



# 生活習慣病予防に対する間欠的運動の効果

田中 茂穂

## 1. 運動継続時間と脂質酸化量

「運動は連続的に行なわなければならない」という考え方が広まった理由の1つは、「運動を20分以上継続してから、はじめて脂肪が燃えはじめるので、減量・体重維持には運動を20分以上継続する必要がある」という説明が浸透したことにあると考えられる。

この点については、以下の2つの誤解がある。

### ① 20分以上運動しないと、脂肪は燃えない

運動時において、主なエネルギー源である糖質と脂肪の利用の割合は、運動強度や継続時間などによって異なる<sup>1)</sup>。運動開始直後は、脂肪より糖質の割合が多いが、時間とともに脂肪の利用の割合が多くなる(図1)。また、運動を継続するにつれて、筋内の脂肪やグリコーゲンから、皮下脂肪や肝臓のグリコーゲンの利用へと変化していく。

このように、脂肪の利用の割合は運動継続中に少しずつ増加するのであって、「運動開始後20分してから、はじめて脂肪が利用されるようになる」わけではない。なお、図1に示したのは空腹時における結果であるが、摂取した食事における脂肪の割合が多く、食後の経過時間が長いほど、脂肪を利用する割合が大きくなる。

### ② 運動中に脂肪を燃やした量で減量効果が決まる

脂肪は、中程度強度の運動において最も単位時間当たりの利用量が多い<sup>2)</sup>。高強度の運動ほど、運動中に消費したエネルギー源のうち脂肪の占める割合は小さくなる。しかし、グリコーゲン貯蔵量には限界があるため、長期的に糖質酸化に傾いたままでは、いずれはグリコーゲンが枯渇することになってしまう。また、糖質から脂肪が合成されることは少ない。そのため、実際には、脂質酸化量の割合が少ない高強度運動を行なった場合、運動後、脂質利用の比重が大きくなり、その間にグリコーゲンを補充することとなる<sup>3,4)</sup>。その結果、最終的に利用した脂肪の量は、運動中に利用した脂肪の量より、運動中に消費したエネルギーで決まる。したがって、減量の成果を検討する場合は、運動中における脂肪の利用量にとらわれることなく、運動中に消費したエネルギー全体をみておくことが重要である。

## 2. ACSM/CDCの身体活動ガイドライン(1995年)における間欠的な運動のとり方

運動に関するかつてのガイドライン<sup>5)</sup>は、冠動脈疾患の発症リスクとの関連を背景に、全身持久性体力の維持・向上を目的としていた。そのため、

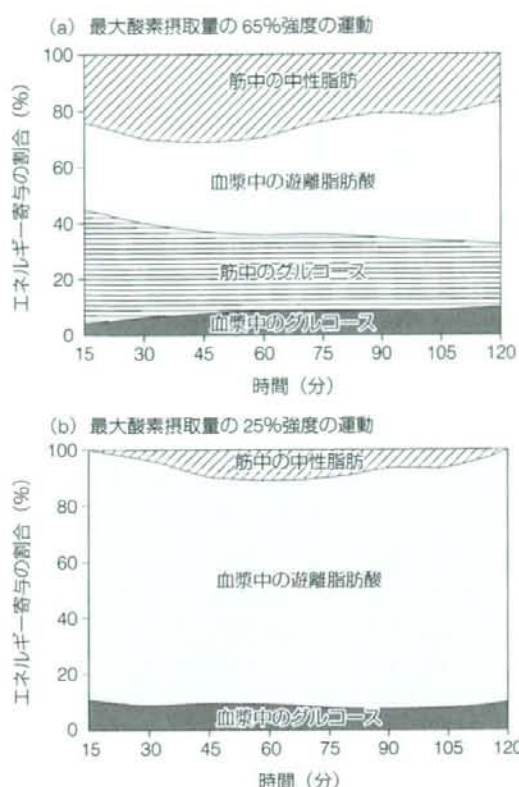


図1 120分間の運動における血液および筋中の基質の相対的な寄与 (Romijn, et al., 1993<sup>1)</sup> より引用改変)

「中～高強度の有酸素性運動を1回20分以上、週3～5回は実践する必要がある」といった内容となっていた。

しかし、1995年にACSM（アメリカスポーツ医学会）とCDC（アメリカ疾病予防管理センター）が共同で、主に冠動脈疾患の予防を目的とした身体活動ガイドライン<sup>6)</sup>を発表し、「1日30分以上の中強度活動をほぼ毎日行なうことが望ましい」とし、「運動」から「日常生活活動を含めた身体活動量」へと大きくシフトした。全身持久性体力が向上しなくても、身体活動量、ひいてはエネルギー消費量を増やすことで、冠動脈疾患リスクファクターが改善するという考え方に基づいている<sup>6,7)</sup>。

その中で、はじめて間欠的な運動についてふれ

ており、「8～10分程度の身体活動でも効果がある」としている。その根拠は、最大酸素摂取量や血中脂質に対する効果を検討した以下の2つの文献であった。

DeBuskら<sup>8)</sup>は、30分の中強度活動を実施した場合と、それぞれ4時間以上間をおいて10分間の運動を1日3回実施した場合とで、8週間における最大酸素摂取量の変化を比較した。その結果、連続30分間のグループは、 $33.3 \pm 3.2 \text{ mL/kg/分} \rightarrow 37.9 \pm 3.5 \text{ mL/kg/分}$ へ、3回に分けたグループは、 $32.1 \pm 4.6 \text{ mL/kg/分} \rightarrow 34.5 \pm 4.5 \text{ mL/kg/分}$ へとそれぞれ有意に増加していた。グループ間で比較すると、連続した方が有意に大きな変化であったが、3回に分けても増加したことは、忙しい日常生活を送っている現代人にとって朗報であった。

また、Ebisu<sup>9)</sup>が「体育学研究」に発表した論文によると、30分間の運動をそれぞれ1回、2回、3回に分けて実施する群をつくり、最大酸素摂取量に対する影響を比較したところ、いずれの群も有意に増加しており、群間に差はみられなかった。また、血中のHDLコレステロールレベルは、3回に分けて運動を実施した群だけ有意に増加したという結果であった。

### 3. 1995年以降における連続的な運動と間欠的な運動の比較

ちょうど新たな身体活動のガイドラインが出た1995年頃から、運動を連続的に行なった場合と間欠的に行なった場合の比較をした研究がいくつかみられるようになった。その背景には、なかなか身体活動量を増やすのが難しいという実情に基づいた必要性があったと考えられる。

中でも、体重減少に対する影響に関する報告としてインパクトが大きかったのは、Jakicicらの報告<sup>10)</sup>である。彼らは、28名の成人肥満女性を対象に、20～40分間のウォーキングを週5日、それぞれ連続的に行なう群と、1回10分のウォーキングを数回（2～4回）に分けて行なう群を設

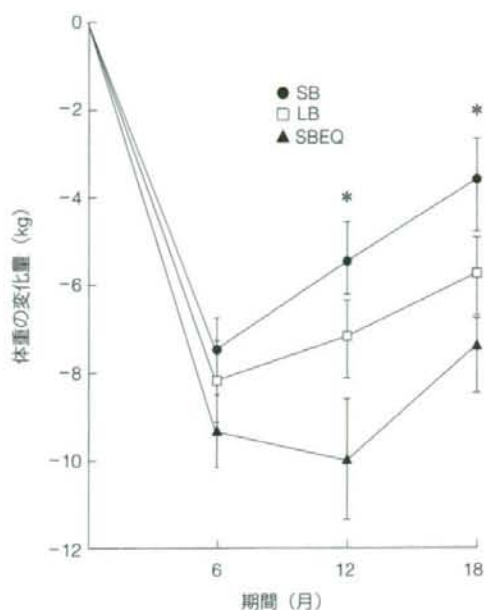


図2 運動の方法による減量幅 (Jakicic, et al., 1999<sup>11)</sup>より引用改変)

SB: 間欠的運動, LB: 連続的運動, SBEQ: 自宅内のトレッドミルでの間欠的運動, \* $p < 0.05$  (群間差)

定し、運動の実施率や減量効果を比較した。その結果、小分けで実施した方が有意に実施日が高く ( $87.3 \pm 29.5$  日 vs.  $69.1 \pm 28.9$  日)、週当たりの運動実施時間も長い傾向がみられた ( $223.8 \pm 69.5$  分/週 vs.  $188.2 \pm 58.4$  分/週)。また、減量効果も、有意ではないものの大きい傾向がみられた ( $-8.9 \pm 5.3$  kg vs.  $-6.4 \pm 4.5$  kg;  $p < 0.07$ )。このように、小分けにすることによって運動が実施しやすくなった上に同等かそれ以上の効果が得られるため、運動処方において有効な方法となりうる事が示唆された。

その後、Jakicic ら<sup>11)</sup>は、148名の肥満女性を対象に、①40分間連続で運動を実践する群、②10分の運動を4回実践する群、③②の運動を自宅内のトレッドミルで実践する群の3群に分け、18ヵ月間の介入試験を行なった。運動種目は速歩またはその運動強度に相当する種目とし、週5回実践することを目標とした。その結果、3群間にも多少の差はみられた(図2)が、体重減少の個人

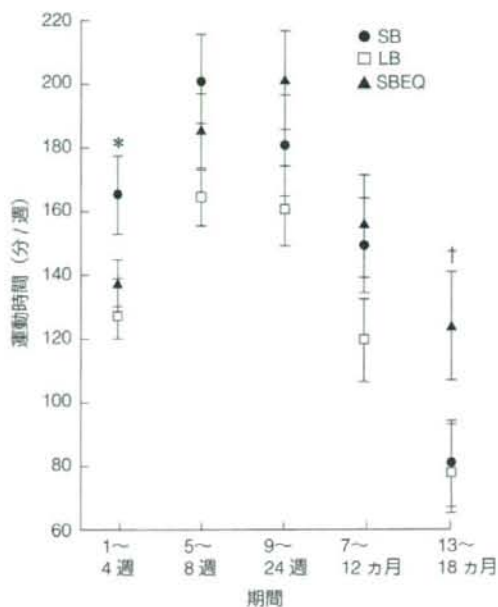


図3 運動の方法による運動実施時間 (Jakicic, et al., 1999<sup>11)</sup>より引用改変)

SB: 間欠的運動, LB: 連続的運動, SBEQ: 自宅内のトレッドミルでの間欠的運動, \*SB群が他の2群と、†SBEQ群が他の2群と有意に異なる ( $p < 0.05$ )。

差に大きく影響を与えたのは、合計運動時間であった。このように、総運動時間と運動強度を統一した場合、運動を連続的に行なっても、数回に分けて行なっても、減量効果に差がないと考えられる。

ただし、介入当初は小分け運動群の方が週当たりの運動時間が長かったものの、トレーニング期間が進むとともにその差がなくなり、自宅にトレッドミルで小分け運動を実施するのが、最も運動時間が長くなっていた(図3)。また、Jacobsen ら<sup>12)</sup>は18ヵ月間の介入試験において、最大酸素摂取量の60~75%強度で1回30分の運動を週3回行なう群と1日2回、1回15分のウォーキングを週5回行なう群の体重変化を比較した。その結果、はじめの24週の時点では2回に分けたウォーキングの方が参加率が高かったが、72週になると両者に差はほとんどみられなかった。

