

図3 女性におけるトレッドミル、自転車エルゴメータ、ローイングエルゴメータで、自覚的運動強度3, 5, 7の各強度で運動を行ったときのエネルギー消費量の比較(文献7)より引用)

PHRMは最大酸素摂取量と最大心拍数の推定値からエネルギー消費量を推定。AHRMは実測した最大酸素摂取量と最大心拍数からのエネルギー消費量の推定。ICはカロリメータによる実測したエネルギー消費量。  
#はAHRMとp<0.05で有意な差。  
\*はICとp<0.05で有意な差。

が小さくなった。また女性では、いずれの運動形態でも推定値からのEE推定はEEを12%過大評価していた。

### III. 加速度計法

人の動きのときに生じる加速度と酸素消費量が直線的な正相関があることを利用した方法で、近年では数10g程度の機器に圧電気の変換器、マイクロプロセッサ、メモリーを搭載し、加速度の方向と強さを測定し、数秒から数分単位で数日の加速度を測定できる機器が、比較的、安価で市販されている。加速度の方向も1方向のものから3方向(上下, 左右, 前後)の測定が可能なものまである。

加速度からエネルギー消費量を推定する式は、数種類の活動時における加速度とエネルギー消費

量を測定し作製されている。一般的に、加速度計からの推定は、歩行や走行に近い動きを精度よく推定し、上体の動きや傾斜のある地面での動き、自転車、水泳、荷物を持つての動きについての推定精度は悪い(図4)<sup>8)</sup>。そのため、スポーツ選手を対象とする場合には、歩行や走行に類似した動きが主となる種目では、比較的精度よくEEを評価できる可能性があるが、それ以外の複雑な動きをする競技では、EEの推定精度は劣ると予測される。国内で市販されている機器の精度については、比較的、活動量の多い対象について検討した、東野ら(消防官)<sup>9)</sup>、彭ら(テニスをする中年女性)<sup>10)</sup>、引原ら(高校野球選手)<sup>11)</sup>の研究は、いずれも1軸の加速度計により推定したEEがDLW法に比べて25~35%過小評価したことを報告している。最近、国産の3軸の加速度計について高齢者が対象ではあるが、加速度計による推定

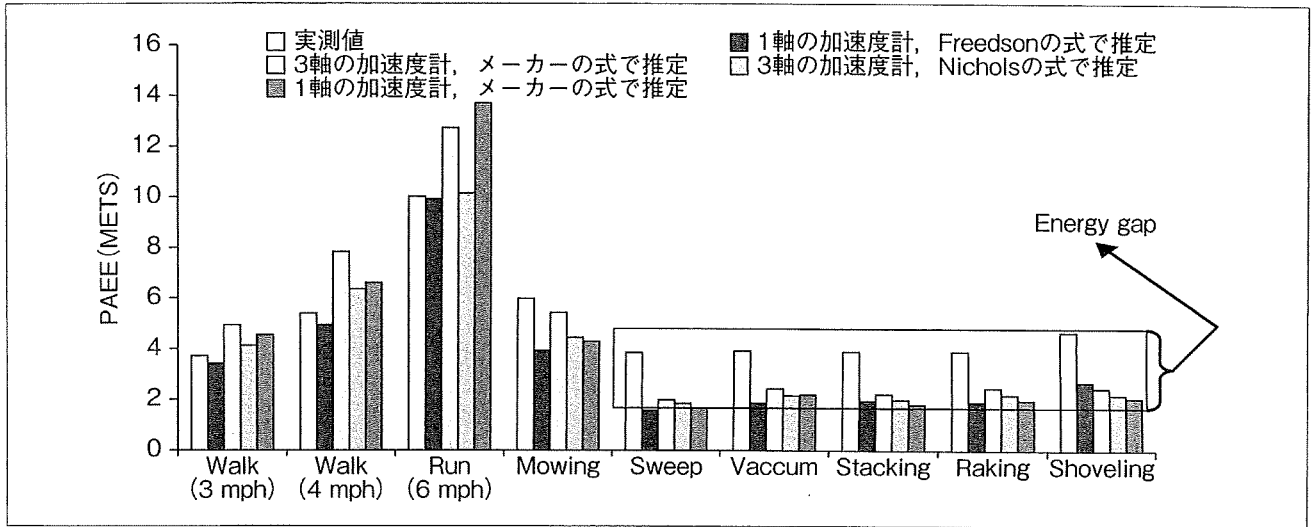


図4 異なる加速度計と推定式を使用して推定したエネルギー消費量とエネルギー消費量の実測値の比較 (文献8)より引用)

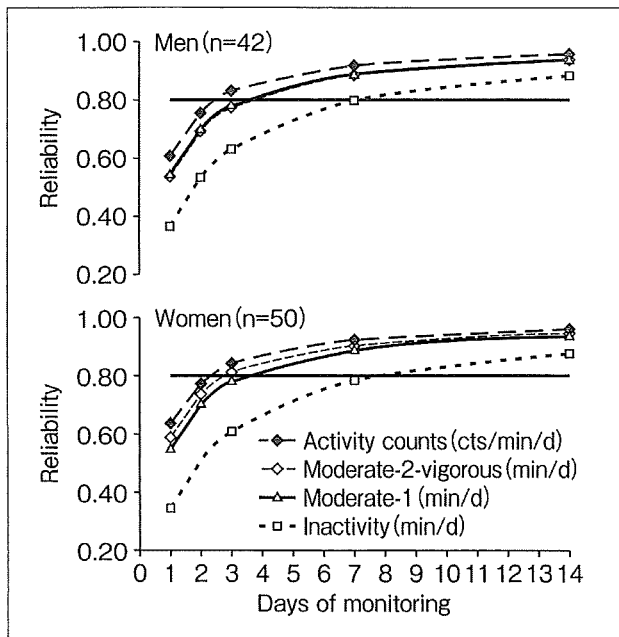


図5 男女別にみた調査日数別の加速度計による、不活動(inactivity)、移動の少ない中強度(3~6 METs)の動き(moderate-1)、移動を伴う中強度(3~6METs)、高強度の動き(moderate-2)の加速度計の平均カウント数の評価の信頼性 (文献13)より引用)

