

## 謝 辞

本研究にご参加頂いた対象者の皆様および独立行政法人国立健康・栄養研究所のスタッフの皆様に深謝致します。本研究は、平成20～23年度の文部科学研究費(基盤研究(A))および(財)明治安田厚生事業団 第26回(平成21年度)健康医科学研究助成を受けて実施したものである。

## 文 献

- 1) US Department of Health & Human Services. Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report 2008. 2008.
- 2) 厚生労働省 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指針2006 -生活習慣病予防のために(エクササイズガイド2006). 2006.
- 3) 山村千晶, 田中茂穂, 柏崎浩, 身体活動量に関する質問票の妥当性について, 栄養学雑誌, 60, 265-276, 2002.
- 4) Yamamura C, Tanaka S, Futami J, Oka J, Ishikawa-Takata K, Kashiwazaki H. Activity diary method for prediction of energy expenditure as evaluated by a whole-body indirect human calorimeter. *J. Nutr. Sci. Vitaminol*, 49: 262-269, 2003.
- 5) Chen KY, Bassett DR, Jr. The technology of accelerometer-based activity monitors: current and future. *Med Sci Sports Exerc*, 37: S490-S500, 2005.
- 6) Plasqui G, Westerterp KR. Physical activity assessment with accelerometers: an evaluation against doubly labeled water. *Obesity*, 15: 2371-2379, 2007.
- 7) Levine JA, Eberhardt NL, Jensen MD. Role of nonexercise activity thermogenesis in resistance to fat gain in humans. *Science*, 283: 212-214, 1999.
- 8) Levine JA, Lanningham-Foster LM, McCrady SK, Krizan AC, Olson LR, Kane PH, Jensen MD, Clark MM. Interindividual variation in posture allocation: possible role in human obesity. *Science*, 307: 584-586, 2005.
- 9) Levine JA. Nonexercise activity thermogenesis-liberating the life-force. *J Intern Med*, 262: 273-287, 2007.
- 10) Ravussin E, Lillioja S, Anderson TE, Christin L, Bogardus C. Determinants of 24-hour energy expenditure in man. Methods and results using a respiratory chamber. *J Clin Invest*, 78: 1568-1578, 1986.
- 11) 田中茂穂, 日常生活における生活活動評価の重要性, 日本公衛誌, 55, 474-477, 2008.
- 12) Matthews CE. Calibration of accelerometer output for adults. *Med Sci Sports Exerc*, 37: S512-S522, 2005.
- 13) Hikiyama Y, Tanaka S, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Tabata I. Validation and comparison of three accelerometers for measuring physical activity intensity during nonlocomotive activities and locomotive movements. *J Phys Act Health*, in press.
- 14) Leenders NY, Sherman WM, Nagaraja HN. Energy expenditure estimated by accelerometry and doubly labeled water: do they agree? *Med Sci Sports Exerc*, 38: 2165-2172, 2006.
- 15) 田中茂穂, 身体活動レベル(PAL)とエネルギー必要量, 臨床スポーツ医学, 24, 847-853, 2007.
- 16) Oshima Y, Kawaguchi K, Tanaka S, Ohkawara K, Hikiyama Y, Ishikawa-Takata K, Tabata I. Classifying household and locomotive activities using a triaxial accelerometer. *Gait Posture*, 31: 370-374, 2010.
- 17) Ohkawara K, Oshima Y, Hikiyama Y, Ishikawa-Takata K, Tabata I, Tanaka S. Real-time estimation of daily physical activity intensity by triaxial accelerometer and a gravity-removal classification algorithm. *Br J Nutr*, 105: 1681-1691, 2011.
- 18) Trost SG, McIver KL, Pate RR. Conducting accelerometer-based activity assessments in field-based research. *Med Sci Sports Exerc*, 37: S531-S543, 2005.
- 19) Troiano RP, Berrigan D, Dodd KW, Masse LC, Tilert T, McDowell M. Physical activity in the United States measured by accelerometer. *Med Sci Sports Exerc*, 40: 181-188, 2008.
- 20) 厚生労働省. 国民健康・栄養の現状 -平成19年厚生労働省国民健康・栄養調査報告より, 東京: 第一出版, 2010.
- 21) 厚生労働省. 日本人の食事摂取基準(2010年版)(「日本人の食事摂取基準」策定検討会報告書), 2009.
- 22) 中野治美, 井上栄, 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.
- 23) Tanaka C, Tanaka S. Daily Physical activity in Japanese preschool children evaluated by triaxial accelerometry: relationship between period of engagement in moderate-to-vigorous physical activity and daily step counts. *J Physiol Anthropol*, 28: 283-288, 2009.
- 24) Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DR Jr, Tudor-Locke C, Greer JL, Vezina J, Whitt-Glover MC, Leon AS. 2011 Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Med Sci Sports Exerc*, 43: 1575-1581, 2011.

加速度計で求めた「健康づくりのための運動基準2006」における身体活動の目標値  
(23メッツ・時/週)に相当する歩数

大島 秀武<sup>1,2</sup>, 引原 有輝<sup>2,3</sup>, 大河原 一憲<sup>2,4</sup>, 高田 和子<sup>5</sup>, 三宅 理江子<sup>2,6</sup>,  
海老根 直之<sup>7</sup>, 田畑 泉<sup>2,8</sup>, 田中 茂穂<sup>2</sup>

Daily steps corresponding to the reference quantity of physical activity of  
Exercise and Physical Activity Reference for Health Promotion 2006  
(EPAR2006) assessed by accelerometer

Yoshitake Oshima<sup>1,2</sup>, Yuki Hikiyama<sup>2,3</sup>, Kazunori Ohkawara<sup>2,4</sup>, Kazuko Ishikawa-Takata<sup>5</sup>, Rieko Miyake<sup>2,6</sup>,  
Naoyuki Ebine<sup>7</sup>, Izumi Tabata<sup>2,8</sup> and Shigeo Tanaka<sup>2</sup>

<sup>1</sup>流通科学大学サービス産業学部, 〒651-2188 兵庫県神戸市西区学園西町3-1 (Faculty of Service Industries, University of Marketing and Distribution Sciences, 3-1 Gakuen-Nishimachi, Nishi-ku, Kobe 651-2188, Japan)

<sup>2</sup>独立行政法人国立健康・栄養研究所健康増進研究部, 〒162-8636 東京都新宿区戸山1-23-1 (Department of Health Promotion and Exercise, National Institute of Health and Nutrition, 1-23-1 Toyama, Shinjuku-ku, Tokyo 162-8636, Japan)

<sup>3</sup>千葉工業大学工学部体育教室, 〒275-0023 千葉県習志野市芝園2-1-1 (Faculty of Engineering, Chiba Institute of Technology, 2-1-1 Shibazono, Narashino, Chiba 275-0023, Japan)

<sup>4</sup>電気通信大学情報理工学部, 〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘1-5-1 (Faculty of Informatics and Engineering, University of Electro-Communications, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo 182-8585, Japan)

<sup>5</sup>独立行政法人国立健康・栄養研究所栄養教育研究部, 〒162-8636 東京都新宿区戸山1-23-1 (Department of Nutritional Education, National Institute of Health and Nutrition, 1-23-1 Toyama, Shinjuku-ku, Tokyo 162-8636, Japan)

<sup>6</sup>お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科, 〒112-8610 東京都文京区大塚2-1-1 (Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu University, 2-1-1 Ohtsuka, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8610, Japan)

<sup>7</sup>同志社大学スポーツ健康科学部, 〒610-0394 京都府京田辺市多々羅都谷1-3 (Faculty of Health and Sports Science, Doshisha University, 1-3 Tatara-Miyakodani, Kyo-Tanabe, Kyoto, 610-0394, Japan)

<sup>8</sup>立命館大学スポーツ健康科学部, 〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1 (Faculty of Health and Sports Science, Ritsumeikan University, 1-1-1 Noji-Higashi, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan)

Received: August 29, 2011 / Accepted: January 16, 2012

**Abstract** The purpose of this study was to determine daily steps corresponding to the reference value for the quantity of Physical Activity and Exercise for Health Promotion 2006 (23 METs·h/wk) considering non-locomotive activities. Two hundred and thirty one men and 224 women wore a tri-axial accelerometer for two weeks. We analyzed the data in each age group (young (less than 40 years), middle-aged (40 to 59 years), and elderly (60 years or more) groups), also. There were significant relationships between daily steps and locomotive activity ( $r = 0.762$  to  $0.820$ ,  $p < 0.001$ ) and total (locomotive and non-locomotive) physical activity ( $r = 0.706$  to  $0.824$ ,  $p < 0.001$ ) with intensity of 3 METs or more in all groups. The daily steps corresponding to 23 METs·h/wk, calculated using regression lines between the daily steps and total physical activities with intensity of 3 METs or more in men and women were 6,534 steps/d and 6,119 steps/d. On the other hand, the daily steps corresponding to 23 METs·h/wk, calculated using regression lines between the daily steps and locomotive activities with intensity of 3 METs or more in men and women were 7,888 steps/d and 8,584 steps/d. These results suggest that non-locomotive activity should also be taken into consideration in the case of assessment of a daily physical activity.