以上のように、間欠的運動は、運動初心者や整形外科的疾患のある対象者、肥満者などを対象と

して運動を導入しようという場合に、参加の壁を低くするという点で連続的な運動より優れているものの、長期的に実施率をあげるわけではなさそうである。

なお、研究によって結果に多少の差はみられるものの、運動の実施率や減量効果だけでなく、呼吸循環器系体力、血中脂質、血圧、空腹時血糖、食後高脂血症に関しても、間欠的な運動は連続的な運動と同様に効果があることが報告されている<sup>13,14)</sup>。内臓脂肪量や障害発生に対する影響、あるいは、数年単位の長期的な効果などについて検討の余地があるものの、概して連続的な運動に近い効果が得られることは間違いのないようである。最近のガイドラインでもふれられているように、身体活動によってエネルギー消費量を増やすことが生活習慣病のリスク低下に寄与すると考えられているが、間欠的な身体活動でも活動後の代謝亢進が特に大きいわけではないこと<sup>15)</sup>もあわせて考えると、納得のいく結果である。

#### 4. 日米の身体活動ガイドラインにおける 間欠的運動のとらえ方の違い

「健康づくりのための運動基準2006」<sup>16)</sup>では、冠動脈疾患や糖尿病などの生活習慣病の予防に有効な身体活動量の境界値を決定するために、身体活動と生活習慣病の発症に関する観察研究について系統的レビューを行なった上で基準値を決定している。その際に用いられたそれぞれの質問紙は、一回当たりの最低継続時間や頻度について限定していなかった<sup>17)</sup>。そのため、「質問紙で回答するような“自覚できる身体活動”であれば、最低継続時間は問わない」という考え方をとっている。

それに対して、2007年に改定されたACSM/AHA（アメリカ心臓協会）のガイドライン<sup>18)</sup>においては、1995年のガイドライン<sup>9)</sup>における記述を徹底するために、「最低10分間以上の身体活動（を1日合計30分間以上）」という点を強調している。10分間を最小単位としたのは、先にふれた間欠的運動の効果に関する論文が、いずれも

10分間を最小単位としているためである。具体的な活動としては、自宅や職場でぶらぶら歩いたり、駐車場からの移動、ゴミ出し程度は含まないと記述されている。例示されているこれらの活動それぞれについては、運動基準では明記されているわけではないものの、ACSM/AHAとほぼ同じ解釈と考えるとよい。しかし、たとえば、本人が十分に自覚しうる5分強の速歩あるいはジョギングを1~数回実施した場合、運動基準においては身体活動・運動に加算してよいと解釈している。その点で日米のガイドラインに違いが生じており、近い将来、解決しなければならない問題だと考えられる。

#### 5. 身体活動量評価における最小の 運動継続時間

身体活動量を評価する際、「最低どれくらいの時間継続した場合に身体活動とみなすか」によって、1日の身体活動量は大きく異なる。たとえば、綾部ら<sup>18)</sup>によると、ライフコーダ（スズケン社）を用いて中等度身体活動時間を評価したところ、4秒単位では $2,551 \pm 1,399$ 秒/日であったのに対し、60秒以上継続した活動に限定したところ $1,316 \pm 1,313$ 秒/日であった。また、De Vriesら<sup>19)</sup>は、「60分間/日以上の中高強度活動」という基準を満たす者の割合は、最小の活動継続時間と最低の強度によって、活動記録で3~86%、加速度計（ActiGraph）を使った場合で0~100%と、大きな違いがみられたと報告している。

以上のように、身体活動の最小継続時間によって、身体活動量の値に大きな差がみられる。

#### まとめ

運動を少なくとも10分程度ずつに分けずには、連続的な運動と同様の効果があるようである。疾病の種類によって、求められる運動の量・種類・強度などに差はあるものの、原則としてより多くのエネルギーを消費させることが重要であ

る。間欠的な運動でも効果があるという事実は、その点と整合性がある。ただし、ここで取り上げた論文のほとんどは「生活習慣病予防」ではなく、「生活習慣病改善」を扱ったものである。また、3分間の運動を10回実施して食後高脂血症への影響を検討した Miyashita らなどの一連の研究を除くと、いずれも10分間が最小単位である。10分間よりさらに小分けしてもよいか、あるいは、疾病やリスクファクター別にみた効果の違い、数年単位にわたる長期的な影響といった点については、まだ検討の余地がある<sup>10)</sup>。

また、最小の運動継続時間によって、一日当たりの運動量の値も異なるので、身体活動量の評価において、最小の継続時間を決めておくことは重要である。

#### 【文 献】

- Romijn JA, et al: Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol*, 265: E380—E391, 1993
- Achten J, et al: Optimizing fat oxidation through exercise and diet. *Nutrition*, 20: 716—727, 2004
- Saris WH, et al: Substrate oxidation differences between high- and low-intensity exercise are compensated over 24 hours in obese men. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 28: 759—765, 2004
- Frayn KN: Physiological regulation of macronutrient balance. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 19: S4—S10, 1995
- American College of Sports Medicine position statement on the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining fitness in healthy adults. *Med Sci Sports*, 10: vii—x, 1978
- Pate RR, et al: Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA*, 273: 402—407, 1995
- 大河原一憲ほか: 肥満の予防および改善に必要な身体活動量。安部孝編, トレーニング科学最新エビデンス, pp96—106, 講談社サイエンティフィク, 2008
- DeBusk RF, et al: Training effects of long versus short bouts of exercise in healthy subjects. *Am J Cardiol*, 65: 1010—1013, 1990
- Ebisu T: Splitting the distance of endurance running: on cardiovascular endurance and blood lipids. *Jpn J Phys Educ*, 30: 37—43, 1985
- Jakicic JM, et al: 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
- Jakicic JM, et al: Effects of intermittent exercise and use of home exercise equipment on adherence, weight loss, and fitness in overweight women: a randomized trial. *JAMA*, 282: 1554—1560, 1999
- Jacobsen DJ, et al: Adherence and attrition with intermittent and continuous exercise in overweight women. *Int J Sports Med*, 24: 459—464, 2003
- Haskell WL, et al: 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
- Murphy MH, et al: Accumulated versus continuous exercise for health benefit: a review of empirical studies. *Sports Med*, 39: 29—43, 2009
- Ohkawara K, et al: Twenty-four-hour analysis of elevated energy expenditure after physical activity in a metabolic chamber: models of daily total energy expenditure. *Am J Clin Nutr*, 87: 1268—1276, 2008
- 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～報告書, 2006
- 田中茂穂: 生活習慣病予防のための身体活動・運動量. *体育の科学*, 56: 601—607, 2006
- 綾部誠也ほか: 4秒毎の加速度計反応を用いた中等度身体活動の継続時間と頻度の評価. *肥満研*, 13: 197—200, 2007
- De Vries SI, et al: Meeting the 60-min physical activity guideline: effect of operationalization. *Med Sci Sports Exerc*, 41: 81—86, 2009
- Miyashita M, et al: 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



## ORIGINAL ARTICLE

# Physical activity level in healthy free-living Japanese estimated by doubly labelled water method and International Physical Activity Questionnaire

K Ishikawa-Takata<sup>1</sup>, I Tabata<sup>1</sup>, S Sasaki<sup>1,2</sup>, H H Rafamantanantsoa<sup>3</sup>, H Okazaki<sup>1</sup>, H Okubo<sup>4</sup>, S Tanaka<sup>1</sup>, S Yamamoto<sup>5</sup>, T Shiota<sup>6</sup>, K Uchida<sup>6</sup> and M Murata<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Health Promotion and Exercise Program, National Institute of Health and Nutrition, Tokyo, Japan; <sup>2</sup>School of Public Health, The University of Tokyo, Tokyo, Japan; <sup>3</sup>Department of Exercise and Sport Sciences, Shanghai Institute of Physical Education, Shanghai, PR China; <sup>4</sup>Department of Nutrition Science, Kagawa Nutrition University, Saitama, Japan; <sup>5</sup>International Nutrition, Ochanomizu University Graduate School of Humanities and Sciences, Tokyo, Japan; <sup>6</sup>Faculty of Nutritional Science, Nakamura Gakuen University Junior College, Fukuoka, Japan and <sup>7</sup>Faculty of Medicine, The University of Tokushima, Tokushima, Japan

**Objective:** To measure total energy expenditure (TEE) for normal healthy Japanese by the doubly labelled water (DLW), and to compare the physical activity level (PAL) among categories classified by the categories used in daily reference intake (DRI), Japan and the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ).

**Subjects and methods:** A total of 150 healthy Japanese men and women aged 20- to 59-year-old living in four districts of Japan. TEE was measured by the DLW method, and the PAL was calculated from TEE divided by basal metabolic rate. Simultaneously with TEE measurement, the PAL was assessed employing the categories used in DRI, Japan and IPAQ.

**Results:** The average TEE and PAL were  $10.78 \pm 1.67$  MJ/day and  $1.72 \pm 0.22$  for males and  $8.37 \pm 1.30$  MJ/day and  $1.72 \pm 0.27$  for females, respectively. The subjects in the highly active categories assessed by both DRI and IPAQ showed significantly higher PAL compared with less active categories. However, PALs among light and moderate categories by DRI, and insufficient and sufficiently active by IPAQ were not significantly different.

**Conclusions:** In developed countries, highly active subjects could be assessed by a simple questionnaire. However, the questionnaire should be improved to clarify the sedentary to moderately active subjects by assessing carefully very light to moderate physical activity.

*European Journal of Clinical Nutrition* (2008) 62, 885–891; doi:10.1038/sj.ejcn.1602805; published online 23 May 2007

**Keywords:** doubly labelled water; energy expenditure; physical activity; assessment; questionnaire

## Introduction

Assessment of total energy expenditure (TEE) is essential for establishing dietary reference intakes (DRI) and recommendations for physical activity. The doubly labelled water (DLW) method is recognized as the gold standard for measuring TEE in free-living conditions (Montoye *et al.*, 1996). Many studies using the DLW method have been performed, mainly in developed countries (Schulz *et al.*, 1994; Black *et al.*, 1996; Prentice *et al.*, 1996; Westerterp, 2003; Brooks *et al.*, 2004). However, the physical activity level (PAL) calculated as TEE divided by the basal metabolic rate (BMR) is expected to be different among populations with different lifestyles. The typical lifestyle of healthy

Correspondence: Dr K Ishikawa-Takata, Health Promotion and Exercise Program, National Institute of Health and Nutrition, 1-23-1 Toyama, Shinjuku, Tokyo 162-8636, Japan.

E-mail: kazu@nih.go.jp

Guarantor: K Ishikawa-Takata.

Contributors: KIT had the original idea, supervised IRMS analyses, analyzed the data, wrote the first draft and edited subsequent versions. IT supervised the study and edited the manuscript. SS supervised the field data collection and edited the manuscript. HHR and H Okazaki participated in the field data collection and IRMS analyses and edited the manuscript. H Okubo managed the field measurements and edited the manuscript. ST participated in the data analyses and edited the manuscript and SY, TS, KU and MM participated in field measurements and edited the manuscript.

