

動)となるような日常の身体活動が必要ではないかとしている。ここでの身体活動とは、いわゆる運動だけではなく、余暇や仕事なども含む日常活動も含んでいる。ただし、概して個人差の抽出には適さない「質問紙調査」<sup>2,3)</sup>によるものであるため、より妥当性・客観性のある、DLW法・心拍数法・加速度計法などの方法が望まれる。身体活動と体重変動に関するコホート研究をレビューしたWarehamら<sup>27)</sup>においては、質問紙調査を用いた12の論文に、客観的な方法を用いた2つの論文が加わっている。

さらにWilksら<sup>28)</sup>は、最近になってようやく増えてきたそれらの客観的な方法を用いて得られた日常の身体活動量と体重の増加に関して、これまでの知見をまとめた。その結果、16のコホート研究のうち、5つは有意な相関がみられず、1つは正の相関(身体活動量が多いと体重増加も大きい)という結果が得られた。その他の10の研究では、予想されたように負の相関はみられたものの、概して強い相関ではなかった。また、介入研究でも概して相関はみられなかった。

このように、身体活動量の個人間差の抽出に長けた客観的な方法を用いても、その全てで肯定的な結果が得られたわけではない。その理由の1つは、妥当性の高い方法は概してコストや手間・技術を要するため、対象者数が少なく観察期間も短い、という実情も関係しているのかもしれない。

このレビューでは引用されていないが、Swinburnら<sup>29,30)</sup>は、成人と子どもを対象に、

$$\text{Energy Flux} = \text{DLW法で得られた TEE (kcal/日)} \div \text{エネルギー摂取量(kcal/日)}$$

として、その後の体重変動との関連を検討した。その結果、TEEが多い者ほど、その後の体重が増加する傾向がみられたとしている。筆者らは、TEEが大きいから太るとは考えられないので、この結果は「エネルギー摂取量が多いと太りやすい」ことを示していると解釈している。ただし、体重などを補正して分析した結果なので、事実上、「身体活動量が多いと肥満しやすい」ととらえることもできる結果である。

また、Westerterpら<sup>31)</sup>は、健康な非肥満の成人40名を対象にDLW法によりPALを評価し、その11±4年後に再測定を行って、PALやその変化、および体重や体脂肪量の変化との関連を検討した。その結果、PALの初期値が高い者はその後のPALが減少し、体重も増加するという傾向がみられた。

以上のように、身体活動量が肥満の予防に有効であるという結果は多いものの、対象や方法によっては必ずしもそうとは限らない結果が得られている。

NEATに関連して、職種によってDLW法で評価されたPALに違いがあること<sup>32)</sup>、通勤手段によって加速度計で評価された中高強度活動<sup>33)</sup>に違いがみられることが報告されている。これらと肥満との関係についての横断的な報告もみられる<sup>34,35)</sup>ことから、職種や通勤手段による身体活動量の違いが肥満と関連していることもうかがえる。

NEATが注目され始めた当初は、NEAT = fidgeting (そわそわ動き)として話題となった。fidgeting そのものと体重変動に関する検討そのものはほとんどない。ただし、ヒューマンカロリーメーター内でmicrowaveによって動作が検出された時間の割合として評価された室内でのspontaneous activityが多いと体重増加が少ないという結果が得られている<sup>36)</sup>。なお、このような室内活動でのspontaneous activityは、日常生活における身体活動量の1/3程度ではあるが、ある程度の相関がみられることが報告されている<sup>37,38)</sup>。

肥満予防における運動の寄与に関する報告もみられる<sup>39)</sup>が、客観的な身体活動の評価法は、概して運動時というよりは、日常生活全体の身体活動量をとらえるようになっている。そのため、客観的な方法による運動量と肥満予防に関する論文は、筆者の知る限り存在しない。

#### d. 座位活動・不活動と肥満予防

最近では、sedentary activityについても関心が高まっている。先に述べたLevineら<sup>25)</sup>は、肥満者は非肥満者と比べて、日常生活における座位の時間が平均約2時間半長く、それによるエネルギー消費量の差は352kcal/日に及ぶと推定してい

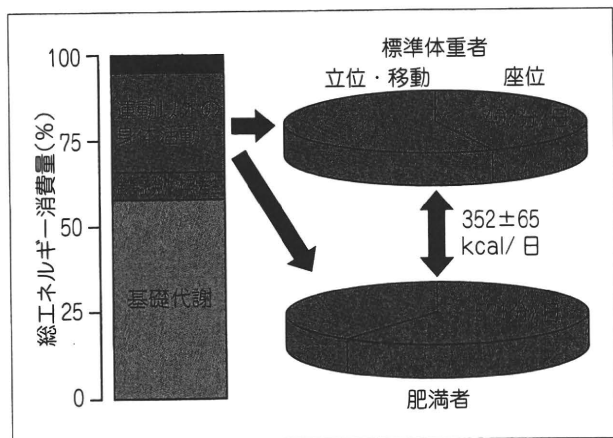


図6 ◆肥満と非肥満者における NEAT の内訳(文献25より引用)

る(図6). 異なる機器(IDEEA)を用いて, 肥満者・非肥満者の姿勢を評価した Johannsen ら<sup>40)</sup>も同様の報告をしている. ただし, “sedentary”の定義は明確とはいえない<sup>41)</sup>. 研究によって,

- ・「座位」そのもの
- ・1.5(あるいは2.0)メッツ未満の低強度活動
- ・3メッツ以上の MVPA (moderate-to-vigorous physical activity)が少ないこと

など, さまざまな使われ方をしており, “inactivity”との区別も曖昧である.

座位活動が生活習慣病あるいは肥満などと, MVPAとは独立に関連するという報告が多数みられる<sup>41)</sup>. 1.5(あるいは2.0メッツ)程度の低い活動強度あるいは座位時間が長ければ, TEEは小さくなる. 逆に, たとえMVPAが多くなくても座位時間が少なければ, 2~3メッツ以下の比較的強度の活動が長くなり, TEEが大きくなることも考えられる<sup>42)</sup>. こうしたことによって, 生活習慣病との関連が出ているのかもしれない. 座位活動がMVPAと独立した役割を果たしているかを検討している Ekelund らのグループ<sup>43)</sup>は, 子どもの肥満などでは, どちらかといえば「sedentary activityの独立な寄与」に関して否定的な結果を報告している.

また, Jackson ら<sup>44)</sup>は, 84人の子どもの対象に TV 視聴時間と DLW 法による TEE, 身体組成の関係を, 横断的に検討した. その結果, 体格などを補正した TEE (=身体活動量)にかかわらず, TV 視聴時間と体脂肪率との間に有意な関連

がみられたことから, 「TVの視聴が身体活動量を減らすことによって太る」というよりは「TVの視聴に伴う間食が肥満の原因ではないか」と推測している. このような点については, 客観的で妥当性の高い方法を用いて検証していく必要がある.

### エネルギー摂取量と肥満

実験室で完全に管理しない限り, エネルギー摂取量そのものを正確にとらえることは難しい<sup>1)</sup>. そのため, 日常生活においては, DLW 法とその期間の体重変化から推定する方法が最も正確と考えられる. Pima Indian を対象として, そうして得られた習慣的なエネルギー摂取量が大きい方がその後の体重が増加しやすいことを, Tataranni ら<sup>45)</sup>が報告している.

先に述べたように, 「TEE が大きい方が, その後の体重が増加しやすい」という結果が複数得られている. このことは, 少なくともそれらの対象集団においては, エネルギー消費量よりエネルギー摂取量が果たす役割の方が大きいことを示唆している.

### エネルギー摂取量と消費量の交互作用

ここまでは, エネルギー消費量の構成要素とエネルギー摂取量それぞれと肥満予防との関連について述べてきた. しかし, 現実にはエネルギー摂取と消費は独立ではない. Mayer らは, 「身体活動量が多いとそれに見合った摂食量となるが, 身体活動量が少ないとそれに対して過食になりがちである」という仮説を動物実験から提唱<sup>46)</sup>し, 人でも検証<sup>47)</sup>した. その点については, いまだ検証が続いているが, ヒューマンカロリーメーターを用いた検討でもその仮説を支持する結果が得られている<sup>48)</sup>.

