

#### 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<sup>21)</sup>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.<sup>22)</sup>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<sup>34)</sup>。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、ボールを投げていない時間も含まれる。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トリーを用いたMETsとの関係を検討した、樋口ら<sup>21)</sup>( $r=0.958$ )やKumahara et al.<sup>22)</sup>( $r=0.964$ )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.<sup>20)</sup>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<sup>8, 25~27)</sup>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<sup>20, 24)</sup>。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<sup>21)</sup>が平均で1.20、Kumahara et al.<sup>22)</sup>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、 $57.4 \pm 9.4$  m/分と $118.2 \pm 16.2$  m/分であった。また、その際の歩行率は、 $122.7 \pm 13.4$  歩/分と $188.1 \pm 9.7$  歩/分であった。波多野<sup>35)</sup>は、平均年齢24.7  $\pm$  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60 mの歩行では約80~115歩/分、分速120 m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<sup>21)</sup>および Kumahara et al.<sup>22)</sup>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 $4.8 \pm 1.3$  ( $94.9 \pm 48.7\%$ )と $3.6 \pm 1.3$  ( $73.5 \pm 43.1\%$ )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<sup>21)</sup>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.<sup>22)</sup>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<sup>21)</sup>と Kumahara et al.<sup>22)</sup>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<sup>11,26,34,36)</sup>、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.<sup>22)</sup>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 $0.2 \pm 0.1$ であった(Table 2). Tanaka et al.<sup>14)</sup>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 $0.010 \pm 0.005$  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.<sup>14)</sup>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<sup>21)</sup>と

Kumahara et al.<sup>22)</sup>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<sup>21)</sup>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<sup>21)</sup>の推定式が $-0.3 \pm 0.8$  ( $-6.8 \pm 17.0\%$ )、Kumahara et al.<sup>22)</sup>の推定式が $-0.2 \pm 0.8$  ( $-3.9 \pm 17.2\%$ )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<sup>37,38)</sup>。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 $-1.1 \pm 0.7$  ( $-25.8 \pm 18.5\%$ )、 $-1.2 \pm 0.7$  ( $-30.0 \pm 18.9\%$ )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.<sup>14)</sup>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である。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.<sup>14)</sup>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<sup>14)</sup>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<sup>32)</sup>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<sup>31)</sup>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<sup>21)</sup>あるいは Kumahara et al.<sup>22)</sup>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<sup>8,11,20)</sup>。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<sup>39)</sup>。Kumahara et al.<sup>22)</sup>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 non-overweight 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) Westterterp, 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, 井埜晴義, 上村孝則, 榊原清一, 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, 村岡慈歩, 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., Ingledeu, D. K. Validity of heart rate, pedometry, 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.

- J. Physiol. (1949), **109**, 1-9.
- 29) FAO/WHO/UNU. Human Energy Requirements : Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation, Rome, 17-24 October 2001, FAO Food and Nutrition Technical Report Series 1, (2004).
- 30) Puyau, M. R., Adolph, A. L., Vohra, F. A., Butte, N. F. Validation and calibration of physical activity monitors in children. *Obes Res.* (2002), **10**, 150-157.
- 31) 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), 880-935.
- 32) 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, (1987).
- 33) Bland, J. M., & Altman, D. G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* (1986), **1 (8476)**, 307-310.
- 34) 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*, (2006), **55**, 527-532.  
Tanaka, S. Evaluation of total energy expenditure using indirect calorimetry. *Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med.* (2006), **55**, 527-532 (in Japanese)
- 35) 波多野義郎. ウォーキングと歩数の科学, 再版, 不昧堂出版, 東京, (1998).
- 36) Bray, M. S., Wong, W. W., Morrow, J. R. Jr., Butte, N. F., Pivarnik, J. M. Caltrac versus calorimeter determination of 24-h energy expenditure in female children and adolescents. *Med. Sci. Sports Exerc.* (1994), **26**, 1524-1530.
- 37) 山田誠二, 馬場快彦, 加速度計を利用したカロリーカウンターによる身体活動エネルギー量測定の有効性, *産業医学*, (1990), **32**, 253-257.
- 38) Montoye, H. J., Washburn, R., Servais, S., Ertl, A., Webster, J. G., Nagle, F. J. Estimation of energy expenditure by a portable accelerometer. *Med. Sci. Sports Exerc.* (1983), **15**, 403-407.
- 39) Pate, R. R., Pratt, M., Blair, S. N., Haskell, W. L., Macera, C. A., Bouchard, C., Buchner, D., Ettinger, W., Heath, G. W., King, A. C., et al. Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *J.A.M.A.* (1995), **273**, 402-407.