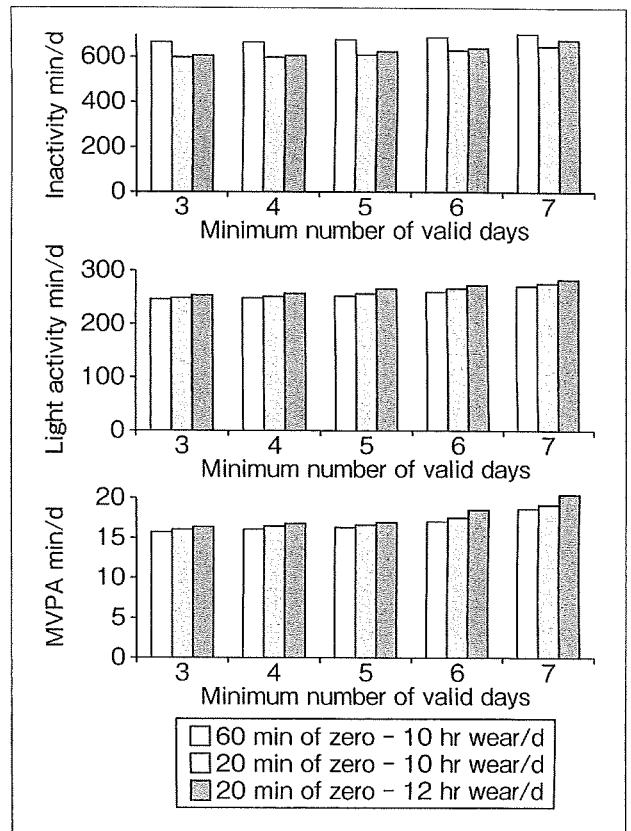


図6 調査日数(3~7日)、未装着の基準の時間(20分と60分)、最低装着時間(10時間と12時間)による不活動(inactivity)、軽度(light activity)、中~高強度(MVPA)の活動の時間 (文献14)より引用)

EE と DLW 法により測定した EE が比較的良好に一致したとする報告がなされた<sup>12)</sup>。今後、3軸の加速度計により、活動量の多い対象においても、

より良い精度で評価できる可能性が示唆される。加速度計による評価では、装着の日数や1日の装着時間が問題となる<sup>13)</sup>。調査の日数について

表4 / 加速度計による身体活動量評価の実施において推奨する方法

＜機器の選択、質、信頼性＞	
機器の選択	研究の目的に合わせて選択する。機器の精度、技術的支持、価格、データの処理方法、データの保存可能な量などを考慮する。
質と信頼性	現在の機器の多くは、加速度の測定の変動係数は3%以内であるが、それぞれの機器について確認する。
＜使用上のプロトコール＞	
多軸の加速度計の使用 装着日数の決定	多軸の加速度計の方がエネルギー消費量推定がより正確である。 データを収集するために必要な日数は、測定する項目(仕事時間、余暇時間など)、対象者(子ども、成長期、大人)、研究費の規模、明らかにしようとする仮説などにより異なる。成人では最低でも3～5日必要である。多くの年代では、平日と休日で活動内容が異なるので、7日が基本となる。
装着部位	機器が小さくなっているため、足首や手首などさまざまな部位への装着が可能であるが、腰が一般的である。左右でいくらか違いがあるので、装着部位は、固定する方がよい。
実際の場面を想定した準備	データの質の管理や加速度計の配布・収集について、実際の場面を想定して準備する。それぞれの加速度の精度のチェックを行う。加速度計の受け渡しは、できるだけ直接、行う方がよい。
コンプライアンスを高める	調査対象者のコンプライアンスを高め、加速度計を装着してもらうことが、調査の精度に影響する。
＜機器のキャリブレーション＞	
エネルギー消費量の推定 個人別のキャリブレーションをする グループ単位のキャリブレーション	適切な推定式を使用する。 エネルギー消費量の推定式は、本来は個人別に異なるので、個別に式を算定する必要がある。大規模な研究では、個別の式の作製は無理なので、個別の調整方法を検討する。 エネルギー消費量の推定式は、その式を作成するためにデータを収集した対象と同様の特性を持つ集団において有効である。似たような対象において作製された推定式を選択する。
測定間隔の設定	多くの機器は1分単位でデータを得ている。メモリー容量や研究テーマに合わせて、測定間隔を選択する。
＜データの解析＞	
解析対象日の決定 欠損値の扱い 標準的な解析方法の決定	最低の装着時間などの条件を設定し、解析の対象とする日を決める。 解析条件に合わないデータや欠損値の扱い方法を決定する。 未装着と不活動の区分、睡眠時間、解析対象日の平均の取り方など、データをまとめるルールを決定する。
活動の継続時間の決定	活動として扱う継続時間を決定する。10分未満を対象とすることは少ないが、1～2分の中断は許容すべきである。
不適切な値の扱い	加速度のはずれ値の扱いを決定する。

(文献15)より作表

は、80%の信頼性で身体活動を評価するには3～4日が必要であり、90%の信頼性で評価するには7日が必要である(図5)<sup>13)</sup>。Masseら<sup>14)</sup>は、装着時間の設定を20分以上、加速度が測定されない場合を未装着とする場合と60分以上、加速度が測定

されない場合を未装着とする場合に分け、最低の装着時間を10時間および12時間として比較した(図6)。未装着と判断する時間を長くする(60分)にすると、不活動とされる時間が長くなる。1日の必要な装着時間を長くする、あるいは調査日数

を長くすると解析対象者数は減るが、軽度および中～高強度の活動時間は長くなる。これらのデータをもとに、Wardら<sup>15)</sup>は、加速度計による身体活動量評価の注意として表4を推奨している。

### おわりに

上記の方法はいずれもEEを推定しているため、いずれも推定誤差を含んでいる。EEを評価して、適切なエネルギー量を摂取することは、選手のコンディションの管理において重要である。しかし、必要なエネルギー摂取量を決定するには、EEの推定値は、参照とするデータの一つであり、体重、身体組成、パフォーマンスなどを総合的に評価して判断する必要がある。

### 文献

- 1) Vanhees, L. et al. : How to assess physical activity? How to assess physical fitness. *Eur. J. Cardiovasc. Prev. Rehabil.* 12 : 102-114, 2005.
- 2) Ainsworth, B.E. et al. : Compendium of physical activities : an update of activity codes and MET intensities. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32 : S498-S516, 2000.
- 3) Koebnick, C. et al. : Validation of a simplified physical activity record by doubly labeled water technique. *Int. J. Obesity* 29 : 302-309, 2005.
- 4) 沼尻幸吉：活動のエネルギー代謝，増補第2版，労働科学研究所，神奈川，pp. 117-164, 1979.
- 5) Leonard, W.R. : Measuring human energy expenditure : what have we learned from the flex-heart rate method? *Am. J. Hum. Biol.* 15 : 479-489, 2003.
- 6) Li, R. et al. : A critical evaluation of heart rate monitoring to assess energy expenditure in individuals. *Am. J. Clin. Nutr.* 58 : 602-607, 1993.
- 7) Crouter, S.E. et al. : Accuracy of polar S410 heart rate monitor to estimate energy cost of exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36 : 1433-1439, 2004.
- 8) Matthews, C.E. : Calibration of accelerometer output for adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37 : S512-S522, 2005.
- 9) 東野政貴ほか：通常勤務体制下の消防官の二重標識水法による総エネルギー消費量測定. *体力科学* 52 : 265-274, 2003.
- 10) 彭 雪英ほか：中年女性における簡易エネルギー消費量推定法の検討—二重標識水法との比較. *肥満研究* 10 : 163-172, 2004.
- 11) 引原有輝ほか：高校野球選手における簡易エネルギー消費量測定法の妥当性の検討. *体力科学* 54 : 363-372, 2005.
- 12) Yamada, Y. et al. : Light-intensity activities are important for estimating physical activity energy expenditure using uniaxial and triaxial accelerometer. *Eur. J. Appl. Physiol.* 105 : 141-152, 2009.
- 13) Matthews, C.E. et al. : Sources of variance in daily physical activity levels as measured by an accelerometer. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34 : 1376-1381, 2002.
- 14) Masse, L.C. et al. : Accelerometer data reduction : a comparison of four reduction algorithms on select outcome variables. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37 : S544-S554, 2005.
- 15) Ward, D.S. et al. : Accelerometer use in physical activity : best practices and research recommendations. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37 : S582-S588, 2005.

