えられるので、DITは考慮しなくてよいはずである（ただし、エネルギー消費量に加算的に含まれているとすると、この仮定は厳密には正しくな

い）。とすると、座位安静時代謝はBMRのおよそ1.1倍なので、

$$\text{BMRの倍数として表した各活動の強度} = \text{メッツ} \times 1.1$$

と表現できる。

2) 各活動のメッツ値決定時に、3.5mL/kg/minを用いた場合

米国DRI¹⁶⁾では、推定エネルギー必要量を求める際、健常人にとって最低水準の身体活動レベル（PAL）=1.39からの増加分（ Δ PAL）を推定するために、表1のような計算法を採用している。すなわち、メッツ値（安静時からの上乘せ分）をベースとして、

- ・DITがTEEの10%
 - ・身体活動による代謝亢進が一律で15%
- として、PALへの寄与を推定することとしている。

さらに、メッツにおける座位安静時代謝量はBMRより高いことから、その補正係数も作成している。その際、まずは、独自のデータベースからBMRの推定式を作成した上で、①典型的な30歳の男女（それぞれ1.77m・70kg, 1.63m・57kg）で試算したBMRと②安静時における酸素摂取量=3.5mL/kg/min、酸素消費量1L=5kcalという仮定に基づいて計算した座位安静時代謝量を比較することにより、①推定BMR÷②3.5を用いた推定座位安静時代謝量=男性0.95、女性0.91となった。これらの値は、分母と分子を入れ替えると、1.1弱に相当する。

Passmoreら¹⁵⁾などによる各エネルギー消費量の値は、食事直後の値ではないものの、DITを多少含んでいるものが多いと考えられる。しかし、食事の量や時間に関する記述があるわけでもなく、補正は困難である。また、米国DRI策定時に行なった上記の試算を考えると、メッツ値は、DITの影響をあまり受けていない身体活動強度の指標で、BMRの倍数として表した場合の約1/1.1倍に相当すると考えられる。

表 1 米国の食事摂取基準¹⁶⁾におけるΔPALの計算法

男性
$\Delta PAL = \sum ((各活動のメッツ値 - 1) \times 1.34 \times 活動時間 (分/日))$
$(1.34 = 1.15^{*1} \div 0.90^{*2} \div 0.95^{*3})$
女性
$\Delta PAL = \sum ((各活動のメッツ値 - 1) \times 1.42 \times 活動時間 (分/日))$
$(1.42 = 1.15^{*1} \div 0.90^{*2} \div 0.91^{*3})$
ΔPAL：健常人にとって最低水準の身体活動レベル (PAL) = 1.39からの増加分
* ¹ 身体活動に伴う代謝亢進を身体活動によるエネルギー消費量の15%と仮定
* ² 食事による熱産生 (DIT) をエネルギー消費量の10%と仮定
* ³ 座位安静時代謝量の倍数であるメッツから基礎代謝量の倍数であるPALに変換するための係数

表 2 エネルギー代謝率 (R.M.R.) とメッツ値から計算したAf値の比較

	エネルギー代謝率 (R.M.R.)	メッツ	Afの計算値*	
			R.M.R.から	メッツから
読書	0.2	1.5	1.3	1.7
編み物	0.5	1.5	1.6	1.7
洗濯	1.2	2.0	2.3	2.2
アイロンかけ	1.5	2.3	2.6	2.5
掃除機	1.7	3.5	2.8	3.9
ゆっくり歩行	1.5 (45m/分)	2.0 (53m/分未満)	2.6	2.2
ふつう歩行	2.1 (71m/分)	3.0 (67m/分)	3.2	3.3
速歩	3.5 (95m/分)	3.8 (94m/分)	4.6	4.2
ジョギング (120m/分)	6.0		7.1	
// (133m/分)		8.0		8.8
// (160m/分)	8.5	10 (161m/分)	9.6	11.0
階段昇る	7.5	8.0	8.6	8.8
階段降りる (男性)	2.6	3.0	3.7	3.3
// (女性)	2.5	3.0	3.6	3.3