*Jpn J Phys Fitness Sports Med, 61(2): 193-199 (2012)*

**Keywords** : daily steps, physical activity, Exercise and Physical Activity Reference for Health Promotion 2006, accelerometer, non-locomotive activity

緒 言

日常生活が活動的な者において、生活習慣病の発症リスクが低いことが報告されている<sup>1)</sup>。適度な活動量を維持するためには、現状の身体活動量を知り、個人のライフスタイルに応じて日常生活の中に運動を取り入れてい

く必要がある。

これまで、身体活動を定量的に評価する方法として、質問紙法、歩数計法、加速度計法、心拍数法、二重標識水法 (DLW法) などが用いられてきた<sup>2)</sup>。中でも歩数計は、その簡便性と指標のわかりやすさから、我が国の国民健康・栄養調査<sup>3)</sup>をはじめ、多くの研究で用いられて

いる。日本から発信された「1日1万歩」という目標値についても、国内外を問わず、その妥当性に関して議論がなされており<sup>4)</sup>、わが国においても、1993年に出された「健康づくりのための運動指針」では1日の合計歩数は1万歩が目標とされた<sup>5)</sup>。さらに平成12年から取り組まれてきた健康日本21においても、現状の歩数+1,000歩が1日の身体活動の目標値として掲げられている<sup>6)</sup>。

一方、2006年に厚生労働省が策定した「健康づくりのための運動基準2006～身体活動・運動・体力～（以下、運動基準2006）」<sup>7)</sup>では、生活習慣病予防の観点から、歩行に限らず、仕事や家事などの日常生活活動を含む中等度以上の活動強度の必要性を強調している。また、健康の維持・増進に必要な身体活動・運動量として、強度が3メッツ以上の身体活動を23メッツ・時/週以上、そのうち運動を4メッツ・時/週以上実践することが推奨されている。23メッツ・時/週の身体活動量とは、3メッツ以上の強度の身体活動を1日あたり約60分行うことに相当し、歩行中心の活動で考えると、約6,000歩（10分あたり1,000歩で60分）に、低強度で意識されない歩数約2,000～4,000歩を加えた1日あたり8,000～10,000歩が目安になると示されている<sup>7)</sup>。しかしながら、これはあくまでも試算したものであり、23メッツ・時/週と1日あたり8,000～10,000歩が日常生活環境下で実際に一致するかどうかは検討が必要である。

日常生活の中で、歩行は代表的な身体活動の一つであるが、歩行以外にも掃除機かけや洗濯などの家事活動のように上半身も動かす複雑な活動を行っている。運動基準2006では、体力の維持・向上を目的として計画的・意図的に実施する運動だけではなく、これらの家事活動などをも含めた身体活動の総量についての基準値が設けられている。そのため、日常生活における身体活動量を、より正しく捉えた上で23メッツ・時/週がどの程度の歩数に相当するのかを明らかにすることが必要である。そこで本研究では、歩行以外の生活活動も評価可能な3次元加速度計を用い、性・年齢階級別に加えて、身体活動

を強度が3メッツ以上の歩行活動のみに限定した場合と歩行以外の生活活動も含めた場合の23メッツ・時/週に相当する歩数について明らかにすることを目的とした。

## 方 法

**対象** 主に京都市近郊に在住し、事前のアンケート調査により、健康診断等で医師から内科的または整形外科的な疾患によって運動制限されていないことが確認された男性231名、女性224名の計455名を対象とし、若年者群（40歳未満の男性84名、女性81名）、中年者群（40歳以上60歳未満の男性100名、女性93名）、高齢者群（60歳以上の男性47名、女性50名）の3群に分けて検討を行った（Table 1）。主な職種と人数は、男性で自営業25名、事務職106名、技能職21名、営業職41名、無職または主夫38名であり、女性で自営業12名、事務職61名、技能職31名、営業職38名、無職または主婦82名であった。

**歩数および身体活動量の測定** 歩数と活動量の測定には、データメモリ機能を有するオムロンヘルスケア社製の活動量計Active Style Pro (HJA-350IT)を用いた。本装置は、幅74×高さ46×奥行き34mm、質量が60gであり、腰部にクリップで装着して計測する仕様となっている。3軸の加速度データをもとに歩数と活動量をそれぞれ独自のアルゴリズムで演算するが、歩数については、加速度波形の振幅の大きさが予め決められた閾値以上になり、かつその動きが2秒間続いた場合に歩行と認識され、カウントされる<sup>8)</sup>。また、活動量の演算にあたっては、活動強度にかかわらず、加速度信号の重力加速度成分の変化から、活動時に上半身の傾斜変化がみられない歩・走行などの歩行活動と、活動時に上半身の傾斜変化を伴う荷物運びや掃除機かけなどの生活活動に分類され、それぞれの身体活動時における合成加速度と活動強度の関係式を用いて歩行活動強度および歩行以外の生活活動強度が計測されるという特徴を有している<sup>9,10)</sup>。

活動量計は2週間装着してもらい、1日の歩数および

Table 1. Physical characteristics in different age groups.

	Group	N	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )
Men	Young	84	31.1 ± 5.5	173.1 ± 7.2	74.2 ± 16.3	24.7 ± 4.9
	Middle-age	100	47.5 ± 5.4 *	169.9 ± 6.3 *	72.0 ± 11.8	24.9 ± 3.6
	Elderly	47	66.3 ± 4.2 *†	166.1 ± 5.9 *†	68.0 ± 9.7 *	24.7 ± 3.3
Women	Young	81	32.3 ± 5.1	159.7 ± 5.5	63.7 ± 15.6	24.9 ± 5.8
	Middle-age	93	48.7 ± 5.8 *	157.8 ± 5.0 *	63.8 ± 11.3	25.6 ± 4.1
	Elderly	50	65.0 ± 4.1 *†	153.2 ± 5.1 *†	57.5 ± 8.2 *†	24.5 ± 3.5

Values are mean ± SD.

BMI indicates body mass index.

\*: Significant difference from Young group (p<0.05).

†: Significant difference from Middle-age group (p<0.05).

MVPA (moderate-to-vigorous physical activity) の指標として、強度が3メッツ以上の歩行活動量 (locomotive MVPA) と生活活動量 (non-locomotive MVPA), その合計値 (total MVPA) を算出した。対象者には、睡眠および活動量計が水に浸かる活動 (入浴や水泳など) 以外の全ての時間に活動量計を装着するように指示した。2週間の装着後に活動量計を回収し、専用ソフトを用いて解析を行った。日々の活動量のデータは、1分ごとに加速度信号の有無を確認し、1日あたり合計10時間以上の加速度信号が検出された日を装着日とし、平日2日、休日1日の計3日以上装着日があったデータを解析に採用した。

**倫理面への配慮** 本研究は、独立行政法人国立健康・栄養研究所「研究倫理審査委員会-疫学研究部会」の承認を得て実施した。測定にあたって、対象者に測定の目的、利益、不利益、危険性、データの管理や公表について説明を行い、書面にて同意を得た。データは慎重に管理し、外部に流出することがないようにした。測定に伴う危険性はない。

**統計処理** 解析結果は、平均値±標準偏差で示した。男女間の差の検定には、対応のないt検定を用いて解析した。年齢階級別の3群間の平均値の比較には、一元配置分散分析法を用い、その後の多重比較にはTukeyのpost-hoc検定を用いた。また、歩数と活動量との関連性は、ピアソンの相関係数によって検討し、単回帰により回帰直線を求めた。解析にはSPSS15.0Jを使用し、統計学的有意水準はすべて5%未満とした。

## 結 果

対象者の身体特性をTable 1に示した。男女ともBMIを除くすべての指標において、年齢階級間で有意な差

が認められた ( $p = 0.04 \sim p < 0.001$ )。1日あたりの歩数は男性が平均7,293±2,815歩/日、女性が平均6,607±2,315歩/日であり、女性に比較して男性で有意に高値を示した ( $p = 0.005$ )。男女別年齢階級別にみたところ、男女ともに年齢階級別の3群間で有意な差は認められなかった (Table 2)。

強度が3メッツ以上の生活活動は、男性が平均8.1±7.2メッツ・時/週、女性が平均12.4±8.5メッツ・時/週であり、男性に比較して女性で有意に高値を示した ( $p < 0.001$ )。年齢階級別での検討では、女性においてのみ3群間で有意な差が認められ、若年者群で他の群よりも低値を示した。また、強度が3メッツ以上の歩行活動は、男性が平均19.9±11.6メッツ・時/週、女性が平均14.0±7.9メッツ・時/週であり、女性に比較して男性で有意に高値を示した ( $p < 0.001$ )。年齢階級別での検討では、男女ともに3群間で有意な差が認められ、男性では高齢者群で他の群よりも低値を示し、女性では若年者群で他の群よりも高値を示した。さらに、強度が3メッツ以上の生活活動と歩行活動を合計した総活動量は、男性が平均28.0±14.2メッツ・時/週、女性が平均26.4±11.7メッツ・時/週であり、男女間で有意な差が認められなかった。年齢階級別での検討では、男性においてのみ3群間で有意な差が認められ、高齢者群で他の群よりも低値を示した。

また、強度が3メッツ以上の総活動量に占める歩行活動の割合は、男性が平均70.2±19.0%、女性が53.6±19.0%であり、女性に比較して男性で有意に高値を示した ( $p < 0.001$ )。年齢階級別での検討では、男女ともに3群間で有意な差が認められ、男性では高齢者群で他の群よりも低値を示し、女性では若年者群で他の群よりも高値を示した。

1日あたりの歩数と強度が3メッツ以上の週あたりの総活動量との間には、男女ともに有意な相関関係が認め

Table 2. Physical activity parameter by accelerometer in different age groups.

	Group	Steps (steps/d)	Total MVPA (METs·h/wk)	Non-locomotive MVPA (METs·h/wk)	Locomotive MVPA (METs·h/wk)	% Locomotive MVPA (%)
Men	Young	7393 ± 2713	31.4 ± 15.4	8.7 ± 7.8	22.7 ± 12.0	72.9 ± 16.9
	Middle-age	7430 ± 2877	28.0 ± 13.7	7.8 ± 7.5	20.2 ± 11.4	71.9 ± 19.0
	Elderly	6821 ± 2869	21.8 ± 10.9 *†	7.5 ± 5.2	14.3 ± 9.2 *†	61.9 ± 20.5 *†
		n.s.	p=0.001	n.s.	p<0.001	p=0.003
Women	Young	6565 ± 2232	25.4 ± 10.5	9.0 ± 6.1	16.3 ± 8.7	63.1 ± 18.5
	Middle-age	6806 ± 2355	27.4 ± 12.1	14.2 ± 9.0 *	13.2 ± 7.2 *	49.3 ± 16.5 *
	Elderly	6303 ± 2383	26.1 ± 12.8	14.3 ± 9.2 *	11.8 ± 6.8 *	46.3 ± 18.3 *
		n.s.	n.s.	p<0.001	p=0.002	p<0.001

Values are mean ± SD.

MVPA indicates moderate to vigorous physical activity with intensity 3 METs or more.

Locomotive MVPA indicates MVPA during locomotive activity.

Non-locomotive MVPA indicates MVPA during non-locomotive activity.

\* : Significant difference from Young group ( $p < 0.05$ ).

† : Significant difference from Middle-age group ( $p < 0.05$ ).