# エネルギー

独立行政法人 国立健康・栄養研究所 健康増進プログラム

田畑 泉 *Tabata, Izumi*



推定エネルギー必要量，身体活動レベル，基礎代謝量，付加量

## 推定エネルギー必要量

2010年版の食事摂取基準では，個人と集団の両方についての確率論的考え方を明確に取り入れた。すなわち，推定エネルギー必要量について，個人の場合は「当該年齢，性別，身長，体重，および健康な状態を損なわない身体活動量を有する人において，エネルギー出納（成人の場合，エネルギー摂取量－エネルギー消費量）がゼロ（0）となる確率が最も高くなると推定される，習慣的なエネルギー摂取量の1日当たりの平均値」と定義される（図1）。当該個人のエネルギー摂取量が推

## はじめに

2009年5月下旬に日本人の食事摂取基準（2010年版）が発表された。2010年版でのエネルギーの考え方は，日本人の食事摂取基準（2005年版）に準拠している。しかし，その後の研究成果の蓄積により，多くの部分が改定されている。本誌の読者の方がたも，その改定がどのようなエビデンスや理由からなされたかを知ったうえで活用していただきたい。

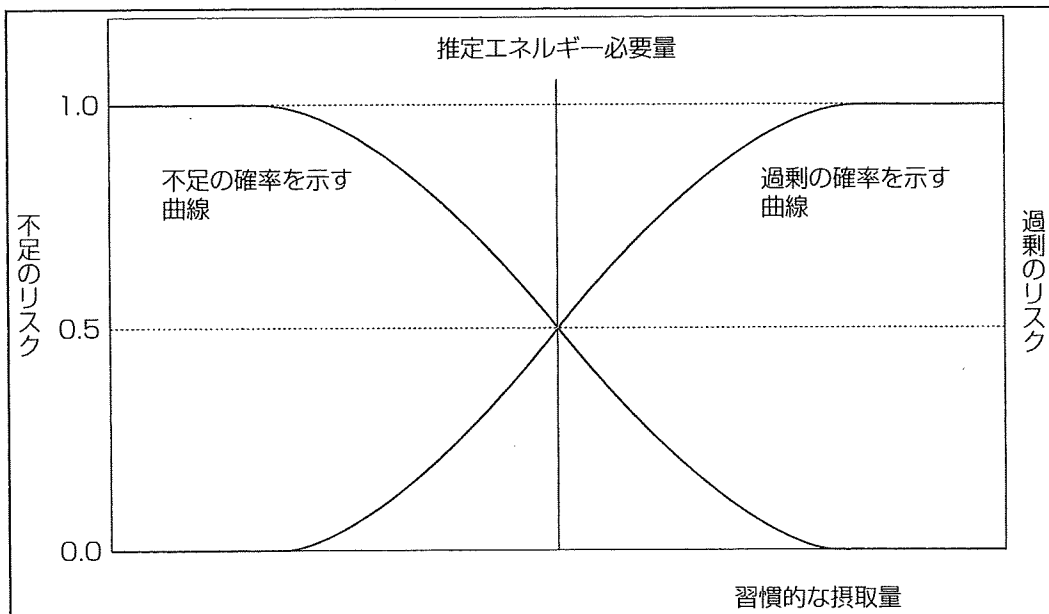


図1 推定エネルギー必要量を理解するための概念図

縦軸は個人の場合は不足または過剰が生じる確率を，集団の場合は不足または過剰の者の割合を示す。

表1 エネルギーの食事摂取基準：推定エネルギー必要量(kcal/日)<sup>1)</sup>

性別	男性			女性		
	I	II	III	I	II	III
身体活動レベル						
0～5(月)	—	550	—	—	500	—
6～8(月)	—	650	—	—	600	—
9～11(月)	—	700	—	—	650	—
1～2(歳)	—	1,000	—	—	900	—
3～5(歳)	—	1,300	—	—	1,250	—
6～7(歳)	1,350	1,550	1,700	1,250	1,450	1,650
8～9(歳)	1,600	1,800	2,050	1,500	1,700	1,900
10～11(歳)	1,950	2,250	2,500	1,750	2,000	2,250
12～14(歳)	2,200	2,500	2,750	2,000	2,250	2,550
15～17(歳)	2,450	2,750	3,100	2,000	2,250	2,500
18～29(歳)	2,250	2,650	3,000	1,700	1,950	2,250
30～49(歳)	2,300	2,650	3,050	1,750	2,000	2,300
50～69(歳)	2,100	2,450	2,800	1,650	1,950	2,200
70以上(歳) <sup>2)</sup>	1,850	2,200	2,500	1,450	1,700	2,000
妊婦(付加量)初期				+ 50	+ 50	+ 50
中期				+250	+250	+250
末期				+450	+450	+450
授乳婦(付加量)				+350	+350	+350

<sup>1)</sup>成人では、推定エネルギー必要量＝基礎代謝量(kcal/日)×身体活動レベルとして算定した。18～69歳では、身体活動レベルはそれぞれI＝1.50, II＝1.75, III＝2.00としたが、70歳以上では、それぞれI＝1.45, II＝1.70, III＝1.95とした。

<sup>2)</sup>主として、70～75歳ならびに自由な生活を営んでいる対象者に基づく報告から算定した。

定エネルギー必要量の場合、その個人のエネルギー摂取量が真のエネルギー必要量より不足する確率が50%、過剰になる確率が50%となる。

集団の場合は「当該集団全体におけるエネルギー出納(成人の場合、エネルギー摂取量－エネルギー消費量)がゼロ(0)となる確率が最も高くなると推定される、習慣的な1日当たりのエネルギー摂取量」と定義される。当該集団のエネルギー摂取量が、推定エネルギー必要量である場合、その集団のエネルギ

ー摂取量が真のエネルギー必要量より不足する割合(人数)が50%、過剰になる割合が50%となる。

実際に、3食を給食などで提供する場合、半分の対象者は不足であり、半分の対象者には過剰であるという“考え方”である。学校給食においてエネルギー不足である人が、それぞれ不足にならないように多めに食べない限り、残食がでる(過剰と感じて食べない)のは当然であるという考え方である。このように明確に規定することにより、推定エネル

