

連載

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」

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

1. 「健康づくりのための運動基準2006」の特徴
厚生労働省は、2006年に「健康づくりのための運動基準2006」および「健康づくりのための運動指針2006（エクササイズガイド2006）」を策定した。その特徴の一つは、“運動”と“身体活動”それぞれについて、生活習慣病の予防に必要な基準値を提示したことである。海外では、CDC/ACSMが1995年に、“運動”から“身体活動”を対象に切り替えたガイドラインを出している。しかし、日本のガイドラインで、運動に限らない身体活動全体をここまで重視したのは、今回が初めてである。

なお、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²⁾、とくに健康増進や体力の維持・増進を目的とした計画的・組織的で継続性のある“運動”と、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。

2. 身体活動によるエネルギーは、一日当たりのエネルギー消費量の平均30%程度

一日当たりのエネルギー消費量 (total energy expenditure: TEE) を基礎代謝量で除して得られる身体活動レベル (physical activity level: PAL) は、一般におよそ1.4から2.2の幅に分布する³⁾。PALは、食事に伴う熱産生 (食事誘発性体熱産生) も含んでいるものの、主に身体活動量によって決定される。日本人におけるPALの平均値である1.75から逆算すると、基礎代謝量はTEEの約60%に相当する。食事誘発性体熱産生をTEEの約10%と仮定すると、身体活動によるエネルギーは、平均30%程度 (PALの1.4から2.2に対応する範囲: およそ20~45%) に相当する。また、一般にPALの標準偏差は0.2を越える。標準的な体格であれば基礎代謝量は1,400 kcal/日程度なので、このばらつきはおおよそ±300 kcal/d (標準偏差) に相当する。測定誤差を考慮するために、分散の半分が真の個体間活動と仮定しても、おおよそ±220 kcal/dとなる。

3. 運動が一日当たりのエネルギー消費量に占める割合は小さい

運動習慣によって大きな個人差はあるものの、運動がTEEに占める割合は、一般に小さい。最も多い運動形態はウォーキングであるが、たとえば、運動として30分間の速歩を週5回実施しても、それによって付加されるエネルギーは、一日当たり換算するとおおよそ $(4-1) \times 30 \times 5 \div 7 \approx 65$ kcalにしかない。これは、TEEのわずか3%程度である。

しかも、国民健康・栄養調査⁴⁾によると、1回30分以上の運動を週2日以上実施している人は、おおよそ30%程度でしかない。30分未満の運動あるいは週1回の運動を実施している人がいる一方で、上記の30%の人の何割かは、週2回程度しか運動を実施しておらず、残りの5日は運動を実施していないかもしれない。

こうして考えると、TEEに占める運動の割合は、平均して3%かそれ以下である可能性は非常に高いと考えられる。身体活動のエネルギーがTEEの約30%程度であるので、「身体活動の大部分は、運動以外の身体活動である」と考えられる。

4. 運動以外の身体活動 (NEAT) とは?

運動以外の身体活動 (Nonexercise activity thermogenesis: NEAT) は、必ずしも新しい概念ではない。しかし、NEATに関する論文⁵⁾が1999年にScienceに掲載されたのをきっかけに、国際的に注目されるようになっていく。

NEATは、姿勢の保持 (座位や立位を含む) や、掃除・洗濯を含む家事、買い物・通勤などにおける歩行、庭仕事などの余暇活動、仕事における荷物の運搬など、低~中強度を中心に様々な活動が含まれる⁶⁾。

NEATの構成要素として fidgeting (そわそわ動き) も含まれる。ヒューマンカロリーメーター (エネルギー代謝測定室) 内でも100~800 kcal/日のNEATが報告されている⁷⁾。日常生活については、