Received 31 May 2006; revised 26 March 2007; accepted 18 April 2007; published online 23 May 2007

Japanese may have different amounts and types of physical activities compared with inhabitants of western countries. For example, many Japanese adults take trains or buses with walking to and from the stations or bus stops to work on weekdays, spending a relatively longer time commuting with a mean time of about 80 min/day on average (NHK Broadcasting Culture Research Institute, 2001). There are few people with body mass index (BMI) of 30 or more (0.8%) according to the National Nutrition Survey in Japan, 2003 (Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan, 2006), categorized into obesity by the WHO classification (World Health Organization, 1997). The assessment of the PAL among normal healthy Japanese will serve as valuable data to consider the appropriate amount of physical activity. Then the primary purpose of the present study is to measure TEE for normal healthy Japanese living in four districts of Japan, chosen from sex and age categories.

Several indirect methods, for example, activity records, heart rate monitoring and accelerometer methods, have been used for estimating daily energy expenditure (Lamonte and Ainsworth, 2001; Vanhees et al., 2005). The factorial methods and indirect measures, even if done well, provide estimates that are not sound and often inaccurate. However, a simple questionnaire to assess the PAL is required when we use DRI or provide recommendations for physical activity in the practical field of public health or epidemiological study with a larger sample. The second objective of this study is to compare the PAL among the categories classified according to the DRI in Japan (Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan, 1999) and the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) (Murase et al., 2002; Graig et al., 2003) to develop a simple way to categorize the PAL.

## Subjects and methods

### Subjects

Study participants were Japanese men and women who were recruited from Kagoshima, Niigata, Fukuoka and Tokushima Prefectures in Japan. Subjects were recruited through health care centres in each prefecture or at four workplaces. In each location, five subjects from each sex and age category (20–29, 30–39, 40–49 and 50–59 years) were selected according to the following criteria: (1) in good health, (2) not pregnant or breast-feeding, (3) BMI less than 30 kg/m<sup>2</sup>, (4) lived in their home prefecture 2 weeks before and during the study, (5) not on a weight-loss or treatment diet, (6) did not consume more than 40 g of alcohol per day and (7) did not engage in a physically demanding occupation. However, we could not select the subjects randomly from different levels of physical activity. One hundred and fifty-seven subjects volunteered for the present study. Data were collected from May to August 2003. Over the whole assessment period, subjects were carefully instructed to maintain their normal daily activities and eating patterns and to make no conscious effort to lose or gain weight.

### Study protocol

This study was approved by the Ethical Committee of the National Institute of Health and Nutrition in Japan. All subjects gave their informed consent before the commencement of the investigations. TEE was estimated over the 14-day study period in free-living conditions using the DLW method. Body weight and height were measured in the fasting state before the dose of DLW and the last day of the study. To assess the food quotient (FQ) and their PAL, a self-administered diet history questionnaire (DHQ) and a questionnaire on physical activity were completed for all subjects before and after the study period. In this study, the questionnaire assessed before the study was used in the analysis. Diet history was asked using the DHQ (Sasaki et al., 1998a, b). The DHQ is a validated 16-page questionnaire that recalls dietary habits over a 1-month period. Physical activity status was assessed using the last 7-day short version of the IPAQ Japanese version (Murase et al., 2002; Graig et al., 2003). Subjects were divided into three categories according to the IPAQ Scoring Protocol (Graig et al., 2003). In addition, the total metabolic equivalents (total METs) were calculated as the sum of walking time multiplied by 3.3, the time of moderate activity multiplied by 4.0 and the time of vigorous activity multiplied by 8.0. The physical activity status was also assessed by the category used in the DRI, Japan sixth edition (Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan, 1999).

### DLW energy measurement

After providing a baseline urine sample, a single dose of approximately 0.06 g/kg body weight of <sup>2</sup>H<sub>2</sub>O (99.8 atom%, Cambridge Isotope Laboratories, Andover, MA, USA) and 0.14 g/kg body weight of H<sub>2</sub><sup>18</sup>O (10.0 atom%, Cambridge Isotope Laboratories) were given orally to each subject using a straw. Next, the container was rinsed twice with 50 ml of tap water provided from the same place where the subject lived. After dose administration, the subject refrained from eating and drinking over a 4-h equilibration period (4 h sampling) for measurement of total body water (TBW). Then, the second voided urine on the mornings of day 1 (the next day of DLW dose) and day 14 (at the same time as the void of day 1) was collected for the isotopic (<sup>2</sup>H and <sup>18</sup>O) elimination rate. All urine samples except for baseline were collected by the participant, and the time of sampling was recorded. All samples were first stored by freezing at -40°C in airtight parafilm-wrapped containers, and then transported to the analytical facility for isotopic abundance analyses.

Gas samples for the Isotopes Ratio Mass Spectrometer (IRMS) were prepared by equilibration of urine sample with a gas. The gas for equilibration of <sup>18</sup>O was CO<sub>2</sub> and that for <sup>2</sup>H was H<sub>2</sub>. Pt catalyst was used for equilibration of <sup>2</sup>H. The isotopic analyses were conducted using machines of IRMS of DELTA Plus (Thermo Electron Corporation, Bremen, Germany) calibrated using Vienna Standard Mean Ocean

Water, 302B and Greenland Ice Sheet Precipitation standard provided from International Atomic Energy Agency. Each sample and the corresponding reference were analyzed in duplicate. The average standard deviations through the analyses were 0.5‰ for  $^2\text{H}$  and 0.03‰ for  $^{18}\text{O}$ . The difference in the two repeat measurements of the 10 same sets of urine samples was  $1.6 \pm 3.9\%$ . TEE was expressed as the mean TEE over the 13-day period of assessment.

#### Analytical calculations of isotopic abundance and TEE

The dilution space of each subject was obtained from urine ( $^2\text{H}$  and  $^{18}\text{O}$ ) enrichments using the following equation (Racette et al., 1994).

$$N = [WA(\delta a - \delta t)]/[18.02a(\delta u - \delta b)]$$

where  $N$  (mol) is the dilution space,  $W$  (g) is the amount of tap water used to dilute the dose for analysis,  $A$  (g) is the amount of dose given to the subject,  $a$  (g) is the amount of dose diluted for analysis and  $\delta$  (‰) is the isotopic abundance of the dose ( $a$ ), tap water ( $t$ ), urine sample at 4 h after dose ( $u$ ) and baseline urine ( $b$ ).

TBW (mol) was calculated as the mean of  $N_d$  (mol) divided by 1.041 for dilution space estimated by  $^2\text{H}$  and  $N_o$  (mol) divided by 1.007 for dilution space estimated by  $^{18}\text{O}$ .

$r\text{CO}_2$  were determined from the next equation.

$$r\text{CO}_2 = 0.4554 \times \text{TBW} \times (1.007 k_o - 1.041 k_H)$$

where  $r\text{CO}_2$  (mol/day) is the  $\text{CO}_2$  production rate, TBW (mol) is the total body water, and  $k_o$  (per day) and  $k_H$  (per day) are the elimination rates of  $^{18}\text{O}$  and  $^2\text{H}$ , respectively (Wolfe, 1992; Racette et al., 1994).

Each elimination rate ( $k$ ) was calculated as follows:

$$k = [\ln(\delta_f - \delta_b) - \ln(\delta_i - \delta_b)]/t$$

where  $\delta_i$  and  $\delta_f$  are the isotopic abundance of the urine samples collected after dose administration on day 1 and the final day (day 14) of the assessment period, respectively;  $\delta_b$  is the isotopic abundance of the urine sample background (baseline sample); and  $t$  represents the duration of the assessment period in days, which came to 13 in the present study.

Finally, TEE (kcal/day) calculation was performed using a modified Weir's formula (Weir, 1949) based on  $r\text{CO}_2$  (mol/day) and FQ. FQ is calculated from DHQ, and average value of all present subjects ( $0.867 \pm 0.03$ ) was used in this calculation. This assumes that under conditions of perfect nutrient balance, the FQ must equal the respiratory quotient (RQ) (Black et al., 1986; Jones and Leitch, 1993; Surrao et al., 1998).

$$\text{TEE} = 3.9 \times (r\text{CO}_2/\text{FQ}) + 1.1 \times (r\text{CO}_2)$$

PAL was calculated to be TEE/BMR. BMR was estimated according to the sixth Recommended Dietary Allowances for

Japanese (Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan, 1999).

#### Statistics

Statistical analyses were performed with SPSS for Windows (version 13.0J; SPSS Inc., Chicago, IL, USA). All results are shown as mean  $\pm$  s.d. The comparison of TEE and PAL in sex, age and area was tested by three-way analysis of variance (ANOVA). The PAL in the categories of physical activity assessed by questionnaire was compared by one-way ANOVA. All statistical tests were regarded as significant when the  $P < 0.05$ .

#### Results

Of the 157 subjects who participated in this study, 150 were included in the analytic sample. Seven subjects were excluded because urine samples were not collected or kept properly.

Physical characteristics of all present subjects are shown in Table 1. Changes in body weight during the study period were  $-0.5$  to  $0.1$  kg in each sex and age group. Males in their 30s and 40s decreased significantly body weight during the study period; however, their changes were within 3% of body weight at pre-examination. Of all the subjects, 6.8% of males and 13.2% of females were classified as lean (BMI less than  $18.5 \text{ kg/m}^2$ ) and 36.5% of males and 14.5% of females were classified as obese (BMI more than  $25 \text{ kg/m}^2$ ) according to the criteria for Japanese (Japan Society for the Study of Obesity, 2006). The average TBW was  $36.9 \pm 4.8$  kg for males and  $27.2 \pm 35$  kg for females. If we used 73.2% for the proportion of water in fat mass (Heyward and Wagner, 2004), the percent of fat mass was  $24.7 \pm 6.0\%$  for males and  $31.4 \pm 5.7\%$  for females.

Mean values of TEE and PAL were presented for each sex and age group in Table 2. The average TEE and PAL were  $10.78 \pm 1.67$  MJ/day and  $1.72 \pm 0.22$  for males,  $8.33 \pm 1.31$  MJ/day and  $1.72 \pm 0.27$  for females, respectively. The minimum of the average PAL values in sex and age groups was  $1.58 \pm 0.29$  for females in their 20s and the maximum was  $1.78 \pm 0.20$  for 30-year-old males. PAL for 20- to 29-year olds showed lower levels than the other age groups; however, there were no significant differences in TEE and PAL among age groups, sexes and areas.

Table 3 shows TEE and PAL among four categories assessed by DRI, Japan. The distribution of four categories across sex and age groups was uniform. Categories III (light heavy) and IV (heavy) had relatively higher PAL compared with categories I (light) and II (moderate). When we combined categories III and IV together ( $n=10$ ,  $\text{PAL}=1.87 \pm 0.29$ ) because of their small number, this category had significantly higher PAL compared with category I ( $P=0.036$ ).

