

表2. DLW法の精確度

	Accuracy	Precision
Schoeller(1984)	+5.9%	6.8%
Speakman(1997)	+2.0%	2.0%
Schoeller(1986)	+5.0%	9.0%
Kuczmarski(1994)	+1.0%	7.0%
Roberts(1986)	-1.4%	4.8%
Jones(1987)	-0.9%	6.2%
Westerterp(1988)	+1.4%	3.9%
Jones(1988)	-1.0%	7.0%
Seale(1989)	-8.7%	12.9%
Hoyt(1991)	-2.5%	6.9%
Pullicino(1993)	+1.8%	4.6%
Speakman(1993)	+7.0%	16.8%
Speakman(1993)	-0.4%	9.3%
Matthews(1995)	-3.1%	7.9%

(4人以上を対象にヒューマンカロリーメーターと比較した結果)

標識水法に基づいて TEE の推定式を提示している。そこでは、PAL が 1.6~1.9(代表値: 1.75) の場合を "Active" としているが、その最も簡単な生活活動例として、

- 着替え・片付けなどの必須行動: 2 時間
- 約 107 m/分の歩行: 30分
(普通歩行なら1時間弱に相当)

という、ほぼ最低強度の日常生活(推定PAL=1.49)に、

- 25分の自転車こぎ
- 40分のテニス

を加えて、PAL が約1.75になるとしている。毎日これだけの運動を含む生活をしている人は少数派だと考えられるが、1.75という PAL は、少なくとも日本人³⁾、恐らく欧米人¹⁵⁾においても、標準的な値である。

ちなみに、エネルギー代謝測定室で運動を含まない生活を送ると、PAL は1.3~1.4程度、1時間程度の歩行に相当する活動を含む生活では約1.5である¹⁶⁾。この値は、先に述べた、米国/カナダの DRI における推定値とほぼ一致する。更に1.75程度の PAL とするようになるには、約 80 m/分程度の普通歩行を約 3 時間程度行う必要がある¹⁷⁾。しかし、1日当たりの歩数は、平均して6,000~9,000歩程度である。10分=1,000歩という単純な計算が当てはまるのであれば、1日に歩いている時間は1~1.5時間程度にしかならないこととなる。したがって、必須活動と歩行以外に、残りの1.5~2時間程

表3. エネルギー消費量測定の精確度—日本人での検討結果—

文献	対象者	PAL	活動記録	HR	ライフコーダ
基準: DLW法					
海老根 (2002)	男子学生	1.63	-92±483 (-3.9%)	+40±542 (+3.0%)	-107±271 (-7.1%)
Rafamantanantsoa (2002)	中年男性	1.85	-335±289 (-12.2%)	+57±603 (+2.0%)	-542±249 (-20.7%)
東野 (2003)	消防士	2.2	-306±301 (+6.3%)		-1478±522 (-36.8%)
彭 (2004)	中年女性 (非運動群)	1.60	63±175 (+0.3%)		-246±196 (-13.0%)
彭 (2004)	中年女性 (テニス群)	2.06	-166±238 (-6.5%)		-649±345 (-25.3%)
引原 (2005)	高校野球	2.66	-686±332 (-13.9±6.5%)	+1539±1168 (+31.6±23.9%)	-1743±275 (-35.3±3.6%)
基準: ヒューマンカロリーメーター					
Yamamura(2003)	成人男女	1.51	-54±162		
Kumahara (2004)	成人男女				-168±120 (-8.1±5.4%)
田中(2005)	成人男女	1.43	(+5.8±8.7%)		(+2.8±6.3%)

(表中の数字は各方法—基準とした方法(kcal/日(%)))

度の普通歩行に相当するだけの身体活動があるはずである。現在市販されている歩数計タイプの加速度計を用いた場合、TEEが、それぞれの対象で平均して10~40%近くも過小評価される(表3)のは、こうしたことが主な理由であると考えられる。

最近、こうした日常生活の様々な活動(life-style activity)を評価することの重要性が少しずつ認識されるようになっており、加速度計などによる評価法が検討されつつある¹⁸⁾。

V. エネルギーバランスの評価

人はエネルギーバランスをかなり厳密に調整している。例えば、毎日3%のエネルギーバランスのずれが続くと、1年で体重が約3~4kg変化するはずである。

表3のように、加速度計法や要因加算法は、個人による差はもちろん、平均としても真値から大きくずれることが多い(しばしば10%以上)。ゴールドスタンダードとされるDLW法でさえ、約5%かそれ以上の誤差があり、人のエネルギーバランスの調整能力を下回る精度しか有していない。日常のエネルギー摂取量については、更に真値からのずれが大き(しばしば20%以上)^{19,20)}。

したがって、エネルギー消費量および摂取量の測定値だけからエネルギーバランスを評価できるような場面は、極端な過食・減食実験を除くと、ほとんどない。現実的には、例えばStubbs et al.²¹⁾のように、食事や運動などを比較的大きく変えた結果として、エネルギー代謝測定室でエネルギー消費量を測るとともに食事を厳密に管理・評価した場合のみ、可能である。

現時点で、エネルギーバランスを評価できるのは、長期間での体重、特に身体組成の測定値からである²²⁾。

文 献

- 1) Livesey, G. & Elia, M. Estimation of energy expenditure, net carbohydrate utilization, and net fat oxidation and synthesis by indirect calorimetry: evaluation of errors with special reference to the detailed composition of fuels. *Am.J.Clin.Nutr.*, (1988), **47**, 608-628.
- 2) Weir, J. B. d. V. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J. Physiol.*, (1949), **109**, 1-9.
- 3) 第一出版編集部編. 厚生労働省策定 日本人の食事摂取基準(2005年版). 第一出版, 東京, (2005), 28-38.
- 4) Shetty, P. S. Energy requirements of adults. *Public Health Nutr.*, (2005), **8**, 994-1009.
- 5) 厚生省公衆衛生局栄養課監修, 国民栄養振興会編. 昭和50年改定 日本人の栄養所要量と解説. 第一出版, 東京, (1975), 23-48.
- 6) Muller, M. J., Bomya-Westphal, A., Kutzner, D., Heller, M. Metabolically active components of fat-free mass and resting energy expenditure in humans: recent lessons from imaging technologies. *Obes.Rev.*, (2002), **3**, 113-122.
- 7) Van Zant, R. S. Influence of diet and exercise on energy expenditure—a review. *Int. J. Sport Nutr.*, (1992), **2**, 1-19.
- 8) Donahoo, W. T., Levine, J. A., Melanson, E. L. Variability in energy expenditure and its components. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care*, (2004), **7**, 599-605.
- 9) 健康・栄養情報研究会編. 厚生労働省 平成15年国民健康・栄養調査報告. 第一出版, 東京, 2004.
- 10) Levine, J.A. Non-exercise activity thermogenesis (NEAT). *Nutr.Rev.*, (2004), **62**, S82-S97.
- 11) 柏崎 浩. エネルギー代謝測定法—最近の進歩. *臨床スポーツ医学*, (2001), **18**, 409-418.
- 12) Speakman, J. R. The history and theory of the doubly labeled water technique. *Am. J. Clin. Nutr.*, (1998), **68**, 932S-938S.
- 13) Lamonte, M. J., Ainsworth, B. E. Quantifying energy expenditure and physical activity in the context of dose response. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (2001), **33**, S370-S378.
- 14) Institute of Medicine of the National Academies. Dietary Reference Intakes For Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids. The National Academies Press, Washington, DC, (2005), 107-264, 880-935.
- 15) Westerterp, K. R. Impacts of vigorous and non-vigorous activity on daily energy expenditure. *Proc. Nutr. Soc.*, (2003), **62**, 645-650.
- 16) 田中茂穂, 田中千晶, 二見 順, 岡 順, 高田和子, 柏崎 浩. ヒューマンカロリー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*, (2003), **56**, 291-296.
- 17) de Jonge, L., Nguyen, T., Smith, S. R., Zachwieja, J. J., Roy, H. J., Bray, G. A. Prediction of energy expenditure in a whole body indirect calorimeter at both low and high levels of physical activity. *Int. J. Obes.Relat. Metab. Disord.*, (2001), **25**, 929-934.
- 18) Matthew, C. E. Calibration of accelerometer output for adults. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (2005), **37**, S512-S522.
- 19) Livingstone, M. B., Black, A. E. Markers of the validity of reported energy intake. *J. Nutr.*, (2003), **133**, 895S-920S.

- 20) 田中茂穂, エネルギー摂取基準の考え方, 体育の科学, (2005), **55**, 273-277.
- 21) Stubbs, R. J., Hughes, D. A., Johnstone, A. M., Horgan, G. W., King, N., Blundell, J. E. A decrease in physical activity affects appetite, energy, and nutrient balance in lean men feeding ad libitum. *Am. J. Clin. Nutr.*, (2004), **79**, 62-69.
- 22) Elia, M., Stratton, R., Stubbs, J. Techniques for the study of energy balance in man. *Proc. Nutr. Soc.*, (2003), **62**, 529-537.