表2 年齢階級別にみた身体活動レベルの群分け(男女共通)

身体活動レベル	レベルI(低い)	レベルII(ふつう)	レベルIII(高い)
1~2(歳)	—	1.35	—
3~5(歳)	—	1.45	—
6~7(歳)	1.35	1.55	1.75
8~9(歳)	1.40	1.60	1.80
10~11(歳)	1.45	1.65	1.85
12~14(歳)	1.45	1.65	1.85
15~17(歳)	1.55	1.75	1.95
18~29(歳)	1.50	1.75	2.00
30~49(歳)	1.50	1.75	2.00
50~69(歳)	1.50	1.75	2.00
70以上(歳)	1.45	1.70	1.95

ギー必要量の理解が進むと考えられる。

推定エネルギー必要量について、今回も二重標識水法により測定された総エネルギー消費量から求めた<sup>1)</sup>。食事調査から出されたものではない。これは食事調査において過小申告の問題があり<sup>2)</sup>、食事調査では少なくともエネルギー摂取量を正確に把握できないからである。とくに、病者ではその傾向が強く、注意すべきである。成人の身体活動レベル(ふつう)の推定エネルギー必要量(表1)が、国民健康・栄養調査で報告されているエネルギー摂取量よりも多いように見えるのは、前述したように食事調査特有の過小評価によるものと考えられる。国民の真のエネルギー消費量(エネルギー必要量)は、各身体活動レベルの推定エネルギー必要量により近い。

## 身体活動レベル

今回の改定で、推定エネルギー必要量に直接的な影響を与える身体活動レベルで、児童(6歳から11歳)については従来の2区分から3区分となった(表2)。これは、従来、学校体育や放課後の遊びにより十分な身体活動量が確保されているので、わが国において、

身体活動が“低い”と判定されるものは存在しないという仮定のもとに“ふつう”と“高い”の2区分であった。

しかし、海外の研究成果により、このような年齢の児童についても成人と同じ程度の身体活動レベルのばらつきがあることが報告されており、さらにわが国の児童においても、ゲーム機の普及などで戸外の身体活動が減っているという現状を鑑み、今回はじめて、この年代の児童において“低い”という身体活動レベルを設定した。近いうちに、食事摂取基準(2010年版)を基に、文部科学省において小学生の給食の基準が定められるということである。

高齢者については、身体活動レベルが高くなった。これは、2005年版策定後に発表された二重標識水法を用いた大規模研究を含め、いくつかの“健康で自立した”70歳代および80歳代についての報告<sup>3)</sup>より、それらの身体活動レベルの平均値が1.69であったため、身体活動レベルの代表値(ふつう)を1.70とした。2005年版では身体活動レベル「ふつう」が1.50であったことより、それに比例してこの年代の推定エネルギー必要量が高くなった。

表3 基礎代謝量

性別 年齢	男性			女性		
	基礎代謝基準値 (kcal/kg体重/日)	基準体重 (kg)	基礎代謝量 (kcal/日)	基礎代謝基準値 (kcal/kg体重/日)	基準体重 (kg)	基礎代謝量 (kcal/日)
1～2(歳)	61.0	11.7	710	59.7	11.0	660
3～5(歳)	54.8	16.2	890	52.2	16.2	850
6～7(歳)	44.3	22.0	980	41.9	22.0	920
8～9(歳)	40.8	27.5	1,120	38.3	27.2	1,040
10～11(歳)	37.4	35.5	1,330	34.8	34.5	1,200
12～14(歳)	31.0	48.0	1,490	29.6	46.0	1,360
15～17(歳)	27.0	58.4	1,580	25.3	50.6	1,280
18～29(歳)	24.0	63.0	1,510	22.1	50.6	1,120
30～49(歳)	22.3	68.5	1,530	21.7	53.0	1,150
50～69(歳)	21.5	65.0	1,400	20.7	53.6	1,110
70以上(歳)	21.5	59.7	1,280	20.7	49.0	1,010

70歳以上の推定エネルギー必要量は、健康な生活を営んでいる自立した高齢者から得られた値である。老人保健施設入所などの生活状況によっては、身体活動量に大きな個人差が存在すること、また体重についても高齢者では個人差がとくに大きいことを考慮し、対象者の状況(身体活動量、体重、体重の変化)を調査・把握して、エネルギー給与量を決めるようにするべきである。

## 基礎代謝量

推定エネルギー必要量は、身体活動レベルに基礎代謝量(kcal/日)を乗じて算出される。さらに、基礎代謝量は基礎代謝量基準(kcal/kg/日)に基準体重をかけたものである。今回の改定では最近の報告を基に、18歳から29歳の女性の基礎代謝基準値を低めに改定した(23.6 kcal/kg/日→22.1 kcal/kg/日)(表3)。一方、基準体重はやや増加したが、結果として、この年代の基礎代謝は1,180 kcal/日から1,120 kcal/日とやや低くなった。

## 乳児

乳児については、2005年版では母乳栄養児と人工乳栄養児を並列に示したが、2010年版では、母乳栄養児のみの推定エネルギー必要量を示し、人工栄養児の推定エネルギー必要量は、参考として本文中にのみ示した。これは、他の栄養素と同様に、エネルギーについても“目安量”という考え方を採用したことを明確にしたためである。

## 妊婦と授乳婦の付加量

妊婦において、推定エネルギー必要量を“妊婦の推定エネルギー必要量(kcal/日)=妊娠前の推定エネルギー必要量(kcal/日)+妊婦のエネルギー付加量(kcal/日)”と明確に示した。これは、妊娠中に体重が大幅に増加し基礎代謝量が増加するが、身体活動量が低下して身体活動で消費するエネルギー量が低下する結果、妊娠前の体重当たりのエネルギー消費量と妊娠時の体重当たりエネルギー消費量に差がないとする報告によるものである。し



たがって、妊婦の付加量は、妊婦の体重増加量に比例して計算された。

今回の妊婦の最終体重増加量が11 kg (2005年版では12 kg)とされたため、妊婦の付加量は低い値になった。たとえば20歳代の女性の妊娠後期における推定エネルギー必要量は、2005年版では2,550 kcalであったが、2010年版では2,400 kcalとなった。しかしこれは、妊娠中のエネルギー摂取量が以前と比べて低くてもよいということの意味するものではない。

授乳婦についても、2010年版では“授乳婦の推定エネルギー必要量 (kcal/日) = 妊娠前の推定エネルギー必要量 (kcal/日) + 授乳婦のエネルギー付加量 (kcal/日)”とし、授乳婦の推定エネルギー必要量の基準を妊娠前の値とすることを明確にした。