Table 4 shows TEE and PAL across the three categories assessed by IPAQ. The distribution of these three categories



**Table 1** Physical characteristics of all subjects

Age group	n	Age (year)	Height (cm)	Weight (kg)				BMI (kg/m <sup>2</sup> )	TBW (kg)
				Pre	Post	Difference	P <sup>a</sup>		
<b>Male</b>									
20–29	19	25.1 ± 2.7	171.2 ± 6.1	65.0 ± 11.3	64.8 ± 11.0	-0.2 ± 1.0	0.354	22.1 ± 3.0	38.1 ± 5.3
30–39	18	33.8 ± 3.3	168.9 ± 5.2	67.4 ± 10.7	66.9 ± 10.6	-0.5 ± 0.7	0.012	23.6 ± 3.7	36.0 ± 4.9
40–49	18	43.8 ± 2.5	170.4 ± 7.5	70.8 ± 8.9	70.3 ± 8.8	-0.5 ± 0.6	0.008	24.4 ± 2.6	37.9 ± 4.6
50–59	19	53.3 ± 2.5	166.5 ± 5.4	67.5 ± 7.9	67.3 ± 7.8	-0.2 ± 0.8	0.415	24.3 ± 2.4	35.5 ± 3.9
Total	74	39.0 ± 11.1	169.2 ± 6.3	67.6 ± 9.8	67.3 ± 9.7	-0.3 ± 0.8	0.001	23.6 ± 3.0	36.9 ± 4.8
<b>Female</b>									
20–29	17	24.9 ± 2.7	160.6 ± 7.2	54.1 ± 8.9	53.9 ± 9.0	-0.2 ± 0.6	0.303	20.9 ± 3.0	27.8 ± 3.9
30–39	22	33.7 ± 2.8	159.6 ± 4.3	55.0 ± 8.0	55.1 ± 8.2	0.1 ± 0.8	0.705	21.6 ± 3.0	28.0 ± 3.9
40–49	22	44.0 ± 3.0	157.0 ± 6.1	53.9 ± 7.4	53.9 ± 7.6	-0.1 ± 0.7	0.669	21.9 ± 2.8	27.0 ± 3.2
50–59	15	52.7 ± 2.0	153.9 ± 4.5	53.9 ± 4.9	53.9 ± 4.7	0.1 ± 0.5	0.712	22.7 ± 1.5	25.5 ± 2.2
Total	76	38.5 ± 10.2	157.9 ± 6.0	54.3 ± 7.4	54.2 ± 7.5	0.0 ± 0.7	0.734	21.8 ± 2.7	27.2 ± 3.5

Abbreviations: BMI, body mass index; TBW, total body water by doubly labelled method.

Values are means ± s.d.

<sup>a</sup>P-value for paired t-test for body weight at pre- and post-examination.**Table 2** TEE and PAL by sex and age group

Age group	N	TEE (MJ/day)	PAL
<b>Male</b>			
20–29	19	11.01 ± 1.56	1.72 ± 0.29
30–39	18	11.11 ± 2.20	1.78 ± 0.20
40–49	18	10.80 ± 1.52	1.67 ± 0.20
50–59	19	10.23 ± 1.30	1.71 ± 0.14
Total	74	10.78 ± 1.67	1.72 ± 0.22
<b>Female</b>			
20–29	17	8.29 ± 1.51	1.58 ± 0.29
30–39	22	8.53 ± 1.65	1.76 ± 0.29
40–49	22	8.40 ± 0.98	1.75 ± 0.22
50–59	15	8.17 ± 0.92	1.77 ± 0.22
Total	76	8.37 ± 1.30	1.72 ± 0.30

Abbreviations: PAL, physical activity level; TEE, total energy expenditure.

Sex difference:  $P = 0.799$ .Age group difference:  $P = 0.196$ .Area group difference:  $P = 0.336$ .

was not significantly different across sex and age groups. The insufficiently active (category I) and the sufficiently active (category II) groups had significantly lower PAL than the highly active group (category III), though there were few in the highly active group (category III). However, PAL did not differ significantly between the insufficiently active and the sufficiently active categories. Farther, we divided the subjects equally among the three groups according to the total METs assessed by IPAQ and PAL measured by the DLW method, respectively. As the results, only 36% of the subjects were classified into the same level of groups by both IPAQ and DLW data, 31% of them were classified in the lower groups and another 33% were classified into the higher groups divided by IPAQ compared with groups divided by PAL measured by the DLW method.

## Discussion

In the present study, average PAL was 1.72 for males and 1.71 for females, respectively. When we compared PAL among the physical activity categories assessed by DRI, Japan and IPAQ, highly active groups showed significantly higher PAL; however, PAL in the lowest and moderate groups did not differ significantly.

The overall average PAL in the present study was similar to the average PAL for the general population of western countries (Schulz *et al.*, 1994; Black *et al.*, 1996; Prentice *et al.*, 1996; Westterp, 2003), but relatively higher than the sedentary Japanese in the previous studies (Ebine *et al.*, 2002; Peng *et al.*, 2005). Ebine *et al.* (2002) reported PAL of 1.63 for 10 Japanese male students (24.2 ± 1.8 years), and Peng *et al.* (2005) reported that of 1.62 for middle-aged sedentary women (49.4 ± 6.0 years). We measured previously TEE for simulated sedentary lifestyle according to the data on NHK's National time use survey (NHK Broadcasting Culture Research Institute, 2001) and The National Nutrition Survey (The Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan, 2000) by indirect human calorimeter, and the PAL of this study was 1.51 ± 0.12 (Tanaka *et al.*, 2003). The relatively higher proportion of the present subjects who participated in regular physical activity (more than twice a week and more than 30 min at a time) compared with the National Nutrition Survey (Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan, 2006) is one of the potential reasons for higher PAL. However, the subjects with active exercise habits did not show significantly higher PAL compared with non-exercisers, though exercisers engaged in exercise 227 ± 141 min/week on average. Schoeller *et al.* (1997) and Weinsier *et al.* (2002) suggested that a PAL of around 1.7 might be required to prevent weight regain in post-obese females. Brooks *et al.* (2004) also suggested that most adults maintaining a BMI in

**Table 3** TEE and PAL among categories according to Dietary Reference Intake in Japan

		n	TEE (KJ/day)	PAL	P-value
I (light)	Mostly sedentary position doing reading, studying and talking, or sitting or lying position watching TV and listening to music with 1-h slow walk for walking and shopping	77	9.63 ± 1.90	1.68 ± 0.21	0.070
II (moderate)	Mostly sedentary position doing clerical work and housework with 2-h walk for commuting and shopping, and long hours of standing while meeting people doing housework	63	9.29 ± 1.87	1.74 ± 0.25	
III (light heavy)	In addition to moderate activity (II), 1 h of brisk walk, bicycle and other vigorous physical activity; mostly standing during farming, fishing with heavy muscular work for 1 h a day	6	9.64 ± 2.04	1.85 ± 0.31	
IV (heavy)	Engaged in heavy muscular work for about 1 h a day such as hard training, carrying lumbers, farming in the busy season and so on	4	12.31 ± 1.21	1.91 ± 0.30	

Abbreviations: PAL, physical activity level; TEE, total energy expenditure. P-values were calculated by one-way analysis of variance for PAL.

**Table 4** TEE and PAL among categories of International Physical Activity Questionnaire

Group	n	TEE (KJ/day)	PAL	P-value
Category 1 (insufficiently active)	82	9.49 ± 1.90	1.70 ± 0.24*	0.016
Category 2 (sufficiently active)	61	9.48 ± 1.88	1.75 ± 0.23	
Category 3 (highly active)	7	11.13 ± 2.14	1.95 ± 0.24	

Abbreviations: PAL, physical activity level; TEE, total energy expenditure. \*Significantly different from category III (highly active). P-value was estimated by one-way analysis of variance for PAL.

the healthful range had PAL values >1.6. The higher proportion of subjects with lean to normal BMI (74%) in the present study might partly explain the relatively higher PAL in the present subjects.

In the public health status and epidemiological study, a simple questionnaire to assess the PAL is required. In the present study, we used the questionnaire in the DRI, Japan sixth edition and IPAQ. Highly active groups assessed both by DRI and IPAQ showed significantly higher PAL, though there were few subjects in these groups. In IPAQ, the highly active category consisted of subjects with 1500 met-min/week by vigorous activity or by a combination of walking, moderate or vigorous activities. In DRI, heavy is categorized as persons engaging in more than 1 h a day of muscular work. Among the healthy normal subjects in developed countries, vigorous physical activity could be easily assessed by questionnaire, and subjects who participated in these activities showed higher PAL compared to those with little or no vigorous physical activity.

There were no significant differences in PAL between light and moderate categories in DRI, or between insufficient active and sufficient active categories in IPAQ. There was a clear overlap of measured PAL in these lower two categories. The lower categories both by IPAQ and DRI are divided mainly by the duration of light to moderate physical activity. The duration of these activities is thought to pose more difficulty than vigorous activity in terms of response, and this made it difficult to categorize the less active population.

However, the duration of these activities had much impact on PAL among subjects with the normal PAL range, because they spent an average 9% of their active time engaging in high-intensity activity, and the distribution of time spent in activities of low and moderate intensity determines the activity level (Westerterp, 2001).

In addition, we could not find any differences in PAL between exercisers and non-exercisers. In one study of weight reduction (Kempen *et al.*, 1995), there were no significant differences in PAL and energy expended on physical activity between diet only and diet plus exercise treatment groups. This was considered the result of partial compensation in physical activity for the addition of training to dietary treatment during the non-exercise part of the day. It also suggests the importance of assessing non-exercise physical activity. Other recent studies also point out the importance of the proportion of light to moderate activity on TEE (Westerterp, 2003; Levine, 2004; Levine *et al.*, 2005). In a future study, we should clarify the physical activity that has much effect on the TEE among sedentary to moderately active subjects, and the method of assessing accurately these physical activities.

One of the most important limitations of the present study is that BMR was predicted, not measured. Calculation of PAL using predicted BMR could lead to some error for individuals. This may have caused a wide variation in PAL among each category divided by sex and age groups or the questionnaire on physical activity. However, we thought the use of prediction equations for BMR would generate the present result. Many prediction equations are available for estimating BMR, but their applicability to other ethnic groups is uncertain (Hayter and Henry, 1993; Frankenfield *et al.*, 2005). Ganpule *et al.* (2007) suggested recently that the use of FAO/WHO/UNU equations overestimated BMR among Japanese when compared with measured BMR. The predictive equations used in the present study were established based on the large database obtained under strictly controlled protocol, and have been reported to be accurate for Japanese (Taguchi *et al.*, 2001; Rafamantanantsoa *et al.*,

2003; Yamamura *et al.*, 2003). Therefore, the error from using predicted BMR seems to be modest.

Another limitation is that subjects were not selected randomly from different activity levels. This caused unequal distribution of subjects across activity categories, which may have caused lower statistical power in comparison among activity categories.

In conclusion, the present study clarified the PAL among healthy normal Japanese and compared the PAL among the categories assessed by a simple questionnaire. In developed countries, highly active subjects seem to be easily assessed by a simple questionnaire. However, assessment of the PAL among sedentary to moderately active subjects is more complete, and must be addressed in a separate study.