一軸加速度計を用いた幼児の身体活動量の評価精度

田中千晶¹⁾ 田中茂穂²⁾ 河原純子³⁾ 緑川泰史⁴⁾

UNIAXIAL ACCELEROMETER FOR ASSESSING PHYSICAL ACTIVITY IN 5- TO 6-YEAR-OLD CHILDREN

CHIAKI TANAKA, SHIGEO TANAKA, JUNKO KAWAHARA and TAISHI MIDORIKAWA

Abstract

The accuracy of a uniaxial accelerometer for assessing physical activity in preschool-aged children was assessed by using an indirect calorimeter which provides the physical activity ratio (PAR) for free living activities. Subjects were 5- to 6-yr-old Japanese girls and boys ($n=24, 6.1 \pm 0.3$ years). PAR was assessed for nine activities (lying down, watching a video while sitting and standing, line drawing for coloring-in, playing with blocks, walking, stair climbing, ball toss, and running) using the Douglas bag method. "Exercise intensities" were recorded with the uniaxial accelerometer (Lifecorder EX; Suzuken Co. Ltd, Nagoya, Japan). PARs were also predicted by using the equations presented by Higuchi et al. (2003) and Kumahara et al. (2004). Significant correlation was observed between "exercise intensities" as measured by the uniaxial accelerometer and PAR for all activities ($r=0.827$). Predicted PAR values for walking and running were overestimated according to the equations. On the other hand, PAR values for stair climbing and ball toss were underestimated. These findings indicate that although the uniaxial accelerometer may help in evaluating daily physical activity in preschool-aged children, its use as a proxy measure of PAR based on the above equations may be limited.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2007, 56: 489-500)

key word: physical activity, preschool children, accelerometer

I. はじめに

わが国では、最近約20年間の比較において、幼児期に肥満傾向の者が増えていることが報告されている¹⁾。幼児期の肥満は、成人期の肥満や糖代謝異常にもつながるため、幼児期の肥満対策は重要である²⁾。幼児期の肥満の主要な要因のひとつは、身体活動(Physical Activity: PA)量の減少であると考えられている^{3,4)}。運動(Exercise)とは「身体活動の一種であり、特に体力を維持・増進させるために行う計画的・組織的で継続性のあるもの」と定義されるが⁵⁾、幼児期は、一定の運動を長時間連続的に行うことが少ないため、運動以外の身体活動を評価す

ることが重要となる。

日常生活におけるあらゆるPA評価の妥当性を検討する上で、最も正確な基準(Gold standard)は、二重標識水法である⁶⁾。しかし、測定器を設置している施設が世界的にみても少なく、高額な費用がかかる。さらに、測定期間中、数回にわたり採尿を行う必要があることから、幼児では実施が難しい。また、活動強度の内訳などに関する情報は得られない。より簡便な方法として質問紙や加速度計を用いた方法があるが、幼児を対象とする場合、質問紙では、妥当性の検討が十分に行われておらず⁷⁾、またPAの自己申告は困難である。一方、加速度計を用いた評価は、客観的にエネルギー消費量の推定や低強度

¹⁾ 桜美林大学 健康福祉学群 健康科学専修

〒194-0294 東京都町田市常盤町3758

²⁾ (独)国立健康・栄養研究所 健康増進プログラム

〒162-8636 東京都新宿区戸山1-23-1

³⁾ (独)国立環境研究所 環境リスク研究センター

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

⁴⁾ 早稲田大学 スポーツ科学 学術院

〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島2-579-15

J. F. Oberlin University, 3758 Tokiwamachi, Machida, Tokyo

194-0294, JAPAN

National Institute of Health and Nutrition

National Institute for Environmental Studies

Waseda University

から高強度の活動強度を分類して評価することができる⁸⁻¹¹⁾。学童期以降の子どもや成人における加速度計の妥当性の研究はいくつかなされてきているものの、幼児を対象とした研究は最近始まったばかりである¹²⁻¹⁴⁾。そのため、わが国におけるこれまでの幼児のPAに関する研究では、主に歩数計を用いた歩数の検討が中心である¹⁵⁻¹⁷⁾。しかし、PAは、「筋活動によって安静時よりエネルギー消費量の増大がもたらされる全ての営み」と定義されている^{5,18)}ことから、歩行・走行以外の活動を含む、日常生活全般を捉えることが重要である。

2006年に策定された成人を対象とした運動基準¹⁹⁾では、MET (metabolic equivalent) を指標として目標とする日常生活のPAの量が示されている。国際的には、成人に限らず子どもにおいても、活動レベル毎にPAの量(時間)を評価する方法が注目されている^{8,11,20)}。我が国で広く用いられている一軸加速度計(ライフコーダ)は、歩数に加え、11段階に区分された“運動強度”と微小運動を計測できる。樋口ら²¹⁾とKumahara et al.²²⁾は、この一軸加速度計の妥当性について、成人を対象に、トレッドミルでの歩行・走行時の間接カロリーメトリーを用いて実測したMETsとの関係を検討し、非常に高い相関を得た。しかし、幼児には、成人のMETsを当てはめることができない²³⁾。また、これまで各種加速度計の妥当性について、トレッドミルでの歩行・走行によって検討した研究では^{20,24)}、日常の活動について検討した研究と比べて^{8,25-27)}エネルギー消費量と加速度信号との間により良好な相関が得られている。しかし、トレッドミルでの歩行・走行は、必ずしも全ての日常生活を反映していないことが指摘されている²⁰⁾。Kumahara et al.²²⁾は、ヒューマンカロリーメーターを用いて、座位中心の生活時における24時間のエネルギー消費量と一軸加速度計からの推定値との関係を検討している。しかし、幼児の日常生活は成人とは異なる活動を含み、かつ一定の運動を長時間連続的に行うことが少ない。例えば、ボール遊びやブロック遊び・砂遊びなどは、必ずしも連続的な歩行を伴わず、姿勢も直立位のみではない。また、規則的な歩行・走行とは異なり、静止状態を含む様々な種類の動作・姿勢の組み合わせであるが、そうした複合的な動作全体の活動強度もとらえる必要がある。こうしたタイプの活動に対する評価

精度は、主に欧米で利用されているActiGraphなどの一部の機種を除いては¹¹⁾、成人の場合を含め、ほとんど評価されていない。

そこで、本研究では、幼児を対象に、歩行・走行を含む日常生活にみられる活動時のPAに関する、一軸加速度計を用いた推定精度について検討した。さらに、成人の歩行・走行を用いて作成された活動強度の推定式を用いて、幼児を対象とした活動強度評価について検討した。

II. 方 法

A. 対象者

対象者は、本研究の実施に保護者が同意した東京都の郊外在住の女兒11名と男児13名(6.1+/-0.3歳)であった。保護者への問診により、甲状腺機能の異常などエネルギー代謝や通常のPAに影響を与えると考えられる疾病についての既往歴がある者は対象から除いた。対象者数は、これまで報告されている同様の研究の結果に基づき決定した。本研究は桜美林大学の倫理委員会の許可を得て実施した。測定にあたって、保護者に測定の目的、利益、不利益、危険性、データの公表について説明を行い、書面にて同意を得た。

B. 測定項目

本研究で用いたライフコーダEX(株式会社スズケン製、名古屋、72.5×41.5×27.5mm、60g)は垂直方向への加速度を検出する一軸加速度計である。この装置は、加速度信号を32Hzで検出し、0.06Gから1.94Gの範囲の値を評価する²²⁾。4秒間の最大電圧と歩数により、9段階の“運動強度”(1-9)を決定する。なお、加速度変化量が0.06G未満の場合の“運動強度”は0とする。さらに、1-9の“運動強度”には当てはまらないものの、0.06G以上の加速度変化量を検出した場合、微小運動ありとして認識し、“運動強度”として0.5という値が与えられる。以上のように、4秒毎にそれぞれの活動は11段階の“運動強度”のいずれかに分類される。ただし、初めの1歩を認識後1.5秒以内に2歩目を認識しない時は、初めの1歩を取り消す。

身長と体重は、各々、0.1cmと0.1kg単位で計測した。対象者は、以下の9つの活動中、一軸加速度計を右腰に装着し、同時にダグラスバックを用い

た実測によるエネルギー消費量を算出するために、マスクを装着して呼気ガスを採取した。測定は、食事誘発性体熱産生の影響を考慮し、朝食後約2時間以上経過した後に開始した。対象者は、測定中、水のみを摂取した。

測定に用いた活動は、自由歩行と自由走行および日常にみられる仰臥安静、座位でのビデオ視聴、立位でのビデオ視聴、色塗り、ブロック遊び、階段昇降およびボール投げの9種類の身体活動であった。これらの活動は、あらかじめ保育所での4～6歳の幼児における観察法による活動記録を用いた結果に基づき、日常生活で代表的な活動、かつ5～6歳の幼児がダグラスバックを装着して行うことができるかを考慮して選択した。

対象者は、ダグラスバックに繋がったマスクを装着し、仰臥安静を行い、安静を開始してから30～40分後に呼気ガスの測定を行った。次に、座位および立位でのビデオ鑑賞、色塗り、ブロック遊びを行った。これらの動作は、定常状態を保った状態で、各々終了前5分間に採気した。自由歩行は、日常歩いている速度を一定に保ったまま、あらかじめ設定されたコースを4分間歩かせ、終了前2分間の採気を行った。ボール投げは、対象者の正面あるいは左右ヘランダムに一定の時間間隔で検者が転がしたボールを拾い、片手あるいは両手で検者へ投げ返した。4分間行い、終了前2分間の採気を行った。階段の昇降は、片道32歩の階段を3往復行い、2～3往復目に採気した。自由走行は、220mの距離の走行を2回行い、後半1回の間、採気した。インターバルは約5秒とした。なお、これら各活動の測定時間は、これまで報告されている子どもの結果に基づき、定常状態に達してから測定を行うことになるよう決定した。