◆ 特集 ◆

健康を高める運動の評価

# 集団を対象とした身体活動・運動量の評価

内藤 義彦

## 1. 集団を対象とした視点

身体活動・運動量（以下、特別な場合を除いて身体活動量と略す）を評価する上で、対象が個人の場合と集団の場合とでは、どこに差異があるのだろうか？

個人を対象とした評価には、個別的な、その人固有の属性を評価するというニュアンスがあり、多少時間がかかっても構わないから、身体活動の多寡や質的な問題の有無などを詳細に調べるといふ、個々人の診断という側面が重視されるように思える。

一方、集団を対象とした評価では、個を捨象し各個人が所属する集団全体を意識することが重要である。そして、その集団を構成する各個人の指標を測定し、統計学的分析が行なわれる。特に健康や疾病に関連付けて測定した指標の意味を論ずる場合には疫学研究の手法が用いられる。

疫学研究の手法は、大きく観察研究（記述疫学、分析疫学）と介入研究に分類される。集団を対象として、身体活動量の実態（平均などの代表値、分布、充足・不足の頻度など）がどうなのか、身体活動量と健康状態や疾病発症とはどのような関連があるのか、さらに身体活動量を制御すれば健康や疾病発症にどう影響するか、などを解明するのが運動疫学研究の大きな役割である。なお、因果関係の解明を重視した機序疫学に対して、量的

な影響を評価するための手法として政策疫学という観点が見られ、近年重視されつつある。

いずれにせよ、集団ということは、比較的多数の構成員を対象とした調査を前提としており、調査に要する時間や費用を少なくするという研究者側の負担を減らすだけでなく、被調査者の都合やプライバシーへの配慮が大切である。また、研究として身体活動量を評価する場合には、身体活動・運動に関する今日的な研究意義を検証できることが求められる。したがって、集団を対象とした身体活動量の評価方法には、できるだけ簡便でしかも的確に評価するという二律背反的な難しい条件が求められているのである。本稿では、これらを踏まえ、集団を対象として身体活動量を評価する方法の条件について議論してみたい。

## 2. 集団を対象とした身体活動量の評価方法

身体活動量を評価する方法には表1に示すようなものがある<sup>1-3)</sup>。それぞれの方法は、いくつかの観点（妥当性、再現性、定量性、費用、複雑さ、代表性、被調査者の受容性、評価する主体が調査者か被調査者自身か、客観的か主観的か、前向き調査か思い出し調査かなど）から、使用の目的や条件に応じて適切なものを採用することになる。

この内、集団、すなわち多人数を対象とした疫学研究や健診、生活指導などの現場への導入が比

表1 身体活動量の評価方法

1. calorimetry (消費エネルギー測定法)
① direct calorimetry (直接的消費エネルギー測定法)
② indirect calorimetry (間接的消費エネルギー測定法)
③ doubly labeled water method (二重標識水法)
2. behavioral observation (行動観察法)
3. mechanical and electronic monitors (歩数計や心拍数計などを用いる方法)
4. physiological markers (生理学的マーカーを用いる方法)
5. dietary measures (摂取カロリーより推定する方法)
6. survey procedures (調査票形式の推定法)
① diary (日記方式の自己活動記録法)
② recall method (思い出し法)
③ quantitative history (年間を定量的に評価する方法)
④ general survey (簡易質問法)
⑤ global self-reports (簡易自己評価法)

(LaPorte, et al., 1985<sup>1)</sup> より引用改変)

表2 集団を対象とした身体活動量の評価方法の特徴

種類	24時間行動記録	詳細な質問紙 (7-day recallなど)	少数の質問項目 からなる質問紙	歩数計	加速度計
妥当性	優	良	?~良	?~良	良~優
運動強度の把握	可能	可能	不可または一部 可能	不可	一部可能
定量性	高	中	無~低	中	高
調査の時間的方向性	前向き	後向き	後向き	前向き	前向き
対象者の負担	多	中	少	やや少 (装着負担)	やや少 (装着負担)
調査者の負担 (物品コスト)	少	少	少	少~中	中~多
調査者の負担 (人, 時間)	多	中	少	中 (回収)	中 (回収)
対象者への有益な結果返却	可能	可能	?	?	可能
疫学研究や指導での有用性	定量的に身体活動量を把握できるので、疫学研究では量・反応関係の検討が可能。生活指導にも有用。		リスクファクターの検討やスクリーニングには有用だが、指導にはあまり役立たない。	客観的かつ定量的な指標なので、疫学研究および指導面で有用と考えられるが、身体活動の種類の評価に限界がある。また、装着率の問題がある。	

較的容易な評価方法の代表的なものとしては、①行動記録法、②歩数計、加速度計などによる動作計測法、③質問紙法がある(表2)。この3種類の中で、①は、質問紙と比べると正確性は優れているが、概して記録・後処理が面倒で被調査者の負担も大きい。したがって、複数日の記録や多人数を対象にした調査を実施するのは困難である。②は客観性・定量性を重視して身体の動きを直接的にモニタリングする方法であり、代表的なものとして

歩数計がある。近年のデバイス技術の進歩により、単に歩数に止まらず、加速度や高度センサさらにはGPSを内蔵して身体活動量の評価機能の精度をより高めようとしたもの、メモリおよび通信装置を搭載してパソコンとデータを交換できるものなどが登場している。これには、費用がかかる、データ処理に要する時間がかかる、下肢の動作を主に反映し上肢の身体活動量を評価できない、装着することによって本人の行動に影響を及