これまでも, 過食あるいはその逆が身体活動に与える影響などについて検討はされてきたが<sup>49)</sup>, 今後, 食事の内容や摂取方法がエネルギー代謝に与える影響, あるいは, 身体活動の種類(強度や頻度, 時間帯など)がエネルギー摂取量

に与える影響と、それによってもたらされるエネルギーバランスに関して十分な方法論と実験計画に基づいたさらなる検討が必要である。

### 文 献

- 1) Livingstone, M. B. et al.: Markers of the validity of reported energy intake. *J. Nutr.* 133: 895S-920S, 2003.
- 2) 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.
- 3) Neilsen, H. K. et al.: Estimating activity energy expenditure: how valid are physical activity questionnaires? *Am. J. Clin. Nutr.* 87: 279-291, 2008.
- 4) 田中茂穂: 総論 エネルギー消費量とその測定法. *静脈経腸栄養*24: 1013-1019, 2009.
- 5) Ishikawa-Takata, K. et al.: Physical activity level in healthy free-living Japanese estimated by doubly-labelled water method and International Physical Activity Questionnaire. *Eur. J. Clin. Nutr.* 62: 885-891, 2008.
- 6) Westerterp, K. R.: Impacts of vigorous and non-vigorous activity on daily energy expenditure. *Proc. Nutr. Soc.* 62: 645-650, 2003.
- 7) Schutz, Y. et al.: Diet-induced thermogenesis measured over a whole day in obese and non-obese women. *Am. J. Clin. Nutr.* 40: 542-552, 1984.
- 8) Granata, G. P. et al.: The thermic effect of food and obesity: discrepant results and methodological variations. *Nutr. Rev.* 60: 223-233, 2002.
- 9) Heymsfield, S. B. et al.: Body-size dependence of resting energy expenditure can be attributed to nonenergetic homogeneity of fat-free mass. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 282: E132-E138, 2002.
- 10) Ganpule, A. A. et al.: Interindividual variability in metabolic rates in Japanese subjects. *Eur. J. Clin. Nutr.* 61: 1256-1261, 2007.
- 11) Ravussin, E. et al.: Relationship of genetics, age, and physical fitness to daily energy expenditure and fuel utilization. *Am. J. Clin. Nutr.* 49: S968-S975, 1989.
- 12) 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.
- 13) 田中茂穂: 人の基礎代謝量. *実験医学* 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27: 1058-1062, 2009.
- 14) 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.
- 15) Caspersen, C. J. et al.: Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep.* 100: 126-131, 1985.
- 16) Levine, J. A.: Nonexercise activity thermogenesis-liberating the life-force. *J. Intern. Med.* 262: 273-287, 2007.
- 17) 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. *日本公衛誌* 55: 474-477, 2008.
- 18) Oshima, Y. et al.: Classifying household and locomotive activities using a triaxial accelerometer. *Gait Posture* 31: 370-374, 2010.
- 19) Ohkawara, K. et al.: Real-time estimation of daily physical activity intensity by triaxial accelerometer and a gravity-removal classification algorithm. *Br. J. Nutr.* 2011 (Epub ahead of print).
- 20) 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.
- 21) Westerterp, K. R. et al.: Assessment of physical activity: a critical appraisal. *Eur. J. Appl. Physiol.* 105: 823-828, 2009.
- 22) Speakman, J. R. et al.: Associations between energy demands, physical activity, and body composition in adult humans between 18 and 96 y of age. *Am. J. Clin. Nutr.* 92: 826-834, 2010.
- 23) Prentice, A. M. et al.: Energy expenditure in overweight and obese adults in affluent societies: an analysis of 319 doubly-labelled water measurements. *Eur. J. Clin. Nutr.* 50: 93-97, 1996.
- 24) Levine, J. A. et al.: Role of nonexercise activity thermogenesis in resistance to fat gain in humans. *Science* 283: 212-214, 1999.
- 25) Levine, J. A. et al.: Interindividual variation in posture allocation: possible role in human obesity. *Science* 307: 584-586, 2005.
- 26) Saris, W. H. et al.: How much physical activity is enough to prevent unhealthy weight gain? Outcome of the IASO 1st Stock Conference and

- consensus statement. *Obes. Rev.* 4: 101-114, 2003.
- 27) Wareham, N. J. et al.: Physical activity and obesity prevention: a review of the current evidence. *Proc. Nutr. Soc.* 64: 229-247, 2005.
- 28) Wilks, D. C. et al.: Objectively measured physical activity and obesity prevention in children, adolescents and adults: a systematic review of prospective studies. *Obes. Rev.* 2010(Epub ahead of print).
- 29) Swinburn, B. A. et al.: Estimating the effects of energy imbalance on changes in body weight in children. *Am. J. Clin. Nutr.* 83: 859-863, 2006.
- 30) Swinburn, B. A. et al.: Estimating the changes in energy flux that characterize the rise in obesity prevalence. *Am. J. Clin. Nutr.* 89: 1723-1728, 2009.
- 31) Westerterp, K. R. et al.: Physically active lifestyle does not decrease the risk of fattening. *PLoS One* 4: e4745, 2009.
- 32) Yao, M. et al.: Energy requirements of urban Chinese adults with manual or sedentary occupations, determined using the doubly labeled water method. *Eur. J. Clin. Nutr.* 56: 575-584, 2002.
- 33) 中野治美ら：東京圏在住サラリーマンの通勤時身体活動量. *産衛誌*52: 133-139, 2010.
- 34) Bassett, D. R. Jr. et al.: Walking, cycling, and obesity rates in Europe, North America, and Australia. *J. Phys. Act. Health* 5: 795-814, 2008.
- 35) Wen, L. M. et al.: Inverse associations between cycling to work, public transport, and overweight and obesity. *Prev. Med.* 46: 29-32, 2008.
- 36) Zurlo, F. et al.: Spontaneous physical activity and obesity: cross-sectional and longitudinal studies in Pima Indians. *Am. J. Physiol.* 263: E296-300, 1992.
- 37) 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.
- 38) Westerterp, K. R. et al.: Physical activity in confined conditions as an indicator of free-living physical activity. *Obes. Res.* 11: 865-868, 2003.
- 39) US Department of Health & Human Services: Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report 2008. 2008.
- 40) Johannsen, D. L. et al.: Differences in daily energy expenditure in lean and obese women: the role of posture allocation. *Obesity* 16: 34-39, 2008.
- 41) Pate, R. R. et al.: The evolving definition of "sedentary". *Exerc. Sport Sci. Rev.* 36: 173-178, 2008.
- 42) Bonomi, A. G. et al.: Aspects of activity behavior as a determinant of the physical activity level. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 2010(Epub ahead of print).
- 43) Steele, R. M. et al.: Targeting sedentary time or moderate- and vigorous-intensity activity: independent relations with adiposity in a population-based sample of 10-y-old British children. *Am. J. Clin. Nutr.* 90: 1185-1192, 2009.
- 44) Jackson, D. M. et al.: Increased television viewing is associated with elevated body fatness but not with lower total energy expenditure in children. *Am. J. Clin. Nutr.* 89: 1031-1036, 2009.
- 45) 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.
- 46) Mayer, J. et al.: Exercise, food intake and body weight in normal rats and genetically obese adult mice. *Am. J. Physiol.* 177: 544-548, 1954.
- 47) Mayer, J. et al.: Relation between caloric intake, body weight, and physical work: studies in an industrial male population in West Bengal. *Am. J. Clin. Nutr.* 4: 169-175, 1956.
- 48) Stubbs, R. J. et al.: A decrease in physical activity affects appetite, energy, and nutrient balance in lean men feeding ad libitum. *Am. J. Clin. Nutr.* 79: 62-69, 2004.
- 49) Westerterp, K. R.: Physical activity, food intake, and body weight regulation: insights from doubly labeled water studies. *Nutr. Rev.* 68: 148-154, 2010.

## 特集

## 身体活動と2型糖尿病, 生活習慣病

# 糖尿病患者の エネルギー代謝と身体活動\*

田中茂穂\*\*

**Key Words** : total energy expenditure, physical activity, basal metabolic rate, nonexercise activity thermogenesis (NEAT)

本稿では、まず1日あたりの総エネルギー消費量(total energy expenditure ; TEE)の推定法についてふれた上で、TEEの内訳について、その主要な構成要素である基礎代謝量(basal metabolic rate ; BMR)と身体活動(physical activity ; PA)を中心に概説する。さらに、健常者における標準値について述べた後、糖尿病患者と健常者を比較した研究結果を解説する。それらを踏まえて、現在の糖尿病治療のガイドラインにおけるエネルギーの問題点について言及する。

## 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<sup>1)</sup>。

- ①ヒューマンカロリメーター(エネルギー代謝測定室)
  - ②二重標識水(doubly labeled water ; DLW)法
  - ③心拍数法
  - ④加速度計法
  - ⑤生活活動記録(要因加算)法
  - ⑥質問紙法
- これらのうち、ヒューマンカロリメーターは、

数時間以上にわたるエネルギー消費量の測定誤差が非常に小さい(±1~2%程度)。ただし、生活の場所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、あくまで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。

日常生活におけるTEEについては、水素(H)と酸素(O)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あるDLW法が、現時点で最も正確であるとされている<sup>2)</sup>。アメリカ<sup>3)</sup>や日本における食事摂取基準<sup>4)</sup>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法の場合、ヒューマンカロリメーターを基準とすると、5%程度の誤差は見込まれる<sup>2)</sup>。しかし、それ以外の方法は、装置の装着や記録といった被験者への負担・依存、およびエネルギー消費量に換算する推定式の妥当性などの問題があり、さらに大きな誤差を生じる可能性が大きい。実際、ヒューマンカロリメーターあるいはDLW法を基準とすると、平均の差だけでもしばしば10%を超え、場合によっては30%以上の差が生じることがある。そのため、これらの方法を用いて得られた推定値を利用する際には、大きな誤差がありうることを承知しておく必要がある。

\* Energy metabolism and physical activity in diabetic patients.