加速度計の結果(4秒毎の“運動強度”および1分毎の歩数)は、全ての測定が終了した後、コンピュータに取り込んだ。呼気量は乾式ガスメーター(株式会社シナガワ製、DC-5、東京)を用いて測定した。採集した呼気は、ガス分析器(ミナト医科学株式会社製、AE-300S、東京)を用いて酸素濃度と二酸化炭素濃度を測定した。エネルギー消費量は、Weirの式²⁸⁾を用いて、酸素消費量と二酸化炭素産生量から算出した。ガス分析器の校正は、各測定前に、室内大気と校正ガスを用いて行った。そして、各活

動のエネルギー消費量を推定基礎代謝量(食事誘発性体熱産生を10%と仮定し、仰臥安静時のエネルギー消費量を用いて推定した:推定基礎代謝量=(仰臥安静時のエネルギー消費量/1.1))で除することにより、身体活動強度(Physical Activity Ratio: PAR)を算出した²⁸⁻³⁰⁾。METは、成人の場合1MET=3.5 ml/kg/minと仮定して求めることが多いが、子どもでは1METが3.5 ml/kg/minより大きくなるため、使用されないことが多い^{30,31)}。本研究と同様の一軸加速度計の“運動強度”を用いて、成人を対象としたMETsを求める推定式が報告されている。そこで、本研究では、これら2つの推定式(樋口ら²¹⁾: $y=0.091x^2+0.022x+1.887$, Kumahara et al.²²⁾: $y=0.043x^2+0.379x+1.361$)に、本研究で得られた一軸加速度計の“運動強度”を当てはめ、活動強度の推定値を1.2倍することにより³²⁾、PARの推定値を算出した。この比率(1.2倍)は、成人における複数の先行研究に基づいて得られた値であり³²⁾、日本でエネルギー代謝率を利用する場合に広く用いられてきた。

C. 統計処理

統計処理は、SPSS package15.0J for Windows (SPSS Inc, Japan, Tokyo)を用いて行った。全ての結果は、平均値±標準偏差で示した。2変量間の関係は、Pearsonの相関係数を用いて評価した。これまで報告されている成人の歩行・走行のデータを用いて作成した活動強度の推定式^{21,22)}から算出したPARの推定値と実測値の一致度は、Bland and Altman³³⁾の方法を用いて評価した。これは、推定値と実測値の差を両者の平均値に対してプロットし、推定値と実測値の差の平均値±2SD(95%限界)を推定精度の指標として評価するものである。Percent differenceは、((推定値-実測値)/実測値)×100として算出した。有意水準は5%未満とした。

Ⅲ. 結 果

対象者の身体的特徴と推定基礎代謝量をTable 1に示した。各活動のPAR、加速度計の“運動強度”および樋口ら²¹⁾とKumahara et al.²²⁾の推定式から算出した、PARの推定値とPercent differenceをTable 2に示した。一軸加速度計による“運動強度”とPARとの関係をFigure 1に示した($r=0.827$)。

Table 1. Physical characteristics of subjects.

Variable	Mean±SD	(n=24)	
		Range	
Age (yr)	6.1 ± 0.3	5.6 - 6.5	
Height (cm)	113.4 ± 4.5	104.4 - 122.6	
Weight (kg)	20.7 ± 3.7	15.9 - 31.9	
BMI (kg·m ⁻²)	16.1 ± 2.1	14.1 - 22.8	
Predicted basal metabolic rate (MJ·day ⁻¹)*	3.75 ± 0.59	2.75 - 4.99	

* Predicted from observed resting energy expenditure in the supine position.

Table 2. Observed and predicted physical activity ratio, accelerometer counts and percent difference with observed and predicted physical activity ratio for each activity.

Activity	Observed PAR		Accelerometer ("Exercise Intensity")	Predicted PAR		Higuchi et al.	Kumahara et al.
	n			Higuchi et al.	Kumahara et al.	(predicted %dif)	(predicted %dif)
Resting while lying down	24		0.0 ± 0.0	2.27 ± 0.00	1.64 ± 0.01	105.9 ± 0.1	49.4 ± 1.2
Watching a video while sitting	22	1.14 ± 0.09	0.0 ± 0.0	2.26 ± 0.00	1.64 ± 0.00	100.2 ± 14.7	44.7 ± 10.5
Watching a video while standing	21	1.16 ± 0.12	0.0 ± 0.0	2.27 ± 0.00	1.66 ± 0.02	96.6 ± 18.7	43.5 ± 12.8
Line drawing for coloring-in	21	1.39 ± 0.14	0.1 ± 0.1	2.27 ± 0.01	1.68 ± 0.04	64.6 ± 15.1	22.1 ± 11.0
Playing with blocks	23	1.51 ± 0.17	0.2 ± 0.1	2.28 ± 0.01	1.74 ± 0.04	52.2 ± 16.0	16.2 ± 11.4
Walking	24	2.60 ± 0.47	4.8 ± 1.1	5.08 ± 1.13	5.11 ± 1.00	96.4 ± 33.0	98.2 ± 30.8
Stair climbing (up and down)	24	4.10 ± 0.63	3.5 ± 0.9	3.79 ± 0.80	3.90 ± 0.79	-6.8 ± 17.0	-3.9 ± 17.2
Performing a ball toss	24	3.64 ± 0.82	1.5 ± 0.6	2.59 ± 0.26	2.45 ± 0.38	-25.8 ± 18.5	-30.0 ± 18.9
Running	23	5.58 ± 1.27	8.5 ± 0.4	10.33 ± 0.71	9.19 ± 0.50	94.9 ± 48.7	73.5 ± 43.1

PAR : physical activity ratio=observed energy expenditure/predicted basal metabolic rate (from observed resting energy expenditure while lying down), Percent difference : ((predicted physical activity ratio/observed physical activity ratio)/observed physical activity ratio) * 100.

また, 1)歩行と走行および 2)日常生活にみられる歩行・走行以外の7活動, の活動別に区分した場合についても, 何れも有意な正の相関関係が見られた($r=0.840, 0.886$). 前述したように, 本研究で用いた一軸加速度計の"運動強度"は, 1-9と0あるいは0.5に認識される際, その基準が異なる。そこで, "運動強度"が1未満の5活動について PAR との関連を検討した結果, 両者の間には有意な関係が見られた($r=0.740$). 樋口ら²¹⁾の推定式から推定した PAR の推定値と実測値の相関を Figure 2 に, 一致度を Figure 3 に示した。全活動時の推定値と実測値の差は, 樋口ら²¹⁾が 1.20 ± 2.40 (2SD),

Kumahara et al.²²⁾が 0.75 ± 3.00 (2SD)であった。Figure 4 には, 活動別の PAR について樋口ら²¹⁾の推定式からの推定値と実測値の差を示した。推定式は, 仰臥安静, 座位および立位でのビデオ視聴, 色塗り, ブロック, 通常歩行, および走行は過大評価, 階段昇降とボール投げは過小評価した。Kumahara et al.²²⁾の推定式でも同様の傾向がみられた。

歩行および走行時の速度は, 57.4 ± 9.4 m/分と 118.2 ± 16.2 m/分であった。また, その際の歩行率 (1分間当たりの歩数)は, 122.7 ± 13.4 歩/分と 188.1 ± 9.7 歩/分であった。なお, ライフコーダによる歩数は, 1分間毎の値のみ得られる。そのため, 走行

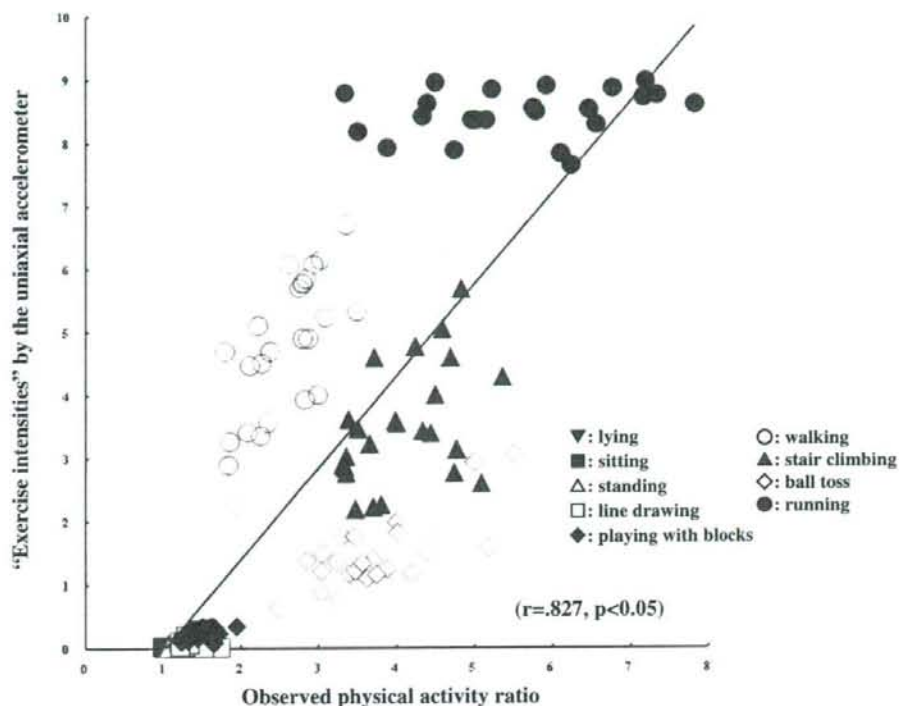


Figure 1. Relationship between "exercise intensities" by the uniaxial accelerometer and observed physical activity ratio for all activities.