られた (男性:  $r = 0.770$ ,  $p < 0.001$ , 女性:  $r = 0.726$ ,  $p < 0.001$ ). また, 男女ともに, 1日あたりの歩数と強度が3メッツ以上の週あたりの歩行活動との間には強い相関が (男性:  $r = 0.795$ ,  $p < 0.001$ , 女性:  $r = 0.747$ ,  $p < 0.001$ ), 生活活動との間には弱い相関 (男性:  $r = 0.240$ ,  $p < 0.001$ , 女性:  $r = 0.311$ ,  $p < 0.001$ ) が認められた. 年齢階級別での検討では, すべての群において1日あたりの歩数と強度が3メッツ以上の週あたりの歩行活動 ( $r = 0.762 \sim 0.820$ ,  $p < 0.001$ ), および総活動量 ( $r = 0.706 \sim 0.824$ ,  $p < 0.001$ ) との間に有意な相関関係が認められた (Fig.1, 2). 一方, 1日あたりの歩数と強度が3メッツ以上の週あたりの生活活動との関係については, 男性の若年者群 ( $r = 0.272$ ,  $p = 0.012$ )

および中年者群 ( $r = 0.264$ ,  $p = 0.008$ ), 女性の中年者群 ( $r = 0.361$ ,  $p < 0.001$ ) および高齢者群 ( $r = 0.422$ ,  $p = 0.002$ ) においてのみ有意な相関関係が認められた.

強度が3メッツ以上の週あたりの総活動量と歩数の関係によると, 健康の維持・増進に必要な身体活動推奨量である23メッツ・時/週に相当する歩数は, 男性で6,534歩/日, 女性で6,119歩/日であった. 一方, 歩行活動と判定された活動のみに限定した場合に得られる23メッツ・時/週に相当する歩数は, 男性で7,888歩/日, 女性で8,584歩/日であった.

男女別・年齢階級別でみると, 23メッツ・時/週に相当する歩数は, 歩行活動と歩数との関係から算出した場合に比べ, 総活動量と歩数の関係から算出した場合にお

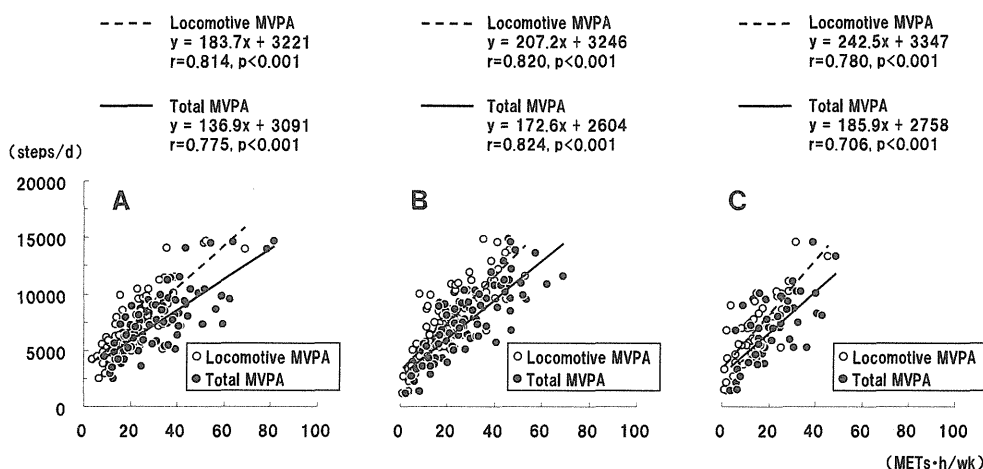


Fig 1. Relationships between daily steps and weekly MVPA in men.

MVPA indicates moderate to vigorous physical activity with intensity of 3 METs or more.

Locomotive MVPA indicates MVPA during locomotive activity.

A: Young group, B: Middle-age group, C: Elderly group.

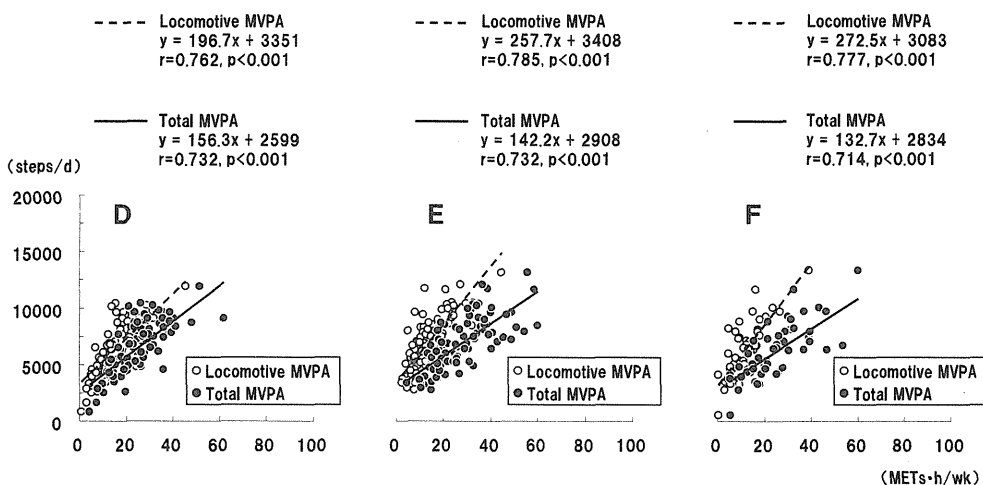


Fig 2. Relationships between daily steps and weekly MVPA in women.

MVPA indicates moderate to vigorous physical activity with intensity of 3 METs or more.

Locomotive MVPA indicates MVPA during locomotive activity.

D: Young group, E: Middle-age group, F: Elderly group.

いて、男性では若年者群で1,206歩、中年者群で1,437歩、高齢者群で1,889歩、それぞれ少なく、女性では若年者群で1,680歩、中年者群で3,156歩、高齢者群で3,463歩、それぞれ少なくなり、男女ともに加齢に伴って歩数の差が大きくなる傾向が認められた。

## 考 察

本研究は、3メッツ以上の身体活動量と歩数との関係について、歩行と歩行以外の身体活動を分離した計測が可能で加速度計を用いて得られた知見に基づいているという点に特徴がある。日常生活において、歩行以外の生活活動は、1日の身体活動が日本人の標準的なPAL（身体活動レベル）である1.75程度の生活では、2～4時間程度の普通歩行に相当する身体活動量にもなることが報告されている<sup>11)</sup>。こういった生活活動を含めた身体活動量の推定に対して、加速度計が用いられているが、国内外において、1次元・3次元加速度計のいずれについても、歩行時に得られた加速度と活動強度の関係に基づく推定式が適用されることが多く、歩行以外の生活活動を過小評価する傾向にあった<sup>12,13)</sup>。そのため、これまでも加速度センサを用いて、歩行以外の生活活動を精度よく計測しようとする試みがなされている<sup>14,15)</sup>。我々も独自のアプローチにより、3次元加速度の重力加速度成分の情報に基づいて上半身の傾斜の変化をとらえ、歩行系活動に加えて日常生活活動も精度よく評価できるアルゴリズムを開発した<sup>9,10)</sup>。このアルゴリズムは、活動タイプによって加速度に対する重力加速度の寄与が異なることを利用し、歩行活動による身体活動と歩行以外の生活活動による身体活動に分類するという特徴を有している<sup>9)</sup>。また、活動量計で得られた計測値の妥当性については、ダグラスバッグ法を基準として、歩行や家事などの12種類の動作において、それぞれ平均±6%以内の誤差で活動強度を推定できる<sup>10)</sup>。さらに、ゆっくりとした歩行でも、歩数や強度を他機種と比べても正確に評価できることも確認されている<sup>16)</sup>。この活動量計を用いて計測した1日の歩数と強度が3メッツ以上の週あたりの総活動量との関係式から23メッツ・時/週に相当する歩数を算出したところ、男性で6,534歩/日、女性で6,119歩/日となり、歩行中心の活動で考えた場合の目安として示されている1日あたり8,000～10,000歩<sup>7)</sup>よりも明らかに低い値が得られた。また、年齢階級別にみても23メッツ・時/週に相当する歩数には大きな差はなかった。このことから、性・年代にかかわらず、生活活動も身体活動量の増加に貢献しており、歩行活動を高く維持することだけが必ずしも運動基準を満たす条件ではないことが示唆された。

運動基準2006によれば、「3メッツ」以上の身体活動には、歩行以外に屋内の掃除、掃除機かけ、風呂掃除

といった家事活動なども含まれている<sup>7)</sup>。こういった家事活動は上半身の動作が中心となるため、歩数には反映されにくい。先行研究において、3メッツ強度の1分間あたりの歩数、即ち歩行率は、歩行活動で100歩/分前後<sup>17)</sup>であるのに対して、家事活動では、60歩/分程度<sup>18)</sup>、あるいは、それよりも少ない<sup>13)</sup>ことが報告されている。このように活動の内容によって活動強度と歩行率の関係性は異なるため、少ない歩数であっても、活発な生活活動によって身体活動量を増やすことが可能であると考えられる。

本研究において、3メッツ以上の活動が歩行活動のみであると想定し、1日の歩数と強度が3メッツ以上の週あたりの歩行活動との関係から、23メッツ・時/週に相当する歩数を算出したところ、男性は7,888歩/日、女性は8,584歩/日であった。これは、歩行中心の活動の場合には、1日あたり8,000～10,000歩を目安とすることが妥当であったことを示唆している。また、23メッツ・時/週に相当するかどうかにかかわらず、1日の歩数を8,000～10,000歩に維持することが生活習慣病の予防に効果がある可能性がいくつかの論文より示唆されている<sup>19-21)</sup>ため、望ましい身体活動量としてのひとつの目標値にすることは有用かつ実践的であると思われる。その一方で、本研究での運動基準の目標値に相当する歩数は、現在、国民健康・栄養調査で得られている平均値に近い値であった。運動基準2006では、週あたり23メッツ・時/週が目標値として設定されている。しかしながら、この目標値は主に欧米人を対象として質問紙調査で評価した身体活動量に基づく疫学研究結果から出されたものである<sup>7)</sup>。また、目標値の設定の際にレビューされた論文で用いられた質問紙を考えると、総身体活動量というよりは、余暇時間の活動量を中心に扱っており、仕事中の活動や通勤、家事などについては部分的にしか考慮されていない<sup>7)</sup>。そのため、今後、身体活動量の目標値の妥当性について、加速度計などを用いて検証した上で歩数との関連性を調査する必要があるものと思われる。