## 活用に当たって

エネルギーの活用に当たっては、推定エネルギー必要量に推定誤差があることを知ることが大切である。アメリカの食事摂取基準によると、推定エネルギー必要量の基礎となる成人の総エネルギー消費量の推定の標準誤差がおよそ300 kcal/日弱である。この変動が生物学的な変動と実験上の変動(二重標識水法の測定誤差など)に分けられ、それらが等しいと仮定すると、生物学的な変動は、標準偏差相当でおよそ $\pm 200$  kcal/日 ( $\div 300 \div \sqrt{2}$ )と考えられる。

たとえば、推定エネルギー必要量 (= 総エネルギー消費量) を算出した結果が2,500 kcal/日であった場合、真のエネルギー必要量がおおよそ2,300 kcal/日~2,700 kcal/日の間である確率が約68%、およそ2,100 kcal/日

~2,900 kcal/日の間である確率が約95%であると考えられる。言い換えれば、推定エネルギー必要量が2,500 kcalであっても、ほぼ3人に1人の真のエネルギー必要量が2,300 kcal未満あるいは2,700 kcalより多いということである。

今回、はじめて“活用の理論”が示された。まず、“エネルギーのバランスを適切に保つことは栄養管理の基本である”として、食事計画立案においてエネルギーがもっとも優先順位が高いことを明記している。

また、評価に当たって、食事摂取基準2005年版では、エネルギーの過不足の評価をBMIのみで行うこととなっていたが、2010年版では体重の変化も評価に用いることが示された。たとえばBMIが24であっても、最近、体重が増加している個人について体重増加を食事改善のための評価に用いる。

また、食事改善の計画については、“数カ月間(少なくとも1年以内)に2回以上の体重測定を行い、体重変化を指標として用いる”という文言が入った。

## おわりに

2010年版では、“特有の食事指導、食事療法、食事制限が適用されたり、推奨されている疾患を有する場合、または、ある疾患の予防を目的として特有の食事指導、食事療法、食事制限が適用されたり、推奨されている場合、その疾患の治療ガイドライン等の栄養管理指針を優先して用いるとともに、食事摂取基準を補助的な資料として参照することが勧められる。”という記述があり、エネルギーも他の栄養素と同じように臨床においても、一義的には各臨床科の治療ガイドラインを用いる

が、減量とか増量とかいうような各疾病の治療として減量等を行っていない場合、積極的に食事摂取基準を参考に病院食の提供を行うことを推奨している。

しかし、各臨床科における食事指導の指針には食事摂取基準の基本的な考え方との差もある。たとえば、BMI 22 を“標準体重”としてエネルギー必要量の推定に利用しようとするある臨床科の考え方は、食事摂取基準の考え方、即ち“エネルギーの過不足の評価には、BMI または体重変化を用いる。日本肥満学会の定義にしたがって、BMI の正常範囲を 18.5 以上 25.0 未満とし、測定された BMI が 18.5 未満であれば「不足」、25.0 以上であれば「過剰」と判断するのが適当であろう”として、BMI が 18.5~25.0 をエネルギーの過不足の正常範囲としているものとは異なる。また、さらに摂取すべきエネルギー量を“理想 BMI”から計算される“理想”体重 (kg) に“ある係数 (kcal/kg)”をかけて、摂取す

べきエネルギー量とする、という方法は、食事摂取基準とはかけ離れたものである。このようにして算出された“摂取すべきエネルギー量”は、エネルギーの食事摂取基準で示された推定エネルギー必要量よりもかなり低くなる。

今後、食事摂取基準と各臨床科の給食などにおける食事指導法の摺り合わせが必要と考えられる。

#### 文献

- 1) Ishikawa-Takata K, Tabata I, Sasaki S, et al. Physical activity level in healthy free-living Japanese estimated by doubly-labelled water method and International Physical Activity Questionnaire. *Eur J Clin Nutri* 2008; 62 (7): 885-91.
- 2) Okubo H, Sasaki S, Rafamantanantsoa HH, Ishikawa-Takata K, et al. Validation of self-reported energy intake by a self-administered diet history questionnaire using the doubly labeled water method in 140 Japanese adults. *Eur J Clin Nutri* 2008; 62(11): 1343-50.
- 3) Manini TM, Everhart JE, Patel KV. Daily activity energy expenditure and mortality among older adults. *JAMA* 2006; 296 (2): 171-79.

特集

運動と新しい食事摂取基準2010



# 運動のエネルギー，食事のエネルギー

田畑 泉

身体活動中に消費されるエネルギーの単位は、ジュール (J) やキロカロリー (kcal) であらわすことができる。これは、身体活動中に容易に測定できる酸素摂取量から推定されるものである。一方、食事から供給されるエネルギーはその化学的構造から推定されるエネルギー量をもとに算出されたカロリー (cal)、ジュールによりあらわすことができる。つまり、エネルギー (単位: ジュール) という概念を用いれば消費エネルギー量、摂取エネルギー量という両者は同一の単位系で表現されるので、一義的に両者は比較可能で、その差がエネルギー収支となり、それが生物であれば体重の変化に結びつく。しかし、両者 (体育学と栄養学) の研究史が異なっていることもあり、現在では単純に同一の机上で論じることが難しい。ここでは、両“エネルギー”研究の、特に体育分野では馴染みの浅い栄養学 (食事学) における摂取エネルギーの最近の話題について、身体活動・運動時のエネルギー消費量に関する研究を行ってきた者の立場で述べることにする。

## 1. 消費エネルギー

身体活動で消費されるエネルギーは、行なった身体活動の仕事量 (ジュール) を効率で割ることによっても (逆にいうと、行なった仕事 (ジュール) を消費されたエネルギー (ジュール) で割っ

たもの (それに 100 を乗じたものが効率) 求められる。生化学的効率 (解放されたギブスの自由エネルギーに対する ATP (アデノシン 3 リン酸) = ギブスの自由エネルギー =  $-7.3\text{kcal}$ ) の産生量 (産生個) は同一と考えられるので、効率の個人間の差は、代謝特性 (筋線維組成) や力学的特性 (下肢長や関節長等) による。体育学では当該身体活動・運動中のエネルギー消費量を酸素摂取量として求めてきた。これは、エネルギー消費量の測定という意味よりも、当該身体活動の相対的強度 (最大酸素摂取量に対する%) を求めるという観点が大きかったと思われる。また、その測定も、身体活動・運動中のみであり、栄養学で必要な 1 日全体のエネルギー消費量として求めようという観点はなかったと思う。

## 2. 栄養学 (食事学) からにおけるエネルギー

栄養学では、習慣的な適正な摂取エネルギー量を求めるために、① 1 日あるいは一定期間中のエネルギー消費量を、体育学でやっているのと同様に酸素摂取量として測定し、体重の変化のない場合、それと等量のエネルギー量を摂取エネルギーとする方法や、② 実際の摂取エネルギー量を食事記録法により推定し、同じように体重変化のない場合は、それを適正なエネルギー量とする方法が