ほすおそれがあることなどの問題点がある。結論的には、③質問紙は既して簡便かつ経済的で、後述するように身体活動に関する多様な情報を評価することができる。また、質問の仕方次第で、計測装置では困難な長期的な評価も可能であり、集団を対象とした調査にもっとも導入しやすいのは質問紙といえる。次節以降では、質問紙の開発からその運用と事例を示し、最後に今後の集団を対象とした身体活動量評価の方向性について考察する。

### 3. 質問紙法による身体活動量の評価

#### 1) 質問紙の利用分野

質問紙は疫学研究用に開発されたものが多いが、実用面でも有用である<sup>4)</sup>。メタボリック・シンドロームなど生活習慣病に対する保健指導の際に、身体活動量の充足・不足を判定するためのニーズは今後ますます高まると考えられる。なお、集団を対象とする場合は、評価方法の診断精度よりもスクリーニング性能が重視される。

#### 2) 質問紙利用の留意点

妥当性および再現性（後述）が高い方法が望ましいが、質問数を増やすと被調査者に負担を強いることになり、結果的に正確な回答を得ることが困難になる。また、思い出し（後ろ向き）法では、記憶の曖昧さや身体活動の過剰または過小評価のおそれがあり、主観的評価方法に固有の問題が存在する。

#### 3) 質問紙の設計

具体的に質問紙の内容をどう決めていくかについて概説する。評価する身体活動量は、「調査される者について、調査する者が注目した、特定の時間的枠組みにおける、特定または多種類の動作の総和（あるいはそれらに関連する指標）の多寡に関する情報」と考えられる。以下の点を考慮して（括弧内は考慮すべき事柄）具体的な調査内容と身体活動量の指標を決めていくことになる。

- ①前向きか、後ろ向きか？（行動記録法・log形式・チェック方式、行動に影響するおそれ、記憶の曖昧さなど）
- ②質問紙に記入するのは誰か？（本人、聞き取り、家族など）
- ③どの範囲の時間枠における身体活動量に注目するか？（限定された短時間、1日・1週間・1年・過去の人生全体、平日と休日など）
- ④評価する活動時間の単位は？（秒、分、時間、日、月、年など）
- ⑤どのような内容の身体活動を評価対象とするか？（労働、余暇活動〔定期的運動、ボランティア、その他〕、通勤、家事、歩行、安静など）
- ⑥どのレベル以上の持続時間、頻度、強さの身体活動を評価対象とするか？（評価する活動にカットオフが導入される。たとえば、運動の場合、1回に20分以上、週1回以上の頻度のもののみ把握したりする。また、日常活動では1分以上持続した活動のみを把握したりする。強度のカットオフもしばしば設定される。下肢運動の内、ぶらぶら歩きは無視し、散歩レベルの運動強度以上の運動〔散歩、普通歩行、ジョギング、ランニング、など〕のみ把握することなど）
- ⑦身体活動以外の情報を活用するか？（身体活動自体でなく、身体活動量の多寡に間接的あるいは総合的に関連した質問がある。たとえば、同世代の同性と比べた身体活動量の自己評価、身体活動への意欲などは1日当たりの身体活動量と関連する）
- ⑧多寡を評価する身体活動量の尺度は何か？（二値型〔はい/いいえ、多い/少ない〕、順序型、離散型、連続型）
- ⑨身体活動量の多寡をどう表現するか？（総消費量、基礎代謝分を差し引いた運動量、体重や体表面積で補正した値など）
- ⑩実際に導入するのは容易か？（費用、回答者の行動への影響、回収方法、回答の確認など）

4) 妥当性, 再現性の検討の必要性

質問紙により評価した身体活動量の妥当性は、身体活動量の gold standard との関連性を分析することにより検証される。二重標識水 (DLW) 法による消費エネルギー量は gold standard に近いと考えられるが、この方法は費用がかなりかさむ。そこで、比較的導入しやすい行動記録法や携帯型加速度計を用いた消費エネルギー量を準 gold standard とした検討が多い。その他、最大酸素摂取量、摂取エネルギー量、体組成などを代用した研究もある。

再現性は信頼性とも呼ばれ、同じ対象に2回以上同じ調査 (test-retest) をして同じような結果が得られることである。身体活動は日差変動や季節変動が大きく、再現性は必ずしも高くない。しかも質問紙自体の信頼性が低いのか、身体活動量自体の変動なのか決定するのは難しい。身体活動量のパターンの安定性に関する情報は乏しいのが実状である。

4. 質問紙の事例

欧米の疫学研究で使用されている質問紙およびそれらを活用した研究の情報は他稿に詳しく解説されているのでそれらを参照されたい<sup>5-7)</sup>。ところで、身体活動・運動疫学に関心をもつ多くの研究者の間では、(国際的に標準化した IPAQ<sup>8,9)</sup> を支持する研究もあるが) 欧米の質問紙を文化やライフスタイルが異なる日本にそのまま導入するのは問題があるという一定の共通認識がある。そこで、われわれは、わが国における循環器疾患に関するコホート研究の研究者の多くが参加する公益信託動脈硬化予防研究基金の統合研究において身体活動量を評価するため新たな質問紙を開発した<sup>10)</sup>。ここでは、使用されている身体活動量質問票 (JALSPAQ) の開発担当チームがこだわったポイントを列挙した。