年齢階級別に見ると、男女ともに高齢者群で歩行活動による23メッツ・時/週に相当する歩数が高値を示した。高齢者では筋力低下に伴う歩幅の減少によって歩行速度が低下することが報告されている<sup>22)</sup>。歩幅が減少した状態で3メッツ強度の歩行を行うためには、歩行率を高めることが必要となり、特に高齢者では負担が大きくなる。このことは、本研究において強度が3メッツ以上の週あたりの歩行活動が男女ともに若年者群に比べて高齢者群で有意に低値であったことから明らかであり、特に歩数や歩行活動を中心とした身体活動による目標値を設定する場合には、性・年齢などを考慮する必要があると思われる。

先行研究では、成人男女92名を対象として、加速度セ

ンサを用いて歩数および強度が3メッツ以上の活動量を測定することで23メッツ・時/週に相当する歩数を算出し、10,652歩/日と本研究の結果に比較して高い値が報告されている<sup>23)</sup>。また、Tudor-Lockeら<sup>24)</sup>は、6つの研究のレビュー結果に基づき、1日あたり30分の中等度から高強度の身体活動(Moderate to vigorous physical activity: MVPA)は、7,000~8,000歩/日に相当すると報告している。先行研究において身体活動量のガイドラインに相当する歩数が、本研究の結果よりも高い傾向となっている要因の一つとして、先行研究で用いられた加速度計による活動強度の算出式が、歩行時に得られた加速度と活動強度の関係式に基づいて作成されたもの<sup>25)</sup>であることがあげられる。加速度と活動強度の関係性は、歩行と生活活動とで異なるため、歩行時に得られた加速度と活動強度の関係式を用いると、歩行以外の生活活動を過小評価する傾向にあることが報告されている<sup>12,13)</sup>。そのため、強度が3メッツ以上の歩行活動と歩行以外の生活活動を合わせた総活動量も過小評価してしまうことが推測され、それによって23メッツ・時/週に相当する歩数も大きな値となっている可能性が考えられた。

歩数と強度が3メッツ以上の歩行活動または総活動量との関係式から算出した23メッツ・時/週に相当する歩数の差についてみたところ、男女ともに大きな差が認められ、その差は女性および高齢者群で顕著であった。また、強度が3メッツ以上の総活動量に対する歩行活動の割合についても同様に男性よりも女性で小さく、男女ともに高齢者で低値を示しており、ライフスタイルの違いが、これらの結果に影響していることが示唆された。家事などの生活活動では強度の高い活動は少なく、1回の継続時間も短い場合がほとんどである。1回の身体活動の継続時間について、アメリカスポーツ医学会とアメリカ心臓学会が作成した身体活動ガイドラインでは、一回当たりの運動継続時間が10分間の場合と30分間の場合とで効果に差がないという報告に基づいて、10分以上の継続が明記されているものの<sup>26)</sup>、わが国の運動基準2006では規定されていない。そのため、本研究のように、1分単位で活動強度を評価する方法は、運動基準2006に対応していると考えられる。先行研究では、日常生活での細切れの身体活動の蓄積と、30分以上の連続的な身体活動を比較し、同程度の運動量の実施では $\dot{V}O_2\max$ の改善効果に差がなかったこと<sup>27)</sup>や、3分間×10回の運動は、食後高脂血症や血圧の改善に対して30分×1回の運動と同等の効果であったこと<sup>28)</sup>が報告されている。また、運動に対するコンプライアンスについても1回にまとめて実施するよりも、複数回に分けて実施するほうが高いことが報告されている<sup>29)</sup>。そのため、ウォーキングを中心とした身体活動のみでなく、日常生活での家事活動の増加などによって活動量を増やすことも有効かもしれない。

今後、家事活動などの歩行以外の活動によってどの程度、身体活動量を増加させることが可能か、さらに増やすことによる身体機能に対する効果はどうか、といったことを検討する必要があると思われる。

本研究の限界として、対象者が都市部の一部地域に限定されている点が挙げられる。また、事前のスクリーニングによって、医師から運動制限されていない者を抽出したため、特に高齢群においては一般集団よりも健康集団であり、相対的に身体活動量が多かった可能性が考えられる。そのため、幅広い地域の集団に対しても同様の結果が当てはまるとは限らない。今後、調査地域を拡大し、対象者をランダムに抽出した上でのさらなる検討が必要であると思われる。最後に、本研究で用いた活動量計の身体活動量は、歩行と歩行以外の身体活動量を加味したアルゴリズムで演算されたものである。そのため、本結果を他の歩行を前提にエネルギー消費量を算出した加速度計で得られた結果にあてはめることはできない。用いる歩数計および活動量計の機種によって計測アルゴリズムが異なるため、結果も異なる可能性があることに留意する必要がある。

## まとめ

歩行以外の生活活動も評価可能な3次元加速度計を用い、健康の維持・増進に必要な身体活動量として推奨されている23メッツ・時/週に相当する歩数を検討した結果、男性で6,534歩/日、女性で6,119歩/日であった。一方、身体活動量を強度が3メッツ以上の歩行活動のみに限定して考えた場合、23メッツ・時/週に相当する歩数は男性で7,888歩/日、女性で8,584歩/日であった。このことから、歩行以外の生活活動も身体活動量の増加に貢献しており、身体活動量を評価する際に考慮すべきことが示唆された。

## 参考文献

- 1) US Department of Health & Human Services. Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report 2008, 2008. <http://www.health.gov/PAGuidelines/Report/>.
- 2) Montoye HJ, Kemper, HCG, Saris WHM, Richard AW. Measuring physical activity and energy expenditure, Human Kinetics, Champaign, IL, 1996.
- 3) Inoue S, Ohya Y, Tudor-Locke C, Tanaka S, Yoshiike N, Shimomitsu T. Time Trends for Step-Determined Physical Activity among Japanese Adults. *Med Sci Sports Exerc*, 43: 1913-1919, 2011.
- 4) Tudor-Locke C. and Bassett DR Jr. How many steps/day are enough? Preliminary pedometer indices for public health. *Sports Med*, 34: 1-8, 2004.
- 5) 進藤宗洋, 吉田規和: 日本の厚生省の“健康づくりのための運動所要量”, pp202-208. 日本臨床増刊号「身体活動と生活習慣病」, 日本臨床社, 2000.
- 6) 健康日本21企画検討会, 計画策定検討委員会報告書:

- 健康日本21 (21世紀における国民健康づくり運動について), 健康体力づくり事業財団, 東京, 2000.
- 7) 厚生労働省運動所要量・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-. 2006.
  - 8) 大島秀武. 身体活動量をはかる最新技術. 体育の科学, 61: 108-112, 2011.
  - 9) Oshima Y, Kawaguchi K, Tanaka S, Ohkawara K, Hiki-hara Y, Ishikawa-Takata K, and Tabata I. Classifying household and locomotive activities using a triaxial accelerometer. *Gait Posture*, 31: 370-374, 2010.
  - 10) Ohkawara K, Oshima Y, Hiki-hara Y, Ishikawa-Takata K, Tabata I, Tanaka S. Real-time estimation of daily physical activity intensity by triaxial accelerometer and a gravity-removal classification algorithm. *Br J Nutr*, 105: 1681-1691, 2011.
  - 11) Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Park JH, Tabata I, Tanaka S. How much locomotive activity is needed for an active physical activity level: analysis of total step counts. *BMC Res Notes*, 4: 512, 2011. [Epub ahead of print]
  - 12) Matthews CE. Calibration of accelerometer output for adults. *Med Sci Sports Exerc*, 37: S512-S522, 2005.
  - 13) Hiki-hara Y, Tanaka S, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Tabata I. Validation and comparison of three accelerometers for measuring physical activity intensity during nonlocomotive activities and locomotive movements. *J Phys Act Health*, in press.
  - 14) Crouter SE, Clowers KG, and Bassett DR Jr. A novel method for using accelerometer data to predict energy expenditure. *J Appl Physiol*, 100: 1324-1331, 2006.
  - 15) Staudenmayer J, Pober D, Crouter S, Bassett D, and Freedson P. An artificial neural network to estimate physical activity energy expenditure and identify physical activity type from an accelerometer. *J Appl Physiol*, 107: 1300-1307, 2009.
  - 16) Park J, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Mekata Y, Tabata I. Effects of walking speed and step frequency on estimation of physical activity using accelerometers. *J Physiol Anthropol*, 30: 119-127, 2011.
  - 17) 綾部誠也, 熊原秀晃, 青木純一郎, 内藤久士, 形本静夫, 田中宏暁. 歩行率による中等度身体活動時間の評価. 体力科学, 57: 453-462, 2008.
  - 18) 吉武裕. 高齢者の身体活動量測定システム. 厚生省厚生科学研究補助金長寿科学総合研究, 1997.
  - 19) Tudor-Locke C, Hatano Y, Pangrazi RP, and Kang M. Revisiting "how many steps are enough?". *Med Sci Sports Exerc*, 40: S537-543, 2008.
  - 20) Swartz AM, Strath SJ, Bassett DR, Moore JB, Redwine BA, Groër M, and Thompson DL. Increasing daily walking improves glucose tolerance in overweight women. *Prev Med*, 37: 356-62, 2003.
  - 21) Thompson DL, Rakow J, and Perdue SM. Relationship between accumulated walking and body composition in middle-aged women. *Med Sci Sports Exerc*, 36: 911-914, 2004.
  - 22) 金俊東, 久野 譜也, 相馬 りか, 増田 和実, 足立 和隆, 西嶋 尚彦, 石津 政雄, 岡田 守彦. 加齢による下肢筋量の低下が歩行能力に及ぼす影響. 体力科学, 49: 589-596, 2000.
  - 23) 熊原秀晃, Yves Schutz, 吉岡真由美, 吉武裕, 進藤宗洋, 田中宏暁. 健康づくりのための運動基準に則した日常身体活動量評価における歩数の妥当性. 福岡大学スポーツ科学研究, 39: 101-111, 2008.
  - 24) Tudor-Locke C, Craig CL, Brown WJ, Clemes SA, De Cocker K, Giles-Corti B, Hatano Y, Inoue S, Matsudo SM, Mutrie N, Oppert JM, Rowe DA, Schmidt MD, Schofield GM, Spence JC, Teixeira PJ, Tully MA, Blair SN. How Many Steps/day are Enough? For Adults. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 8: 79, 2011. doi:10.1186/1479-5868-8-79
  - 25) Kumahara H, Schutz Y, Ayabe M, Yoshioka M, Yoshitake Y, Shindo M, Ishii K, and 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*, 91: 235-243, 2004.
  - 26) Haskell WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, Macera CA, Heath GW, Thompson PD, and Bauman A. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc*, 39: 1423-1434, 2007.
  - 27) Macfarlane DJ, Taylor LH, Cuddihy TF. Very short intermittent vs continuous bout of activity in sedentary adults. *Prev Med*, 43: 332-336, 2006.
  - 28) Miyashita M, Burns SF, Stensel DJ. Accumulating short bouts of brisk walking reduces postprandial plasma triacylglycerol concentrations and resting blood pressure in healthy young men. *Am J Clin Nutr*, 88: 1225-1231, 2008.
  - 29) Jakicic JM, Wing RR, Butler BA, and Robertson RJ. Prescribing exercise in multiple short bouts versus one continuous bout: effects on adherence, cardiorespiratory fitness, and weight loss in overweight women. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 19: 893-901, 1995.