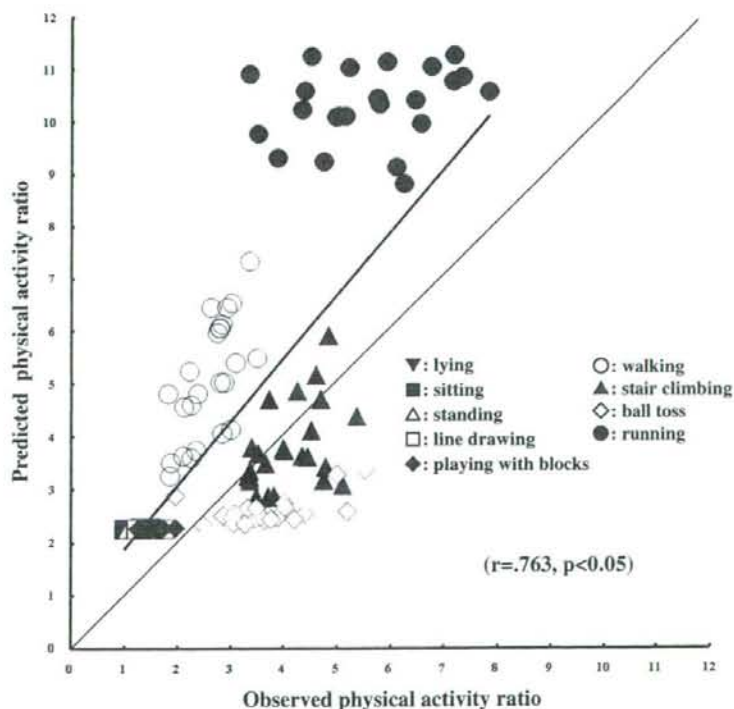


Figure 2. Relationship between observed and predicted physical activity ratio for all activities.

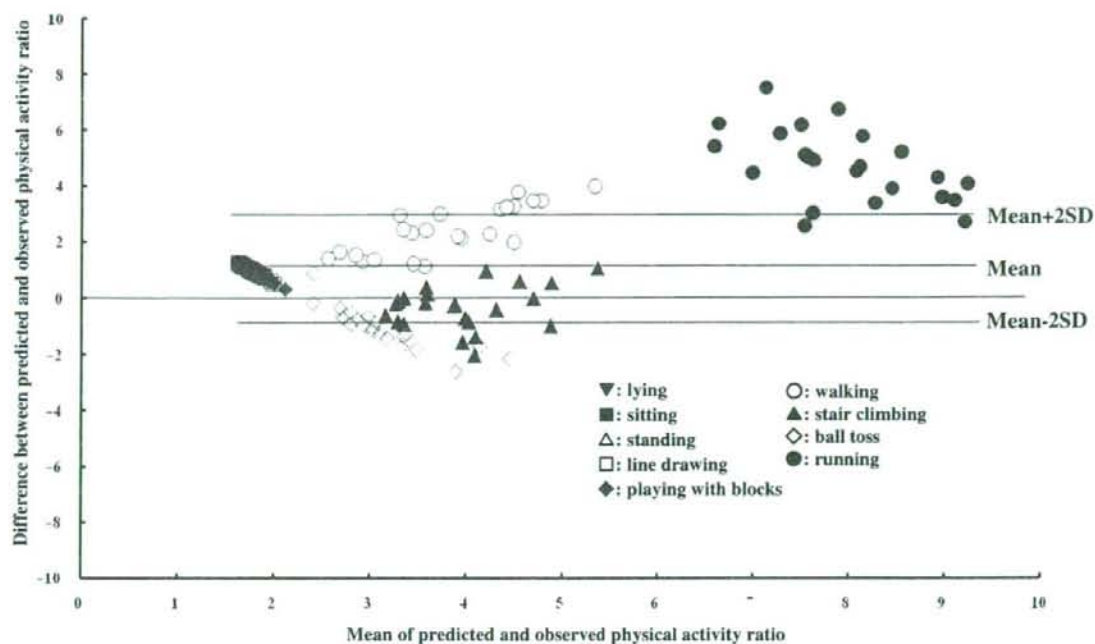


Figure 3. Limits of agreement between observed and predicted physical activity ratio for all activities.



Figure 4. Comparisons of difference between observed and predicted physical activity ratio for each activities.

中の歩数は、走行時のみによる1分間の歩数が得られたことを確認できた19名の対象者の結果を示した。

Ⅳ. 考 察

本研究では、幼児を対象に、歩行・走行を含む日常生活にみられる活動時のPAの一軸加速度計を用いた推定精度について検討した。さらに、成人の歩行・走行を用いて作成された活動強度の推定式を用いて、幼児を対象とした活動強度評価について検討した。

これまで、日本人の成人を対象に、本研究で用いた一軸加速度計の妥当性をトレッドミルでの歩行・走行時において検討した樋口ら²¹⁾の研究では、推定値と実測値との差の絶対値の平均は0.55 METであり、推定誤差が大きい8 METs以上の身体活動を除くと0.30 METであったことを報告している。また、Kumahara et al.²²⁾の報告での推定誤差は、0.46 METであった。日常生活において、二重標識水法あるいはヒューマンカロリメーターを用いて検討した研究結果をまとめた報告によると、1報を除く全ての論文で、本研究で用いた一軸加速度計は実測値を過小評価(-36.8%~-7%)する³⁴⁾。二重標識水法は、約2週間の二酸化炭素産生量を測定するため、この期間を代表する実測値となる。一方、ヒューマンカロリメーターでは、座位中心の活動となる。そのため、どのような活動時に誤差が生じているのかについて検討することができない。そこで、本研究では、あらかじめ保育所での4~6歳の幼児における観察法による活動記録を用いた結果に基づき、幼児の日常生活で代表的な身体活動、かつ5~6歳の幼児がダグラスバックを装着して行うことができる身体活動を考慮して活動を選択し、測定を実施した。なお、色塗り、ブロック遊びおよびボール投げの身体活動は、使う色やブロックを選択している時間、あるいは、ボールを投げている時間も含まれる。そのため、本研究では、できる限り幼児の日常生活を反映するために、日常の活動と同様に各活動を行わせた。

一軸加速度計の“運動強度”とPARとの間には、有意な関係が見られた(Figure 1, $r=0.827$)。この結果は、成人を対象に、トレッドミル歩行・走行時の間接カロリメーターを用いたMETsとの関係を検討した、樋口ら²¹⁾($r=0.958$)やKumahara et al.²²⁾($r=0.964$)の結果と一致した。ただし、本研究の歩行・走行時の相関係数($r=0.840$)は、先行研

究より低かった。これは、先行研究が一定の“運動強度”を負荷することのできるトレッドミルを用いて、いくつかの速度での検討を行ったのに対し、本研究では、一定の速度を保つように指示したものの、歩行および走行時の僅かに2種類の速度での検討であったことが影響していると考えられる。Puyau et al.²⁰⁾は、トレッドミル歩行・走行は、正確にコントロールされ、再現できる点に利点があるものの、日常生活に関連した加速度を反映しないことを指摘している。先行研究によると、加速度計の結果とエネルギー消費量との関係は、日常生活での活動^{8, 25~27)}よりも、トレッドミルでの歩行・走行において高いことが報告されている^{20, 24)}。そこで本研究では、自由歩行・走行時に加え、幼児の日常生活の中で行われているいくつかの活動について検討した。その結果、歩行・走行と日常生活での動作時のいずれも、PARとの間に有意な関係が見られた($r=0.840$, $r=0.886$)。さらに、“運動強度”が1未満の活動のみで検討しても、両者の間には有意な関係が見られた($r=0.740$)。したがって、幼児においても成人と同様に、本研究で用いた一軸加速度計による“運動強度”を用いて、PAの相対的な大小を示すことができることが明らかとなった。

成人の歩行・走行を用いて作成された活動強度の推定式を用いて、幼児を対象とした活動強度評価について検討した。推定値と実測値の差は、樋口ら²¹⁾が平均で1.20、Kumahara et al.²²⁾が0.75で、いずれの推定式も過大評価した(Figure 2, 3)。本研究では、あらかじめ設定されたコースでの歩行・走行を行った。そのため、特に走行時は、対象者の直線における蛇行や、折り返し地点の大回りなど、各対象者が実際に要した距離を正確に評価することは困難なもの、およびその歩行および走行時の速度は、 57.4 ± 9.4 m/分と 118.2 ± 16.2 m/分であった。また、その際の歩行率は、 122.7 ± 13.4 歩/分と 188.1 ± 9.7 歩/分であった。波多野³⁵⁾は、平均年齢24.7 ± 10.6歳(9~48歳)の男女のトレッドミルにて測定した歩行・走行時の歩行率を報告している。分速60mの歩行では約80~115歩/分、分速120mの走行では約115~130歩/分であった。これと比較すると、本研究の幼児の歩行率はかなり高かった。一軸加速度の1~9の“運動強度”は、4秒間毎に加速度の最大値と歩数によって決定されている。そのた