- ①比較的短時間で容易に調査可能 (面接チェックが望ましいが、自記式でも可)
- ②定量評価できる妥当性の比較的高い質問紙

- ③さまざまな活動 (睡眠、仕事、移動、家事、運動、その他の余暇活動) の状況を評価できる
- ④運動強度の評価ができる (中等度の身体活動に時間の評価が求められている)
- ⑤不活動の時間 (sedentary activity) の評価が可能
- ⑥運動の種目、頻度、1回の時間、強さなどの詳しい情報が得られる
- ⑦身体活動量確保への意欲、運動習慣の変容ステージ、阻害要因等の指導に有用と考えられる質問を含む
- ⑧身体活動量の自己評価を含む

この JALSPAQ の妥当性に関しては、行動記録法と加速度計 (ライフコーダ) の2つの方法による消費エネルギー量を standard として用いて検討し、欧米の著名な質問紙に劣らない結果を認めた。統合研究のベースライン調査は昨年度末に終了し、現在はデータ整理作業中である。今後、この調査をもとにした横断から縦断的研究へと進めていく予定である。また、保健指導への応用版に関しても現在開発中である。

5. 集団を対象とした身体活動量評価の今後

質問紙は簡便性・経済性が大きな利点であるが、得られる情報は主観的判断がもとなるので妥当性・正確性には一定の限界があり、科学的評価をするための方法としては不利な点が目立つ。しかし、質問紙であればこそ得られる有用な情報があることから、その存在意義は今後も揺るがないだろう。だからこそ、質問紙で尋ねる内容の吟味と有用性の検証が今後の課題、研究テーマになると考えられる。運動疫学研究において、従来は総エネルギー消費量の観点から身体活動の健康影響を検討した研究が多かったが、近年、運動強度や活動内容、運動の持続時間、頻度、種類、座りがち (sedentary) な時間などさまざまな観点から身体活動を把握しようとする研究が増えつつある。また、個人の身体活動量に影響を及ぼす心理的あるいは環境要因も行動変容を促す重要な情報

として重視されてきている。これらの要因は、基本的には質問紙に頼らざるを得ない部分が多く、ニーズの高い研究分野と考える。

一方、歩数・加速度計は一般に高価であることから、これまでは、体力科学や医学・保健分野における個別的な身体活動量評価や質問紙の妥当性研究の gold standard の1つとして用いられることが多かった。しかし、技術の進歩と一般人への普及が進めば費用の低廉化は可能である。経済性・定量性・妥当性・携帯性・記録性に優れたものが登場すれば、単に身体活動量の評価のためだけでなく、むしろ調査後に行動変容を促す可能性があることから、身体活動量評価のツールとしての将来性は高いと考えられる。

#### おわりに

現在、国が総力をあげて取り組もうとしている医療制度改革の重点課題である生活習慣病対策の内、身体活動・運動面の対策の目指すべき方向性を検討し、そして対策の有効性を科学的に検証していくためには、集団を対象とした身体活動量の評価方法の確立が必要であると考え、集団を構成する個々人の問題点を的確にすくい上げ、後の保健指導や統計分析を行なうのに有用な評価方法の開発と速やかな検証が求められている。

#### [文 献]

- 1) LaPorte RE, et al.: Assessment of physical activity in epidemiologic research: Problems and prospects. *Public Health Rep*, 100: 131—146, 1985
- 2) Montoye HJ, et al.: *Measuring Physical Activity and Energy Expenditure*. Human Kinetics, 1996
- 3) 内藤義彦ほか: 身体活動と生活習慣病—身体活動量の評価. *日本臨床増刊号*, 58: 169—173, 2000
- 4) 内藤義彦: 日常生活における身体活動量の評価「質問紙による身体活動量評価法」. *運動疫学研*, 3: 7—17, 2001
- 5) Kriska AM, et al.: Physical activity questionnaires used in the general population. *Med Sci Sports Exerc (suppl)*, 29: 10—107, 1997
- 6) Sallis JF, et al.: Assessment of physical activity by self-report: status, limitations, and future directions. *Res Q Exerc Sport*, 71: 1—14, 2000
- 7) Lamonte MJ, et al.: Quantifying energy expenditure and physical activity in the context of dose response. *Med Sci Sports Exerc (suppl)*, 33: S370—S378, 2001
- 8) Craig CL, et al.: International Physical Activity Questionnaire: 12-Country Reliability and Validity. *Med Sci Sports Exerc*, 35: 1381—1395, 2003
- 9) Bauman A, et al.: The place of physical activity in the WHO Global Strategy on Diet and Physical Activity. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 2: 10, 2005
- 10) 内藤義彦ほか: 公益信託日本動脈硬化予防研究基金による統合研究における身体活動研究の概要報告. *運動疫学研*, 5: 1—7, 2003