この2~3倍程度のバラツキとなるが、両者には有意な相関がみられる^{8,9)}。

様々な対象者におけるDLW法の結果に基づいて推定すると、NEATは最大で一日に2,000 kcal程度にまでおよぶと考えられる⁶⁾。

5. NEATが肥満予防に果たす役割

NEATは、平均値や変動幅が大きだけでなく、肥満にも関与している可能性が示唆されている。先に述べた論文で、Levineは、1日1,000 kcal/日もの過食を8週間続けるという実験を行った⁵⁾。その1,000 kcal/日がどのように利用されたかを、身体組成やエネルギー消費量の測定値から推定した。その結果、平均して39%が体脂肪に変わっていたが、その次に割合が大きかったのは、運動以外の身体活動であった。また、この過食実験により体脂肪が増加した割合に大きな個人差がみられたが、この個人差と関連していたのは、基礎代謝量や食事誘発性体熱産生の変化量ではなく、NEATの変化量であった。すなわち、過食した時に、NEATが増加するかどうかによって太るかどうかが決まるといふ結果であった。

Levineは、その後、肥満者と非肥満者で、日常生活における姿勢とエネルギー消費量を比較した¹⁰⁾。その結果、肥満者は平均して座位の時間が約2時間半長く、それによるエネルギー消費量の差は352 kcal/日に及ぶと推定している。また、肥満者がやせたり非肥満者が太ったりしてもその傾向は変わらなかったため、遺伝的に姿勢が決定されているのではないかと考察している。

最近、客観的な測定装置 (IDEAA) を用いて、日常生活における姿勢別の所要時間を肥満女性と非肥満女性との間で比較した結果が報告された¹¹⁾。その結果も、Levineらと同じく、肥満者の座位時間が非肥満者より約2.5時間/日多いというものであった。以上のように、NEATも肥満と関連している可能性がある。

一方、高齢者において、二重標識水 (doubly labeled water : DLW) 法により評価した身体活動量が多いほど総死亡率が低かったという縦断的な研究結果も、最近報告されている¹²⁾。

6. 歩行以外の身体活動

現時点では、身体活動、とくにNEATを正確に定量化することは難しい^{6,13)}。その原因の一つとして、歩行以外の身体活動が、これまで十分に考慮されなかったことがある。

ヒューマンカロリーメーターで運動を含まない生活

を送ると、PALは1.3~1.4程度である¹⁴⁾が、1.75程度のPALとなるようにするには、約80 m/分程度の普通歩行を約3時間程度行う必要がある¹⁵⁾。しかし、標準的な歩数から推定すると、1日に歩いている時間 (室内歩行を含む) は1~1.5時間程度にしなければならない。したがって、日常生活においては、必須活動と歩行以外に、残りの1.5~2時間程度の普通歩行に相当するだけの身体活動があるはずである。現在市販されている歩数計タイプの加速度計を用いた場合、DLW法と比較して、平均しておよそ20% (10~35%以上) もTEEが過小評価される¹³⁾のは、こうしたことが主な理由であると考えられる。

ちなみに、若年男性におけるTEEの平均は約2,500 kcal/日である。また、先に述べたように、身体活動に要するエネルギーは、平均してTEEの約30%である。したがって、歩行以外の身体活動に要するエネルギーは、おおよそ500 kcal/日、身体活動のうちの約2/3に相当すると考えられる。これだけのエネルギーを見過ごすのは問題だと思われる。

7. 歩行以外の身体活動の評価

このように、運動や歩行より絶対量やバラツキの大きいNEAT、あるいは歩行以外の身体活動も重要であると考えられる。これまでの加速度計では歩行と歩行以外を区別できず、歩行・走行で検討した加速度からの推定式は、家事などの生活活動 (lifestyle activity) を過小評価する傾向にあった¹⁶⁾。その結果として、歩行時の加速度とエネルギー消費量との関係式からTEEを推定すると過小評価するのに対し、生活活動から得られた関係式を用いると、必ずしもそうではないという報告もある¹⁷⁾。