*DITの影響を含まないよう座位安静時代謝量=BMR×1.1として計算。ただし実際には、特にエネルギー代謝率の場合、ある程度DITが含まれているので、0.1程度の値のズレは考慮する必要がある。

表2において、主な活動についてのメッツとエネルギー代謝率について、DITの影響を含まないように座位安静時代謝量=BMR×1.1として計算したAfを対比した。活動の種類によってばらつきがあるが、歩行・階段昇降・アイロンかけなど、動きが標準化しやすく日米間あるいは時代間での差が小さいと考えられる活動の値は、比較的一致しているように見受けられる。

また、この表には示していないが、座位でのテレビ・音楽・映画鑑賞時などのメッツ値は1.0、睡眠時(数時間の平均値はBMRとほぼ等しい)のメッツ値は0.9である。このことから、メッ

スは、DITの影響をほとんど含まない活動強度の指標であることがうかがえる。

4. PAL・TEEの求め方

「日本人の食事摂取基準(2005年版)」の場合、エネルギー代謝率+1.2で示したAfが表に示されている。活動記録とAfを用いてTEEを推定する方法について、特に示されているわけではないが、1.2の中にDITが含まれているので、

$$TEE = BMR \times \text{“24時間の平均のAf”}$$

PAL = 24 時間の平均の Af

と考えられる。ただし、DIT は、TEE の 10% ではなく BMR の 10% となっているため、TEE からすると、実際は平均 6% 程度に相当することとなる (PAL が 1.75 の場合)。

それに対して、2010 年版においても、特にメッツ値から TEE・PAL を推定する方法は示されていないが、

- ・ DIT を除く座位安静時代謝量は BMR より約 10% 高い
 - ・ DIT は TEE の約 10%
- ということから

$$\text{TEE} = \text{BMR} \times \text{“24 時間の平均メッツ”} \times 1.1 \div 0.9$$

$$\text{PAL} = 24 \text{ 時間の平均メッツ} \times 1.1 \div 0.9$$

とするのが妥当であると考えられる。これは、身体活動による代謝亢進について、エネルギー代謝測定室を用いた実験結果¹⁷⁾に基づいて特に上乘せしていない点を除いては、米国 DRI¹⁶⁾に近い考え方となっている。

5. “3.5mL/kg/min” という仮定を含むメッツ値の妥当性

3.5mL/kg/min は、実は、70kg、40 歳の男性 1 名から得られた値とされている¹⁸⁾。先に述べたように、欧米人の BMR の推定式と比較すると、

$$3.5\text{mL/kg/min} = 30 \text{ 歳代の BMI} = 22\text{kg/m}^2 \text{ 前後の欧米人における、絶食状態での座位安静時代謝量}$$

と考えれば、平均的には問題なさそうである。

しかし、たとえば、Byrne ら¹⁸⁾は、仰臥位安静時の平均を $\dot{V}O_2 = 2.6 \pm 0.4\text{mL/kg/min}$ と報告しており、3.5mL/kg/min から大きくかけ離れている。この対象は、平均年齢: 38.3 ± 11.8 歳、BMI: $30.2 \pm 7.7\text{kg/m}^2$ で、少なくとも肥満気

味の欧米人で 3.5mL/kg/min を用いると誤差が生じることを示している。Gunn ら^{19,20)}も、3.5mL/kg/min より小さい値が得られたと報告している。

3.5mL/kg/min を用いた計算法は、最初に述べた「体重当たりの数値を用いる問題点」もある。したがって、概算するには非常に便利な方法であるが、性・年齢・体格などによっては、エネルギー消費量を推定する場合に、非常に大きな誤差が生じうることは承知して利用しなければならない。