\*\* 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)(〒162-8636 東京都新宿区戸山1-23-1); Health Promotion and Exercise Program, National Institute of Health and Nutrition, Tokyo 162-8636, JAPAN

表1 TEE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日以上の実施している者は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概算した。

表2 日常生活活動によるPALの分類

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

(文献<sup>11)</sup>より引用)

## TEEの内訳

TEEは一般に、表1のように分けられる。

TEEに関する指標として、

身体活動レベル(physical activity level; PAL) = TEE ÷ BMR

がある。PALは、食事に伴う熱産生(食事誘発性体熱産生)も反映するが、1日全体でのPAが大きいほど大きな値となる。

日本人においても<sup>5)</sup>、また、欧米人においても<sup>6)</sup>、PALの標準値は1.75程度であるので、この数値から逆算すると、BMRはTEEの60%程度を占めると考えられる(PAL = TEE ÷ BMR = 1.75 ⇒ BMR ÷ TEE = 1 ÷ 1.75 = 57%)。したがって、TEEの最大の構成要素は、多くの個人においてBMRである。

BMRの個人間差も大きい。ただし、そのバラツキの大部分は、体格、特に除脂肪量や体脂肪量、より厳密には各組織・器官重量で説明できる<sup>7)</sup>。その結果、体格が決まればバラツキが小さいとも言える<sup>8)</sup>。

それに対し、PAは、平均して約30%程度を占めると考えられる。PAとは、「骨格筋の活動により安静時よりも多くのエネルギー消費を伴う身体の状態」であり<sup>9)</sup>、健康増進や体力の維持・増進を目的とした計画的・組織的で継続性のある“運動”と、それ以外の余暇・家事・仕事からな

る“生活活動”(姿勢の維持や、低強度の活動を含む)に大別できる。

DLW法から得られたPALのデータに基づくと、日常生活を特に不自由なく送っている者において、PALは1.4程度から2.2~2.5程度に分布すると考えられている(表2)<sup>6)10)11)</sup>。食事誘発性体熱産生をTEEの約10%と仮定すると、PAによるエネルギーは平均30%程度(PALの1.4~2.2に対応する範囲: およそ20~45%)に相当する。標準的な集団においてDLW法とBMRの実測値から算出されたPALの標準偏差(SD)は0.2を超える。日本人成人における標準的な体格であればBMRは1,400kcal/日程度なので、このPALのSDは、TEEのSDに換算するとおおよそ±300kcal/日(SD)に相当する。米国の食事摂取基準<sup>3)</sup>と同様に、この分散が生物学的なバラツキと測定誤差など実験上のバラツキに分けられ、それらが等しいと仮定すると、生物学的なバラツキは、SDでおおよそ±200kcal/日強(≒  $300 \div \sqrt{2}$ )と考えられる。

このように、運動以外にも余暇・家事・仕事などによって構成されるPAには、個人内・個人間で大きなバラツキがある。

なお、運動をまったく含まない室内生活でもPALは1.3程度であり<sup>12)</sup>、PALが1.2~1.3程度となるのは、寝たきりあるいは病気療養中の者である<sup>11)</sup>。この場合、BMRよりTEEが若干高い

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

構成要素	平均±標準偏差(kcal/日)	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。

(文献<sup>15)</sup>より引用改変)

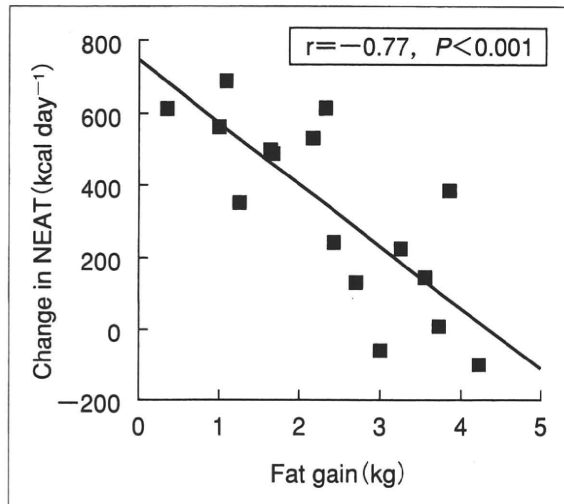


図1 1,000kcal/日の過食実験時における、体脂肪の増加量とNEATの変化量との関係  
(文献<sup>15)</sup>より引用)

(PAL>1)のは、姿勢の維持を含む若干のPAや食事誘発性体熱産生のためである。

### 一般健常者における“運動”と“運動以外のPA(NEAT)”

日常的な運動によって消費されるエネルギーはそれほど多くない(例:30分間×週5日の速歩は、安静時のエネルギー消費量が1kcal/分とすると、およそ(4~1)kcal/分×30分/日×5日/週÷7日/週≒65kcal/日)ことから、一部の例外を除くと、運動がTEEに占める割合は一般に小さい。運動は毎日しないことを考えると、TEEに占める運動の割合は、大多数の個人において、上に示した65kcal/日=TEEの約3%程度以下であると考えられる。PAによるエネルギーは、平均するとTEEの約30%程度であるので、「PAの大部分は、運動以外のPA(nonexercise activity thermogenesis; NEAT)である」と考えられる。

NEATは、姿勢の保持や、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、仕事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<sup>13)</sup>。FAO/WHO/UNU(1985)<sup>14)</sup>では職種によってPALを分類していたように、以前から運動以外のPAについて考慮されていなかったわけではない。しかし、1999年に論文<sup>15)</sup>がScience誌に掲載されて以降、NEATという用語とともに国際的に注目されるようになってきている。NEATは、個人によっては最大で1日に2,000kcal程度にまで及ぶと考えられる<sup>13)</sup>。

NEATは、平均値や個人間差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<sup>13)15)16)</sup>。先に述べた論文で、1,000kcal/日の過食を続けたとき、NEATが増加すると体脂肪の増加量が抑えられるという結果が得られた(表3, 図1)<sup>15)</sup>。また、日常生活において、肥満者は非肥満者と比べて、坐位の時間が平均約2時間半長く、それによるエネルギー消費量の差は352kcal/日に及ぶと推定している(図2)<sup>16)</sup>。肥満者において坐位時間が長いという同様の報告は、ほかにもある<sup>17)</sup>。

われわれがオムロンヘルスケア社と共同で開発した加速度計(Active style Pro HJA-350IT®)は、従来の加速度計とは異なり、歩行以外の活動についても、活動強度をかなり正確に推定することができる。それによって得られたTEEの内訳の一例を図3に示す。対象は、標準的なPALを有する健常な成人男女である。これを見ても、約30%のPAによるエネルギー消費量のうち、歩行・走行によるものは約10%(PAの約1/3)にすぎず、歩行以外のPAや低強度活動の割合のほうが大きいことがわかる。

また、Westerterpら<sup>18)</sup>は、自転車こぎなども評価できる加速度計を開発し、同様の検討を行っ

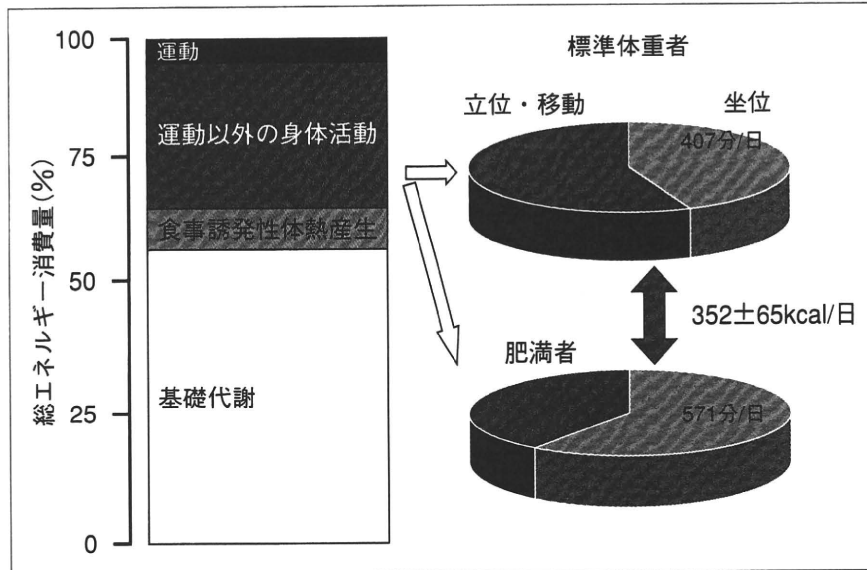


図2 肥満と非肥満者におけるNEAT(文献<sup>16)</sup>より引用改変)