め、歩行率の高い幼児では、実際の活動よりも高い“運動強度”が算出され、過大評価したのかもしれない。

走行時において、樋口ら²¹⁾および Kumahara et al.²²⁾の推定式から推定した PAR の推定値と実測値との差は、各々 4.8 ± 1.3 ($94.9 \pm 48.7\%$)と 3.6 ± 1.3 ($73.5 \pm 43.1\%$)であり、何れの推定式も実測値を過大評価した(Figure 4, Table 2)。樋口ら²¹⁾は本研究と同様の一軸加速度計の“運動強度”が8以上になると、METs との誤差が大きくなったと報告している。本研究でも同様に、8以上の“運動強度”においてその誤差が大きくなった。Kumahara et al.²²⁾は、トレッドミル走行時において“運動強度”が8以上の METs を正確に評価できない理由として、加速度計の感知可能な閾値を超えていることがその要因のひとつであると指摘している。

仰臥安静、座位および立位でのビデオ視聴、色塗り、ブロック遊びの低強度の活動においては、樋口ら²¹⁾と Kumahara et al.²²⁾の推定式を適用すると、いずれも実測値を過大評価した(Figure 4, Table 2)。色塗りは、椅子に座った状態における上肢の活動であり、ブロック遊びは、上肢の活動を中心に、床での体位変換や瞬間的な移動などによって構成されていた。加速度計による過小評価と過大評価の程度は、活動の種類に依存し^{11,26,34,36)}、加速度計を用いて低強度の活動は評価されにくいことが指摘されてきた。Kumahara et al.²²⁾の報告でも、ヒューマンカロリーメーター内の歩行時間を除く、座位中心の活動時のエネルギー消費量との関係は、トレッドミルでの歩行・走行時に比較して低い($r=0.564$)。本研究で用いた一軸加速度計では、約 0.06 G 以上の垂直方向への加速度変化量を検出した場合、微小運動量として認識される。低強度の活動時の微小運動量は、最も高いブロック遊び時でも 0.2 ± 0.1 であった(Table 2)。Tanaka et al.¹⁴⁾は、三軸加速度計を用いてブロック遊び時における加速度を検討したところ、垂直方向への加速度の絶対値の平均は 0.010 ± 0.005 G であった。そのため、本研究で用いた一軸加速度計による微小運動量では、十分に活動を検出できていないものと考えられる。Tanaka et al.¹⁴⁾は、低強度の活動時における加速度は、垂直方向よりも水平方向の加速度の関与が大きいことを報告している。しかし、本研究においては、樋口ら²¹⁾と

Kumahara et al.²²⁾の両推定値とも実測値を過大評価した(Figure 4, Table 2)、これは、何れの推定式もトレッドミル歩行・走行時の値を用いて二次回帰直線を用いた式であったため、特に、高強度の活動を含んだ樋口ら²¹⁾の推定式において、低強度の活動強度を過大評価したものと考えられる。ただし、本研究で用いた一軸加速度計は、“運動強度”が0または0.5の時、1以上の時とは異なり、推定基礎代謝量からエネルギー消費量を推定する。従って、本研究で得られた上記の結果は、加速度の“運動強度”と推定式を用いた場合にのみ適用できる。

階段昇降時の PAR の推定値と実測値の差は、樋口ら²¹⁾の推定式が -0.3 ± 0.8 ($-6.8 \pm 17.0\%$)、Kumahara et al.²²⁾の推定式が -0.2 ± 0.8 ($-3.9 \pm 17.2\%$)の過小評価であった(Figure 4, Table 2)。階段昇降に関しては、加速度計が昇りの活動強度を過小評価、下りの強度を過大評価することが知られている^{37,38)}。本研究において昇りと下りをまとめて評価すると、わずかな過小評価であった。しかし、歩行・走行を過大評価していることを考えると、階段昇降の強度を十分にとらえることができていないと考えられる。また、ボール投げは各々 -1.1 ± 0.7 ($-25.8 \pm 18.5\%$)、 -1.2 ± 0.7 ($-30.0 \pm 18.9\%$)の過小評価であった。本研究で用いた一軸加速度計は、歩行あるいは走行と考えられる加速度波形を生じた場合のみ、“運動強度”として感知する。Tanaka et al.¹⁴⁾は、三軸加速度計を用いてボール投げにおける加速度を検討したところ、垂直方向よりも水平方向の加速度の関与が大きいことを明らかにしている。本研究で用いたような歩行あるいは走行時の垂直方向の加速度波形を評価する一軸加速度計では、歩行や走行時は過大評価するにも関わらず、水平方向の動きや歩行の波形に合わない垂直方向への加速度が評価されていないために過小評価したものと思われる。ボール投げは、ほとんどの対象者で PAR が3を越えており、日常的な歩行よりも強い活動と言える。このように、十分な歩行を伴わなくても中強度以上の活動に分類される活動が存在すること、および、そうした活動を本研究で使用した一軸加速度計では評価できないことは特筆されるべき点である。本研究で用いた一軸加速度計は、一日の総エネルギー消費量や運動量も表示されるが、これらは“運動強度”に基づき算出される。そのため、

5～6歳の幼児を対象に使用する際は、この点に留意しなければならない。

三軸加速度計を用いて評価した Tanaka et al.¹⁴⁾の合成加速度と PAR との関係を検討した結果と比較して、本研究の一軸加速度計の垂直方向の加速度を基に評価した“運動強度”と PAR の相関は、若干弱かった。特に、低強度活動やボール投げのように、歩行を十分に伴わない活動の場合、加速度からの活動強度の推定に問題があることが明らかとなった。その主な原因は、歩行を伴っている場合のみ“運動強度”として1以上が与えられるが、ボール投げでさえ十分な歩行が観察されないことと考えられる。加えて、先にも述べたように、低強度活動やボール投げの場合は、歩行・走行時と比べ、垂直方向より水平方向の加速度の値が大きくなる傾向がある¹⁴⁾が、本研究で用いた加速度計は垂直方向の加速度だけで評価している。その点も、三軸加速度計による推定との大きな違いであると考えられる。

尚、本研究においては、基礎代謝量と座位安静時代謝量の比率として、沼尻³²⁾をはじめ多くの研究者が採用している、成人における比率=1.2を用いることによって、METs と PAR の換算を行った。ただし、米国/カナダの食事摂取基準³¹⁾では、成人についてはほぼ1.1倍であると考え、基礎代謝量と座位安静時代謝量との換算を行っている。このように、1.2倍という仮定に問題が含まれていることを踏まえて、本研究の結果を解釈する必要がある。ただし、本研究において、樋口ら²¹⁾あるいは Kumahara et al.²²⁾の推定式を用いた場合に得られる歩行・走行時の PAR 推定の %difference は 73.5～98.2%であり、 $0.1(1.2-1.1)=10\%$ 程度より明らかに大きな差が得られている。したがって、本研究で得られた結論には影響しないと考えられる。

こうして推定された子どもや成人の PA レベルの区分に注目がなされている^{8,11,20)}。活動強度を分類する際、成人では、一般に METs が 3 までを低強度、6 までを中強度、6 より大きくなると高強度として分類される³⁹⁾。Kumahara et al.²²⁾によると、本研究で用いた一軸加速度計の“運動強度”は、成人の場合、3 までが低強度、4 から 6 が中強度、7 以上が高強度に対応する。一方、本研究の幼児では、4 あるいは 5 までが低強度、5 あるいは 6 から 8 が中強度、9 が高強度に相当すると考えられる。しか

し、全体に推定誤差は大きく、ボール投げなどの評価しにくい活動があり、明確にすることはできない。

V. ま と め

本研究では、幼児を対象に、歩行・走行を含む日常生活にみられる活動時の PA に関する、一軸加速度計を用いた推定精度について検討した。さらに、成人の歩行・走行を用いて作成された活動強度の推定式を用いて、幼児を対象とした活動強度評価について検討した。その結果、一軸加速度計による“運動強度”は、PAR との間に有意な相関関係がみられた。歩行・走行時については、活動強度を過大評価した。一方、中強度活動に分類される階段昇降、ボール投げは過小評価した。このように腰部装着型の一軸加速度計による“運動強度”から成人の推定式を用いて推定した活動強度は、活動の種類別に大きな誤差を伴うことが明らかとなった。ただし、本研究は 2 種類の速度での歩行・走行での検討であったなどの限界はある。そのため、活動強度区分のための境界値については、今後更なる検討が必要である。

謝 辞

本研究にご参加頂いた桜美林幼稚園の園児および保護者の皆様に感謝致します。本研究の実施に際し、多大なるご協力をいただいた桜美林幼稚園の柿澤美代子先生および桜美林大学の三上摩希子さん、吉村亜沙子さん、小川貴之さんに深謝致します。本研究は、平成17・18年度文部科研費(若手研究(B))から研究助成を受けて実施したものである。

(受理日 平成19年8月8日)

引用文献

- 1) Matsushita, Y., Yoshiike, N., Kaneda, F., Yoshita, K., Takimoto, H. Trends in childhood obesity in Japan over the last 25 years from the national nutrition survey. *Obes. Res.* (2004), **12**, 205-214.
- 2) Bhargava, S. K., Sachdev, H. S., Fall, C. H. D., Osmond, C., Lakshmy, R., Barker, D. J. P., Dey Biswas, S. K., Ramji, S., Prabhakaran, D., Reddy, K. S. Relation of serial changes in childhood body-mass index to impaired glucose tolerance in young adulthood. *N. Engl. J. Med.* (2004), **350**, 865-875.
- 3) Abbott, R. A., Davies, P. S. W. Habitual physical activity and physical activity intensity: their relation