【教育講座】

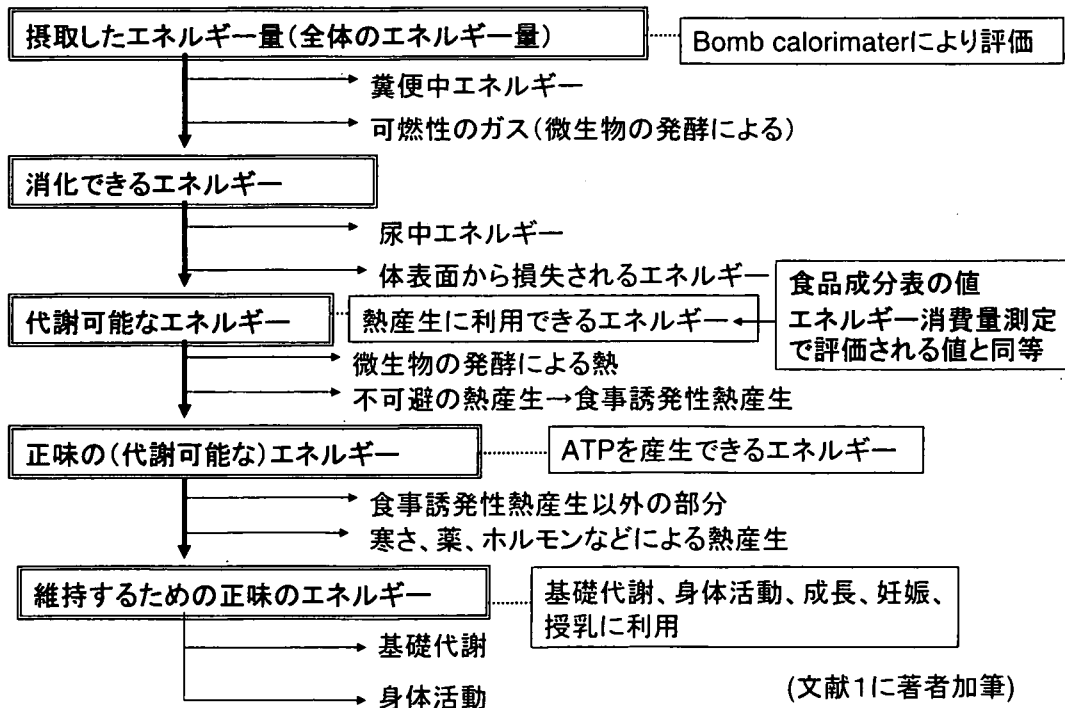
摂取したエネルギーの体内での吸収と利用

独立行政法人 国立健康・栄養研究所 健康増進プログラム 上級研究員  
高 田 和 子

健康や運動に関連する研究あるいは現場において、消費するエネルギー量だけでなく、摂取するエネルギー量を評価し、input と output の両面から考えることが広く行われている。また、エネルギー必要量は、体重維持期におけるエネルギー摂取量が必要量に等しいことから、食事調査結果を素に評価されることもある。あるいは二重標識水法により測定した1日のエネルギー消費量や、基礎代謝、活動代謝などの要素の積算によるエネルギー消費量を素に必要量を検討する場合もある。本稿では、摂取するエネルギーへの理解を深めるために、食物のもっているエネルギー量がどのくらい体内で利用できるのか、エネルギー摂取量とエネルギー消費量を測定した場合、両者は同レベルでの比較が可能なのかについて述べる。

I. 体内でのエネルギー利用

食物が保有するエネルギーは、いろいろな形で利用され、最終的にその一部が身体の維持や、身体を動かすために使われている。食物のもつエネルギーが、どのように体内を通過していくかについては、国連食料農業機関 (Food and Agriculture Organization: FAO) のテクニカルレポート<sup>1)</sup> に詳しい (図1)。食物自体がもっているエネルギーはボンベ熱量計により、完全燃焼した時に発生する熱のエネルギー (食物がもつ化学結合のエネルギーが転化したエネルギー) として測定される。この完全燃焼した場合のエネルギー量が、摂取するエネルギーの最大量であり、「摂取したエネルギー」または「全体のエネルギー」と考えられる。食物を摂取した場合、ヒトはすべてを消化できるわけではない。そこで、消化できなかったエネルギーは糞便中に排泄される



(文献1に著者加筆)

図1. エネルギーバランスを維持するための体内での食物のエネルギーの流れ

か、消化できない炭水化物は腸内で微生物の発酵につかわれる。ここでの損失はわずかであり、残りのエネルギーがヒトが「消化できるエネルギー」といえる。しかし、ヒトの体は消化した食物のもつエネルギーのすべてを完全燃焼することはできない。特に、たんぱく質中の窒素は主に尿素として尿中に排泄される。また、一部ではあるが体表面から失われるエネルギーもある。「消化できるエネルギー」から、これらの損失を除いた残りが体内で「代謝可能なエネルギー」すなわち体内で熱産生に利用できるエネルギーといえる。このエネルギー量が通常、食物から得られるエネルギーや成長に利用できるエネルギー量と考えられている。