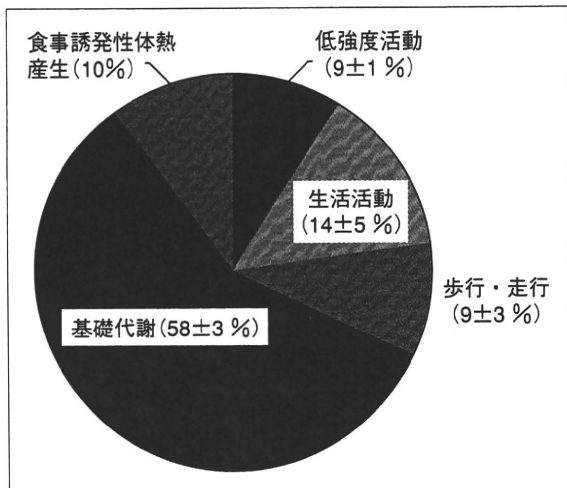


図3 TEEの内訳

(Oshima, et al. RACMEM 2008 Conferenceより引用改変)

た。その結果が図4である。PAのエネルギーでも(図4-C), 歩行以外にも, 坐位・立位, および活発な立位が大きな割合を占めていることがわかる。

### 糖尿病患者におけるエネルギー消費量

#### 1. BMR

一般健常者と比べて, BMR(あるいは安静時代謝量)は数%高めであるとする論文は, 主として欧米で数件ある<sup>19)~23)</sup>。一方, 日本人を対象として, 体格の影響を適切に補正して一般健常者とBMRを比較した検討はない。

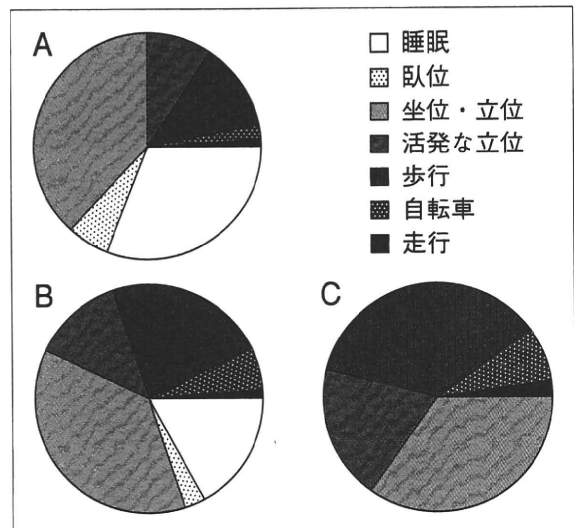


図4 身体活動レベルが1.75の場合における標準的な時間(A), TEEに対する割合(B), 身体活動によるエネルギー消費量(C)の構成割合(文献<sup>18)</sup>より引用)

#### 2. TEE

ヒューマンカロリメーターを用いて24時間のエネルギー消費量を比較した論文が<sup>3)</sup>, Pima Indianを対象に発表された<sup>20)</sup>。その結果, 睡眠時代謝量, BMR, 室内生活でのTEEのいずれも, 5%以下の差ではあるものの, 糖尿病患者のほうが高かった。その後, デンマークでも同様の検討が行われ, やはりそれぞれ7%前後, 糖尿病患者のほうが高いという結果が得られている<sup>22)</sup>。ただし, マイクロウェーブのレーダーで感知した24時間全体における活動時間については, わずかなが



表4 糖尿病患者におけるエネルギー消費量

糖尿病患者のBMI	BMI<25kg/m <sup>2</sup>	25kg/m <sup>2</sup> ≤BMI<30kg/m <sup>2</sup>	BMI≥30kg/m <sup>2</sup>
変数	平均±標準偏差(kcal/日)	平均±標準偏差(kcal/日)	平均±標準偏差(kcal/日)
基礎代謝量(kcal/日)	1,402±257	1,650±269	1,786±403
総エネルギー消費量(kcal/日)	2,591±483	2,780±592	3,164±692
身体活動レベル(PAL)	1.87±0.30	1.69±0.26	1.80±0.29

(文献<sup>25)</sup>より引用改変)

ら、糖尿病患者のほうが少なくなっていた。

糖尿病患者においては、食事による産熱効果が小さいという報告もある<sup>24)</sup>が、概して、安静時におけるエネルギー代謝の上昇を通じて、TEEの増加がもたらされていると考えられる。

一方、DLW法で得られた日常生活におけるPALは、健常者と同等という結果が、スコットランドで報告されている<sup>25)</sup>。BMIによって、標準、過体重、肥満の3段階に分けて、計23人の糖尿病患者のBMRを測定するとともに、14日間における平均のTEEをDLW法で評価した。その結果、表4のように、対象とした糖尿病患者のPALの値は、糖尿病でない対象者で得られる値と同様であった。また、特に肥満の程度による差はみられず、各変数の変動係数(平均値を考慮した個人間差)についても、群間の差はほとんどなかった。全体としては、体格、特に除脂肪量が大きいほどエネルギー消費量(TEEおよびBMR)が大きいという傾向が観察されただけであった。したがって、「糖尿病患者のTEEあるいはPAは少ない」という仮説は、少なくとも本研究においては否定された。

以上のように、糖尿病患者においては、BMRは数%高く、PALは一般健常者と同様であるというのが、現時点での知見である。その結果、TEEも、体格が同じであれば、一般健常者と比べて同等かやや高めであると考えられる。

最近、PAをより正確に定量化できる客観的な方法を用いて、PAと糖代謝との関係が報告されるようになってきた。英国人775人を対象として、心拍数法で評価したPALと糖負荷試験における2時間後の血糖値との間には、有意な相関がみられたという<sup>26)</sup>。また、34人と少人数ながら、カメルーン人において、DLW法で評価したPAと2時間後の血糖値との間で、体脂肪量や有酸素能と独立

に有意な相関がみられた<sup>27)</sup>。

これらの結果は、先に述べた「糖尿病患者のPAは、健常者と同レベルである」という結果とは矛盾するようにも思えるが、発症前と発症後の違いという可能性もある。しかし、糖尿病の予防において、NEATを含むあらゆるPAが効果的であることを示唆している点は、注目に値する。

### 糖尿病患者におけるエネルギーの指針

糖尿病学会のガイドラインに関して、日本糖尿病学会「糖尿病学の変遷を見つめて—日本糖尿病学会50年の歴史」<sup>28)</sup>によると、

「1963(昭和38)年9月に第1回(日本糖尿病学会の食品交換表)作成委員会が東京で開催されたが、日本糖尿病学会が認めた作成委員会は食事療法に関心のある24人で構成された。その時に各種疾患のエネルギー代謝を実測した結果、健康人の標準的な1日所要熱量に比較して糖尿病患者では約10%低いことがわかり、これを基本に討議した。…このように第1回の作成委員会で、標準体重、分食回数、糖尿病患者のエネルギー量も一応決められた。」と記述されている。しかし、10%低いことに関する具体的なデータの提示は、他の文献を含め、ない。

しかし実際には、25~30(30~35)kcal/kg/日が、糖尿病患者に限らず、病院で幅広く使われている。「日本静脈経腸学会 全国栄養療法サーベイ委員会」が2001年に行った調査結果<sup>29)</sup>によると、アンケート調査に回答した500強の施設の6割で、「必要エネルギー量を体重から算出(上記の方法)」しているという結果であった。おそらく、糖尿病学会のガイドラインが、他の疾病の入院患者にも使われるようになったのだろうと考えられる。

それに対し、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を掛けて得られる体重あたりのTEE(kcal/kg/日)は、36~42kcal/kg/日となる。PALが「低い」の代表値である1.5を掛けても、31~36kcal/kg/日となる。この値は、「日本糖尿病学会・編. 糖尿病治療ガイド」に示されている値と比べると、かなり大きい。

個人の栄養指導で保険点数が取れるようになってからは、Harris-Benedict式の利用が推奨されているため、その利用率が高くなり、上記の方法の割合は、多少は減少したのではないかと考えられる。しかし、日本人においても、Harris-Benedict式は概して過大評価する傾向がある<sup>1)</sup>。

## まとめ

現代人はPAが少なくなったといわれている。確かに、国民健康・栄養調査によると、平均の歩数は、1998~2000年ごろ以降、減少傾向が続いている。しかし、欧米のデータではあるものの、DLW法によると、1980年代と比べて減少しているという結果は得られていない<sup>30)</sup>。

また、糖尿病患者においては、BMRが数%高く、データは少ないものの、PALも低いとはいえない。それに対して糖尿病学会のガイドラインでは、「日本人の食事摂取基準(2010年版)」<sup>4)</sup>などと比べてかなり低い値を提示しているが、そのエビデンスは示されていない。

今後、糖尿病患者のTEEやPAの実態、および治療におけるPAの役割などについて、科学的な知見に基づいた再検討が必要である。

一方、客観的に評価されたPAが、糖代謝と関連しているという知見が最近得られており、1日あたり数百kcalと考えられるNEATを含むPAの糖尿病の予防に果たす役割が期待される。