## References

- Black AE, Coward WA, Cole TJ, Prentice AM (1996). Human energy expenditure in affluent societies: an analysis of 574 doubly-labelled water measurements. *Eur J Clin Nutr* 50, 72-92.
- Black AE, Prentice AM, Coward WA (1986). Use of food quotients to predict respiratory quotients for the doubly labelled water method of measuring energy expenditure. *Hum Nutr Clin Nutr* 40C, 381-391.
- Brooks GA, Butte NF, Rand WM, Flatt JP, Caballero B (2004). 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 (Suppl), 921S-930S.
- Ebine N, Shimada M, Tanaka H, Nishimuta M, Yoshitake Y, Saitoh S *et al.* (2002). Comparative study of total energy expenditure in Japanese men using doubly labeled water method against activity record, heart rate monitoring, and accelerometer methods. *Jpn J Phys Fitness Sport Med* 51, 151-164. (in Japanese with English abstract).
- Frankenfield D, Roth-Yousey L, Compher C (2005). Comparison of predictive equations for resting metabolic rate in healthy nonobese and obese adults: a systematic review. *J Am Diet Assoc* 105, 775-789.
- Ganpule AA, Tanaka S, Ishikawa-Takata K, Tabata I (2007). Inter-individual variability in sleeping metabolic rate in Japanese subjects. *Eur J Clin Nutr* advance online publication.
- Graig CL, Marshall AL, Sjostrom M, Bauman AE, Booth ML, Ainsworth BE *et al.* (2003). International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc* 35, 1381-1395.
- Hayter JE, Henry CJ (1993). Basal metabolic rate in human subjects migrating between tropical and temperate regions: a longitudinal study and review of previous work. *Eur J Clin Nutr* 47, 724-734.
- Heyward VH, Wagner DR (2004). Body composition reference methods. In: *Applied Body Composition Assessment*. Human Kinetics, pp 27-47.
- Japan Society for the Study of Obesity (2006). Guideline for the treatment of obesity. *J Jpn Soc Study of Obes* 32, 10-15. (in Japanese).
- Jones PJH, Leitch CA (1993). Validation of doubly labeled water for measurement of calorie expenditure in collegiate swimmers. *J Appl Physiol* 74, 2909-2914.
- Kempen KPG, Saris WHM, Westerterp KR (1995). Energy balance during an 8-wk energy-restriction diet with and without exercise in obese women. *Am J Clin Nutr* 62, 722-729.
- Lamonte MJ, Ainsworth BE (2001). Quantifying energy expenditure and physical activity in the context of dose response. *Med Sci Sports Exerc* 33, S370-S378.
- Levine JA (2004). Nonexercise activity thermogenesis (NEAT): environment and biology. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 286, E675-E685.
- Levine JA, Lanningham-Foster LM, McCrady SK, Krizan AC, Olson LR, Kane PH *et al.* (2005). Interindividual variation in posture allocation: possible role in human obesity. *Science* 307, 584-586.
- Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan (1999). *Recommended Dietary Allowances for the Japanese* 6th edn. Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan.
- Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan (2000). *The National Nutrition Survey, Japan, 1998*. Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan.
- Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan (2006). *The National Nutrition Survey in Japan, 2003*. Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan.
- Montoye HJ, Kemper HCG, Saris WHM, Washburn RA (1996). *Measuring Physical Activity and Energy Expenditure*. Human Kinetics, Champaign, IL.
- Murase N, Katsumura T, Ueda C, Inoue S, Shimomitsu T (2002). International standardization of physical activity. *Kosei no Shihyo* 49, 1-9. (in Japanese).
- NHK Broadcasting Culture Research Institute (2001). *National Time Use Survey 2000 Report*. NHK Service Center: Tokyo, Japan.
- Peng H, Saito S, Hikiyama Y, Ebine N, Yoshitake Y (2005). Energy expenditure, body composition and maximal oxygen uptake in middle-aged Japanese women who have long-term habits of exercising. *Jpn J Phys Fitness Sports Med* 54, 237-248. (in Japanese with English abstract).
- Prentice AM, Black AE, Coward WA, Cole TJ (1996). 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.
- Racette SB, Schoeller DA, Luke AH, Shay K, Hnilicka J, Kushner RF (1994). Relative dilution spaces of  $^2\text{H}$ - and  $^{18}\text{O}$ -labeled water in humans. *Am J Physiol* 267, E585-90.
- Rafamantanantsoa HH, Ebine N, Yoshioka M, Yoshitake Y, Tanaka H, Saitoh S *et al.* (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.
- Sasaki S, Yanagibori R, Amano K (1998a). Self-administered diet history questionnaire developed for health education: a relative validation of the test-version by comparison with 3-day diet record in women. *J Epidemiol* 8, 203-215.
- Sasaki S, Yanagibori R, Amano K (1998b). Validity of a self-administered diet history questionnaire for assessment of sodium and potassium. Comparison with single 24-h urinary excretion. *Jpn Circ J* 62, 431-433.
- Schoeller DA, Shay K, Kushner RF (1997). How much physical activity is needed to minimize weight gain in previously obese women? *Am J Clin Nutr* 66, 551-556.
- Schulz LO, Schoeller DA (1994). A compilation of total daily energy expenditures and body weights in healthy adults. *Am J Clin Nutr* 60, 676-681.
- Surrao J, Sawaya AL, Dallal GE, Tsay R, Roberts SB (1998). Use of food quotient in human doubly labeled water studies: comparable results obtained with 4 widely used food intake methods. *J Am Diet Assoc* 98, 1015-1020.
- Taguchi M, Higuchi M, Oka J, Yoshiga C, Ishida Y, Matsushita M (2001). Basal metabolic rate in Japanese female endurance athletes. *Jpn J Nutr* 59, 127-134. (in Japanese with English abstract).
- Tanaka S, Tanaka C, Futami J, Oka J, Ishikawa-Takata K, Kashiwazaki H (2003). Twenty-four-hour energy expenditure of adults in sedentary life measured using indirect human calorimeter. *J Jpn Soc Nutr Food Sci* 56, 291-296.
- Vanhees L, Lefevre J, Philippaerts R, Martens M, Huygens W, Troosters T *et al.* (2005). How to assess physical activity? How to assess physical fitness? *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 1, 102-114.

- Weinsier RL, Hunter GR, Desmond RA, Byrne NM, Zuckerman PA, Darnell BE (2002). Free-living activity energy expenditure in women successful and unsuccessful at maintaining a normal body weight. *Am J Clin Nutr* 75, 499–504.
- Weir JBDV (1949). New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol* 109, 1–9.
- Westerterp KR (2001). Pattern and intensity of physical activity. *Nature* 410, 539.
- Westerterp KR (2003). Impacts of vigorous and non-vigorous activity on daily energy expenditure. *Proc Nutr Soc* 62, 645–650.
- Wolfe RR (1992). Measurement of total energy expenditure using the doubly-labeled water method. In: Wolfe RR (ed). *Radioactive and Stable Isotope Tracers in Biomedicine*. Wiley-Liss Inc.: New York. pp 207–233.
- World Health Organization (1997). *Obesity: Preventing and Managing the Global Epidemic*. World Health Organization: Geneva.
- Yamamura C, Tanaka S, Futami J, Oka J, Ishikawa-Takata K, Kashiwazaki H (2003). Activity diary method for predicting energy expenditure as evaluated by a whole-body indirect human calorimeter. *J Nutr Sci Vitaminol* 49, 262–269.

## ボディービルダーの基礎代謝量と身体活動レベルの検討

山本祥子<sup>\*1,2</sup>, 高田和子<sup>\*2</sup>, 別所京子<sup>\*2</sup>, 谷本道哉<sup>\*2</sup>,  
宮地元彦<sup>\*2</sup>, 田中茂穂<sup>\*2</sup>, 戸谷誠之<sup>\*1</sup>, 田畑泉<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> 昭和女子大学, <sup>\*2</sup> 独立行政法人国立健康・栄養研究所

### Basal Metabolic Rate and Physical Activity Level in Bodybuilders

Sachiko Yamamoto <sup>\*1,2</sup>, Kazuko Ishikawa-Takata <sup>\*2</sup>, Kyoko Bessyo <sup>\*2</sup>, Michiya Tanimoto <sup>\*2</sup>,

Motohiko Miyachi <sup>\*2</sup>, Shigeo Tanaka <sup>\*2</sup>, Masayuki Totani <sup>\*1</sup> and Izumi Tabata <sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> Showa Women's University ; <sup>\*2</sup> National Institute of Health and Nutrition

We measured the basal metabolic rate (BMR), fat-free mass (FFM) and physical activity level (PAL) of well-trained bodybuilders as typical athletes with muscular development by resistance training in order to examine the standard BMR and PAL ranges for athletes. The subjects were 14 bodybuilders (mean  $\pm$  SD age : 36.8  $\pm$  9.1 y.; height : 171.6  $\pm$  6.2 cm ; weight : 77.1  $\pm$  7.6 kg ; FFM : 67.6  $\pm$  6.8 kg) who each trained for an average of 7.5 h per week. BMR was measured by using a Douglas bag, the oxygen and carbon dioxide concentrations were analyzed by mass spectrometry, and FFM was measured by dual X-ray energy absorptiometry. PAL was measured by the doubly labeled water method for 7 subjects selected from the 14 bodybuilders. BMR/FFM was 25.4  $\pm$  2.1 kcal/kg of FFM/day. Total energy expenditure (TEE) was 3,432  $\pm$  634 kcal, and PAL calculated as TEE divided by BMR was 2.00  $\pm$  0.21. The FFM value needs to be considered when evaluating a standard BMR range, and both training and daily physical activity levels should be considered when evaluating a standard PAL range.

Jpn. J. Nutr. Diet., 66 (4) 195~200 (2008)

Key words : basal metabolic rate, bodybuilder, physical activity level, fat-free mass

### 緒 言

「日本人の食事摂取基準(2005年版)」<sup>1)</sup>(Dietary Recommended Intake : DRI)では推定エネルギー必要量(Estimated Energy Requirement : EER)を、基礎代謝量(Basal Metabolic Rate : BMR)と身体活動レベル(Physical Activity Level : PAL)を用いて算定している。DRIは健康な個人または集団を対象としており、極端にエネルギー消費量の多いスポーツ選手や高い身体活動量を有する者、傷病者等を含んでいないため、スポーツ選手のEER推定のためには、スポーツ選手の基礎代謝基準値及びPALの値の設定が必要となる。そのため、国立スポーツ科学センター(Japan Institute of Sports Science : JISS)は、日本人スポーツ選手を対象とした基準値策定に関するプロジェクトを立ち上げ、スポーツ選手を対象としたBMRとPALについて報告した<sup>2,3)</sup>。

BMRについては、JISSのプロジェクトではDRIに

示されている基礎代謝基準値と日本人の一般的な体格から除脂肪量(Fat Free Mass : FFM)あたりのBMR(BMR/FFM)を28.5% kcal/kgFFM/dayと設定した。これは、これまでの報告においてボート選手及びランナーと非運動群の間でFFMあたりのBMRに差が見られず、運動習慣や運動種目による差がなかったという研究報告<sup>4)</sup>を根拠としたものである。一方で、Weinsier, R. L.ら<sup>5)</sup>はBMRとFFMを測定した文献をレビューし、FFMの大きく異なる対象ではBMR/FFMが小さくなることを報告している。FFMが異なる対象でFFMあたりのBMRが異なる理由として、FFMに含まれる組織中の代謝率の高い組織と低い組織の割合の影響があると言われている<sup>5-8)</sup>。JISSが設定したBMR/FFMの値は、一般人の値からの推定値であり、一定のBMR/FFMの値が各種スポーツ選手に適用可能かについては、各種のスポーツ選手について実測したBMRの値のデータを収集したうえで、検討する必要がある。

キーワード：基礎代謝量, ボディービルダー, 身体活動レベル, 除脂肪量

(連絡先：高田和子 〒162-8636 新宿区戸山1-23-1 独立行政法人国立健康・栄養研究所健康増進プログラム 電話 03-3203-8061 FAX 03-3203-1731 E-mail kazu@nih.go.jp)