- to body composition in 5.0-10.5-y-old children. *Eur. J. Clin. Nutr.* (2004), **58**, 285-291.
- 4) Trost, S. G., Sirard, J. R., Dowda, M., Pfeiffer, K. A., Pate, R. R. Physical activity in overweight and nonoverweight preschool children. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* (2003), **27**, 834-839.
 - 5) Caspersen, C. J., Powell, K. E., Christenson, G. M. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep.* (1985), **100**, 126-131.
 - 6) Westerterp, K. R. Assessment of physical activity level in relation to obesity: current evidence and research issues. *Med. Sci. Sports Exerc.* (1999), **31**, S522-S525.
 - 7) 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, (2002), **60**, 265-276.
Yamamura, C., Tanaka, S., Kashiwazaki, H. Questionnaire as a tool for the assessment of physical activity level: a review of validation studies. *Jpn. J. Nutr. Diet* (2002), **60**, 265-276 (in Japanese)
 - 8) Treuth, M. S., Schmitz, K., Catellier, D. J., McMurray, R. G., Murray, D. M., Almeida, M. J., Going, S., Norman, J. E., Pate, R. Defining accelerometer thresholds for activity intensities in adolescent girls. *Med. Sci. Sports Exerc.* (2004), **36**, 1259-1266.
 - 9) Chen, K. Y., & Bassett, D. R. Jr. The technology of accelerometry-based activity monitors: current and future. *Med. Sci. Sports Exerc.* (2005), **37**, S490-S500.
 - 10) Freedson, P., Pober, D., Janz, K. F. Calibration of accelerometer output for children. *Med. Sci. Sports Exerc.* (2005), **37**, S523-S530.
 - 11) Matthews, C. E. Calibration of accelerometer output for adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* (2005), **37**, S512-S522.
 - 12) Reilly, J. J., Coyle, J., Kelly, L., Burke, G., Grant, S., Paton, J. Y. An objective method for measurement of sedentary behavior in 3- to 4-year olds. *Obes. Res.* (2003), **11**, 1155-1158.
 - 13) Pfeiffer, K. A., McIver, K. L., Dowda, M., Almeida, M. J. C. A., Pate, R. R. Validation and calibration of the Actical accelerometer in preschool children. *Med. Sci. Sports Exerc.* (2006), **38**, 152-157.
 - 14) Tanaka, C., Tanaka, S., Kawahara, J., Midorikawa, T. Triaxial accelerometry for assessment of physical activity in young children. *Obesity*, (2007), **15**, 1233-1241.
 - 15) 奥川敬祥, 橋本尚士, 井笠晴義, 上村孝則, 榎原清一, 木下 悟, 白田東平, 岩田幸恵, 堀 智里, 高見 暁, 今村 勝, 内山 聖, 万歩計を用いた農村部幼児の運動量評価と生活習慣との関連, 小児科診療, (1998), **10**, 1788-1791.
 - 16) 菊池 透, 山崎 恒, 亀田一博, 樋浦 誠, 仁科正裕, 内山 聖, 保育所における保育士の働きかけと運動量との関連, 小児保健研究, (2002), **61**, 470-474.
 - 17) 加賀谷淳子, 清水静代, 村岡恭歩, 岡田知雄, 西田ますみ, 木村有里, 大森美美子, 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.* (2003), **13**, 1-8.
 - 18) Bouchard, C., & Shephard, R. J. Physical activity, fitness and health: the model and key concepts. In: Bouchard, C., Shephard, R. J., Stephens, T., *Physical Activity, Fitness and Health: International Proceedings and Consensus Statement*. Champaign: Human Kinetics, 1994; 77-88.
 - 19) 運動所要量・運動指針の策定検討会, 健康づくりのための運動基準2006 ~身体活動・運動・体力~ 報告書, (2006).
 - 20) Puyau, M. R., Adolph, A. L., Vohra, F. A., Zakeri, I., Butte, N. F. Prediction of activity energy expenditure using accelerometers in children. *Med. Sci. Sports Exerc.* (2004), **36**, 1625-1631.
 - 21) 樋口博之, 綾部誠也, 進藤宗洋, 吉武 裕, 田中宏暁, 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, (2003), **52**, 111-118.
Higuchi, H., Ayabe, M., Shindo, M., Yoshitake, Y., Tanaka, H. Comparison of daily energy expenditure in young and older Japanese using pedometer with accelerometer. *Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med.* (2003), **52**, 111-118 (in Japanese)
 - 22) Kumahara, H., Schutz, Y., Ayabe, M., Yoshioka, M., Yoshitake, Y., Shindo, M., Ishii, K., Tanaka, H. 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.* (2004), **91**, 235-243.
 - 23) Torun, B., Davies, P. S. W., Livingstone, M. B. E., Paolisso, M., Sackett, R., Spurr, G. B. Energy requirements and dietary energy recommendations for children and adolescents 1 to 18 years old. *Eur. J. Clin. Nutr.* (1996), **50**, S37-S81.
 - 24) Trost, S. G., Ward, D. S., Moorehead, S. M., Watson, P. D., Riner, W., Burke, J. R. Validity of the computer science and applications (CSA) activity monitor in children. *Med. Sci. Sports Exerc.* (1998), **30**, 629-633.
 - 25) Eston, R. G., Rowlands, A. V., Ingledew, D. K. Validity of heart rate, pedometer, and accelerometry for predicting the energy cost of children's activities. *J. Appl. Physiol.* (1998), **84**, 362-371.
 - 26) Schmitz, K. H., Treuth, M., Hannan, P., McMurray, R., Ring, K. B., Catellier, D., Pate, R. Predicting energy expenditure from accelerometry counts in adolescent girls. *Med. Sci. Sports Exerc.* (2005), **37**, 155-161.
 - 27) Eisenmann, J. C., Strath, S. J., Shadrick, D., Rigsby, P., Hirsch, N., Jacobson, L. Validity of uniaxial accelerometry during activities of daily living in children. *Eur. J. Appl. Physiol.* (2004), **91**, 259-63.
 - 28) Weir, J. B. d. V. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism.

身体活動レベル(PAL)とエネルギー必要量

田中茂穂*

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、表-1のような構成要素に分けられる。

TEEの中で最も大きな構成成分は、基礎代謝量(basal metabolic rate: BMR)である。このバラツキの大部分は、体格、とく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。より簡便には、性・年齢や体重などからBMRを推定する。

その次に大きな構成成分である身体活動は、運動や余暇・家事・仕事などによって構成されるが、個人内・個人間で大きなバラツキがある。そ

れに対し、食事誘発性熱産生は、TEEにはほぼ比例し(約10%程度)、また、絶対量が小さい。

そこで、身体活動レベル(physical activity level: PAL)という指標が考案された。さまざまな身体活動の強度は、BMRの倍数として表すことができる。PALは、その1日当たりの平均値であり、身体活動量が大きいほど大きな値となる。FAO/WHO/UNUが1985年にこの指標を採用して以降、性別・年齢・体重などからBMRを推定し、それにPALの推定値をかけることによってTEEを推定することが、一般的である。日本でも、「第六次改定 日本人の栄養所要量-食事摂取基準」(1999)から、この方法を採用している。ただし、アメリカ/カナダのDRI¹⁾は、独自の

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	割合は大きいですが、体格でおおよそ決定
食事誘発性熱産生	10	50	割合も変動幅も小さいが、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(スポーツ選手などは除く)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。

* (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

表-2 最近の栄養所要量・食事摂取基準における生活活動強度・身体活動レベルの比較

第五次改定		第六次改定		日本人の食事摂取基準(2005年版)：成人	
生活活動強度とPAL	日常生活の内容	生活活動強度とPAL	日常生活の内容	身体活動レベルとPAL	日常生活の内容
I (軽い) 1.50	通勤、買物など1時間程度の歩行と軽い手作業や家事などによる立位のほかは大部分座位で事務、勉強、談話などを行っている場合	I (低い) 1.3	散歩、買物など比較的ゆっくりとした1時間程度の歩行のほか、大部分は座位での読書、勉強、談話、また座位や横になってのテレビ、音楽鑑賞などを行っている場合	I (低い) 1.50 (1.40~1.60)	生活の大部分が座位で、静的な活動が中心の場合
II (中等度) 1.67	通勤、買い物のほか仕事などで2時間程度の歩行と事務、読書、談話による座位のほか機械操作、接客、家事などによる立位時間の多い場合	II (やや低い) 1.5	通勤、仕事などで2時間程度の歩行や乗車、接客、家事など立位での業務が比較的多いほか、大部分は座位での事務、談話などを行っている場合	II (普通) 1.75 (1.60~1.90)	座位中心の仕事だが、職場内での移動や立位での作業・接客など、あるいは通勤・買物・家事、軽いスポーツなどのいずれかを含む場合
III (やや重い) 1.94	農耕、漁業、建築などで座位、立位、歩行のほか1日のうち1時間程度は重い筋作業に従事している場合	III (適度) 1.7	生活活動強度IIの者が1日1時間程度は速歩やサイクリングなど比較的強い身体活動を行っている場合や、大部分は立位での作業であるが1時間程度は農作業、漁業などのような強い作業に従事している場合	III (高い) 2.00 (1.90~2.20)	移動や立位の多い仕事への従事者、あるいは、スポーツなど余暇における活発な運動習慣をもっている場合
IV (重い) 2.22	1日のうち2時間程度は激しいトレーニングとか木材の運搬、農繁期の農耕作業などのような重い作業に従事している場合	IV (高い) 1.9	1日のうち1時間程度は激しいトレーニングや木材の運搬、農繁期の農耕作業などのような強い作業に従事している場合		