## 文 献

- 1) 田中茂穂. 総論 エネルギー消費量とその測定法. 静脈経腸栄養 2009 ; 24 : 1013.
- 2) Speakman JR. The history and theory of the doubly labeled water technique. Am J Clin Nutr 1998 ; 68 : 932S.
- 3) Institute of Medicine of the National Academies. Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids. Washington, DC : The National Academies Press ; 2005. p. 107.
- 4) 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. Available from : URL : <http://www.mhlw.go.jp/shingi/2009/05/s0529-4.html>.
- 5) Ishikawa-Takata K, Tabata I, Sasaki S, et al. Physical activity level in healthy free-living Japanese estimated by doubly labelled water method and International Physical Activity Questionnaire. Eur J Clin Nutr 2008 ; 62 : 885.
- 6) Westerterp KR. Impacts of vigorous and non-vigorous activity on daily energy expenditure. Proc Nutr Soc 2003 ; 62 : 645.
- 7) Heymsfield SB, Gallagher D, Kotler DP, et al. Body-size dependence of resting energy expenditure can be attributed to nonenergetic homogeneity of fat-free mass. Am J Physiol Endocrinol Metab 2002 ; 282 : E132.
- 8) Ganpule AA, Tanaka S, Ishikawa-Takata K, et al. Interindividual variability in metabolic rates in Japanese subjects. Eur J Clin Nutr 2007 ; 61 : 1256.
- 9) Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical activity, exercise, and physical fitness : definitions and distinctions for health-related research. Public Health Rep 1985 ; 100 : 126.
- 10) Westerterp KR. Limits to sustainable human metabolic rate. J Exp Biol 2001 ; 204 : 3183.
- 11) 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 1996 ; 50 : 72.
- 12) 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 2003 ; 56 : 291.
- 13) Levine JA. Nonexercise activity thermogenesis- liberating the life-force. J Intern Med 2007 ; 262 : 273.
- 14) WHO. Energy and Protein Requirements. Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation.

- Technical Report Series No. 724. Geneva : World Health Organization ; 1985.
- 15) Levine JA, Eberhardt NL, Jensen MD. Role of nonexercise activity thermogenesis in resistance to fat gain in humans. *Science* 1999 ; 283 : 212.
  - 16) Levine JA, Lanningham-Foster LM, McCrady SK, et al. Interindividual variation in posture allocation : possible role in human obesity. *Science* 2005 ; 307 : 584.
  - 17) Johannsen DL, Welk GJ, Sharp RL, et al. Differences in daily energy expenditure in lean and obese women : the role of posture allocation. *Obesity* 2008 ; 16 : 34.
  - 18) Westerterp KR. Assessment of physical activity : a critical appraisal. *Eur J Appl Physiol* 2009 ; 105 : 823.
  - 19) Bogardus C, Taskinen MR, Zawadzki J, et al. Increased resting metabolic rates in obese subjects with non-insulin-dependent diabetes mellitus and the effect of sulfonylurea therapy. *Diabetes* 1986 ; 35 : 1.
  - 20) Fontvieille AM, Lillioja S, Ferraro RT, et al. Twenty four-hour energy expenditure in Pima Indians with type 2 (non-insulin-dependent) diabetes mellitus. *Diabetologia* 1992 ; 35 : 753.
  - 21) Weyer C, Bogardus C, Pratley RE. Metabolic factors contributing to increased resting metabolic rate and decreased insulin-induced thermogenesis during the development of type 2 diabetes. *Diabetes* 1999 ; 48 : 1607.
  - 22) Bitz C, Toubro S, Larsen TM, et al. Increased 24-h energy expenditure in type 2 diabetes. *Diabetes Care* 2004 ; 27 : 2416.
  - 23) Huang KC, Kormas N, Steinbeck K, et al. Resting metabolic rate in severely obese diabetic and non-diabetic subjects. *Obes Res* 2004 ; 12 : 840.
  - 24) Segal KR, Albu J, Chun A, et al. Independent effects of obesity and insulin resistance on postprandial thermogenesis in men. *J Clin Invest* 1992 ; 89 : 824.
  - 25) Chong PK, Jung RT, Rennie MJ, et al. Energy expenditure in lean and obese diabetic patients using the doubly labelled water method. *Diabet Med* 1993 ; 10 : 729.
  - 26) Wareham NJ, Wong MY, Day NE. Glucose intolerance and physical inactivity : the relative importance of low habitual energy expenditure and cardiorespiratory fitness. *Am J Epidemiol* 2000 ; 152 : 132.
  - 27) Assah FK, Ekelund U, Brage S, et al. Free-living physical activity energy expenditure is strongly related to glucose intolerance in Cameroonian adults independently of obesity. *Diabetes Care* 2009 ; 32 : 367.
  - 28) 日本糖尿病学会. 糖尿病学の変遷を見つめて—日本糖尿病学会50年の歴史. 東京 : 日本糖尿病学会 ; 2008.
  - 29) 日本静脈経腸学会 全国栄養療法サーベイ委員会. 栄養療法の実施状況に関する全国アンケート調査結果報告(2). *静脈経腸栄養* 2004 ; 19 : 87.
  - 30) Westerterp KR, Speakman JR. Physical activity energy expenditure has not declined since the 1980s and matches energy expenditures of wild mammals. *Int J Obes* 2008 ; 32 : 1256.

\* \* \*

# 子どもにおける身体活動量の評価

田中 千晶

桜美林大学総合科学系専任講師

田中 茂穂

(独) 国立健康・栄養研究所健康増進プログラムエネルギー代謝プロジェクトリーダー

## 特集

## 運動基準づくりへの新エビデンス

## 子どもにおける身体活動量の評価

田中 千晶<sup>1)</sup>・田中 茂穂<sup>2)</sup>

身体活動 (physical activity) とは、安静にしている状態より多くのエネルギーを消費するすべての動きを指し、室内外での遊びや登園・登校といった運動以外の身体活動 (nonexercise activity thermogenesis : NEAT) を含む。必ずしも強い関連が報告されているとはいえないが、幼児期から学童期へ、ひいては成人に至るまで、幼い頃の生活習慣が後々まで引き継がれる可能性があるため、子どもたちが低強度活動を減らし、より高強度の活動を行なうよりよい生活習慣の形成に、周囲の大人が貢献することは、子どもたちの生涯にわたる健康を考える上で意義がある。

本稿では、子どもを対象とした日常の身体活動量の評価法、最近の日本の子どもにおけるこれらの方法により推定した日常の身体活動量の実際、それらを踏まえた子どもの身体活動指針の策定時において留意すべき点について述べる。

### 1. 身体活動量の評価法

日常生活における身体活動量の評価法としては、二重標識水 (doubly labeled water : DLW) 法、心拍数法、加速度計法、歩数計法、活動記録 (活動内容を記録し、各活動に相当するエネルギーを推定・加算) 法、などが用いられている。

中でも質問紙法は、他の測定方法に比較して、

短時間で実施可能であり、安価で導入しやすく、対象者の日常の身体活動パターンを長期的に評価できる。しかし、質問紙法あるいは活動記録では、強度の個人差の判別には限界があり<sup>1)</sup>、また、子どもにとって身体活動の自己申告は困難である。6~10歳の子どもの日常における活動時間の最頻値は3秒という報告がある<sup>2)</sup>。比較的定量化しやすいと考えられるウォーキングやジョギングなどの規則的な「運動」の頻度・時間が少ない一方で、遊びを含め、「活動が細切れ (間欠的)」であるのが特徴である。そのため、加速度計法などのより客観的な方法の方が望ましい。また、子どもの場合、日常的な身体活動量を評価するには、4日程度以上のモニタリングが必要ではないかとされている<sup>3)</sup>。その点を考えると、心拍数法を用いるのは現実的ではないと思われる。

そこで、フィールド測定の中で最も精度が高いDLW法、最近活用が注目されている加速度計法および、古くから日本でも利用されてきた歩数計法を用いて評価した日本の子どもの身体活動量の実際について、評価法とともに概観する。

筆者：1) たなか ちあき (桜美林大学総合科学系専任講師)

2) たなか しげほ ((独)国立健康・栄養研究所健康増進プログラムエネルギー代謝プロジェクトリーダー)

表1 小児の身体活動レベル別にみた活動内容(例)について(厚生労働省, 2010<sup>6)</sup>)

身体活動レベル	活動内容(例)
低い(I)	体育や休み時間以外は活発な活動(運動・外遊びなど)がほとんどない。(活発な活動が, 1日当たり合計30分程度)
ふつう(II)	放課後もよく外遊びする。(活発な活動が, 1日当たり合計1時間程度)
高い(III)	「ふつう」に加えて, 週末などに活発なスポーツ活動を行なっている(活発な活動が, 1日当たり合計2時間程度)