# エネルギー消費量の構成成分と肥満

田中茂穂\*

## 要旨

- ・肥満は、エネルギー消費量と摂取量のバランスのずれによって生じ、さまざまな生活習慣病につながる。
- ・総エネルギー消費量(TEE)の最大の構成成分でバラツキが大きいのは基礎代謝量であるが、そのバラツキの大部分は、組織・臓器重量で説明できる。また、基礎代謝量の推定値からの残差とその後の体重変動は、概して有意な関連が得られていない。このように、「TEEの中でもっとも割合の大きい基礎代謝量を増加させればやせやすい」ことを支持する知見は少ない。さらに、「体格などで補正した基礎代謝量が“大きい”と、死亡率が高くなる」という報告が、最近二つ出ている。
- ・一方、TEEの平均30%程度を占める身体活動は、運動とそれ以外(NEAT)に分けられるが、身体活動の大部分はNEATである。運動はもちろんNEATについても、二重標識水法や加速度計法などの客観的で正確な方法により、肥満や死亡率などとの関係を示唆する結果が得られている。最近では、座位などの低強度活動も注目されている。
- ・しかし、身体活動と肥満との関連も、それほど強くはない。肥満との関連がもっとも強いと考えられるのは、二重標識水法などを利用したいくつかの研究結果からしても、やはり過食のようである。もちろん、個々のエネルギー消費量の構成要素やエネルギー摂取量だけでなく、最終的にはエネルギーバランスが重要であり、食欲と身体活動などとの相互関連についても注目する必要がある。

## エネルギー消費量の構成要素

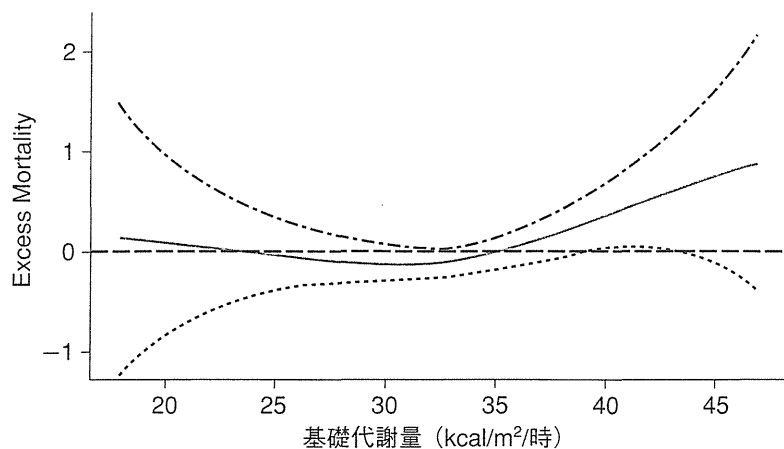
肥満は、エネルギー消費量と摂取量のバランスのずれによって生じ、さまざまな生活習慣病につながる。

また、一般に、  
総エネルギー消費量(total energy expenditure ; TEE) = 基礎代謝量(basal metabolic rate ; BMR) + 食事誘発性体熱産生 + 身体活動に要するエネルギー  
とされるが、身体活動量は TEE に直結するため、TEE と肥満との関連を検討することは重要であ

る。

このうち、食事誘発性体熱産生(diet-induced thermogenesis, thermic effect of food, または thermic effect of meal)は、摂取した食事の消化・吸収に要するエネルギーで、通常の食事であれば、食後6時間程度かそれ以上にわたって観察される。しかし、食事誘発性体熱産生を他の構成要素から厳密に分離して評価するのは容易ではなく、測定時間や測定条件、機器などが統一されていない<sup>1)</sup>。また、食事誘発性体熱産生の低下と肥満との関係についても、必ずしも一定した結果が得られているわけではない<sup>1)</sup>。

そこで本稿では、成人において、残る BMR お



	基礎代謝量(kcal/m <sup>2</sup> /時)			
	<31.3	31.3~33.9	33.9~36.4	>36.4
死亡率のリスク	1.089 (0.896~1.325)	1 (Ref)	1.284 (1.021~1.615)	1.533 (1.194~1.967)

図1 ボルチモア加齢縦断研究の男性被験者における基礎代謝量と死亡率の関係<sup>4)</sup>  
縦軸は、過剰な死亡率の推定値(真ん中の線)と95%信頼区間(上下の線)

よび身体活動について、肥満や生活習慣病の予防や改善に関する知見を概説する。TEE や身体活動量については、主に二重標識水(doubly labeled water ; DLW)法や加速度計法などの客観的かつ比較的正確な方法<sup>2)</sup>を用いて得られた結果に基づいて考察する。

### BMR と肥満・生活習慣病

身体活動レベル(physical activity level ; PAL= TEE ÷ BMR)の標準値が 1.75 程度であること<sup>2)</sup>から、BMR は平均して TEE の約 6 割を占める。多くの個人において、TEE の最大の構成要素は BMR である。また、BMR の個人間差も大きい。ただし、そのバラツキの多くは体格、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>3)</sup>。変動要因として、性や年齢があげられることも多いが、これらによる差も、組織・器官重量を考慮するとほとんどみられなくなる。

また、体格などで補正した BMR とその後の体重変動との関係を見ると、Pima Indian で弱い有意な関連が得られた以外は、有意な関連が得られていない<sup>3)</sup>。当研究所で睡眠時代謝量を用いて行った検討結果でも、同様であった。

以上のように、「BMR の低下が肥満の原因」と

する根拠は、現時点ではほとんどない。

むしろ、BMR が高いことの問題点を指摘する縦断的な観察研究が、最近 2 件出ている。ボルチモア加齢縦断研究では、「体格などで補正した BMR が高い男性では、死亡率が高い」という結果が得られた(図 1)<sup>4)</sup>。また、Pima Indian においても、「体格で補正した BMR やヒューマンカロリーメーターで測定した 24 時間のエネルギー消費量が高いと、死亡率が高い」という結果が得られている<sup>5)</sup>。これらは、いわゆる“calorie restriction”の有用性を裏付けている可能性もある。

### 身体活動量と肥満予防

#### 1. 身体活動量の分類と個人間変動

身体活動とは、「骨格筋の活動により安静時よりも多くのエネルギー消費を伴う身体の状態」であり、健康増進や体力の維持・増進を目的とした計画的・組織的で継続性のある“運動”と、それ以外の余暇・家事・仕事からなる“生活活動”に大別できる<sup>6)</sup>。後者は、いわゆる NEAT(nonexercise activity thermogenesis)に相当する<sup>7)</sup>。

身体活動は TEE の平均 30%程度を占めるが、運動をしている人の割合や頻度・時間、強度を考えると、身体活動の大部分は NEAT である<sup>7,8)</sup>。そ

れから推測される個人間変動は、一定の体格でおおよそ±200 kcal/日強(標準偏差相当)と大きい<sup>8)</sup>。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、工作中における荷物の運搬など、さまざまな活動が含まれる。農作業や土木建築業などの仕事や家具の移動などを除くと、概して強度が低めの活動が多い。

## 2. 身体活動と肥満予防

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>7)</sup>。NEATに対する注目を初めて喚起した論文では、1,000 kcal/日の過食を続けた時、NEATが増加した者では体脂肪の増加量が抑えられたという結果が得られた<sup>9)</sup>(図2)。

国際肥満学会によるコンセンサス・ステートメント<sup>10)</sup>では、質問紙調査から身体活動量とその後の体重変化を観察した研究をとりあげた。その結果、13のうち11で、PALと体重(体脂肪)増加あるいは肥満との負の相関がみられた。また、PAL=1.7程度(≒45~60分/日の中高強度活動)となるような日常の身体活動が肥満予防には必要ではないかとしている。ただし、質問紙法は概して、個人間差の抽出には適さない。そのため、DLW法・加速度計法などの方法が望まれる。

最近、Wilksらは、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、系統的レビューを行った<sup>11)</sup>。その結果、16のコホート研究のうち、10の研究では、予想されたように負の相関はみられたが、概して強い相関ではなかった。五つは有意な相関がみられず、また介入研究でも、概して関連はみられなかった。

Westerterp<sup>12)</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結果を報告している。それによると、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、身体活動量の個人間差の抽出により適した客観的な方法を用いても、そのすべてで肯定的な結果が得られたわけではない。妥当性