用いられてきた。①は、1日あるいは数週間、ずっと呼気ガス収集用のマスクを付け、常に験者が付き添い酸素摂取量測定をすることになる。これは現実的に無理である。したがって、生活におけるすべての身体活動を記録し、既知の当該運動・身体活動中の酸素摂取量と実施時間の合計から、エネルギー消費量を求めることになる。もちろん、いくつかの研究施設にはカロリーメータ<sup>1)</sup>といて、密閉された小さな部屋（メタボリックチャンパー）の中で、マスクを付けることなく自由な生活を送っているヒトの酸素摂取量を、流量と小部屋の入り口および出口の酸素濃度および二酸化炭素濃度から求め、一日中のエネルギー消費量を測定するという方法もある。しかし、この場合、生活が小部屋の中に限定されてしまい、やはり現実のエネルギー消費量を測定することには無理がある。

一方、記録紙法によるエネルギー消費量の評価法は、質問紙法を用いている場合が多く、その方法論上の限界から、正確なエネルギー消費量の評価は難しく、系統的な過小申告や過大申告があることが報告されている。記録紙法で問題なのは、歩行以下の低い強度の身体活動・運動（強度：3メッツ未満）の実施評価が難しいこともある。ちなみに、エクササイズガイド2006では、身体活動では週23エクササイズ（メッツ・時）、そのうち運動では4エクササイズ（メッツ・時）を生活習慣病発症予防に必要な身体活動量・運動量として国民に推奨しているが、この場合には、3メッツ未満の強度の身体活動・運動をカウントしないことにしている。これは、このような低い強度の身体活動（歩行の強度よりも低い）は、何分行なったなどは記憶することが困難であり、エビデンスが低いからである。

そこで、この20年において採用されたのは二重標識水法による平均的なエネルギー消費量の“測定”による適正なエネルギー摂取量の策定方法<sup>2)</sup>である。二重標識水（doubly labeled water）とは、 $^3\text{H}_2\text{O}$ という通常の水（ $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ ）の原子量の異なる水素と酸素からなる“水”の同位

体である。二重標識水は自然界にもごく微量存在し、さらに、放射性同位体とは異なり、分裂して有害な放射線を発生することのない“安定”同位体であることから安全性の確保された“水”である。実際に二重標識水法は沸点の差により通常の水から生成される。実際の測定では、体内の濃度が通常の2倍程度になるような量の二重標識水を飲み、その後の体内濃度（体内水分と同一と考えられる尿の濃度として測定される）の変化を質量分析法により、定量化する。摂取された水素は水として排出される。一方、酸素は水と二酸化炭素に代謝されるので、その差は二酸化炭素の排出量となる。二酸化炭素排出量をRQ（respiratory quotient：呼吸商（酸素摂取量÷二酸化炭素排出量））で除すと、酸素摂取量が求められ、それからエネルギー消費量が計算される。これは、対象者を拘束しないでエネルギー消費量が測定できる夢のような方法である。しかし、最近でも1人分の二重標識水（約200mL）の価格が10～15万円であり、さらに質量分析機が一台3,000万円程度することから、このような研究を多人数の対象群に広げることが困難であり、日本人の食事摂取基準（2005年版）も140名程度の値から日本人全体の推定エネルギー必要量を決めているのが現実である。

### 3. 食事調査における過小申告

このように二重標識水法により測定されたエネルギー消費量からいろいろなことがわかってきた。まず、食事調査において過小申告があることである。Okuboら<sup>3)</sup>は、欧米と同様に食事調査から得られたエネルギー摂取量の計算値が、二重標識水法により測定されたエネルギー消費量よりも低いことを報告し、食事調査のエネルギーに関する過小申告がわが国でも存在することが確認された。Okuboらは、食事調査から計算されたエネルギー摂取量（EI）は、エネルギー消費量（TEE）と比較して、男性で16%、女性で6%少なく申告しているとしている。そして、EI/TEE

が0.84未満を過小申告、0.84~1.16は適正申告、1.16より大きい場合は過大申告と評価したところ、男性の58%、女性の32%が過小申告、男性の10%、女性の18%が過大申告に分類され、また、エネルギー摂取量とエネルギー消費量の相関を検討したところ、相関係数は男性0.34、女性0.22であった。そこで、申告精度(EI/TEE)に及ばず要因を調べたところ、男性では身体活動レベル、飲酒頻度(回/週)、理想体重と現在体重の差(kg)、ダイエット経験が、女性では年齢、BMI、学歴が関係していることがわかった。つまり、自己申告によるエネルギー摂取量を評価する際には、食事以外の因子を考慮することの必要性が明らかになったとしている。欧米の報告では、過小申告は、食事量と関係の深い疾病である肥満症や糖尿病の患者に顕著であることも報告されている。これは、“食べないように指導されているヒトは、食べていてもできるだけ少なく申告する”ということである。したがって、栄養学で従来用いられてきた摂取エネルギー量から適切なエネルギー必要量を定めることはできないというのが結論である。また、この傾向が集団であらわれているのが、毎年国民健康・栄養調査で発表される国民のエネルギー摂取量の(見かけの)減少である。実際、日本人の食事摂取基準(2010年版)で示されているエネルギーの食事摂取基準の“ふつう”(平均的な日本人)の適切な摂取エネルギー量は、国民健康栄養調査で発表される値よりも1割から2割少ない。これも過小申告によるものであると考えられる。したがって、本当は日本人の摂取エネルギー量が低下しているとはいえないと考えられる。

一方、身体活動の指標として1日の歩数がある。厚生労働省が毎年実施している国民健康・栄養調査においても、歩数の測定は1日である。これは、対象者の負担を減らし、データの欠損をなるべく少なくするためにやむをえないものである。歩数計を付けると通常よりも身体活動量が増加し、“通常の”歩数よりも多くなることがある。われわれは、2週間程度の比較的長期にわたって歩数の調

査をして、“日常の”歩数を算出している。国民は理想的な姿、つまりより低い摂取エネルギー量、より多い消費エネルギー量となるように、無意識に報告・行動するのではないだろうか。

#### 4. より簡便である程度正確なエネルギー消費量推定法

最近では、質問紙法よりも正確なエネルギー消費量を客観的な方法で測定する方法論も開発されている。それは、歩数計の進化した加速度計を内蔵した活動量計である。最初は1次元の加速度計を搭載したものが開発され、歩数ばかりではなく、その強度も定量化することにより、歩行を中心としたエネルギー消費量をより正確に推定することが可能となった。1次元の加速度計では、歩行以外の消費エネルギー量を推定することができないために、それにより計算される1日の消費エネルギー量は、真の消費エネルギーよりも低い値となる。したがって、加速度計から推定された消費エネルギー量と食事調査によるエネルギー摂取量がほぼ同程度であるというような報告があるが、これはどちらも“真の”エネルギー消費量・摂取量よりも低いエネルギー指標が“たまたま”同じような数字になったに他ならない。

最近では3次元加速度計を搭載した活動量計が開発され、歩行による活動の検知が中心である1次元加速度計搭載の活動量計ではできなかった生活活動(上肢の活動が大きな部分を占める)の活動量が、より正確に推定できるようになっている。