## 2. 日本の子どもにおける日常の身体活動量の実際

1) 二重標識水法による日本人小児の身体活動量 DLW法では, 1日の総エネルギー消費量を基礎代謝量で除することにより算出される身体活動レベル(physical activity level: PAL)を用いて, 日常の身体活動量を評価できる。ただし, 日本の子どもを対象とした原著論文は, これまで, 2報しか報告されていない<sup>4,5)</sup>。DLW法におけるサンプルの分析器を設置している施設が世界的にみても少ないこと,<sup>18)</sup> Oが高額なこと, さらに, 測定期間中, 数回にわたり採尿を行なう必要があることなどから, 特に子どもでは実施が難しいのがその理由である。

また, 厚生労働省「日本人の食事摂取基準」活用検討会は, その報告書で, 子どもにおける3つのPALの区分それぞれについて, 活動内容の例を示している(表1)<sup>6)</sup>。ただし, これらは, 子どもPALを決定するにあたって値を採用した論文のうち, 身体活動内容に関して記述があった3つの文献に基づいているが, 粗い質問紙を用いた欧米での調査結果から導き出されたものである。そのため, 日本の子どもの実情にどれだけ対応しているか, 改めて検討する必要は残っている。

DLW法などで評価される“身体活動レベル”は, 座位や立位における, ごく低強度の身体活動も含めた指標である。また, DLW法では, たとえば「中強度以上の活動時間」などの情報は一切提供しない。さらに, DLW法で大人数の測定は難しいため, 生活習慣病の発症などとの関連についての報告は, 高齢者において死亡率との関連が

報告されてはいる<sup>7)</sup>ものの, ほとんどない。成人の場合に, PALに対応する中強度以上の身体活動時間を推定して身体活動指針が決定されることはあるが<sup>8)</sup>, 直接的な方法ではない。そのため, DLW法の結果を踏まえて運動基準のようなものを策定するのは難しいのかもしれない。

### 2) 加速度計法による日常の身体活動量

#### (1) 加速度計法の基本原理

加速度計法は, あらかじめ呼気分析法を用いた歩行, 走行および日常生活活動での測定により得られたエネルギー消費量や身体活動強度(メッツ値など)の実測値を基準として, 加速度計から得られたカウントとの関係により推定式を作成する。それを利用して長時間にわたり, DLW法では評価できない低強度, 中強度, 高強度といった活動強度を区分することができる<sup>9,10)</sup>。

そうした特性を利用して, 成人より高強度活動の時間が長いこと<sup>11)</sup>や, 成人のPALが中強度活動の時間とのみ正の相関を示すのに対し<sup>12)</sup>, 子どもPALは, 低強度活動時間と負の, 高強度活動時間と正の相関関係を示すこと<sup>11)</sup>などの結果が得られている。このように活動強度別に評価することに意義がある。

ただし, 推定式によって, 結果に大きな違いが出ることもあることも事実である。たとえばGuinhouyaら<sup>13)</sup>は, 8~11歳のフランス人男女を対象に, 同じ加速度計(ActiGraph)を用いて2つの異なる推定式から中~高強度活動(MVPA)の時間を推定したところ, それぞれ $28 \pm 18$ 分と $141 \pm 39$ 分であった, とまったく異なる値となったことを報告している。

また、成人と子どものいずれにおいても、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が大きく異なること<sup>14, 15)</sup>や、成人を対象に開発された装置では子どもの身体活動を正確には評価できないことにも留意する必要がある。日本では、1次元加速度計のライフコーダが広く用いられており、中学生においても、トレッドミル上で実測した歩行・走行時のMETsとの間には、非常に高い相関がみられた<sup>16)</sup>。それに対し、幼児では、“運動強度”から成人用の推定式を用いて身体活動強度を推定した場合、歩行・走行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報告がある<sup>17)</sup>。

### (2) 加速度計法を用いて評価した日本人小児の身体活動量

医学中央雑誌およびPubMedにより、子どもの身体活動量を加速度計で評価した論文を検索した。

幼児については、幼稚園児と保育所児を対象に、幼児において妥当性の検討を行なった3次元加速度計アクティブトレーサー(ジー・エム・エス社製)を用いて検討した報告がある<sup>18)</sup>。この装置については、幼児を対象に、3次元の合成加速度から身体活動強度を推定する式を、遊びを含むさまざまな身体活動に基づいて作成されている<sup>18)</sup>。その結果、中強度以上の活動(MVPA)に要した時間は、各々 $107 \pm 34$ 分/日と $97 \pm 30$ 分/日であり、幼稚園児の方が、また男児の方が、有意に高かった<sup>19)</sup>。さらに、休日は平日に比較し活動量が減少するという結果が得られており<sup>9)</sup>、多次元加速度計(Actical, MiniMitter社製)を用いた研究とも一致している<sup>20)</sup>。

小学生以降については、ライフコーダ(スズケン社製)の運動強度を指標とした研究が複数報告されている。小学生では、歩行程度までの強度(ライフコーダ強度1-6)と、速歩から走行の強度(ライフコーダ強度7-9)の活動時間は、それぞれ平均して100分程度と20分程度であった<sup>21)</sup>。足立ら<sup>5)</sup>も、それに近い値を報告している。一方、中学生については、先に述べた小学生より、歩行

以上の活動時間は少なくなっていた<sup>16)</sup>。さらに、平日と休日に分けると、平日は休日に比較して、いずれの時間も有意に多かったことを報告している。それに対し引原ら<sup>22)</sup>によると、小学生~高校生において、中強度(ライフコーダ強度4-6)と高強度(ライフコーダ強度7-9)活動は、思春期前の女子の平均が30.9分と16.9分、男子が40.3分と25.9分、思春期後女子が47.9分と13.6分、男子が60.1分と20.8分であった。このように、思春期後の方が中強度活動の時間は長くなっている。ただし、この研究での中強度活動の閾値は、前述の笹山ら<sup>21)</sup>と足立ら<sup>5)</sup>の歩行程度までの強度とは異なる。

### (3) 加速度計による評価の問題点

加速度計を用いた活動強度別の検討により、子ども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。その一方で、加速度計は使用する装置の種類や閾値の設定により、たとえば「中強度以上の活動時間」の数値が大きく異なる。そのため、一概に比較できない点に留意する必要がある。したがって、ある集団内で、一種類の加速度計を用いて個人を順位づけし、他の変数との関連を検討するには優れているが、身体活動指針のようなものに得られた値と厳密に対応させるのは、当面難しいと考えられる。

### 3) 歩数計による日本人小児における日常の身体活動量

歩数計は、加速度計よりも価格が安いいため、これまでに数多くの報告がある。歩数計の精度については、日本の場合JIS規格に基づき、振動テストにより保証されている。しかし、歩行による振動かどうかを判別するために、一定時間内に連続した振動がみられないと得られた歩数のカウントをキャンセルする機能があるが、その判断基準の違いにより、1日当たりの歩数には歩数計によって成人でも2~3割の違いが出ることもある。さらに小学校低学年において、振り子式の歩数計ではふつう歩行の歩数が平均20%以上も過小評価されるのに対し、加速度計式の歩数計ではかなり

正確にとらえられることが最近報告されている<sup>23)</sup>。

また、歩数は、日常生活における中強度から高強度にわたる身体活動量を反映するものか否か、幼児を対象に3次元加速度計を用いた検討がなされている<sup>24)</sup>。その結果、中～高強度活動には、連続的な歩行を伴わない活動が多く含まれているにもかかわらず、歩数を用いれば、中～高強度の活動時間をかなり正確に推定できるものの(図1)<sup>24)</sup>、強度が強くなると歩数との相関は弱くなるという限界が報告されている。

医学中央雑誌およびPubMedによる検索に基づき、加速度付き歩数計を用いて最近5年間に報告された、日本人の子どもにおける1日の歩行数を表2にまとめた<sup>5, 16, 21, 24~28)</sup>。いずれの年齢層でも男子の歩数は女子に比較して多かった。このよう

な歩数の性差は、欧米においても同様の結果が報告されている<sup>29)</sup>。Tudor-Lockeら<sup>29)</sup>が2008年に報告した6～12歳の子どもの歩数のカテゴリーにより、表1に示した最近の日本の子どもたちの歩

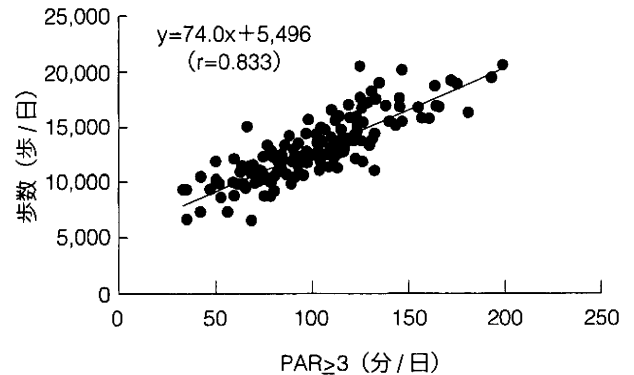


図1 身体活動強度(PAL)が3以上の活動時間と歩数の関係(Tanaka, et al., 2009<sup>24)</sup>)