第五次改定のPALは生活活動指数より換算

TEE 推定式を作成している。

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、さら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

日本においては、「第六次改定 日本人の栄養所要量-食事摂取基準-」(1999)から「日本人の食

事摂取基準(2005年版)²⁾にかけて、標準的なPALの値を、1.5から1.75(1.60~1.90)へと大きく変更した(表-2)。第六次改定までは、1日の生活活動内容とその推定強度から要因加算法によりTEEを推定していた。しかし、2005年版では、初めて二重標識水(Doubly Labeled Water: DLW)法という客観的な方法を用い、(独)国立健康・栄養研究所が、全国4カ所の健康な成人を対象に実施した大規模な調査結果³⁾に基づいて、PALの値を決定した。この点が、2005年版の大きな特徴である。

しかし、第六次改定から2005年版に大きな変化があったのは、前者の決定法の問題もある。第六次改定以前に用いられていた「生活活動強度」の指数をPALに換算することは可能である。それら

を比較すると、第六次では、第五次までと比べ、PALが1段階ずつ引き下げられていた(表-2)。第五次改定までの値は、2005年版と比べて若干小さい程度であり、むしろ、第六次改定が例外的であったといえる。これは、主に、第六次改定のみにおいて、エネルギー代謝率(relative metabolic rate)やメッツ(metabolic equivalent)の計算に用いられている座位安静時代謝量とBMRが等しいと考えてしまったことが原因だと考えられる⁴⁾。第五次改定まで、座位安静時代謝量 = BMR × 1.2としている。

2005年版の推定エネルギー必要量は、とく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の約1.6~1.9倍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⁵⁾。

なお、成人における基礎代謝基準値は20.7kcal/kg/d(50歳以上の女性)~24.0kcal/kg/d(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/d)は、40kcal/kg/d前後となる。この値は、第六次改定に基づいている「日本糖尿病学会編 糖尿病治療ガイド2002-2003」に示されている値と比べると、かなり大きい。

TEEの各構成要素の変動と、肥満への関与

表-1には、体重60kg程度の、日本人として標準的な体格を仮定した場合における、TEEの各構成要素の変動幅も示してある⁶⁾。

エネルギー消費量の各構成要素が体重増加に関連しているかどうかについては、実は十分にわかっていない。そのうち、食事誘発性体熱産生については、関連を示唆する研究も多い。しかし、それらを含め、方法論上の問題が大きい⁷⁾。そこで、残りの2つ、すなわちBMRと身体活動の個人差やそれらの体重変動との関係について、以下にまとめた。

1. BMR

TEEの個人間変動には、本来、体格の個人差

に伴うBMRの個人間変動が大きく寄与している。しかし、表-1では体格を規定して考えているため、BMRの変動幅は小さくなっている。

一般に、国際的に用いられている推定式でも、日本の基礎代謝基準値でも、推定誤差はおおよそ8~13%程度(100~180kcal/d程度に相当)といわれてきた⁶⁾。しかし、BMRと性質の近い睡眠時代謝量をヒューマンカロリメーターで測定し、体格などから推定式を作成すると、推定の標準誤差はおおよそ80kcal/dかそれ以下となった⁸⁾。これは、睡眠時代謝量の約6%程度に相当し、過去の報告あるいは同一被験者を対象に得られたBMRの推定式と比べても小さい値である。そのような結果が得られた原因として、以下のような点が考えられる。

- ・ヒューマンカロリメーターは、長時間での測定が非常に正確であること(誤差が約1%程度、一般の呼気ガス分析では3~5%程度)

- ・代謝が変化しやすい「起床直後」に短時間で測定するBMRと比べ、睡眠時は、安定した状態が得られやすいと考えられること

したがって、一定の安静状態におけるエネルギー消費量の個人差は、測定誤差や条件のブレによってもたらされてきたものであり、真の個人差は、これまで考えられていたほどは大きくないのではないかと考えられる。先の睡眠時代謝量の値からすると、除脂肪量が与えられると、95%の確率で±150kcal/dの幅に収まることになる。しかも、その中には、個人内変動が含まれている。

また、「BMRが大きいことが肥満予防に有効」とよくいわれる。しかし、BMRと肥満との関係については、否定的なものが多い⁹⁾。BMRとその後の体重増加についての最も有名な研究は、Pima Indianを対象としたものである^{10,11)}。これらは、「除脂肪量等で補正したBMRはその後の体重増加や肥満と関係している」と報告している。しかし、例えばRavussinら¹⁰⁾の場合、補正したBMRとその後の体重変化との相関係数は、統計的に有意ではあるものの、-0.19でしかない。その他の、比較的よくコントロールされた研究では、有意な相関が得られていない⁹⁾。

表-3 1,000kcal/dの過食に伴う各構成要素の変化量(kcal/d)と、体脂肪の変化量との相関

構成要素	平均±標準偏差(kcal/d)	体脂肪の変化量との相関
体脂肪量	389±188	
除脂肪量	43±22	
基礎代謝量	79±126	n.s.
食事誘発性体熱産生	137±83	n.s.
NEAT	328±256	-0.77

n.s. : 5%水準で有意な相関がみられなかったことを示す。

2. 身体活動

身体活動は、とくに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、余暇・家事・仕事などそれ以外の活動による“生活活動”に大別できる¹²⁾。

運動がTEEに占める割合は、一般に小さい。例えば、運動として30分間の速歩を週5回実施しても、それによって付加されるエネルギーは、1日当たりに換算するとおよそ $(4-1) \times 30 \times 5 \div 7 \approx 65$ kcalにしかならない。これは、TEEのわずか3%程度である。

それにもかかわらず、PALは一般に1.4程度から2.2程度の幅に分布する²⁾。これは、食事誘発性体熱産生も含まれているものの、主に運動以外の身体活動(=生活活動)によるものである。運動以外の身体活動(生活活動)は、国際的に注目されるようになったNonexercise activity thermogenesis (NEAT)にも相当する¹³⁾。NEATは、姿勢の保持(座位や立位を含む)や、掃除・洗濯を含む家事、買い物・通勤などにおける歩行、庭仕事などの余暇活動、工作中における荷物の運搬など、低～中強度を中心にさまざまな活動が含まれる。一般に、PALの標準偏差は0.2を超える。BMRが1,400kcal/日程度の標準的な体格であれば、このばらつきは±200～300kcal/d(標準偏差)に相当する。

NEATの構成要素としてfidgeting(そわそわ動き)も含まれる。ヒューマンカロリーメーター内

でも100～800kcal/dのNEATが報告されているが¹⁴⁾、SMRで補正した後の標準偏差は100kcal/d程度になり、一部は姿勢で説明できる(Tanaka, S. et al. 未発表資料)。日常生活については、この2～3倍程度のバラツキとなるが、両者には有意な相関がみられる^{15,16)}。

NEATは、平均値や変動幅が大きいだけでなく、肥満にも関与している可能性が示唆されている。Levineらは、1日1,000kcalもの過食を8週間続けるという実験を行った¹⁷⁾。その1,000kcal/dがどのように利用されたかを、身体組成やエネルギー消費量の測定値から推定した。その結果、平均して39%が体脂肪に変わっていたが、その次に割合が大きかったのは、運動以外の身体活動であった(表-3)。また、この過食実験により体脂肪が増加した割合に大きな個人差がみられたが、この個人差と関連していたのは、BMRや食事誘発性体熱産生の変化量ではなく、NEATの変化量であった。すなわち、過食した時に、NEATが増加するかどうかによって太るかどうかが決定されるという結果であった。

Levineらは、その後、肥満者と非肥満者で、日常生活における姿勢とエネルギー消費量を比較した¹⁸⁾。その結果、肥満者は平均して座位の時間が約2時間半長く、それによるエネルギー消費量の差は352kcal/dに及ぶと推定している(図-1)。また、肥満者が痩せたり非肥満者が太ったりしてもその傾向は変わらなかったため、遺伝的に姿勢が規定されているのではないかと考察している。このように、NEATも肥満と関連している可能性がある。

ただし、DLW法により評価した身体活動量(身体組成で補正した身体活動のエネルギー、あるいはPAL)とその後の体重増加に関する結果は、必ずしも一致していない(表-4)。減量した女性については、2つの異なる研究グループから肯定的な結果が得られている。それに対し、主に子どもを対象としたその他のほとんどの報告においては、統計的に有意な関係が得られていない。

NEATの構成要素、あるいは規定要因(生理学的要因、行動科学的要因、環境要因…)については、現在のところ十分にわかっていない¹³⁾。「低

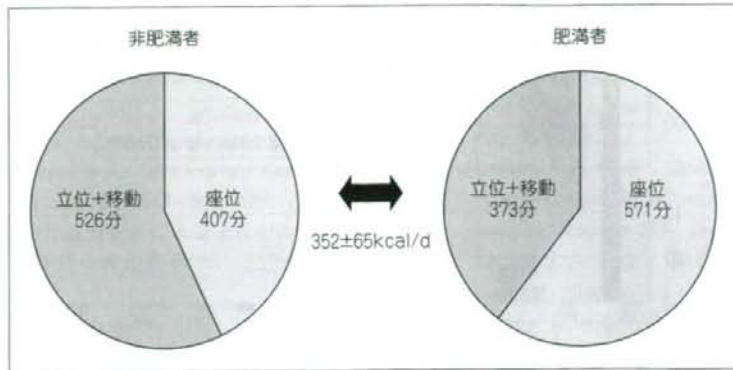


図-1 肥満者と非肥満者における姿勢・動作の違いと、それによって生じるエネルギー消費量の差(文献18より引用作図)