#### 5. エネルギー必要量の個人差

日本人の食事摂取基準(2010年版)では、上述の二重標識水法を用いて、個人のエネルギー消費量に最も大きな影響を与える身体活動レベル(physical activity level: PAL)毎に、当該個人あるいは集団に適切な摂取エネルギー量を推定エネルギー必要量として示している(表1)<sup>4)</sup>。しかし、この推定エネルギー量には、大きな推定誤差

表 1 エネルギーの食事摂取基準 (推定エネルギー必要量 (kcal/日) (厚生労働省, 2009<sup>1)</sup>)

性別	男性			女性		
	I	II	III	I	II	III
身体活動レベル (PAL)						
0~5 (月)	—	550	—	—	500	—
6~8 (月)	—	650	—	—	600	—
9~11 (月)	—	700	—	—	650	—
1~2 (歳)	—	1,000	—	—	900	—
3~5 (歳)	—	1,300	—	—	1,250	—
6~7 (歳)	1,350	1,550	1,700	1,250	1,450	1,650
8~9 (歳)	1,600	1,800	2,050	1,500	1,700	1,900
10~11 (歳)	1,950	2,250	2,500	1,750	2,000	2,250
12~14 (歳)	2,200	2,500	2,750	2,000	2,250	2,550
15~17 (歳)	2,450	2,750	3,100	2,000	2,250	2,500
18~29 (歳)	2,250	2,650	3,000	1,700	1,950	2,250
30~49 (歳)	2,300	2,650	3,050	1,750	2,000	2,300
50~69 (歳)	2,100	2,450	2,800	1,650	1,950	2,200
70以上 (歳) <sup>2)</sup>	1,850	2,200	2,500	1,450	1,700	2,000
妊婦 初期 (付加量)	/			+ 50	+ 50	+ 50
妊婦 中期 (付加量)				+ 250	+ 250	+ 250
妊婦 末期 (付加量)				+ 450	+ 450	+ 450
授乳婦 (付加量)				+ 350	+ 350	+ 350

成人では、推定エネルギー必要量=基礎代謝量 (kcal/日) × 身体活動レベルとして算定した。18~69歳では、身体活動レベルはそれぞれ I = 1.50, II = 1.75, III = 2.00としたが、70歳以上では、それぞれ I = 1.45, II = 1.70, III = 1.95とした。

注) 主として、70~75歳ならびに自由な生活を営んでいる対象者に基づく報告から算定した。

がある。アメリカの食事摂取基準によると、推定エネルギー必要量の基礎となる成人の総エネルギー消費量の推定の標準誤差がおよそ 300kcal/日弱であり、この変動が生物学的な変動と実験上の変動 (二重標識水法の測定誤差など) に分けられ、それらが等しいと仮定すると、生物学的な変動は、標準偏差相当でおよそ  $\pm 200\text{kcal/日}$  ( $= 300 \div \sqrt{2}$ ) と考えられる。たとえば、推定エネルギー必要量 (= 総エネルギー消費量) を算出した結果が 2,500kcal/日であった場合、真のエネルギー必要量がおおよそ 2,300kcal/日~2,700kcal/日の間である確率が約 68%、およそ 2,100kcal/日~2,900kcal/日の間である確率が約 95%であると考えられる。言い換えれば、推定エネルギー必要量が 2,500kcal であっても、ほぼ 3 人に 1 人

の真のエネルギー必要量が 2,300kcal 未満あるいは 2,700kcal より多いということである。つまり、身体活動レベル (表 2)<sup>1)</sup> を決めて摂取エネルギー量を定めても、それが当該本人の“真の”エネルギー必要量からかなり離れている場合があるということである。したがって、食事摂取基準では、推定エネルギー必要量を定めて終わりではなく、まずは推定エネルギー必要量で摂取エネルギーを決めるが、その後の体重の変化等を評価 (測定) して、摂取エネルギーを調整するとしている。エネルギー収支が少しでも狂うと体重が増えるというのは真実であるが、なかなか栄養学の方法論は、それを支えるだけの精密性はない。栄養学では、それを“わからない”と開き直った上で、実際の活用を見出そうとしている。

表2 年齢階級別にみた身体活動レベル(厚生労働省, 2009<sup>4)</sup>)

身体活動レベル	レベルⅠ	レベルⅡ	レベルⅢ
1~2 (歳)	—	1.35	—
3~5 (歳)	—	1.45	—
6~7 (歳)	1.35	1.55	1.75
8~9 (歳)	1.40	1.60	1.80
10~11 (歳)	1.45	1.65	1.85
12~14 (歳)	1.45	1.65	1.85
15~17 (歳)	1.55	1.75	1.95
18~29 (歳)	1.50	1.75	2.00
30~49 (歳)	1.50	1.75	2.00
50~69 (歳)	1.50	1.75	2.00
70以上 (歳)	1.45	1.70	1.95

### 6. 身体活動・運動により消費されるエネルギーと摂取エネルギーの差

カロリーという同じ単位をもつことゆえに、栄養学と体育学が同じ土俵にのることができ、特にそれが今、社会的注目度の高い体重減少のツールであることもあり、さしあたって、両者の差(収支)が積もり積もって体重の増減ということになり、それがメタボリックシンドロームの解消につながるかと考えるのは理論的には正しい。しかし、ある期間、たとえば1年間における有意な(筆者個人的には3kg)の体重の増加は、1日の差としてみれば約60kcalほどである。この1日60kcalの負のバランスを身体活動・運動で30kcal、食事で30kcalとしたとする。30kcalといえば食事としては、摂取エネルギー量の個人内差(約20%、約500kcal)と比較すると小さく、1日の差は感覚的に知り得ることは難しい。“昨日は食べすぎた。あるいは今日、食べ過ぎたと思った場合は、多分数100kcalの食べ過ぎである”と考えられる。そういう意味では、人の摂取エネルギー量は案外正確に制御されている。脳の飽食中枢である視床下部腹内側核(VMH)を破壊すると著しく肥満のラットができることから、ヒトの食は飽食中枢と飢餓中枢という脳下垂体のレベルで

大枠は制御されていると考えられる。これに加えてヒトでは、大やせ願望等により高度の脳レベルの活動により摂食が制御されていると考えられ、1日のエネルギーを規定して食事指導するのは難しいと推測される。一方、身体活動・運動は30kcalでも1,000歩(10分の歩行)としてみる事が可能である。つまり、“今日は、やせるための努力をしたかしなかったか否か”が自覚できる。したがって、保健指導では1日1日としては運動の方が指導しやすいのではないかと推測される。一方、前述したように食事摂取の面からは30kcal程度の差はみえないので、保健指導では、大食いをするかしないかとか、夜食をするかしないかというような食事習慣として評価することが大切であろう。1日というよりも長いスパンでの指導が必要となる。もちろん、日本人の食事摂取基準(2010年版)においても食事については1日単位ではなく、習慣的な摂取量として値が出ている。