表2 最近の日本の子どもにおける1日当たりの歩数

参考文献	対象者	性別 (人数)	年齢(歳)	歩数(歩/日)	装置	Tudor-Locke <sup>29)</sup> のカテゴリー	居住地
Tanaka, et al. <sup>24)</sup>	幼児	女(69) 男(88)	5.9±0.5 5.9±0.5	12,255±2,823 13,650±2,726	ライフコーダEX (スズケン社製)	— —	東京・茨城
笹山ら <sup>21)</sup>	小学生	女(148) 男(140)	9.6±0.5 9.6±0.5	12,726±2,752 16,368±3,511	ライフコーダ (スズケン社製)	Gold Gold	岡山
中江ら <sup>26)</sup>	小学生	男(17)	9.9±0.8	12,211±2,773	ライフコーダ (スズケン社製)	Bronze	北海道
荒木ら <sup>25)</sup>	小学生, 肥満 小学生, 肥満	女(43) 男(75)	9.4 10.2	11,913±498 12,468±428	ライフコーダ (スズケン社製)	Silver Bronze	福岡・山梨
足立ら <sup>5)</sup>	小学生	女(7) 男(5)	11.2±1.0	12,463±2,451	ライフコーダ (スズケン社製)	—	岡山
田中ら <sup>27)</sup>	小学生(シンク ロナイズドスイ ミング選手)	女(9)	13.4±1.0	9,839±1,760	ライフコーダ (スズケン社製)	Somewhat active	—
足立ら <sup>16)</sup>	中学生	女(90) 男(64) 女(84) 男(93) 女(46) 男(49)	中学校1年生 中学校1年生 中学校2年生 中学校2年生 中学校3年生 中学校3年生	10,440 14,251 10,300 12,292 8,615 9,395	ライフコーダEX (スズケン社製)	Active High Activity Active Active Somewhat active Somewhat active	岡山
小林ら <sup>28)</sup>	中学生	男(109) 男(84)	中学校2年生 中学校2年生	14,897±7,452 8,941±3,624	HJ-710IT (オムロンヘル スケア社製)	High Activity Somewhat active	東京 北海道
平成18年度国民 健康・栄養調査	高校生を含む	女(187) 男(211)	15~19 15~19	7,471±3,683 8,614±4,493	アルネス200S (ヤマサ社製)	Low active Somewhat active	全国 全国



数を分類すると、小学生は男女ともに活動的であるが、加齢に伴い、不活動と区分される例が見受けられる。肥満児の歩数が少ないことは、2つの研究で指摘されている<sup>25, 30)</sup>。

平日と休日の歩数の差は、すでに幼児期から、休日は平日に比較して歩数が少ないことが多数の報告で指摘されている。幼児期から、週末に子どもの身体活動量を増加させる方策が必要である。

子どもが、どんな時間帯にどのくらい歩いているかを調べた報告も複数なされている。東京近郊の幼稚園に通う幼児では、9時から14時の在園中において、1日の歩数の半数近くを占めていた<sup>19)</sup>。一方、東京都、北海道、長野県の中学生では、いずれの地域でも登校時、昼休み、放課後・帰宅時の時間帯に歩数が多かった<sup>28, 31, 32)</sup>。このように、幼児期は施設内における時間が小学生以上と比較して短いにもかかわらず、在園中の歩数の占める割合が高かった。一方、中学1年生では、運動部は文化部や無所属の生徒よりも平日放課後（15～18時）の歩数が1時間当たり約500歩多かったことが報告されている<sup>31)</sup>。また、バス・電車の利用が多い東京都の中学生は、自家用車やスクールバスが多い北海道と比較して歩数が多いことが報告されている<sup>32)</sup>。

このように、子どもが日常で行なっている活動内容や交通手段などと歩数の関係を明らかにすることにより、身体活動量が不足している子どもに対する対策を講ずることができるものと考えられる。

### 3. 子どもにおける身体活動指針

#### 1) 欧米における身体活動指針

イギリスの Health Education Authority は、多くの小児が1日30分以上の身体活動を行なっているにもかかわらず、肥満小児の割合が増加している状況から、1日1時間が適当とした<sup>33)</sup>。これは、観察法あるいは心拍数法などによる身体活動量評価から得られた数値である。米国 NASPE による5歳から12歳までのガイドライン<sup>34)</sup>も、

最低値を1時間としている。

一方、アメリカの Center for Disease Control and Prevention (CDCP) は、子どもを対象とした文献の系統的レビューを行ない、1日30分～1時間の運動が有効だとする見解を示している<sup>35)</sup>。ただし、他の身体活動指針が、運動や遊びを中心とする中強度以上の活動すべてを対象としているのに対し、CDCPのレビューは、運動介入を対象としている。すなわち、ベースラインとなる日常生活における中強度以上の活動に関しては、ほばないとみなしており、若干考え方が異なるのではないと思われる。

たとえば、子どもにおける肥満あるいは体重増加をアウトカムとしたレビュー<sup>36)</sup>において、身体活動が有効とする報告はいくつかみられるものの、対象としている身体活動は、中強度以上の活動の量あるいは週当たりの回数のみ、学校外でのスポーツ、通学手段など、多様である。数多くの論文の情報を集約するにあたっては、その点をどう整理するかが課題となる。

#### 2) 日本体育協会による「子どもにおける身体活動の行動目標」

「健康づくりのための運動指針2006」では、生活習慣病の発症に関する観察研究によって、身体活動量の基準値が決定されている。しかし、子どもについては検討はしたものの、生活習慣病の発症を扱った大規模で縦断的な疫学研究はほとんどなかった。そのため、2006年版では子どもは対象となっていない。

日本で子どもの身体活動指針に近いものとして、(財)日本体育協会による行動目標が提案されている<sup>37)</sup>。平成16年度に全国約5万人の児童を対象に行なった調査では、1日に総計して運動・スポーツおよび外遊び（体育の時間を除く）を60分以上行なっている児童は、男子で44.7%、女子で32.1%であった（平成16年度文部科学省子どもの体力向上実践協議会全国調査結果）。この調査により、1日に行なう運動・スポーツ、外遊びの総計時間（体育の時間を除く）が

60分を超えるか否かが、新体力テストの総合評価の高低を分ける大きな要因であることが示唆された。この「60分」という時間は、1日に必要な最低限の活動時間として、英・米国を中心とする諸外国のガイドラインにも示されている数値でもある。そこで、平成18～21年度（財）日本体育協会スポーツ医・科学専門委員会「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」（プロジェクト研究班長：竹中晃二（早稲田大学））では、この数値をベースにして、体力を含むさまざまな健康指標との関連を検討した上で、「60分以上の中強度活動」を最低限の行動目標と設定した<sup>37)</sup>。

### まとめ

質問紙による身体活動量調査は、少なくとも個人差をみるには限界がある。とは言え、これまでの目標値は、質問紙法・観察法に基づくか、介入実験の強度や時間から設定したものがほとんどである。そのため、まずはボール投げ、鬼ごっこ、サッカーなどを行なったと主観的にとらえた時間を評価するしかない。しかし、そのような方法では正確性に問題がある。

それに対して、加速度計は一定の妥当性・信頼性を有する<sup>10)</sup>。しかし、加速度計の使用場面は限定されており、機種間の違いも大きい。そのため、ポピュレーションレベルでの使用は少なくとも当面は難しい。それに対し歩数計は、歩行以外の身体活動をとらえることができず、歩数計による値の違いがある程度みられるという問題はあるにせよ、比較的安価で客観的な指標となりうる<sup>24)</sup>。

以上より、子どもの場合、質問紙で中～高強度活動の時間を把握することをベースとしながら、質問紙調査による活動時間と歩数との対応関係を検討し、歩数での評価を併用することが適切ではないかと考えられる。