ACSM によると、酸素摂取量推定式の標準誤差は約 7% としている²¹⁾。メッツ値の標準誤差も 7% であるとすれば、たとえば 4 メッツの速歩の場合、95% 信頼区間は $4 \pm (4 \times 0.07 \times 2)$ となる。すなわち、ほとんどの場合、3.45~4.55 くらいの幅に収まるということになる。ただし、メッツ値の場合、トレッドミルでの歩走行などと比べて、活動の種類によっては、活動様式の個人差が大きいことが考えられるとともに、少なくとも一部の身体活動のメッツ値については妥当性の問題 (各活動の測定法の妥当性や 3.5mL/kg/min を用いる問題点) がありうるため、さらに大きなズレが生じる可能性がある。

[文 献]

- 1) Prentice AM, et al: Physical activity and obesity: problems in correcting expenditure for body size. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 20: 688—691, 1993
- 2) Durnin JV: Energy requirements: general principles. *Eur J Clin Nutr*, 50 (Suppl 1) : S2—S9, discussion S9—S10, 1996
- 3) Schutz Y, et al: Assessment of free-living physical activity in humans: an overview of currently available and proposed new measures. *Obes Res*, 9: 368—379, 2001
- 4) FAO: Human energy requirements. Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. FAO Food and Nutrition Technical Report Series, No. 1. FAO, 2004
- 5) 沼尻幸吉: 活動のエネルギー代謝 増補第 2 版. 労働科学研究所出版部, 1979

- 6) 柏崎 浩: エネルギー所要量の歴史と現状. 小林修平編著, 栄養所要量・基準量と食生活ガイドライン, pp61—125, 建帛社, 1997
- 7) 沼尻幸吉: 安静代謝および所要栄養量に関する考察. 労働科学, 43: 679—682, 1967
- 8) Strickland S, et al.: Energetic cost of standard activities in Gurkha and British soldiers. *Ann Hum Biol*, 17: 133—144, 1990
- 9) 野村秀子: 安静代謝量に関する研究. 労働科学, 43: 526—530, 1967
- 10) 鈴木慎次郎ほか: 特異動的作用に関する研究 (第4報) 運動を与えた場合のS.D.A. 栄養誌, 10: 137—145, 1952
- 11) 厚生労働省: 日本人の食事摂取基準 (2010年版) 「日本人の食事摂取基準」策定検討会報告書. 2009
- 12) Ainsworth BE, et al.: Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Med Sci Sports Exerc*, 25: 71—80, 1993
- 13) Ainsworth BE, et al.: Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exerc*, 32: S498—S516, 2000
- 14) Gagge AP, et al.: A practical system of units for the description of the heat exchange of man with his environment. *Science*, 94: 428—430, 1941
- 15) Passmore R, et al.: Human energy expenditure. *Physiol Rev*, 35: 801—840, 1955
- 16) Food and Nutrition Board, Institute of Medicine: Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids. pp107—264, National Academies Press, 2005
- 17) Ohkawara K, et al.: Twenty-four-hour analysis of elevated energy expenditure after physical activity in a metabolic chamber: models of daily total energy expenditure. *Am J Clin Nutr*, 87: 1268—1276, 2008
- 18) Byrne NM, et al.: Metabolic equivalent: one size does not fit all. *J Appl Physiol*, 99: 1112—1119, 2005
- 19) Gunn S, et al.: Determining energy expenditure during some household and garden tasks. *Med Sci Sports Exerc*, 34: 895—902, 2002
- 20) Gunn S, et al.: Measurement and prediction of energy expenditure in males during household and garden tasks. *Eur J Appl Physiol*, 91: 61—70, 2004
- 21) American College of Sports Medicine: ACSM's Metabolic Calculations Handbook. Lippincott Williams & Wilkins, 2007

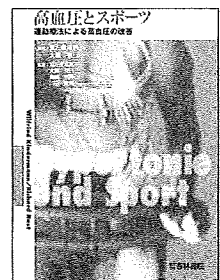
高血圧とスポーツ

—運動療法による高血圧の改善—

●B5判・160頁／定価 2,940円 (本体 2,800円+税5%) 978-4-7644-0055-9

わが国では、スポーツを高血圧症の治療に利用する研究や研究報告はありますが、スポーツを高血圧症の治療に利用するための成書、薬物療法とスポーツの併用方法、どのようなスポーツが適しているかなどの知識が普及していません。本書はきめ細かく書かれているドイツの『高血圧とスポーツ』を広く高血圧症の改善に利用していただけるように編集いたしました。