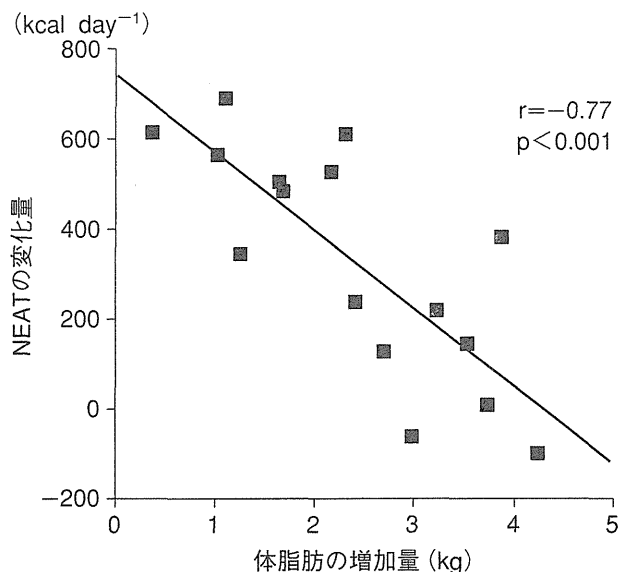


図2 1000 kcal/日の過食実験時における、体脂肪の増加量とNEATの変化量との関係<sup>9)</sup>

の高い方法は概してコストや手間・技術を要するため、今後、より対象者数が多く観察期間の長い研究が待たれる。

## 3. 座位などの低強度活動と肥満予防

最近では、座位などの低強度活動(sedentary behavior)についても関心が高まっている。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時間半長い<sup>13,14)</sup>という結果が得られている。

sedentary behaviorが生活習慣病あるいは肥満などに関連がみられるという報告が最近増えてきているが<sup>15)</sup>、24時間は、3メッツ以上の中高強度活動(moderate-to-vigorous physical activity; MVPA)、1.5ないし2メッツ程度から3メッツ程度の比較的low強度の活動、座位(sedentary behavior)、および睡眠からなるので、

- ・MVPAが少ないと、その分、sedentary behaviorが多くなるだけなのか、
- ・比較的low強度の活動(MVPAとsedentary behaviorの間の活動)の量を間接的に反映しているか、
- ・それとも、sedentary behavior独自の影響があるのか、

のいずれかは不明である。

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。

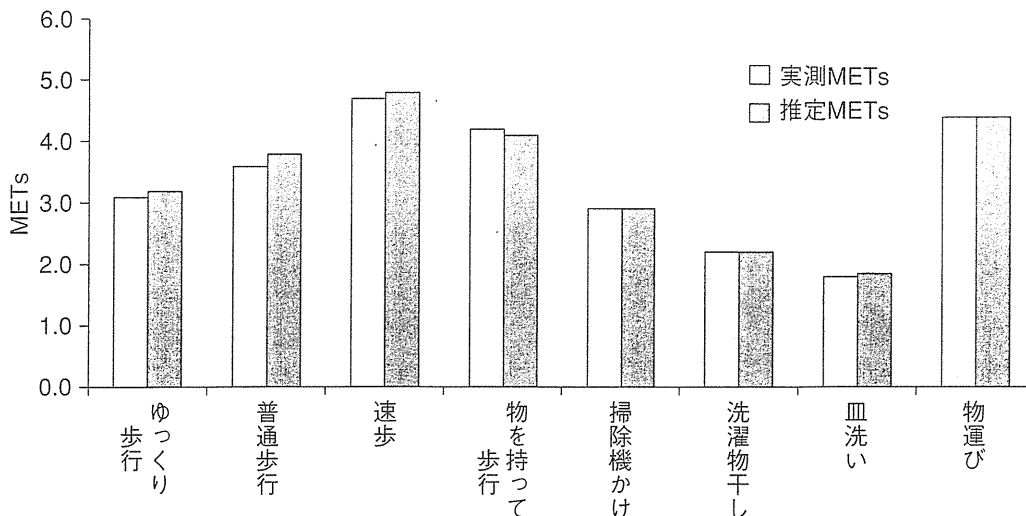


図3 Active style Pro HJA-350IT(オムロンヘルスケア社)を用いた各活動強度(METs)の推定値と実測値<sup>17)</sup>

#### 4. 身体活動量評価における注意点

最近、加速度計を利用した活動量計がいくつか市販されている。しかし、活動量計によって、活動強度やエネルギー消費量を推定するためのアルゴリズムなどが大きく異なる。その結果、活動量計によって、正確に評価できる活動やそうでない活動があり、得られるエネルギー消費量(kcal/日)やメッツ・時/週に大きな違いがみられる<sup>16)</sup>。特に、歩・走行“以外”の活動は、身体活動によるエネルギー消費量の半分以上を占めるが、その評価精度の差が大きい。最近、家事のような活動でも比較的正確に推定できる活動量計も市販されるようになってきた(図3)<sup>17)</sup>。また、多くの活動量計は、自転車こぎや階段昇降・坂道での強度を正確に評価できない。

#### 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。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、もっとも正確と考えられる。そのようにして得られた習慣的なエネルギー摂取量が多い方が、その後の体重が増加しやすいことを、Pima Indianを対象としてTataranniら<sup>18)</sup>が報告している。

また、Swinburnら<sup>19)</sup>は、「TEEが大きい方が、

その後の体重が増加しやすい」という結果を得ている。TEE≒エネルギー摂取量であることを踏まえると、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

実際のところ、エネルギー摂取と消費は独立ではない。Mayer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提唱している<sup>20)</sup>。

これまで、身体活動と摂食との関係について検討はされてきたが、今後、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などに関して、十分に洗練された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) Granata GP, Brandon LJ: The thermic effect of food and obesity: discrepant results and methodological variations. *Nutr Rev* 60: 223-233, 2002
- 2) 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
- 3) 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

- 4) Ruggiero C, Metter EJ, Melenovsky V, et al : High basal metabolic rate is a risk factor for mortality : the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* **63** : 698-706, 2008
- 5) Jumpertz R, Hanson RL, Sievers ML, et al : Higher energy expenditure in humans predicts natural mortality. *J Clin Endocrinol Metab* **96** : E972-E976, 2011
- 6) Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM : Physical activity, exercise, and physical fitness : definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep* **100** : 126-131, 1985
- 7) Levine JA : Nonexercise activity thermogenesis—liberating the life-force. *J Intern Med* **262** : 273-287, 2007
- 8) 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
- 9) Levine JA, Eberhardt NL, Jensen MD : Role of non-exercise activity thermogenesis in resistance to fat gain in humans. *Science* **283** : 212-214, 1999
- 10) Saris WH, Blair SN, van Baak MA, 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
- 11) Wilks DC, Besson H, Lindroos AK, et al : Objectively measured physical activity and obesity prevention in children, adolescents and adults : a systematic review of prospective studies. *Obes Rev* **12** : e119-e129, 2011
- 12) Westerterp KR, Plasqui G : Physically active lifestyle does not decrease the risk of fattening. *PLoS One* **4** : e4745, 2009
- 13) Levine JA, Lanningham-Foster LM, McCrady SK, et al : Interindividual variation in posture allocation : possible role in human obesity. *Science* **307** : 584-586, 2005
- 14) Johannsen DL, Welk GJ, Sharp RL, et al : Differences in daily energy expenditure in lean and obese women : the role of posture allocation. *Obesity* **16** : 34-39, 2008
- 15) Pate RR, O'Neill JR, Lobelo F : The evolving definition of "sedentary". *Exerc Sport Sci Rev* **36** : 173-178, 2008
- 16) Hikiyama Y, Tanaka S, Ohkawara K, et al : Validation and comparison of three accelerometers for measuring physical activity intensity during nonlocomotive activities and locomotive movements. *J Phys Act Health* (in press)
- 17) Ohkawara K, Oshima Y, Hikiyama Y, et al : Real time estimation of daily physical activity intensity by triaxial accelerometer and a gravity-removal classification algorithm. *Br J Nutr* **105** : 1681-1691, 2011
- 18) Tataranni PA, Harper IT, Snitker S, 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
- 19) Swinburn BA, Sacks G, Lo SK, et al : Estimating the changes in energy flux that characterize the rise in obesity prevalence. *Am J Clin Nutr* **89** : 1723-1728, 2009
- 20) Mayer J, Roy P, Mitra KP : 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

# 運動と生活習慣病の疫学について

澤田 亨\*

## 要 旨

- ・信頼性の高い健康情報を提供する疫学研究手法のひとつとしてコホート研究がある。
- ・「コホート研究」は別名、「追跡研究」や「縦断研究」と呼ばれる疫学研究手法である。
- ・日本人労働者を対象に実施された運動疫学研究として「大阪ヘルスサーベイ」,「関西ヘルスタディ」,「東京ガス・スタディ」といったコホート研究がある。
- ・日本人労働者を対象にこれまでに報告された運動研究結果の概要
  - ① 通勤における歩行時間が長い群は高血圧や2型糖尿病の罹患率が低い。
  - ② 少なくとも週1回運動する群は1回も運動しない群と比較して2型糖尿病の罹患率が低い。
  - ③ 有酸素能力(全身持久力)が高い群は高血圧や2型糖尿病の罹患率が低い。
  - ④ 有酸素能力(全身持久力)が高い群は総死亡率やがん死亡率が低い。
  - ⑤ 有酸素能力(全身持久力)が増加した群は2型糖尿病の罹患率が低い。
  - ⑥ 筋持久力が高い群は2型糖尿病の罹患率が低い。
- ・日本人労働者を対象とした運動疫学研究は、習慣的な運動(身体活動)の実践や有酸素能力を維持・向上させることで生活習慣病や早世を予防できる可能性を示している。

## はじめに

信頼性の高い健康情報とは、「研究対象がヒトであること」、「定評ある医学専門誌に掲載された論文であること」、「研究デザインがランダム化比較試験やコホート研究といった疫学研究であること」、そして「複数の疫学研究で支持されている結果であること」などの条件を満たしている情報であるとされている<sup>1)</sup>。健康に関する情報は、メカニズムに関する研究結果も重要ではあるが、多くのヒト集団を対象に調査・観察された疫学研究の結果が信頼性の最終的な判断材料となる。一方で、疫学研究はメカニズムを解明するために行われる実験的な研究と比較して、研究のための条件を厳

密にコントロールすることが困難である。このことから、疫学研究の結果については複数の論文の総合評価によって結論を導く必要がある。

本稿では、運動と生活習慣病に関する疫学研究の紹介として、日本人労働者を対象に運動(身体活動)と生活習慣病および生命予後の関係を調査したコホート研究を紹介させていただく。