それでも尚、この「代謝可能なエネルギー」のすべてがATPを産生するわけではない。消化酵素の分泌、腸の活動や栄養素の組織内蓄積形成などのためにエネルギーが使われており、このエネルギーを食事誘発性熱産生(Diet-induce thermogenesis: DIT)と呼ぶ。そのほかに微生物の発酵により失われるエネルギーがあり、これらの不可避の熱産生を除いた分が正味の代謝可能な、ATP産生に関与できるエネルギー(「正味の代謝可能なエネルギー」といえる。そこから、さらに寒さ、薬、ホルモンなどの影響による代謝過程に関連して失われるエネルギーがある。それらをすべて除いた後のエネルギー量が「身体を維持するためのエネルギー」、いわゆる基礎代謝や身体活動、成長などに利用されるエネルギーである。

## II. 食物のエネルギー量の考え方

食物中の成分としてエネルギーを発生することができる栄養素は、たんぱく質、脂質、炭水化物、アルコールである。通常は、たんぱく質、脂質、炭水化物が食物の主要なエネルギー源であり、この3つを熱量素と呼んでいる。図1とあわせて考えると、食物のもつ全エネルギー量(「摂取したエネルギー量」)は、食物をボンベ熱量計で完全燃焼させることによって測定することができる。この値は物理的燃焼量とよばれる。体内での生理的燃焼量は、炭水化物と脂質については物理的燃焼量と同じ1gについて4.1kcalと9.3kcalと考えられている。たんぱく質は尿中窒素として1gあたり1.25kcalを失う。たんぱく質が体内で燃焼した時のエネルギーは

動物性たんぱく質で1gあたり4.5kcal、植物性たんぱく質で1gあたり3.7kcalとなり、平均的な摂取量から、たんぱく質1gあたり4.1kcalとされている。これらの値をルブナーの換算係数と呼ぶ。栄養素は摂取した場合に100%消化吸収できるわけではない。アトウォーターの換算係数はAtwaterがアメリカ人の平均的な日常食を考慮して炭水化物、脂質、たんぱく質の消化吸収率を97, 95, 92%とし、ルブナーの換算係数を補正して炭水化物とたんぱく質は1gあたり4kcal、脂質は1gあたり9kcalとした。この値は、図1では「代謝可能なエネルギー」の値となる。

通常、摂取したエネルギー量は食品成分表の値を使用して計算されるが、この計算値は「代謝可能なエネルギー」の値である。成分表で採用されている値は、各食品中のたんぱく質、脂質、炭水化物の量にそれぞれの熱量素のエネルギー換算係数を乗じて算出しているが、アトウォーターの換算係数は食物のもつエネルギー量を計算するのにわかりやすいが、必ずしも正確ではない。個々の食物に含まれる栄養素の熱量値、消化吸収率は一定ではないし、当時のアメリカ人の日常食にあわせて平均したものにすぎない。そこで五訂日本食品成分表<sup>2)</sup>では、実際には以下の手順でエネルギー換算係数を選んでいく。

- (1) 穀物、動物性食品、油脂類、大豆・大豆製品のうち主要な製品については、日本人を対象とした研究によりもとめられた値
- (2) (1)以外の食品はFAO/WHO 合同特別専門委員会の報告による値(すなわち各国のデータを取りまとめたもの)
- (3) 上記の2つの資料中に該当する食品がない場合、あるいは複数の原材料から作られた加工食品についてはアトウォーターの係数

エネルギーの必要量は、体重を維持している場合は、エネルギー摂取量、エネルギー消費量のいずれからも推定できる。エネルギー消費量の測定は、どのような方法を使用している場合でも、発生した熱量を測定する直接法、または二酸化炭素発生量に基づく間接法に拠っている。空腹時の測定でない限り、このエネルギー量は微生物による発酵や不可避の熱産生を含んでおり、やはり「代謝可能なエネルギー」に等しい値を測定していることになる。そのため、

エネルギー摂取量、エネルギー消費量のどちらから評価しても、体内でのエネルギー利用からみると、同じレベルのエネルギー量を評価していることになる。

### Ⅲ. エネルギーの利用に関連する研究

エネルギー吸収率など基礎的な栄養生理に関する研究は、1980年代頃までは多くされていたが、その後は少なくなってきている。ここでは、いくつかのエネルギー吸収・利用に関連する研究を紹介する。

#### A. エネルギー吸収率に関する研究

主要な食品のエネルギー換算係数は、科学技術庁が「日本食品標準成分表の改定に関する調査」として各種機関の協力のもとに研究をおこなっている。その中の1つを紹介する。小池ら<sup>3)</sup>が胚芽精米の利用エネルギーを評価した研究においては、まず7日間の基礎食を被験者に摂取させ、その後7日間、基礎食に胚芽精米を加えたテスト食(胚芽精米によるエネルギー増加分は基礎食中の炭水化物を減らすことで調節)を7日間摂取させる。基礎食、テスト食のそれぞれ最後の3日間に24時間ごとの全尿を集め、またマーカーを使用して3日分の糞便を採取した。食事、尿、糞便のそれぞれをボンベ熱量計でエネルギー量を測定し、エネルギーの吸収率は、

$$\frac{\text{テスト食のエネルギー摂取量} - (\text{テスト食期間の糞便中エネルギー量} - \text{基礎食期間の糞便中エネルギー量})}{\text{テスト食のエネルギー摂取量}}$$