その解決策が模索されているが、我々は、3次元加速度計を用いて、両者を区別する方法を検討してきた。歩行・走行時は、速度・強度が大きくなるほど、特に垂直方向の加速度が大きくなる。それに対して、生活活動では、水平方向に比べ垂直方向の値はそれほど大きくならない。そこで、垂直方向と水平方向の加速度の比を用いて、歩行・走行タイプと生活活動タイプを判別する方法を考案した^{18,19)}。その後、オムロンヘルスケア(株)と共同で、より優れた判別法を見出し、製品化に成功した (Active style Pro HJA-350IT)。これは、歩行では身体の傾斜の変化がないのに対し、生活活動ではあることを利用したものである。これを用いると、先に述べたTEEの過小評価もほぼ解決する。

このように、加速度計により身体活動強度を正確に推定するためにも、また、身体活動のタイプを客観的に評価するためにも、歩行と歩行以外の身体活

動を区別することは重要である。

8. NEATの客観的な評価の必要性

質問紙法は、二重標識水(DLW)法などの妥当基準と比較すると、平均値が一致することはあるものの、多くの場合、相関は弱い^{20,21)}。したがって、集団の平均値を推定することは可能であっても、個人間差をみるには適当ではない。そのため、たとえば身体活動量と生活習慣病のリスクとの関連を検討するような場合には、Warehamら²²⁾やBlairら²³⁾も述べているように、質問紙法よりは、加速度計や歩数計、DLW法などの、より客観的で正確な方法を用いる方が望ましい。もちろん、これらによる身体活動量評価の妥当性が保証されていることが前提であるし、質問紙法の更なる工夫も必要である。

まとめ

以上、本稿をまとめると以下の通りである。

- 身体活動の大部分は、運動ではなく、運動以外の身体活動(NEAT)である。
- NEATの個人間差は非常に大きい。
- 歩行より歩行以外の身体活動の方が多い。
- したがって、従来関心がもたれてきた運動や歩行だけでなく、NEATや「歩行以外の身体活動」にも着目する必要がある。
- 質問紙調査では個人間差を十分にとらえられないので、疫学調査でも、加速度計や歩数計、DLW法など、なるだけ客観的かつ正確な方法を用いる必要がある。

正確な方法を用いて調査することができたら、「やはりNEATより運動が、あるいは歩行以外の活動より歩行が重要だ」という結果が得られるのかもしれない。しかし、絶対量や個人差が大きいにも関わらず、NEATおよび歩行以外の身体活動について、これまで十分に注目されてこなかっただけに、今後は、これらの評価法や肥満・生活習慣病との関連を検討していく必要がある。

次回は、「運動行動からみた健康支援；運動疫学から社会疫学への展開」について、九州大学健康科学センターの熊谷秋三先生にご報告いただく予定です。

文 献

1) Pate RR, Pratt M, Blair SN, 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* 1995; 273 (5): 402-407.

2) Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep* 1985; 100 (2): 126-131.

3) 第一出版編集部編：厚生労働省策定 日本人の食事摂取基準(2005年版)。東京：第一出版，28-38，2005。

4) 健康・栄養情報研究会編，厚生労働省国民健康・栄養調査報告(平成16年)。東京：第一出版，2006。

5) Levine JA, Eberhardt NL, Jensen MD. Role of nonexercise activity thermogenesis in resistance to fat gain in humans. *Science* 1999; 283 (5399): 212-214.

6) Levine JA. Nonexercise activity thermogenesis-liberating the life-force. *J Intern Med* 2007; 262 (3): 273-287.

7) Ravussin E, Lillioja S, Anderson TE, et al. Determinants of 24-hour energy expenditure in man. Methods and results using a respiratory chamber. *J Clin Invest* 1986; 78 (6): 1568-1578.

8) Snitker, S, Tataranni PA, Ravussin E. Spontaneous physical activity in a respiratory chamber is correlated to habitual physical activity. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2001; 25 (10): 1481-1486.

9) Westerterp KR, Kester AD. Physical activity in confined conditions as an indicator of free-living physical activity. *Obes Res* 2003; 11 (7): 865-868.

10) Levine JA, Lanningham-Foster LM, McCrady SK, et al. Interindividual variation in posture allocation: possible role in human obesity. *Science* 2005; 307 (5709): 584-586.