## コホート研究とは

「コホート研究」は別名、「追跡研究」や「縦断研究」と呼ばれる疫学研究手法である。例えば、身体活動とがん死亡の関係を調査する場合、追跡開始時点においてがん罹患していない追跡対象者の身体活動量を質問紙や歩数計を用いて調査

SAWADA Susumu \*東京ガス株式会社安全健康・福利室〔〒105-8527 東京都港区海岸 1-5-20〕

## Status of physical activity in the Japanese population

Shigeho Tanaka

Department of Nutritional Science, National Institute of Health and Nutrition, 1-23-1 Toyama, Shinjuku-ku, Tokyo 162-8636, Japan

Received: July 12, 2012 / Accepted: September 6, 2012

**Abstract** Physical activity surveillance at a population level is important. The National Health and Nutrition Survey of Japan has been carried out annually, and two kinds of assessments for physical activity are included in the survey: total step counts per day, measured by a pedometer, and questions on exercise habits. From peak values seen in 1998 - 2000, time trends display a decline of age-adjusted mean steps per day, and the average percentage of regular exercisers has increased only in the age group of 50 years old or higher. As for standard or target values of physical activity, the Dietary Reference Intakes (DRIs) for Japanese presents standard values of physical activity levels (total energy expenditure divided by basal metabolic rate) for each gender and age group. The moderate value of physical activity level for adults is 1.75. Furthermore, the Exercise and Physical Activity Guide for Health Promotion 2006 (Exercise Guide 2006) was released based on the "Exercise and Physical Activity Reference for Health Promotion 2006" (EPAR2006). The reference values were set as 23 MET-hours/week for physical activity and 4 MET-hours/week for exercise. The former value is equivalent to 8000 to 10000 daily steps. Thus, Japan has established target values for physical activity and exercise habits, and daily steps have been investigated in the Japanese population. However, the target or standard values of physical activity are not sufficiently linked to the nationwide surveillance of actual levels of physical activity. Therefore, development of physical activity evaluation methods for Japanese is necessary.

**Keywords** : National Health and Nutrition Survey of Japan, Dietary Reference Intakes for Japanese, Exercise Guide 2006, physical activity surveillance, accelerometer, pedometer

### Introduction

Physical activity (PA) surveillance at a population level is important in the field of public health, as it provides the basic information for the planning, implementation, and evaluation of public health practices. PA is defined as any bodily movement, produced by skeletal muscles, resulting in energy expenditure (EE) above the resting level<sup>1)</sup>. PA consists of exercise and non-exercise PA, also termed non-exercise activity thermogenesis (NEAT)<sup>2)</sup>. The value of NEAT is usually much larger than that of exercise-induced EE, and varies substantially between individuals. Regarding intensity, PA can be classified into moderate-to-vigorous (MVPA), and lower intensity (sleep, sedentary behavior, or light PA)<sup>3-5)</sup>.

### Results of the National Health and Nutrition Survey of Japan

**Physical activity.** The National Nutrition Survey has been conducted annually in Japan since 1945 by the Ministry of Health, continuing as the Ministry of Health, Labour and Welfare since 2001<sup>6)</sup>. At first, the survey was

carried out in the Tokyo Metropolitan area under the direction of the Allied Forces. It dictated the collection of fundamental information for health promotion, mainly from the viewpoint of lifestyle, from the Japanese population. Based on the Health Promotion Law, which replaced the Nutrition Improvement Law in 2003, the survey has been changed and expanded to the National Health and Nutrition Survey of Japan (NHNS-J). In the annual survey, target populations are selected from the entire national population aged 1 year and over by stratified random sampling; approximately 6000 households in 300 areas are randomly selected from enumerated districts based on the population census. The main components of data collection are household dietary surveys, individual physical examinations (e.g. anthropometry, blood testing), and questionnaires on the lifestyle habits of the households' individuals.

Two kinds of assessments for PA are included in the NHNS-J: total step counts per day, measured by a pedometer, and questions on exercise habits. Total step counts are an index of MVPA in adults<sup>7)</sup> and in children<sup>8)</sup>, and have been monitored since 1989.

According to the NHNS-J in 2010<sup>9)</sup>, Japanese men took  $7174 \pm 4685$  (mean  $\pm$  SD) steps per day and women took  $6176 \pm 3728$  steps per day (Table 1); men took more steps

per day than women across all age groups<sup>10</sup>). Steps per day were lower in older age groups among men, whereas among women, the highest steps per day were seen in the 40- to 49-year-old age group. These average step counts are higher than those reported by the US nationwide survey, the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES)<sup>11</sup>), but lower than those obtained from randomly selected samples in Australia<sup>12</sup>) and those from representative samples of the Belgian population<sup>13</sup>). From peak values seen in 1998 - 2000, time trends displayed a decline of age-adjusted mean steps per day (-529 steps per day among men and -857 steps per day among women) by 2007<sup>10</sup>). The time trends, with more recent data added, are shown in Fig. 1.

Data on exercise habits, however, display a different trend. In the NHNS-J, if a person exercises more than twice weekly, for 30 minutes or longer, over a 1-year period, that person is regarded as a regular exerciser<sup>6</sup>). The

percentage of the population considered regular exercisers according to the recent NHNS-J, broken down by age groups, is shown in Table 2; time trends from 1997 to 2010 are shown in Fig. 2<sup>9</sup>). The average percentage of regular exercisers has apparently increased; however, this increase was seen in the age group of 50 years old or higher, while the younger age groups have seen their percentage of regular exercisers decrease. The younger age groups average a lower percentage of regular exercisers than the older groups.

**Physical activity level.** The Recommended Dietary Allowance (RDA) in Japan was first established in 1970, and revisions have been made every 5 years by the Ministry of Health and Welfare. The seventh revision was entitled “Dietary Reference Intakes for Japanese (DRIs-J) 2005” by the Ministry of Health, Labour and Welfare, based on the Health Promotion Law. The current version

Table 1. Average daily steps in each gender and age category in 2010<sup>9</sup>).

Age group	Men		Women	
	Mean	SD	Mean	SD
20-29	8,100	1,200	7,800	1,100
30-39	8,000	1,100	7,700	1,000
40-49	7,900	1,000	7,600	900
50-59	7,800	900	7,500	800
60-69	7,700	800	7,400	700

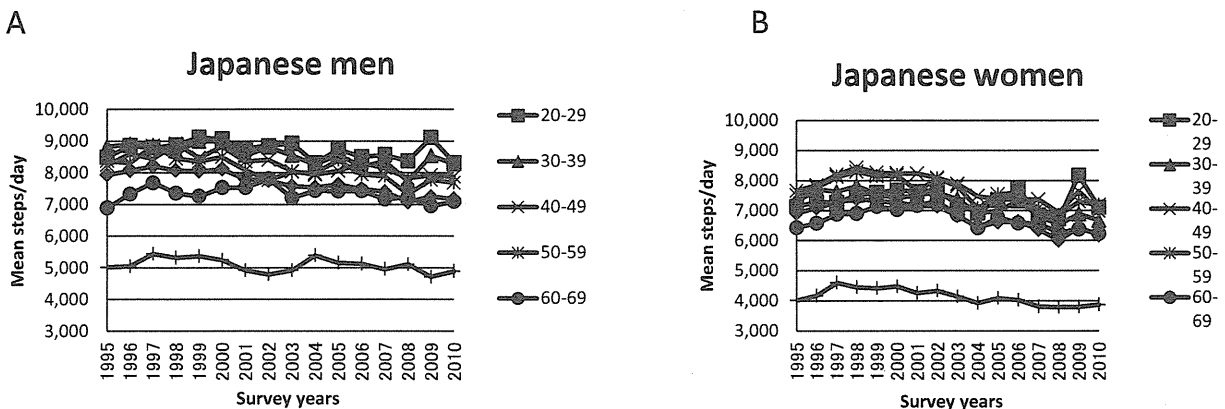


Fig. 1 Time trends for mean steps per day by age groups among Japanese men (A) and Japanese women (B)<sup>9</sup>).





**Prediction of levels of physical activity.** The DRIs-J 2010 shows the typical time use (time spent in the activity) for each category of PAL. These values are based on a yet-to-be published study using the DLW method to determine PAL, and time spent in activities recorded by the National Institute of Health and Nutrition in Japan. The activity record used for this data is cumbersome; therefore, a validation study with development of a questionnaire for the prediction of PAL is necessary.

To date, two questionnaires, the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) and the Japan Arteriosclerosis Longitudinal Study Physical Activity Questionnaire (JALSPAQ), have been validated using the DLW method<sup>17,24</sup> of measuring PAL in Japanese adults. The individuals in the highly active category, as assessed by IPAQ, showed significantly higher PAL values compared with the 2 categories of less active adults<sup>17</sup>. However, PAL values among the insufficient and sufficiently active categories were not significantly different. As assessed by JALSPAQ, the categories of moderate and vigorous PA, and PA during work (i.e. occupational tasks and housework), were related to PAL values<sup>24</sup>. However, the PA components (i.e. PA domain and category of PA intensity) that differentiated sedentary from moderately active subjects were unclear. Thus, the prediction of PAL values in less active individuals needs improvement.

### Exercise Guide 2006

In 2006, the Ministry of Health, Labour and Welfare in Japan systematically reviewed published cohort studies on the relationship between PA and the later occurrence of lifestyle-related diseases. The Ministry used this information to set reference values for PA, exercise, and physical fitness for Japanese individuals aged 20 - 69 years as the "Exercise and Physical Activity Reference for Health Promotion 2006" (EPAR2006)<sup>25,26</sup>. The reference values used the concept of the metabolic equivalent (MET), and were set as 23 MET-hours/week for PA and 4 MET-hours/week for exercise. These are equivalent to 8000 to 10000 daily steps (PA), and 35 minutes of jogging or playing tennis, or 1 hour of brisk walking, every week (exercise). Based on the EPAR2006, the "Exercise and Physical Activity Guide for Health Promotion 2006 -To Prevent Lifestyle-related Diseases- (Exercise Guide 2006)" was established<sup>27</sup>. Whilst EPAR2006 was prepared for exercise professionals, the Exercise Guide 2006 was developed for the general population of the nation, in order to help individuals increase their levels of exercise and PA for their own health promotion. This guide also addresses how to relieve metabolic syndrome, a topic not included in the EPAR2006.