ある。そこで、本研究の第一の目的として、FFMの多い選手としてボディビルダーを対象にBMRの測定を行い、スポーツ選手における基礎代謝基準値について検討することとした。なお、BMRは、生命維持に必要な生理化学的反応を行うための覚醒安静時の最小エネルギーと定義され、実際には食後12時間以上経過した早朝空腹時に仰臥安静・覚醒状態で適正な室温において測定される<sup>8,10)</sup>。しかし、食事摂取基準における基礎代謝基準値の算定根拠となったデータは、宿泊して起床後すぐに測定したデータと、測定当日に測定室に入室し30分程度の仰臥安静後、測定されたデータが混在している。そこで本研究においては、BMRを測定当日に測定場所へ来所した後移動し30分の仰臥安静後に空腹状態で測定した。また、引用する文献についても測定日の宿泊の有無を問わず、早朝空腹時に十分な安静後に測定した値をすべてBMRとして比較することとした。

PALについては、DRIでは二重標識水(Doubly Labeled Water : DLW)法を用いて測定したエネルギー消費量の測定値に基づいて、3段階に分類されている<sup>1)</sup>。スポーツ選手のPALの設定にあたって、JISSのプロジェクトはスポーツ選手を対象とした先行研究におけるPALの値を基に、持久系、瞬発系、球技系、その他の種目カテゴリー別にオフトレーニング期と通常トレーニング期の期ごとにPALの値を示した<sup>2,3)</sup>。瞬発系、球技系についてはスポーツ選手の値の平均値、持久系ではトレーニング時間が長いこと、体重が比較的軽い選手が多いことから既存研究のデータの上限值が採用されている。これまで測定されている選手のデータは、まだ限られた種目であり、特に日本人選手を対象としたものは少ない。そこで本研究の第二の目的として、レジスタンストレーニングを主として実施しているボディビルダーについてDLW法を使用してPALを測定し、スポーツ選手における身体活動レベルについて検討することとした。本研究で対象としたボディビルダーは、筋力の高度な発達を目的として、ほぼ毎日レジスタンストレーニングを実施している。トレーニング内容は他競技が筋力向上のために行っている内容とほぼ同じであるが、練習時間は他種目に比べ比較的短い対象である。

## 方 法

### 1. 対象

対象者は、22～55歳の健康な成人男性で、週3～5回のトレーニングを行い、定期的に大会に参加しているボディビルダー14名である。全員、日本ボディビルディング連盟において薬物の使用がないことが確

認されている。トレーニング量は週に平均 $4.6 \pm 0.9$ 回、1回のトレーニング時間は平均 $99 \pm 21$ 分で、週あたりの平均トレーニング時間は $7.5 \pm 2.4$ 時間であった。測定期間は冬季であり、通常のトレーニング期であった。調査期間中は、できるだけ体重変動のない生活をするように指示し、それ以外は、通常の食事、トレーニングをするように指示した。

本研究は、独立行政法人国立健康・栄養研究所「人間を対象とする生物医学的研究に関する倫理委員会」の承認を得て、ヘルシンキ宣言の精神を遵守して実施した。被検者にはあらかじめ実験の目的と内容を説明し、文書により同意を得た。

### 2. 測定項目

#### (1) 身体組成

身長及び体重は早朝空腹時に測定した。体脂肪率及びFFMはDXA法(Dual Energy X-ray Absorptiometry)(QDR-4500, Hologic, USA)により測定した。

#### (2) 基礎代謝量(BMR)

被験者は測定前夜の午後9時までに通常通りの夕食を済ませ、測定当日に朝食をとらずに測定場所に到着した後、9時から23～25℃の快適な室温で30分以上仰臥させた。測定場所への移動はできるだけ静かに行うように指示したが、移動による活動量は把握しなかった。その後、仰臥位のまま10分間の呼吸を1分の間隔を置いてダグラスバッグに2回採集した。呼吸は直ちに質量分析計(ARCO-1000, アルコシステム, 千葉)を用いて酸素及び二酸化炭素量の濃度を分析した。その後、乾式ガスメーター(DC-5, シナガワ, 東京)にて呼気量を測定した。それらの測定値から酸素摂取量( $VO_2$ )と二酸化炭素排出量( $VCO_2$ )を算出し、Weir<sup>11)</sup>の式により1分あたりのBMRを求めた。さらに1,440(分)に換算し、1日あたりのBMR(kcal/day)とした。BMRは体重(Body Weight : BW)あたり(kcal/kg BW/day)及びFFMあたり(kcal/kg FFM /day)でも算出した。

#### (3) 身体活動レベル(PAL)の測定

対象者のうち7名について、DLW法を用いて総エネルギー消費量(Total Energy Expenditure : TEE)を測定し、それをBMRで除してPALを算出した。DLW法は、現時点では自由生活下での身体活動量を最も精度が高く評価できる方法とされており、ヒューマンカロリーメータとの比較により検討した正確度は約 $\pm 4\%$ とされている<sup>12)</sup>。

10%  $^{18}O$ (太陽日酸, 東京)と99.9%  $^3H$ (Cambridge Isotope Laboratories, Inc., USA)を混合した液により、体重あたり0.14gの $^{18}O$ と0.06gの $^3H$ を投与した。投与前、投与後4及び5時間後、翌日(2回)と8日後(2

Table 1 Physical characteristics and basal metabolic rate among body builders

	N	Age (yr.)	Height (cm)	BW (kg)	FFM (kg)	BMR (kcal)	BMR/BW (kcal/kg)	BMR/FFM (kcal/kg)
20-29yrs	3	24.0±3.5	172.3±7.6	80.0±11.5	70.7±11.0	1,843±264	23.0±0.4	26.1±1.2
30-39yrs	5	35.6±2.6	174.8±4.6	80.2±6.3	69.4±5.1	1,722±198	21.5±1.9	24.8±2.1
40-49yrs	5	41.8±2.5	169.5±6.4	72.6±6.4	65.0±6.0	1,590±171	21.9±1.4	24.5±1.7
50-59yrs	1	56	164.3	75.4	62.7	1,873	24.8	29.9
Total	14	36.8±9.1	171.6±6.2	77.1±7.6	67.6±6.8	1,712±209	22.2±1.6	25.4±2.1

BW : body weight, FFM : fat free mass assessed by dual energy X-ray absorptiometry, BMR : basal metabolic rate per day

回)の同時刻に採尿した。サンプルは密閉した状態で、分析まで-30℃で保存した。<sup>3</sup>HはPtを触媒としてH<sub>2</sub>ガスで、<sup>18</sup>OはCO<sub>2</sub>ガスで平衡法により前処理を行った後、<sup>3</sup>H、<sup>18</sup>Oの安定同位体比を質量比分析計(Finnigan Delta Plus, Thermo Fisher Scientific, USA)により分析した。分析の測定誤差は、<sup>3</sup>Hで0.5%、<sup>18</sup>Oで0.03%である。また、10名のサンプルを2回分析した際の誤差は、1.6±3.9%であった。

身体水分量(Total Body Water: TBW)は投与後4及び5時間後の尿中の安定同位体濃度から、 $N = [WA(\delta a - \delta t)] / [18.02a(\delta s - \delta b)]$ の式により求めた。ただし、Nは<sup>3</sup>H及び<sup>18</sup>Oの希釈容積(mol)、Wは同位体比分析の際にDLWを希釈するのに用いた飲料水の量(g)、Aは投与したDLWの量(g)、 $\delta a$ は希釈したDLWにおける同位体比、 $\delta t$ はDLWの希釈に用いた飲料水の同位体比、aは同位体比分析の際に飲料水で希釈されたDLWの量(g)、 $\delta s$ は尿中の同位体比、 $\delta b$ はベースラインでの尿の同位体比である。TBWは、<sup>3</sup>HのNを1.041で除したものと、<sup>18</sup>OのNを1.007で除したものの平均値とした。

測定期間中の安定同位体の減衰率を $k = [\ln(\delta f - \delta b) - \ln(\delta i - \delta b)] / t$ から求めた。 $\delta f$ は8日後の尿中の同位体比、 $\delta b$ はベースライン尿の同位体比、 $\delta i$ は投与翌日の同位体比、tは測定期間である。二酸化炭素の排出量は、 $rCO_2$  (mol/day) =  $0.4554TBW(1.007ko - 1.041kh)$ により求めた。koは<sup>18</sup>Oの減衰率、khは<sup>3</sup>Hの減衰率である。DLW法においては、全期間を通じた呼吸商(Respiratory Quotient: RQ)の直接測定が不可能なため、体重変動のないエネルギーバランスのとれた状態では食事調査より求めた食物商(Food Quotient: FQ)<sup>10)</sup>を使用して、TEEを求めることが最も適切とされている<sup>14)</sup>。そこで、TEEはDLW法による身体活動量の調査期間中の食事調査より求めたFQを用いて、Weir<sup>11)</sup>の式により求めた。

#### (4) 食事調査

PALの測定を行った7名については、測定期間中に3日間の食事記録法により食事調査を行った。食事の

記録内容は、調査終了後に管理栄養士が面接により確認した。摂取栄養素量は、エクセル栄養君 ver.4.0(建帛社、東京)により計算した。補助食品については、各メーカーの資料により栄養素量を求め、追加した。

#### (5) 統計処理

すべてのデータは、平均値と標準偏差(mean±SD)で表した。本研究で得られた各指標の統計処理は、SPSS13.0 J for Windows (SPSS Inc. USA)にて行った。

## 結 果

### 1. 基礎代謝量(BMR)

14名のボディビルダーの身体特性及びBMRをTable 1に示した。全対象における1日あたりのBMRは、1日あたりでは1,712±209kcal/day、BW 1kgあたりでは22.2±1.6kcal/kg/day、FFMあたりでは25.4±2.1kcal/kgFFM/dayであった。年代別に分けると、各年代の人数は少ないものの、身体特性、BMRとも一定した傾向は認められなかった。

### 2. 身体活動レベル(PAL)

ボディビルダー7名の身体特性、BMR、TEE、PAL、歩数及び1週間あたりのトレーニング時間(分)をTable 2に示した。DLW法で測定した1日のTEEは、3,432±634kcal/dayであった。TEEとBMRから計算したPALは、2.00±0.21であった。また、総エネルギー摂取量(Total Energy Intake: TEI)は1日あたりでは3,268±663kcal/day、体重あたりでは43.3±6.8kcal/kg/dayであった。タンパク質、脂質、炭水化物の摂取量は、161±55g、79±25g、429±130g、FQは0.923であった。TEIとBMRから求めたTEI/BMRは1.93±0.24であった。

## 考 察

本研究で、高度にトレーニングされたボディビルダー男性のBMRを測定したところ、BMR/FFMは25.4±2.1kcal/kgFFM/dayであり、JISSが設定した値(28.5kcal/kgFFM/day)<sup>2,3)</sup>より低いことをみとめた。また、週に約8時間のトレーニングを行っているボデ

Table 2 Physical characteristics, basal metabolic rate, and physical activity level among body builders

ID	Age (yr.)	Height (cm)	BW-pre (kg)	BW-post (kg)	BW-change (kg)	FFM (kg)	BMR (kcal)	BMR/FFM (kcal/kg)	TEE (kcal)	PAL	Walk steps (steps/day)	Time (min)	TEI (kcal)
02	41	166.0	78.2	80.1	+1.8	69.9	1,845	26.4	4,191	2.20	10,870±3,190	73	4,373
03	37	173.6	75.9	73.2	-1.7	63.8	1,741	27.3	3,884	2.23	13,903±5,202	62	3,359
05	46	166.5	61.5	61.1	-0.3	55.2	1,385	25.1	2,421	1.81	12,759±2,897	55	2,396
06	56	164.3	75.5	77.2	+1.7	62.7	1,873	29.9	3,228	1.78	5,374±2,663	55	3,350
07	33	174.3	76.2	75.1	-1.1	65.5	1,555	23.7	2,965	1.81	- <sup>a</sup>	- <sup>a</sup>	2,533
09	42	163.4	73.7	72.6	-1.1	63.3	1,610	25.4	3,324	1.95	12,949±3,016	46	3,280
11	39	181.6	90.0	89.1	-0.9	74.0	1,800	24.3	4,015	2.23	11,663±2,655	34	3,587

BW: body weight, FFM: fat free mass assessed by dual energy X-ray absorptiometry, BMR: basal metabolic rate per day, TEE: total energy expenditure measured by doubly labeled water method, PAL: physical activity level calculated as TEE divided by BMR, Walk steps: mean value during TEE measurement assessed by accelerometer, Time: mean training time (minutes) per day during TEE measurement, TEI: total energy intake estimated by 3-day food records

<sup>a</sup> Values could not be assessed.