11) Johannsen DL, Welk GJ, Sharp RL, et al. Differences in daily energy expenditure in lean and obese women: the role of posture allocation. *Obesity* 2008; 16 (1): 34-39.

12) Manini TM, Everhart JE, Patel KV, et al. Daily activity energy expenditure and mortality among older adults. *JAMA* 2006; 296 (2): 171-179.

13) 田中茂穂：間接熱量測定法による1日のエネルギー消費量の評価。体力科学 2006; 55 (5): 527-532。

14) 田中茂穂，山村千晶，二見 順ら：ヒューマンカロリメーターを用いて測定した座位中心の生活における1日あたりのエネルギー消費量。日本栄養・食糧学会誌 2003; 56 (10): 291-296。

15) de Jonge L, Nguyen T, Smith SR, et al.: Prediction of energy expenditure in a whole body indirect calorimeter at both low and high levels of physical activity. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2001; 25 (7): 929-934.

16) Matthews CE. Calibration of accelerometer output for adults. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37 (11 Suppl): S512-S522.

17) Leenders NY, Sherman WM, Nagaraja HN. Energy expenditure estimated by accelerometry and doubly labeled water: do they agree? *Med Sci Sports Exerc* 2006; 38 (12): 2165-2172.

18) Tanaka C, Tanaka S, Kawahara J, et al. Triaxial accelerometry for assessment of physical activity in young children. *Obesity* 2007; 15 (5): 1233-1241.

19) Midorikawa T, Tanaka S, Kaneko K, et al. Evaluation

- of low-intensity physical activity by triaxial accelerometry. *Obesity* 2007; 15 (12): 3031-3038.
- 20) 山村千晶, 田中茂穂, 柏崎 浩, 身体活動量に関する質問票の妥当性について. *栄養学雑誌* 2002; 60 (6): 265-276.
- 21) Nielsen HK, Robson PJ, Friedenreich CM, et al. Estimating activity energy expenditure: how valid are physical activity questionnaires? *Am J Clin Nutr* 2008; 87 (2): 279-291.
- 22) Wareham NJ, van Sluijs EM, Ekelund U. Physical activity and obesity prevention: a review of the current evidence. *Proc Nutr Soc* 2005; 64 (2): 229-247.
- 23) Blair SN, Haskell WL. Objectively measured physical activity and mortality in older adults. *JAMA* 2006; 296 (2): 216-218.
-



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¹⁾。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²⁾。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^{3,4)}。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⁵⁾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、

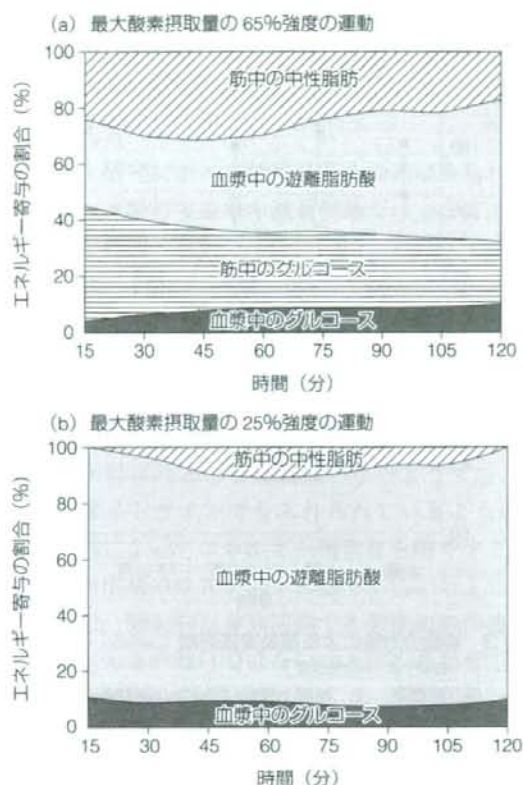


図1 120分間の運動における血液および筋中の基質の相対的な寄与 (Romijn, et al., 1993¹⁾より引用改変)

「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⁶⁾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⁶⁾⁷⁾。