表-4 二重標識法を用いて評価した身体活動量とその後の体重・身体組成の変化に関する研究結果

文献	対象	主な結果
成人を対象とした研究		
Schoeller (1997)	減量した女性	活動的な群(≒減量維持): PALの平均=1.89 vs 不活動群(≒減量維持失敗): 1.45
Weinsier (2002)	減量した女性	減量維持成功群: PALの平均=1.73 vs 減量維持失敗群: 1.60
Tataranni (2003)	成人	身体活動量と体重変化は無相関
Ekelund (2007)	肥満者と非肥満者	身体活動量と体重変化は無相関。非肥満者で加速度の変化量と体重変化のみ相関
子どもを対象とした研究		
Goran (1998)	4~7.2歳	身体活動量と体重変化は無相関
Johnson (2000)	4.6~11.0歳	3~5年の観察で、体脂肪量の変化と相関なし
Figueroa-Colon (2000)	4.8~8.9歳	身体活動量と体脂肪量に1.6年後のみ相関あり(2.7年後はなし)
Salbe (2002)	5歳	身体活動量と体重変化は無相関(Pima Indian)
Treuth (2003)	8~9歳	身体活動量やPALと体脂肪量の変化は無相関

強度活動(自転車こぎ)における作業効率とNEATの変化量どうしが関連していた」という興味深い報告もみられる¹⁹⁾。

身体活動に関する今後の課題

現時点では、身体活動、とくにNEATを正確に定量化することは難しい^{6,13)}。ヒューマンカロリーメーターで運動を含まない生活を送ると、

PALは1.3~1.4程度である²⁰⁾。1.75程度のPALとなるようにするには、約80m/分程度の普通歩行を約3時間程度行う必要がある²¹⁾。しかし、標準的な歩数から推定すると、1日に歩いている時間(室内歩行を含む)は1~1.5時間程度にしかない。したがって、身の回りのことなどの必須活動と歩行以外に、残りの1.5~2時間程度の普通歩行に相当するだけの身体活動があるはずである。現在市販されている歩数計タイプの加速度

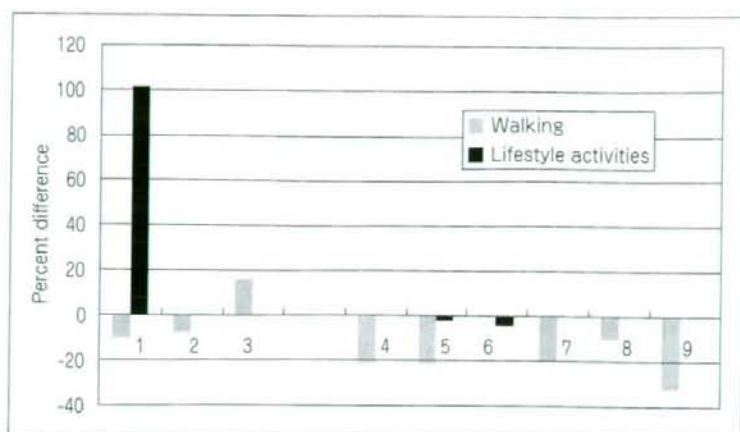


図-2 歩行または生活活動から得られた推定式を用いた、加速度計による総エネルギー消費量の推定誤差(文献23より引用作図)
横軸のそれぞれの数字は、1つの論文に対応する。1～3は三次元加速度計(Tri-trac)、4～9は一次元加速度計(Actigraph)を用いた結果。

計を用いた場合、DLW法と比較して、平均して10～40%近くもTEEが過小評価される⁶⁾のは、こうしたことが主な理由であると考えられる。

このように、歩行はもちろん、歩行以外の身体活動も重要であると考えられる。これまでの加速度計では歩行と歩行以外を区別できず、歩行時に得られた加速度からの推定式は、生活活動(lifestyle activity)を過小評価する傾向にあった²²⁾。その結果として、歩行時の加速度とエネルギー消費量との関係式からTEEを推定すると過小評価するのに対し、生活活動から得られた関係式を用いると、必ずしもそうではないという報告もある(図-2)²³⁾。

この点を打開するために、垂直方向の加速度の平均値に加えて“バラツキ”も考慮することによって、歩行と生活活動に分ける方法が考案されている²⁴⁾。一方、われわれは、三次元加速度計(ジー・エム・エス社製のアクティブトレーサーなど)を用いて、両者を区別する方法を検討した。歩行・走行時は、速度・強度が大きくなるほど、とくに垂直方向の加速度が大きくなる。それに対して、生活活動では、水平方向に比べ垂直方向の値はそれほど大きくならない。そこで、垂直方向と水平方向の加速度の比を用いて、歩行・走行タイプと生活活動タイプを判別する方法を考案

した^{25,26)}。このように、歩行以外の身体活動も評価できる方法を検討していく必要がある。

まとめ

これまで、エネルギー消費量の推定や肥満の成因を考える際には、主にBMRが話題となってきた。しかし、BMRの変動幅はそれほど小さくなく、また、ある程度の精度で推定することも可能である。これからは、個人差が大きく、これまで十分に注目されてこなかった運動以外の身体活動の評価法や肥満との関連について検討していく必要があると考えられる。

文 献

- 1) Institute of Medicine of the National Academies: Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids. The National Academies Press, 107-264, 2005.
- 2) 第一出版編集部編: 厚生労働省策定 日本人の食事摂取基準(2005年版)。第一出版, 28-38, 2005.
- 3) Ishikawa-Takata, K. et al.: Physical activity level in healthy free-living Japanese estimated by the doubly labeled water method and Inter-

- national Physical Activity Questionnaire. *Eur. J. Clin. Nutr.* Epub ahead of print, 2007.
- 4) 田中茂穂: エネルギー摂取基準の考え方. *体育の科学* 55: 273-277, 2005.
 - 5) Westerterp, K. R. : Impacts of vigorous and non-vigorous activity on daily energy expenditure. *Proc. Nutr. Soc.* 62: 645-650, 2003.
 - 6) 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.
 - 7) Granata, G. P. and Brandon, L. J. : The thermic effect of food and obesity : discrepant results and methodological variations. *Nutr. Rev.* 60: 223-233, 2002.
 - 8) Ganpule, A. A. et al. : Interindividual variability in metabolic rates in Japanese subjects. *Eur. J. Clin. Nutr.* Epub. ahead of print, 2007.
 - 9) Weinsier, R. L. et al. : Low resting and sleeping energy expenditure and fat use do not contribute to obesity in women. *Obes. Res.* 11: 937-944, 2003.
 - 10) Ravussin, E. et al. : Reduced rate of energy expenditure as a risk factor for body-weight gain. *N. Engl. J. Med.* 318: 467-472, 1988.
 - 11) Tataranni, P. A. et al. : Body weight gain in free-living Pima Indians : effect of energy intake vs expenditure. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 27: 1578-1583, 2003.
 - 12) 運動所要量・運動指針の策定検討会: 健康づくりのための運動基準2006~身体活動・運動・体力~報告書, 2006.
 - 13) Levine, J. A. : Non-exercise activity thermogenesis (NEAT). *Nutr. Rev.* 62: S82-S97, 2004.
 - 14) Ravussin, E. et al. : Determinants of 24-hour energy expenditure in man. Methods and results using a respiratory chamber. *J. Clin. Invest.* 78: 1568-1578, 1986.
 - 15) Snitker, S. et al. : Spontaneous physical activity in a respiratory chamber is correlated to habitual physical activity. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 25: 1481-1486, 2001.
 - 16) Westerterp, K. R. and Kester, A. D. : Physical activity in confined conditions as an indicator of free-living physical activity. *Obes. Res.* 11: 865-868, 2003.
 - 17) Levine, J. A. et al. : Role of nonexercise activity thermogenesis in resistance to fat gain in humans. *Science* 283: 212-214, 1999.
 - 18) Levine, J. A. et al. : Interindividual variation in posture allocation : possible role in human obesity. *Science* 307: 584-586, 2005.
 - 19) Rosenbaum, M. et al. : Effects of experimental weight perturbation on skeletal muscle work efficiency in human subjects. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 285: R183-R192, 2003.
 - 20) 田中茂穂ら: 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.
 - 21) de Jonge, L. et al. : Prediction of energy expenditure in a whole body indirect calorimeter at both low and high levels of physical activity. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 25: 929-934, 2001.
 - 22) Matthew, C. E. : Calibration of accelerometer output for adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37: S512-S522, 2005.
 - 23) 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.
 - 24) Crouter, S. E. et al. : A novel method for using accelerometer data to predict energy expenditure. *J. Appl. Physiol.* 100: 1324-1331, 2006.
 - 25) Tanaka, C. et al. : Triaxial accelerometry for assessment of physical activity in young children. *Obesity* 15: 1233-1241, 2007.
 - 26) Midorikawa, T. et al. : Evaluation of low-intensity physical activity by triaxial accelerometry. *Obesity in press.*