イービルダーの PAL は約 2.0 であった。

今回の結果では、FFM67.6kg のボディビルダーの BMR/FFM は 25.4kcal/kgFFM/day となった。この値は、JISS が示した 28.5kcal/kgFFM/day<sup>2, 3)</sup> や、先行研究におけるウォーキングまたはローイングをしているスポーツ愛好者男性 (FFM52kg) 28.5kcal/kgFFM/day<sup>15)</sup>、水泳選手 (FFM69kg) 29.5kcal/kgFFM/day<sup>16)</sup>、柔道選手 (FFM67.1kg) 28.1kcal/kgFFM/day<sup>16)</sup>、空手選手 (FFM64.5kg) 28.2kcal/kgFFM/day<sup>16)</sup> よりも、小さい値であった。FFM が 35 ~ 45kg の者を対象とした研究<sup>4, 15, 17)</sup> の BMR/FFM は、30 ~ 31kcal/kgFFM/day と高い値が報告されていた。しかしながら、これらの先行研究では、FFM の測定法が BOD POD (空気置換法)<sup>4, 15)</sup>、DXA 法<sup>16, 17)</sup>、水中体重法<sup>17)</sup> と異なっている。また、BMR の測定条件や方法も、前日より宿泊してダグラスバッグにより測定したもの<sup>4, 15)</sup>、当日来所しフードを使用したもの<sup>16)</sup>、当日あるいは前日に移動しフードを使用したもの<sup>17)</sup> と様々であり、単純な比較は困難である。本研究と同じ FFM, BMR の測定法による先行研究はなく、測定法による一定の傾向もみられなかった。

Weinsier, R. L. ら<sup>5)</sup> のレビューによると、FFM が大きい対象において BMR/FFM が小さくなるのが指摘されている。その理由は、FFM が大きくなると FFM 中で安静時の代謝活性の低い筋組織の割合が安静時の代謝活性の高い内臓組織よりも大きくなるからであると指摘されている<sup>5-8)</sup>。ボディビルディングでは、筋肉を高度にトレーニングしている。そのため、FFM 中の筋肉の割合が非運動者や他の種目に比べて大きいことが推測され、FFM あたりの代謝率に影響する可能性は高い。一方で、Bosselaers, I. ら<sup>18)</sup> はヒューマンカロリメータを使用して、ボディビルダーと非運動

者の睡眠時代謝を比較し、年齢、FFM、体脂肪量 (FM) で調整した睡眠時代謝には差がないとしている。また、Midorikawa ら<sup>19)</sup> は水中体重法により FFM を、MRI により内臓の重量を測定し、肝臓と腎臓の FFM に占める割合は、運動群と非運動群ではほぼ同じであり、FFM が大きくなってもその比率は減少しないという結果を得ている。脳・肝臓・心臓・腎臓の 4 器官は重量は体重の約 6% しか占めないが、安静時の代謝量は約 58% を占めており、そのうちでも肝臓と腎臓の代謝量は特に大きい<sup>5)</sup>。しかし、FFM の量が BMR の違いに大きく影響していることは否定できず、選手の基礎代謝基準値として BMR/BW よりも BMR/FFM を使用することは適切と考えられる。一方で、すべての選手に同一の値を使用できるかについては、今後、各種スポーツ選手について一定の方法で BMR と FFM を測定し、種目や体格などを考慮した基礎代謝基準値の設定が必要となるであろう。

TEE については、齊藤らのレビュー<sup>12)</sup> によると、スポーツ選手の PAL は大学生女子水泳選手の 1.71 からワールドフランスのレース中の者の 4.95 となっている。日常的なトレーニングを行っていたスポーツ選手に限定すると、PAL が 2.2 以内に 75% の選手が分布する<sup>20)</sup>。これまでに測定されたスポーツ選手の TEE に関する調査結果の平均値は 2.03 となったと報告されている<sup>20)</sup>。本研究では 7 名のボディビルダーに対し DLW 法による測定を行い、PAL を算出したところ、2.00 ± 0.21 となり、これらの報告とはほぼ一致した。しかし、個人差は大きく 1.78 ~ 2.23 とばらついてきた。この個人差の要因の 1 つは、個別のトレーニング内容には大きな差がないことから、1 日あたりトレーニング時間が 34 ~ 73 分と倍以上の違いがあることによると推測される。しかしながら、Phillips, W. T. ら<sup>21)</sup> の報告よりレジ



スタンストレーニング中の身体活動強度を3.9METs、運動時以外の平均を1.5METsとすると、30分のトレーニング時間の違いによるPALの差は $(3.9-1.5) \times 30/1,440 = 0.05$ となり、個人差を説明できるものではない。DLW法は自由生活下でのTEEを最も正確に評価できる方法とされているが、1~2週間の測定期間の1日の平均のTEEでしか評価できないという欠点がある。PALが2以上であった3名は、トレーニング指導員(2名)と技能職で仕事でも立位と歩行が多い作業であり、歩数も多い。一方で、最もPALの低い1名は歩数が少なく、仕事はほとんど座業でありトレーニング以外の身体活動量が極めて低かったことが推測される。ボディビルダーは特にトレーニング時間が短い、それ以外のスポーツ選手でも合宿中などを除くと、トレーニング時間は限られている。トレーニング時間以外の生活における身体活動量による個人差を考慮しながら、どのように各種目のスポーツ選手の1日のPALを評価するか、今後、評価方法や基準となるPALの設定方法なども検討が必要であると考えられる。

以上より、スポーツ選手のBMRを測定した既存の資料では、FFM、BMRとも測定条件、方法などが異なり比較は困難であるが、今後、スポーツ選手の基礎代謝基準値の設定においては、種目や体格を考慮して示す必要があると考えられた。また、レジスタンストレーニングを主とするボディビルダーのPALは $2.00 \pm 0.21$ であったが、個人差が大きく、スポーツ選手のPALの評価においては、トレーニング時間や内容の評価とそれ以外の時間の身体活動をどのように組み合わせ設定していくかが課題であると考えられた。

## ま と め

22~55歳の高度にトレーニングを積んでいるボディビルダー14名を対象にBMR、FFM、PALを測定し、スポーツ選手のBMRとPALの基準値について検討した。

1) ボディビルダーの1日あたりのBMRは $1,712 \pm 209$ kcal/dayであった。BMR/FFMは $25.4 \pm 2.1$ kcal/kgFFM/dayであり、先行研究に比べると小さい傾向にあった。スポーツ選手の基礎代謝基準値の設定においては、その測定方法・条件を統一するとともに、種目や体格をどのように考慮するかを検討する必要があると考えられた。

2) DLW法で求めたボディビルダーの1日のTEEは $3,432 \pm 634$ kcalで、PALは $2.00 \pm 0.21$ であった。PALには個人差が大きく、PALの設定においては、トレーニング内容や時間の考慮だけでなく、それ以外の時間の身体活動量をどのように評価するか検討する必

要があると考えられた。

## 謝 辞

本研究の趣旨に賛同し、本研究に被験者としてご協力いただきました皆様に深い感謝の意を表します。また、研究の実施にあたりご協力いただきました独立行政法人国立健康・栄養研究所健康増進プログラムの田中祥子氏、坂田晶子氏に深く御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 厚生労働省：日本人の食事摂取基準(2005年版)、pp.10-38(2005)第一出版、東京
- 2) 小清水孝子、柳沢香絵、横田由香里：「スポーツ選手の栄養調査・サポート基準値策定及び評価に関するプロジェクト」報告、栄養学雑誌、64、205-208(2006)
- 3) 小清水孝子、柳沢香絵、樋口 満：スポーツ選手のエネルギー必要量、トレーニング科学、17、245-250(2005)
- 4) 田口素子、樋口 満、岡 純、吉賀千恵、石田良恵、松下雅雄：女性持久性競技者の基礎代謝量、栄養学雑誌、59、127-134(2001)
- 5) Weinsier, R. L., Schutz, Y. and Bracco, D.: Reexamination of the relationship of resting metabolic rate to fat-free mass and to the metabolically active components of fat-free mass in humans, *Am. J. Clin. Nutr.*, 55, 790-794(1992)
- 6) Cunningham, J. J.: Body composition as a determinant of energy expenditure: a synthetic review and a proposed general prediction equation, *Am. J. Clin. Nutr.*, 54, 963-969(1991)
- 7) Heymsfield, S. B., Gallagher, D., Kotler, D. P., Wang, Z., Allison, D. B. and Heshka, S.: Body-size dependence of resting energy expenditure can be attributed to nonenergetic homogeneity of fat-free mass, *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 282, 132-138(2002)
- 8) Gallagher, D., Belmonte, D., Deurenberg, P., Wang, Z., Krasnow, N., Pi-Sunyer, F. X. and Heymsfield, S. B.: Organ-tissue mass measurement allows modeling of REE and metabolically active tissue mass, *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 275, 249-258(1998)
- 9) 柏崎 浩：エネルギー所要量の歴史と現状、栄養所要量・規準量と食生活ガイドライン/小林修平編、pp.61-125(1997)建帛社、東京
- 10) McArdle, W.D., Katch, F.I. and Katch, V.L.: Exercise Physiology, 2nd ed.(1986)/田口貞善、矢部京

之助, 宮村実晴, 福永哲夫監訳: 運動生理学, p.135 (1992) 杏林書院, 東京

11) Weir, J. B. J.: New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J. physiol.*, **109**, 1-9 (1949)

12) 齊藤慎一, 海老根直之, 島田美恵子, 吉武 裕, 田中宏暁: 二重標識水法によるエネルギー消費量測定 の原理とその応用: 生活習慣病対策からトップス ポーツ選手の栄養処方まで, 栄養学雑誌, **57**, 317-332 (1999)