ただし、①すべての身体活動を対象とするのか、それとも、運動や遊びに限定するのか、また、②中強度活動の下限値をいくつとするか（3メツ

でよいか)<sup>15)</sup>、といった点を考慮しておく必要がある。

### 【文 献】

- 1) Corder K, et al: Is it possible to assess free-living physical activity and energy expenditure in young people by self-report? *Am J Clin Nutr*, 89: 862—870, 2009.
- 2) Bailey RC, et al: The level and tempo of children's physical activities: an observational study. *Med Sci Sports Exerc*, 27: 1033—1041, 1995.
- 3) Trost SG, et al: Conducting accelerometer-based activity assessments in field-based research. *Med Sci Sports Exerc*, 37: S531—S543, 2005.
- 4) 引原有輝ほか：高校野球選手における簡易エネルギー消費量測定法の妥当性の検討。 *体力科学*, 54: 363—372, 2005.
- 5) 足立稔ほか：小学生の日常生活における身体活動量の評価：二重標識水法と加速度計法による検討。 *体力科学*, 56: 347—355, 2007.
- 6) 厚生労働省：「日本人の食事摂取基準」活用検討会報告書。 p35, 2010年3月。
- 7) Manini TM, et al: Daily activity energy expenditure and mortality among older adults. *JAMA*, 296: 171—179, 2006.
- 8) Brooks GA, et al: Chronicle of the Institute of Medicine physical activity recommendation: how a physical activity recommendation came to be among dietary recommendations. *Am J Clin Nutr*, 79: S921—S930, 2004.
- 9) 田中千晶ほか：加速度計と幼児の身体活動量評価。 *臨床スポーツ医学*, 26: 1079—1087, 2009.
- 10) De Vries SI, et al: Validity and reproducibility of motion sensors in youth: a systematic update. *Med Sci Sports Exerc*, 41: 818—827, 2009.
- 11) Hoos MB, et al: Physical activity pattern of children assessed by triaxial accelerometry. *Eur Clin Nutr*, 58: 1425—1428, 2004.
- 12) Westerterp KR: Pattern and intensity of physical activity. *Nature*, 410: 539, 2001.
- 13) Guinhouya CB, et al: Moderate-to-vigorous physical activity among children: discrepancies in accelerometry-based cut-off points. *Obesity*, 14: 774—777, 2006.
- 14) Matthews CE: Calibration of accelerometer output for adults. *Med Sci Sports Exerc*, 37: S512—S522, 2005.
- 15) 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.

- 16) 足立稔ほか：加速度センサー付歩数計を用いた中学生の日常生活での身体活動量評価の検討. 体力科学, 58 : 275—284, 2009.
- 17) 田中千晶ほか：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.
- 18) Tanaka C, et al: Triaxial accelerometry for assessment of physical activity in young children. *Obesity*, 15: 1233—1241, 2007.
- 19) 田中千晶ほか：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.
- 20) 田中沙織ほか：幼児期の身体活動と生活リズムにおける関連性—2軸加速度計を用いた測定結果から—. 発育発達研究, 40 : 1—10, 2008.
- 21) 笹山健作ほか：小学生の日常生活における身体活動量と体力との関連性. 体力科学, 58 : 295—304, 2009.
- 22) 引原有輝ほか：思春期前期および後期における身体活動と体力との関係性の相違—身体活動の「量的」および「強度的」側面に着目して—. 体力科学, 56 : 327—338, 2007.
- 23) Nakae S, et al: Accuracy of spring-levered and piezo-electric pedometers in primary school Japanese children. *J Physiol Anthropol*, 27: 233—239, 2008.
- 24) Tanaka C, et al: Daily physical activity in Japanese preschool children evaluated by triaxial accelerometry: the relationship between period of engagement in moderate-to-vigorous physical activity and daily step counts. *J Physiol Anthropol*, 28: 283—288, 2009.
- 25) 荒木俊介ほか：肥満小児における1日歩数と代謝異常との関連性. 肥満研究, 13 : 29—33, 2007.
- 26) 中江悟司ほか：男子児童における体格と身体活動量との関連について. 同志社スポーツ健康科学, 1 : 33—38, 2009.
- 27) 田中千晶ほか：発育期の女子シンクロナイズドスイミング競技者における骨密度の特徴—日常の身体活動量および栄養素摂取量との関連について—. 体力科学, 55 : 165—174, 2006.
- 28) 小林博隆ほか：加速度計を内蔵した歩数計による子どもの歩数トレンドグラム. 東海大学紀要体育学部, 37 : 35—39, 2007.
- 29) Tudor-Locke C, et al: Revisiting “how many steps are enough?”. *Med Sci Sports Exerc*, 40: S537—S543, 2008.
- 30) Mikami S, et al: Physical activity, energy expenditure and intake in 11 to 12 years old Japanese prepubertal obese boys. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*, 22: 53—60, 2003.
- 31) 小林博隆ほか：加速度計式歩数計を用いた中学生の身体活動量の計測. 東海大学紀要体育学部, 38 : 201—204, 2008.
- 32) 小林博隆ほか：生活活動の運動量. 子どもと発育発達, 6 : 81—86, 2008.
- 33) Biddle S, et al: Policy framework for young people and health enhancing physical activity. In: Biddle S, et al. eds, *Young and Active*, pp3—16, Health Education Authority, 1998.
- 34) Reston VA: *Physical Activity for Children: A Statement of Guidelines* (2nd ed). National Association for Sport and Physical Education, 2004.
- 35) Strong WB, et al: Evidence based physical activity for school-age youth. *J Pediatr*, 146: 732—737, 2005.
- 36) Must A, et al: Physical activity and sedentary behavior: a review of longitudinal studies of weight and adiposity in youth. *Int J Obes*, 29: S84—S96, 2005.
- 37) 竹中晃二編：アクティブ・チャイルド60min—子どもの身体活動ガイドライン—. サンライフ企画, 2010.

Original Article

## Use of Doubly Labeled Water to Validate a Physical Activity Questionnaire Developed for the Japanese Population

Kazuko Ishikawa-Takata<sup>1</sup>, Yoshihiko Naito<sup>2</sup>, Shigeho Tanaka<sup>1</sup>, Naoyuki Ebine<sup>3</sup>, and Izumi Tabata<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Program of Health Promotion and Exercise, National Institute of Health and Nutrition, Tokyo, Japan

<sup>2</sup>School of Human Environmental Sciences, Mukogawa Women's University, Hyogo, Japan

<sup>3</sup>Faculty of Health and Sports Science, Doshisha University, Hyogo, Japan

<sup>4</sup>Faculty of Sport and Health Science, Ritsumeikan University, Shiga, Japan

Received May 21, 2010; accepted November 10, 2010; released online January 18, 2011

### ABSTRACT

**Background:** No study has attempted to use the doubly labeled water (DLW) method to validate a physical activity questionnaire administered to a Japanese population. The development and refinement of such questionnaires require that physical activity components related to physical activity level be examined.

**Methods:** Among 226 Japanese men and women 20 to 83 years of age, total energy expenditure (TEE) was assessed using the Japan Arteriosclerosis Longitudinal Study Physical Activity Questionnaire (JALSPAQ), and the results were compared with TEE measured by the DLW method as a gold standard. Resting metabolic rate (RMR) was measured using the Douglas Bag method.

**Results:** The median TEE by DLW and physical activity level (PAL: TEE/RMR) were 11.21 MJ/day and 1.88, respectively, for men, and 8.42 MJ/day and 1.83 for women. JALSPAQ slightly underestimated TEE: the differences in mean and standard error were  $-1.15 \pm 1.92$  MJ/day. JALSPAQ and DLW TEE values were moderately correlated (Spearman correlation = 0.742,  $P < 0.001$ ; intraclass correlation coefficient = 0.648,  $P < 0.001$ ), and the 95% limit of agreement was  $-4.99$  to 2.69 MJ. Underestimation of TEE by JALSPAQ was greater in active subjects than in less active subjects. Moderate and vigorous physical activity and physical activity during work (ie, occupational tasks and housework) were strongly related to physical activity level. However, the physical activity components that differentiated sedentary from moderately active subjects were not clear.

**Conclusions:** Physical activity level values on JALSPAQ and DLW were weakly correlated. In addition, estimation of TEE in active subjects should be improved, and the use of a questionnaire to differentiate activity in sedentary and moderately active subjects must be reassessed.

**Key words:** physical activity questionnaire; doubly labeled water; physical activity; energy expenditure

### INTRODUCTION

Accurate assessment of physical activity level is fundamental in epidemiological studies that examine the effect of physical activity on disease prevention and health promotion. Although there are several methods for estimating physical activity level, questionnaires are the most common assessment tool in such studies. Many types of physical activity questionnaires are used in epidemiological studies, but a validation study of such questionnaires suggested that the reliability and validity of measurements of habitual physical activity are quite low.<sup>1-3</sup> In addition, Neilson et al suggested that the ability of physical activity questionnaires to predict total energy expenditure (TEE) is limited. Westerterp et al suggested that

questionnaires are satisfactory as an instrument for ranking physical activity level, but not as tools for assessing absolute TEE.<sup>4</sup> We previously examined the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) and reported that it was difficult to distinguish sedentary from moderately active individuals in the Japanese population.<sup>5</sup> Although the IPAQ was developed for international use, we maintain that questionnaires designed to suit each country or culture would increase the validity of assessments of physical activity level. The Japan Arteriosclerosis Longitudinal Study Physical Activity Questionnaire (JALSPAQ) was developed to assess physical activity in the Japan Arteriosclerosis Longitudinal Study.<sup>6,7</sup> This questionnaire was developed using data from physical activity records for the Japanese

Address for correspondence: Kazuko Ishikawa-Takata, PhD, Program of Health Promotion and Exercise, National Institute of Health and Nutrition, 1-23-1 Toyama, Shinjuku, Tokyo 162-8636, Japan (e-mail: kazu@nih.go.jp).

Copyright © 2011 by the Japan Epidemiological Association