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⁸⁾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、Ebisu⁹⁾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が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¹⁰⁾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

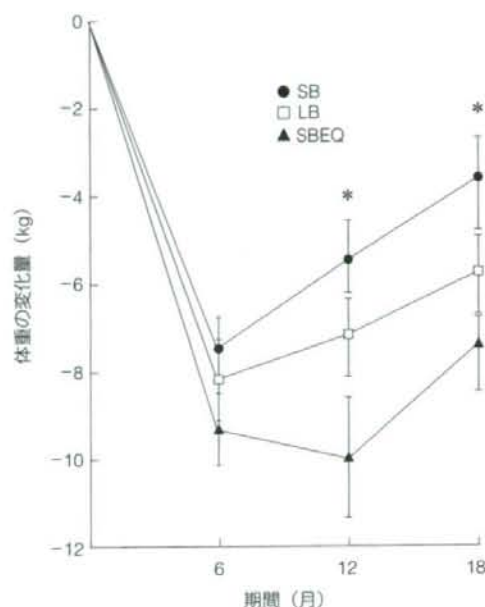


図2 運動の方法による減量幅 (Jakicic, et al., 1999¹¹⁾より引用改変)

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 ± 29.5 日 vs. 69.1 ± 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 ± 69.5 分/週 vs. 188.2 ± 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 ± 5.3 kg vs. -6.4 ± 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¹¹⁾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カ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

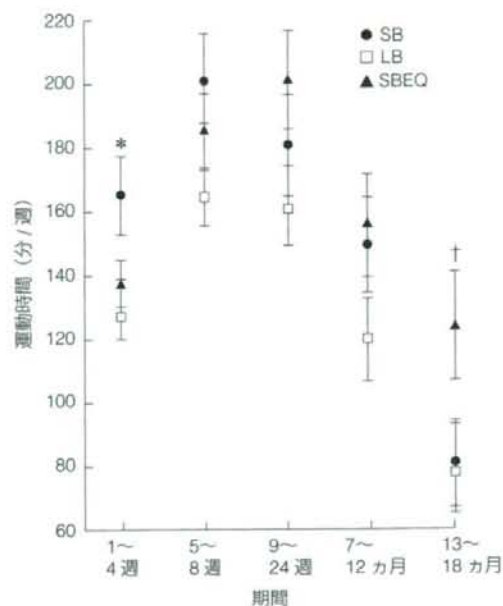


図3 運動の方法による運動実施時間 (Jakicic, et al., 1999¹¹⁾より引用改変)

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った(図3)。また、Jacobsenら¹²⁾は18カ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^{13,14)}。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¹⁵⁾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」¹⁶⁾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¹⁷⁾。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¹³⁾においては、1995年のガイドライン⁶⁾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とはほぼ同じ解釈と考えてよい。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¹⁸⁾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±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±1,313秒/日であった。また、De Vriesら¹⁹⁾は、「60分間/日以上の中強度活動」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分程度ずつに小分けする分には、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¹⁰⁾。

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-Takata¹, I Tabata¹, S Sasaki^{1,2}, H H Rafamantanantsoa³, H Okazaki¹, H Okubo⁴, S Tanaka¹, S Yamamoto⁵, T Shirota⁶, K Uchida⁶ and M Murata⁷