原 著 Wilfried Kindermann
Richard Rost
監 修 荒川規矩雄
大堀 克巳



(株) 杏林書院

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

Chiaki Tanaka¹⁾ and Shigeho Tanaka²⁾

1) Division of Integrated Sciences, J. F. Oberlin University

2) Project for Energy Metabolism, Health Promotion and Exercise Program, National Institute of Health and Nutrition

Abstract The purpose of the present study was to evaluate moderate-to-vigorous physical activity using triaxial accelerometry in Japanese preschool children. The relationship between daily step counts as a convenient measure of physical activity and minutes of engagement in moderate-to-vigorous physical activity was also examined. Physical activity was assessed using a triaxial accelerometer (ActivTracer, GMS) and daily steps using a uniaxial accelerometer for 6 consecutive days, including weekdays and weekend days, in 157 four- to six-year-old Japanese children attending kindergarten or nursery school. Using triaxial and uniaxial accelerometers, nonlocomotive activities and step counts for young children can be evaluated, respectively. Average daily moderate-to-vigorous physical activity (physical activity ratio ≥ 3) and step counts were 102 (± 32) min/day and 13,037 ($\pm 2,846$) steps/day, respectively. A strong and significant correlation was observed between minutes of moderate-to-vigorous physical activity and step counts ($r=0.832$, $p<0.001$). The daily step counts corresponding to 60 min, 100 min, and 120 min of moderate-to-vigorous physical activity were 9,934, 12,893, and 14,373 steps/day, respectively. The correlation coefficient between minutes of higher intensity activities (physical activity ratio ≥ 4) and step counts was slightly lower ($r=0.604$, $p<0.001$). The daily step count corresponding to 30 min of the higher intensity activities was 14,768 steps/day. These results suggest that approximately 13,000 steps/day are required for preschool children to engage in more than 100 min of moderate-to-vigorous physical activity. *J Physiol Anthropol* 28(6): 283–288, 2009 <http://www.jstage.jst.go.jp/browse/jpa2>
[DOI: 10.2114/jpa2.28.283]

Keywords: physical activity, accelerometry, preschool children, pedometer, total steps

Introduction

Physical activity (PA) guidelines for young people have been available since the 1980s. Currently, most of the PA guidelines recommend at least 60 min per day of at least moderate-intensity PA (Biddle et al., 1998; National Association for Sport and Physical Education, 2002, 2004; Strong et al., 2005). Therefore, an accurate evaluation of daily PA in young children is important. The questionnaire (e.g., activity diary) and accelerometer methods are relatively noninvasive. Recently, Wareham et al. (2005) and Blair and Haskell (2006) have argued that objective measurements are necessary to accurately evaluate PA. Self-reported measures for PA are particularly difficult in young children, because the questionnaire is subjective and the measures for PA depend on the observer. An objective measurement approach using an accelerometer avoids these limitations, and an accelerometer can be used to predict energy expenditure and to classify levels of PA (Chen and Bassett, 2005; Freedson et al., 2005; Matthews, 2005; Truth et al., 2004).

Accelerometers may be particularly useful for measuring physical activity in preschool-aged children, because they are not usually engaged in prolonged exercise. Validation studies of accelerometers have been performed in preschool children (Pate et al., 2006; Pfeiffer et al., 2006; Reilly et al., 2003; Sirard et al., 2005; Tanaka et al., 2007a, b). Moreover, Eston et al. (1998) showed that three-dimensional accelerometers may provide a better evaluation of children's free-play activities than uniaxial accelerometers. One of the reasons is that movement within the anteroposterior plane as measured with triaxial accelerometry is the main component of physical activity of typical children (mean age 9.2 \pm 0.8 yr). Moreover, Oliver et al. (2007) pointed out that preschoolers participate in activities that require less vertical movement and more omnidirectional movement. Thus, triaxial accelerometers may capture total body movement better than uniaxial devices