で計算された。この値は、図1で見ると、「摂取したエネルギー量」のうち、どのくらいの割合で「消化できるエネルギー量」に利用することができるかを示す値となる。また、正味のエネルギー利用率として

$$\frac{\text{エネルギーの吸収量} - (\text{テスト食期間の尿中エネルギー量} - \text{基礎食期間の尿中エネルギー量})}{\text{テスト食のエネルギー摂取量}}$$

としており、この値は図1中の「摂取したエネルギー量」から「代謝可能なエネルギー量」になる割合を示した値となる。男性4名、女性7名を対象に測定した結果、胚芽精米のエネルギー吸収率は平均で97.0%、正味のエネルギー利用率は96.8%となった。このことは、胚芽精米を摂取した場合、「消化できるエネルギー」になるまでに約3%が、「代謝可能なエネルギー」になるまでにさらに約0.2%が失われることを示している。一方で、この実験結果

ではエネルギー吸収率、正味のエネルギー利用率とも標準偏差で約3%の個人差がみとめられている。この差は、個人間変動、個人内変動、測定誤差などを含んでおり、そのうちのくろいがエネルギー利用の個人差かはわからないが、胚芽精米の物理的燃焼値が100gあたり374kcalであったことに対して、最も正味のエネルギー利用率の少ないヒトでは341kcalしか利用していないが、もっとも多いヒトは物理的燃焼量とほぼ同量を利用しており、同じ物を摂取しても100gあたりで利用できるエネルギーに約33kcalの差がでたことになる。

#### B. エネルギーバランスに関する研究

Diazら<sup>4)</sup>は3週間の体重維持期の後にエネルギー摂取量を50%多くした過食期を6週間もうけ、その間の尿・糞便の採集、二重標識水によるエネルギー消費量の評価、体重測定と二重標識水法で得られた体水分量からの身体組成の評価により、エネルギーの利用を検討している。被験者は、英国の標準的な食事組成に基づいてつくられた献立で、すべて用意された食事を摂取している。食品成分表を元に計算された「代謝可能なエネルギー」と摂取した食品、尿、糞便のそれぞれをボンベ熱量計で測定し計算された「代謝可能なエネルギー」はそれぞれ平均で19.6MJ/day、19.5MJ/dayとよく一致しており、計算値と測定値の比は0.99±0.02であった。また、この研究における体重増加1kgに必要なエネルギー量は、過食期の体重増加量1kgをエネルギーの過剰摂取分(エネルギー摂取量からエネルギー消費量を除いた値)で除すると、28.7MJ/kgであった。この値は、身体組成の変化から増加した体重1kgあたりの体脂肪量と除脂肪体重の割合をもとめ、除脂肪体重中の20%をたんぱく質、脂肪のエネルギー量を39.6kJ/g、たんぱく質のエネルギーを23.6kJ/gとした場合の体重増加1kgあたりのエネルギー量の計算値26MJ/kgと良く一致しており、平均誤差は10%程度であった。実際には、エネルギー摂取量、消費量、蓄積量のすべてを正確に把握することは困難であるが、このように厳密なデザインの研究では、計算値と実測値がよく一致しており、ヒトの体内でのエネルギー利用の流れを明確に裏付けるものとなっている。

### C. 吸収不良の評価に関する研究

近年、臨床での栄養の重要性が注目されてきたことから、摂取した栄養素が体内で利用できているかの評価がされ始めた。Strack van Schijndel RJM ら<sup>5)</sup>は ICU における経腸栄養摂取時の吸収不良の有無を、経腸栄養で投与したエネルギー量とボンベ熱量計で測定した糞便中に排泄されたエネルギー量を比較することで評価している。その結果、エネルギー吸収率は13人の患者の平均で $84.6 \pm 13.3\%$ であり、60~98%にばらついていた。エネルギー吸収率85%以下を消化不良とすると6人(46%)が吸収不良と判断された。糞便の湿重量の多い患者(下痢傾向)の患者で糞便中へのエネルギー損失が大きく、エネルギー消費量と吸収できたエネルギー量を比較すると500 kcal 以上も負のバランスになる患者が13名中4名みられた。この結果は、臨床において補給した栄養が、体が実際に利用できるようなためには、どのように補給していったら良いかへの問題提起となっている。

## IV. ま と め

物理的な現象のみならず身体においても、エネルギーはエネルギー保存の法則に従って、すべてが何らかの形に変わって保持されている。エネルギー代

謝の研究では、エネルギー消費量、エネルギー摂取量の測定のいずれもが測定誤差を含んでいるし、すべてのエネルギーの利用を測定できるわけではない。結果の解釈においては、測定法ごとの測定誤差を考慮とともに、体内におけるエネルギーの変化の中でどの部分を測定しているか、言い換えればどこで使われているエネルギーまでを含んだエネルギーを測定しているかを把握していることが必要である。

## 文 献

- 1) Food and Agriculture Organization of the United Nations, Food energy - methods of analysis and conversion factors.
- 2) 科学技術庁資源調査会, 五訂日本食品標準成分表, 2000
- 3) 小池五郎, 金子佳代子, 小石秀夫, 奥田豊子, 胚芽精米の消化吸収率と利用エネルギー, 栄養と食糧, (1982), **35**, 409-415.
- 4) Diaz EO, Prentice AM, Goldberg GR, Murgatroyd PR, Coward WA, Metabolic response to experimental overfeeding in lean and overweight healthy volunteers, (1992), **56**, 641-55.
- 5) Strack van Schijndel RJM, Wierdsma NJ, van Heijningen EMB, Weijs PJM, de Groot SDW, Girbes ARJ, Fecal energy losses in enterally fed intensive care patients : an explorative study using bomb calorimetry, Clinical Nutrition, (2006), **25**, 758-64.