13) Black, A. E., Prentice, A. M. and Coward, W. A. : Use of food quotients to predict respiratory quotients for the doubly-labelled water method of measuring energy expenditure. *Hum. Nutr. Clin. Nutr.*, **40**, 381-391 (1986)

14) Wolfe, R. R. and Chinkes, D. L. : Measurement of total energy expenditure using the doubly labeled water method. In *Isotope Tracers in Metabolic Research*, 2nd ed./Wolfe, R.R. and Chinkes, D.L., eds., pp. 177-202 (2005) John Wiley & Sons, Inc., New Jersey

15) 薄井澄誉子, 金子香織, 岡 純, 田畑 泉, 樋口 満: 中高年男女スポーツ愛好者の身体組成と基礎代謝量, 栄養学雑誌, **63**, 21-25 (2005)

16) De Lorenzo, A., Bertini, I., Candeloro, N.,

Piccinelli, R., Innocente, I. and Brancati, A. : A new predictive equation to calculate resting metabolic rate in athletes. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, **39**, 213-219 (1999)

17) Fogelholm, G. M., Kukkonen-Harjula, T. K., Taipale, S. A., Sievanen, H. T., Oja, P. and Vuori, I. M. : Resting metabolic rate and energy intake in female gymnasts, figure-skaters and soccer players. *Int. J. Sports Med.*, **16**, 551-556 (1995)

18) Bosselaers, I., Buemann, B., Victor, O. J. and Astrup, A. : Twenty-four-hour energy expenditure and substrate utilization in body builders. *Am. J. Clin. Nutr.*, **59**, 10-12 (1994)

19) Midorikawa, T., Sekiguchi, O., Beekley, M.D., Bemben, M.G. and Abe, T. : A comparison of organ-tissue level body composition between college-age male athletes and nonathletes. *Int. J. Sports Med.*, **28**, 100-105 (2007)

20) 齊藤慎一, 海老根直之: スポーツ選手のエネルギー所要量策定の基礎研究: 二重標識水法によるエネルギー消費量測定, 体育の科学, **52**, 460-466 (2002)

21) Phillips, W.T. and Ziaraitis, J. R. : Energy cost of the ACSM single-set resistance training protocol. *J. Strength Cond. Res.*, **17**, 350-355 (2003)

(受付:平成19年7月25日, 受理:平成20年2月16日)



## ORIGINAL ARTICLE

# Validation of self-reported energy intake by a self-administered diet history questionnaire using the doubly labeled water method in 140 Japanese adults

H Okubo<sup>1,2</sup>, S Sasaki<sup>2</sup>, HH Rafamantanantsoa<sup>3</sup>, K Ishikawa-Takata<sup>4</sup>, H Okazaki<sup>4</sup> and I Tabata<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Nutrition Science, Kagawa Nutrition University, Saitama, Japan; <sup>2</sup>Nutritional Epidemiology Program, National Institute of Health and Nutrition, Tokyo, Japan; <sup>3</sup>Department of Exercise and Sport Sciences, Shanghai Institute of Physical Education, Shanghai, PR China and <sup>4</sup>Health Promotion and Exercise Program, National Institute of Health and Nutrition, Tokyo, Japan

**Objective:** To validate reported energy intake (rEI) with a self-administered diet history questionnaire (DHQ) against total energy expenditure (TEE) by the doubly labeled water (DLW) method.

**Subjects:** A total of 140 healthy Japanese adults (67 men and 73 women) aged 20–59 years living in four areas in Japan.

**Methods:** Energy intake was assessed twice with DHQ over a 1-month period before and after TEE measurement (rEI<sub>DHQ1</sub> and rEI<sub>DHQ2</sub>, respectively). TEE was measured by DLW during 2 weeks (TEE<sub>DLW</sub>).

**Results:** Mean rEI<sub>DHQ1</sub> was lower than those of TEE<sub>DLW</sub> by  $1.9 \pm 2.4$  MJ/day (16.4%,  $P < 0.001$ ) for men and  $0.6 \pm 1.9$  MJ/day (6.0%,  $P < 0.01$ ) for women. In men and women together, 62 subjects (44%) were defined as underreporters (rEI<sub>DHQ1</sub>/TEE<sub>DLW</sub> < 0.84), 58 (41%) as acceptable reporters (0.84–1.16) and 20 (14%) as over-reporters (> 1.16). Pearson correlation coefficient was 0.34 for men and 0.22 for women. After adjustment for the dietary and non-dietary factors related to rEI<sub>DHQ1</sub>/TEE<sub>DLW</sub>, the correlation coefficient improved to 0.42 and 0.37, respectively.

**Conclusion:** The energy intake assessed with DHQ correlated low to modestly with TEE measured by DLW. In addition, DHQ underestimated energy intake at a group level. Caution is needed when energy intake was evaluated by DHQ at both individual and group levels.

*European Journal of Clinical Nutrition* (2008) **62**, 1343–1350; doi:10.1038/sj.ejcn.1602858; published online 1 August 2007

**Keywords:** doubly labeled water; energy intake; self-administered diet history questionnaire; validation; Japanese adults

## Introduction

Dietary intake estimates from self-administered dietary assessment methods such as questionnaires are commonly used in large-scale nutritional epidemiologic studies. Dietary assessment questionnaires have been developed for assessing habitual dietary intake and for ranking subjects according to

their dietary intake. However, they cannot entirely avoid reporting errors (Barrett-Connor, 1991), including not only random but also systematic errors (Black and Cole, 2001; Livingstone and Black, 2003), due to the fact that they are self-reported.

In validation studies, data from dietary assessment questionnaires have often been compared with data from reference methods such as weighed diet records or 24 h recall (Willett and Lenart, 1998). However, all these dietary assessment methods were based on self-reporting. Therefore, the errors of both the new and reference methods might be correlated each other. The doubly labeled water (DLW) method, which measures the total energy expenditure (TEE) of subjects in free-living situations, has made it possible to validate reported energy intake (rEI) with an external biomarker (Hill and Davies, 2001; Trabulsi and Schoeller, 2001). The error of the DLW method is independent of self-rEI error (Livingstone and Black, 2003). However,

Correspondence: Dr S Sasaki, Nutritional Epidemiology Program, National Institute of Health and Nutrition, 1-23-1 Toyama, Shinjuku-ku, Tokyo 162-8636, Japan.

E-mail: stssasak@nih.go.jp

Guarantor: S Sasaki.

Contributors: HO conducted the field management, data collection, statistical analysis and wrote the paper. SS conducted the study design and edited the paper. HHR, KIT and HO conducted data collection and IRMS analyses. IT conducted the overall management. All authors participated in the discussion and interpretation of the results, and in drafting and editing the paper.

Received 29 June 2006; revised 14 June 2007; accepted 18 June 2007; published online 1 August 2007

relatively few validation studies of food frequency questionnaires against the DLW method have appeared (Sawaya *et al.*, 1996; Andersen *et al.*, 2003; Subar *et al.*, 2003). Furthermore, no such studies have been reported in non-Western countries.

The purpose of the present study was to examine the validity of energy intake assessed with a self-administered diet history questionnaire (DHQ) (Sasaki *et al.*, 1998) in comparison with TEE, as measured by the DLW method in a Japanese population.

## Subjects and methods

### Study population

This study was conducted in four districts of Japan from May to August 2003. We invited 40 healthy subjects (20 men and 20 women) aged 20–59 years from each of the four areas to participate, and distributed five subjects equally in each sex and age class of 20–29, 30–39, 40–49 and 50–59 years. Details of study recruitment and enrollment were described previously (Ishikawa-Takata *et al.*, 2007). All subjects providing written informed consent were finally considered eligible for the study. The total number of participants was 157 (78 men and 79 women).

### Procedures

The study protocol was approved by the Ethics Committee of the National Institute of Health and Nutrition in Japan. The participants completed three visits over the study period and all participants completed the study. After recruitment, the participants were mailed an introductory letter and two dietary questionnaires including a DHQ, four physical activity questionnaires, and a supplemental questionnaire on lifestyle variables, and asked to fill them out and mail them back before the first visit (visit 1).

At visit 1, the participants had their questionnaires reviewed, their body weight and height measured and provided a baseline urine sample. At visit 2, on the morning following visit 1, they received a dose of DLW after an overnight fast. At visit 3, 14 days after visit 2, the participants brought urine samples and had their body weight and height measured.

After visit 3, the participants were mailed two dietary questionnaires including the DHQ, four physical activity questionnaires, supplemental questionnaire on lifestyle variables and diary about lifestyle during the period of TEE measurement.

All the collected questionnaires were checked by trained dietitians in each local center and again then in the study center. When missing answers, errors or both were found, the subjects were requested to answer the questions again.

### Dietary assessment methods

**Self-administered DHQ.** The DHQ is a validated 16-page structured questionnaire, which assesses dietary habits in the preceding 1-month period (Sasaki *et al.*, 1998, 2000). Details of the questionnaire, methods of calculating nutrients and validity are given elsewhere (Sasaki *et al.*, 1998, 2000). Briefly, the DHQ consists of seven sections; (1) general dietary behavior, (2) major cooking methods, (3) consumption frequency and amount of six alcoholic beverages, (4) consumption frequency and semiquantitative portion size of 121 selected food and nonalcoholic beverage items, (5) dietary supplements, (6) consumption frequency and amount of 19 staple foods (rice, bread, noodles and other wheat foods) and miso soup (fermented soybean paste soup), and (7) open-ended items for foods consumed regularly (=once/week), which are not listed in the question. The food and beverage items and portion sizes in the DHQ were derived primarily from the data in the National Nutrition Survey of Japan (Sasaki *et al.*, 1998) and several recipe books for Japanese dishes. Measures of energy and dietary intakes for food and beverage items and dietary supplements with energy (148 food items in total) were calculated using an ad hoc computer algorithm for the DHQ, which was based on the Standard Tables of Food Composition in Japan (Science and Technology Agency, 2000). Information on dietary supplements, such as tablet, powder and liquid, which contained few energy and on data from the open-ended questionnaire items were not used in the calculation of dietary intake.

### Anthropometric measures

Anthropometric measures were obtained at visits 1 and 3 by a single-trained study member. Body weight and height were measured to the nearest 0.1 kg and 0.1 cm, respectively, in subjects wearing light clothing and no shoes. Body mass index (BMI) was calculated as body weight (kg) divided by the square of body height (m<sup>2</sup>).

### Measurement of TEE with the DLW method

At visit 2, after a baseline urine sample was obtained, a single dose of approximately 0.06 g/kg body weight of <sup>2</sup>H<sub>2</sub>O (99.8 atom%, Cambridge Isotope Laboratories, MA, USA) and 0.14 g/kg body weight of H<sub>2</sub><sup>18</sup>O (10.0 atom%, Cambridge Isotope Laboratories, MA, USA) was orally given to each subject via a drinking straw. After the dose administration, the subjects refrained from eating and drinking over a 4-h equilibration period (4 h sampling) for measurement of total body water. The second voided urine in the morning of day 1 (the day after the DLW dose) and day 14 (at the same time as the voiding on day 1) were collected for measurement of the isotopic (<sup>2</sup>H and <sup>18</sup>O) elimination rate.

The procedure for specimen analysis and for subsequent data analyses was described previously (Ishikawa-Takata *et al.*, 2007). Briefly, the isotopic analyses were conducted