¹Health Promotion and Exercise Program, National Institute of Health and Nutrition, Tokyo, Japan; ²School of Public Health, The University of Tokyo, Tokyo, Japan; ³Department of Exercise and Sport Sciences, Shanghai Institute of Physical Education, Shanghai, PR China; ⁴Department of Nutrition Science, Kagawa Nutrition University, Saitama, Japan; ⁵International Nutrition, Ochanomizu University Graduate School of Humanities and Sciences, Tokyo, Japan; ⁶Faculty of Nutritional Science, Nakamura Gakuen University Junior College, Fukuoka, Japan and ⁷Faculty 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 ± 1.67 MJ/day and 1.72 ± 0.22 for males and 8.37 ± 1.30 MJ/day and 1.72 ± 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/m², (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 ²H₂O (99.8 atom%, Cambridge Isotope Laboratories, Andover, MA, USA) and 0.14 g/kg body weight of H₂¹⁸O (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 (²H and ¹⁸O) 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 ¹⁸O was CO₂ and that for ²H was H₂. Pt catalyst was used for equilibration of ²H. 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 ^2H and 0.03‰ for ^{18}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 (^2H and ^{18}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 δ (‰) 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 ^2H and N_o (mol) divided by 1.007 for dilution space estimated by ^{18}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 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}O and ^2H , 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 δ_i and δ_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; δ_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 ± 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 13.0); 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 kg/m^2) and 36.5% of males and 14.5% of females were classified as obese (BMI more than 25 kg/m^2) according to the criteria for Japanese (Japan Society for the Study of Obesity, 2006). The average TBW was 36.9 ± 4.8 kg for males and 27.2 ± 3.5 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 ± 1.67 MJ/day and 1.72 ± 0.22 for males, 8.33 ± 1.31 MJ/day and 1.72 ± 0.27 for females, respectively. The minimum of the average PAL values in sex and age groups was 1.58 ± 0.29 for females in their 20s and the maximum was 1.78 ± 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)			P ^a	BMI (kg/m ²)	TBW (kg)
				Pre	Post	Difference			
Male									
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
Female									
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	2.55 ± 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.

^aP-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
Male			
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
Female			
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; Westterterp, 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 ladders, 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 ²H- and ¹⁸O-labeled water in humans. *Am J Physiol* 267, E585-590.

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.
- Westertorp KR (2001). Pattern and intensity of physical activity. *Nature* 410, 539.
- Westertorp 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.

【教育講座】

摂取したエネルギーの体内での吸収と利用

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

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

I. 体内でのエネルギー利用

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

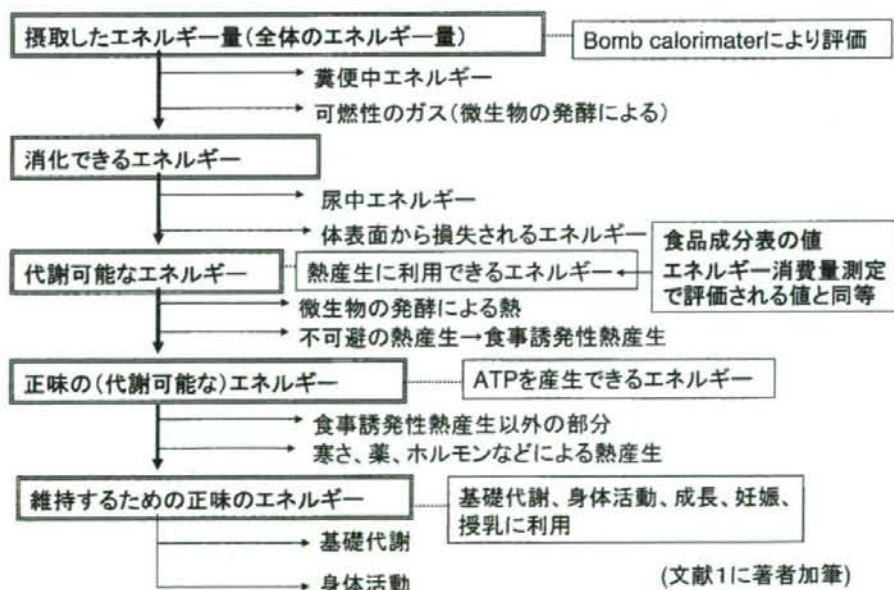


図1. エネルギーバランスを維持するための体内での食物のエネルギーの流れ

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

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

II. 食物のエネルギー量の考え方

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

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

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

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

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

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

Ⅲ. エネルギーの利用に関連する研究

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

A. エネルギー吸収率に関する研究

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

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

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

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

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

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

B. エネルギーバランスに関する研究

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

C. 吸収不良の評価に関する研究

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

IV. ま と め

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

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

文 献

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