## 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DRI<sup>1)</sup>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
食事誘発性体熱産生	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、静か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)<sup>2)</sup>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<sup>3)</sup>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<sup>4)</sup>。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<sup>5)</sup>。

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<sup>6)</sup>。

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<sup>7)</sup>。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<sup>6)</sup>。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<sup>8)</sup>。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<sup>9)</sup>。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<sup>10,11)</sup>。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<sup>10)</sup>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、比較的良好に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<sup>9)</sup>。

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<sup>12)</sup>。

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<sup>2)</sup>。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<sup>13)</sup>。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<sup>14)</sup>、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<sup>15,16)</sup>。

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<sup>17)</sup>。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的な結果であった。

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<sup>18)</sup>。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<sup>13)</sup>。「低

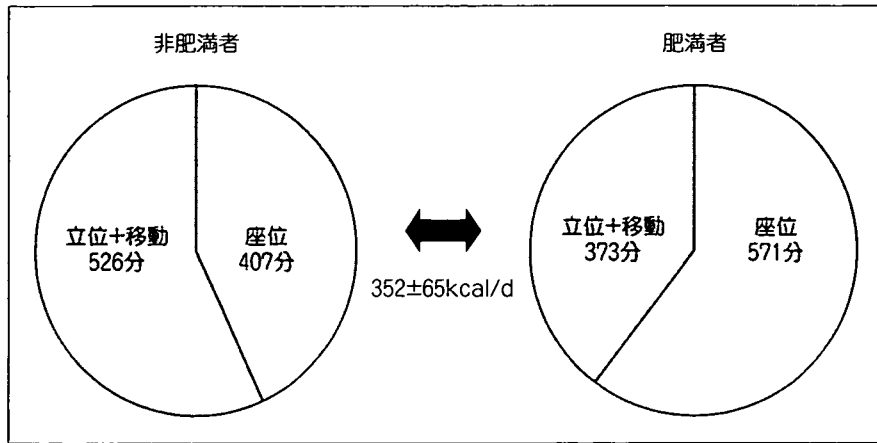


図-1 肥満者と非肥満者における姿勢・動作の違いと、それによって生じるエネルギー消費量の差(文献18より引用作図)

表-4 二重標識水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<sup>19)</sup>。

**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<sup>6,13)</sup>。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<sup>20)</sup>。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<sup>21)</sup>。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

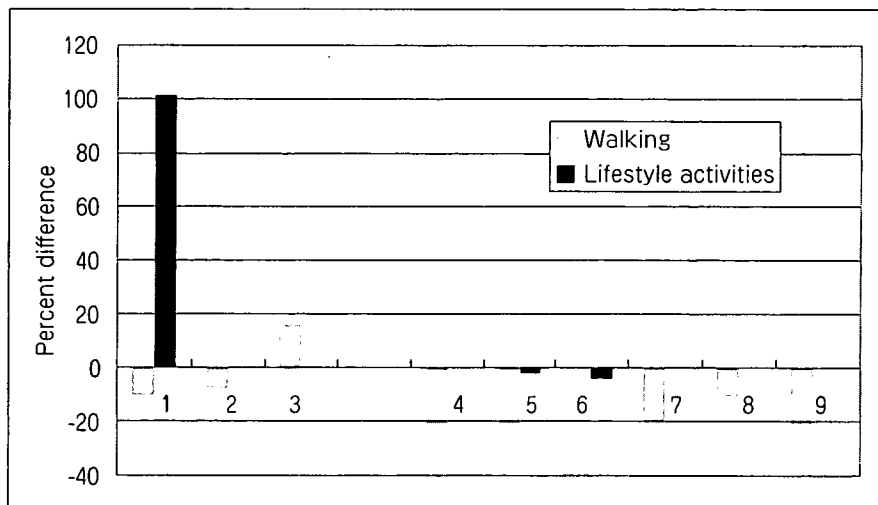


図-2 歩行または生活活動から得られた推定式を用いた、加速度計による総エネルギー消費量の推定誤差(文献23より引用作図)  
 横軸のそれぞれの数字は、1つの論文に対応する。1～3は三次元加速度計(Tri-trac)、4～9は一次元加速度計(Actigraph)を用いた結果。

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<sup>6)</sup>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<sup>22)</sup>。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)<sup>23)</sup>。

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<sup>24)</sup>。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<sup>25,26)</sup>。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大きくなく、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-