### Problems in evaluation of MVPA

One of the serious drawbacks with using the Exercise

Guide 2006 is that a standard evaluation method for PA is not presented; some researchers have, therefore, used the IPAQ. For example, using IPAQ, Shibata et al reported that only 26.6% of respondents met the recommended activity level of 23 MET-hours/week<sup>28</sup>. Differing results are obtained when the evaluation is made using an accelerometer-based activity monitor; however, such results are variable and dependent upon the type of accelerometer. Murakami et al also reported that 47.8 % of Japanese adults met the PA requirement of 23 MET-hours/week, using a triaxial accelerometer for evaluation (Actimarker EW4800; Panasonic Electric Works, Osaka, Japan)<sup>29</sup>, with an epoch length of 1 minute. This same study indicated that the reference value of 23 MET-hours/week corresponded to between 8500 and 10000 steps per day, while Oshima et al reported 6534 steps per day in men and 6119 steps per day in women, using the Active style Pro 350IT (Omron Healthcare, Kyoto, Japan)<sup>30</sup>, and Kumahara et al reported 10652 steps per day, using the Lifecorder (Suzuken, Nagoya, Japan)<sup>31</sup>. It should be noted that none of these studies accounted for the time length of the bouts of exercise (for example, 10-minute activity bouts are defined as 10 or more consecutive minutes above the relevant threshold, with allowances for interruptions of 1 or 2 minutes below the threshold), because EPAR2006 does not refer to individual bouts of exercise. MVPA results, based on the overall activity duration per day and results modified for bouts of exercise, are substantially different<sup>32</sup>.

The reasons for the variability seen in the daily steps required to meet the activity threshold are due to differences in pedometer functioning, in statistical analyses used to obtain the values, and in the prediction algorithms for intensity of PA in the individual monitors. In particular, the algorithms for prediction of MET values are very different between accelerometers. In addition, many accelerometers, including those marketed by Japanese companies to adults<sup>33</sup> and children<sup>34,35</sup>, use algorithms that underestimate non-locomotive PA<sup>36</sup>, leading to underestimation of total energy expenditure (TEE)<sup>18,20,37-41</sup>. Non-locomotive PA, such as household activity, should play a significant role in increasing PAL and TEE under free-living conditions<sup>42</sup>, and needs to be accurately evaluated in order to predict sedentary behavior and light intensity level of activity<sup>4,5</sup>.

Recently, an activity monitor that can predict non-locomotive PA (with the exception of cycling and stair climbing), as well as locomotive PA, was developed<sup>43-45</sup>. Several researchers, including Oshima et al,<sup>30</sup> have used this monitor for activity evaluation<sup>46-48</sup>. Among these researchers, Tanaka and Tanaka indicated that the relative contributions of non-locomotive PA were different among differing occupations, and locomotor measurements alone might substantially underestimate the habitual PA in certain workers (e.g. licensed cooks and garbage collectors)<sup>48</sup>. In general, the pedometer is a fairly good device



- graphic and individual correlates of achieving 10,000 steps/day: use of pedometers in a population-based study. *Health Promot J Austr* 17: 43-47.
- 13) De Cocker K, Cardon G, De Bourdeaudhuij I. 2007. Pedometer-determined physical activity and its comparison with the International Physical Activity Questionnaire in a sample of Belgian adults. *Res Q Exerc Sport* 78: 429-437.
  - 14) National Institute of Health and Nutrition. Dietary Reference Intakes for Japanese -2010-. The summary report from the Scientific Committee of "Dietary Reference intakes for Japanese". [Internet]. [cited 2012 Jul 5]. Available from: [http://www0.nih.go.jp/eiken/english/research/pdf/dris2010\\_eng.pdf](http://www0.nih.go.jp/eiken/english/research/pdf/dris2010_eng.pdf).
  - 15) Tabata I, Ebine N, Kawashima Y, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Higuchi M, Yoshitake Y. Dietary reference intakes for Japanese 2010: Energy. *J Nutr Sci Vitaminol* (in press).
  - 16) Speakman JR. 1998. The history and theory of the doubly labeled water technique. *Am J Clin Nutr* 68: 932S-938S.
  - 17) Ishikawa-Takata K, Tabata I, Sasaki S, Rafamantanantsoa HH, Okazaki H, Okubo H, Tanaka S, Yamamoto S, Shiota T, Uchida K, Murata M. 2008. 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.
  - 18) Ebine N, Shimada M, Tanaka H, Nishimuta M, Yoshitake Y, Saitoh S, Jones PJH. 2002. Comparative study of total energy expenditure (TEE) in Japanese men using doubly labeled water method against activity record, heart rate monitoring, and accelerometer methods. *Jpn J Phys Fitness Sport Med* 51: 151-163 (in Japanese with English abstract).
  - 19) Rafamantanantsoa HH, Ebine N, Yoshioka M, Yoshitake Y, Tanaka H, Saitoh S, Jones PJ. 2003. The role of exercise physical activity in varying the total energy expenditure in healthy Japanese men 30 to 69 years of age. *J Nutr Sci Vitaminol* 49: 120-124.
  - 20) Peng HY, Yoshitake Y, and Saitoh S. 2004. Validity of methods to measure total energy expenditure of middle-aged women: a validation study against doubly labeled water method. *J Jpn Soc Study Obes* 10: 163-172 (in Japanese).
  - 21) Yamada Y, Yokoyama K, Noriyasu R, Osaki T, Adachi T, Itoi A, Naito Y, Morimoto T, Kimura M, Oda S. 2009. Light-intensity activities are important for estimating physical activity energy expenditure using uniaxial and triaxial accelerometers. *Eur J Appl Physiol* 105: 141-152.
  - 22) Speakman JR, Westterterp KR. 2010. 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.
  - 23) Miyoshi M, Hayashi F, Arai Y, Nozue M, Yoshita K, Yoshiike N. 2008. Regional characteristics of secular changes in obesity-related lifestyle behavior in Japan. *Anti-Aging Med* 5: 30-38.
  - 24) Ishikawa-Takata K, Naito Y, Tanaka S, Ebine N, Tabata I. 2011. Use of doubly labeled water to validate a physical activity questionnaire developed for the Japanese population. *J Epidemiol* 21: 114-121.
  - 25) The Office for Lifestyle-Related Diseases Control, General Affairs Division, Health Service Bureau, Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan. 2006. Exercise and Physical Activity Reference for Health Promotion 2006. [Internet]. [cited 2012 Jul 5]. Available from: <http://www0.nih.go.jp/eiken/english/research/pdf/epar2006.pdf>.
  - 26) Ishikawa-Takata K, Tabata I. 2007. Exercise and Physical Activity Reference for Health Promotion 2006 (EPAR2006). *J Epidemiol* 17: 177.
  - 27) The Office for Lifestyle-Related Diseases Control, General Affairs Division, Health Service Bureau, Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan. 2006. Exercise and Physical Activity Guide for Health Promotion 2006 -To Prevent Lifestyle-related Diseases- <Exercise Guide 2006>. [Internet]. [cited 2012 Jul 5]. Available from: [http://www0.nih.go.jp/eiken/english/research/pdf/exercise\\_guide.pdf](http://www0.nih.go.jp/eiken/english/research/pdf/exercise_guide.pdf).
  - 28) Shibata A, Oka K, Nakamura Y, Muraoka I. 2009. Prevalence and demographic correlates of meeting the physical activity recommendation among Japanese adults. *J Phys Act Health* 6: 24-32.
  - 29) Murakami H, Kawakami R, Ohmori Y, Miyatake N, Morita A, Miyachi M. 2012. Translating from 23METs-h/wk as physical activity reference value for Japanese to daily step counts. *Jpn J Phys Fitness Sports Med* 61: 183-191. (in Japanese with English abstract).
  - 30) Oshima Y, Hikihara Y, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Miyake R, Ebine N, Tabata I, Tanaka S. 2012. Daily steps corresponding to the reference quantity of physical activity of Exercise and Physical Activity Reference for Health Promotion 2006 (EPAR2006) assessed by accelerometer. *Jpn J Phys Fitness Sports Med* 61: 193-199 (in Japanese with English abstract).
  - 31) Kumahara H, Schutz Y, Yoshioka M, Yoshitake Y, Shindo M, Tanaka H. 2008. Validity of the step-count for assessing the quantity of physical activity in the Japanese exercise and physical activity reference for health promotion. *Rev Sports Health Sci* 39: 101-111 (in Japanese with English abstract).
  - 32) Troiano RP, Berrigan D, Dodd KW, Mâsse LC, Tilert T, McDowell M. 2008. Physical activity in the United States measured by accelerometer. *Med Sci Sports Exerc* 40: 181-188.
  - 33) Hikihara Y, Tanaka S, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Tabata I. 2011. Validation and comparison of three accelerometers for measuring physical activity intensity during nonlocomotive activities and locomotive movements. *J Phys Act Health* [Epub ahead of print].
  - 34) Tanaka C, Tanaka S, Kawahara J, Midorikawa T. 2007. Uniaxial accelerometer for assessing physical activity in 5- to 6-year old children. *Jpn J Phys Fitness Sports Med* 56: 489-500 (in Japanese with English abstract).
  - 35) Kawahara J, Tanaka S, Tanaka C, Hikihara Y, Aoki Y, Yonemoto J. 2011. Estimation of the respiratory ventilation rate of preschool children in daily life using accelerometers. *J Air Waste Manag Assoc* 61: 46-54.
  - 36) Matthews CE. 2005. Calibration of accelerometer output for adults. *Med Sci Sports Exerc* 37: S512-S522.
  - 37) Leenders NY, Sherman WM, Nagaraja HN. 2006. Energy expenditure estimated by accelerometry and doubly labeled water: do they agree? *Med Sci Sports Exerc* 38: 2165-2172.
  - 38) Plasqui G, Westterterp KR. 2007. Physical activity assessment with accelerometers: an evaluation against doubly labeled water. *Obesity* 15: 2371-2379.
  - 39) Rafamantanantsoa HH, Ebine N, Yoshioka M, Higuchi H, Yoshitake Y, Tanaka H, Saitoh S, Jones PJ. 2002. Validation of three alternative methods to measure total energy expenditure against the doubly labeled water method for older Japanese men. *J Nutr Sci Vitaminol* 48: 517-523.