### 7. 運動のエネルギーとやせるためのエネルギー

運動や身体活動時のエネルギー消費量は一般的には、当該身体活動時の全エネルギー(全酸素摂取量)をいう。一方、減量のために有効なエネルギー消費量は全エネルギー消費量から安静時のエネルギー消費量を引いたものとなる。メッツを用いて体重(kg)当たりの酸素摂取量でみると全酸素摂取量はメッツ値×3.5mL/kg/minで、安静時の酸素摂取量が1メッツ(3.5mL/kg/min)であることから、実際に減量に有効なエネルギーは、(メッツ値-1)×3.5mL/kg/minとして計算される。エクササイズガイド2006<sup>5)</sup>には、各運動におけるエネルギー消費量の値が記してある。

### おわりに

厚生労働省が2006年に発表したエクササイズ

ガイド2006には、食事習慣を変えずにメタボリックシンドロームを解消する運動量として週当たり10エクササイズ（メッツ・時）を実施することを推奨している<sup>6)</sup>。これは、運動量と内臓脂肪の減少には量一反応関係があり、10エクササイズ/週以上行なわないと内臓脂肪量の減少がみられなかったからである<sup>7)</sup>。10エクササイズ/週の運動を行なっても、そのみによる腹囲および体重の減少速度はそれぞれ0.3cm/月、0.3kg/月である。しかし、これを1年続ければ4cm、4kgである。日本肥満学会ではサンサン運動（体重3kg、腹囲3cm）の減少を推奨している。これは体重の5%程度の減少が、肥満による疾患の発症を明らかに抑える効果があるという研究成果をもとにしている。このことから、10エクササイズ/週の運動を1年続けることにより、疾患の予防が期待できる。

しかし、目にみえる腹囲や体重に対する効果としては、適切であれば食事指導の方が大きいように見える。したがって、今、保健指導の現場では、運動による体重減少という効果に疑問をもっている指導者がいることも事実である。しかし、体重減少という観点からのみ運動をみることは、運動によるメタボリックシンドローム解消という観点からも運動の意義を矮小化するものであると考える。たしかに、運動による体重減少速度は遅い。しかし、運動によるメタボリックシンドロームの腹囲以外への効果は明らかである。すなわち、運動は、血中中性脂肪を下げ、HDLコレステロールを上昇させ、血圧を低下させ、さらに血糖値を下げる。また、週当たり10エクササイズという運動量は、日本動脈硬化学会等の臨床科が運動療法として用いている運動量と同等である。したがって、筆者は常々、特定保健指導において運動指導者が週当たり10エクササイズの運動量を対象者に指導して、実際に行なってもらったら、生活習慣病の予防が大きく前進すると考えられるの

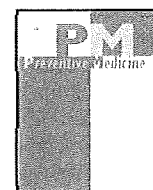
で“是非、1週間10エクササイズを習慣化するように指導して下さい”と“真の健康運動指導者”には言っている。従来10エクササイズは速歩（4メッツ）では2.5時間であるから、1日30分なら週5日というふうに指導するように考えていたが、運動を習慣化するという考え方をとると、出勤日の毎日、どこかに速歩を1日合計30分入れるということにすると容易であると考えられる。というのは、週5日というやはり人間はいろいろな理由を付けて実施日を遅らせて、結局、到達目標をクリアできないことが多いと推測されるからである。

今後、国民に必要な減量指導のための保健指導は、体育学と栄養学からの取り組みの融合が必要であり、今後の大きな研究領域であると考えられる。

#### [文 献]

- 1) [http://www.linkdediet.org:hn/modules/pico/index.php?content\\_id=158](http://www.linkdediet.org:hn/modules/pico/index.php?content_id=158)
- 2) [http://www.linkdediet.org:hn/modules/pico/index.php?content\\_id=140](http://www.linkdediet.org:hn/modules/pico/index.php?content_id=140)
- 3) Okubo H, et al: Validation of self-reported energy intake by a self-administered diet history questionnaire using the doubly labeled water method in 140 Japanese adults. *Eur J Clin Nutr.* 62: 1343—1350, 2008
- 4) 厚生労働省：「日本人の食事摂取基準」（2010年版）。2009年5月（<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/sessyu-kijun.html>）
- 5) 厚生労働省：健康づくりのための運動指針 2006（エクササイズガイド2006）。2006年7月（<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/undou01/pdf/data.pdf>）
- 6) 厚生労働省：生活習慣病予防（健康づくり）特集。（<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu/index.html>）
- 7) Ohkawara K, et al: A dose-response relation between aerobic exercise and visceral fat reduction: systematic review of clinical trials. *Int J Obes.* 31: 1786—1797, 2007





## Association of physical activity and neighborhood environment among Japanese adults

Shigeru Inoue<sup>a,\*</sup>, Norio Murase<sup>b</sup>, Teruichi Shimomitsu<sup>a</sup>, Yumiko Ohya<sup>a</sup>, Yuko Odagiri<sup>a</sup>, Tomoko Takamiya<sup>a</sup>, Kaori Ishii<sup>a</sup>, Toshihito Katsumura<sup>b</sup>, James F. Sallis<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Department of Preventive Medicine and Public Health, Tokyo Medical University, 6-1-1, Shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo, 160-8402 Japan

<sup>b</sup> Department of Sports Medicine for Health Promotion, Tokyo Medical University, Japan

<sup>c</sup> Department of Psychology, San Diego State University, USA

### ARTICLE INFO

Available online 30 January 2009

#### Keywords:

Walking  
Exercise  
Built environment  
Public health

### ABSTRACT

**Objective.** Although environmental attributes related to physical activity is an emerging research topic, most studies have been reported from Western countries. This study aimed to examine the relationship between perceived environment and physical activity among Japanese adults.

**Methods.** The sample included 492 adults aged 20 to 74 years (61%: male) living in Tokyo and Himeji in Japan. Primary measures were the short version of International Physical Activity Questionnaire and its Environmental Module. Data were collected between October and December 2003. Odds ratio (OR) of meeting physical activity recommendations was examined in relation to neighborhood environmental characteristics, adjusted for age, sex, employment status and education.

**Results.** Three perceived environmental attributes were significantly related to walking 150 min/week or more: high residential density (OR=1.82), good access to shops (OR=1.65) and presence of sidewalks (OR=1.65). Two environmental attributes, access to shops (OR=2.32) and the presence of bike lanes (OR=1.57), were related to high levels of moderate to vigorous physical activity (950 MET\*min/week or more).

**Conclusion.** Associations of physical activity with four environmental attributes emerged in this Japanese sample. These results support the generalizability of findings on physical activity environments across Western countries and Japan.

© 2009 Elsevier Inc. All rights reserved.

### Introduction

Regular physical activity reduces the risk of mortality, incidence of cardiovascular diseases, diabetes and some kinds of cancers (U.S. Department of Health and Human Services, 1996). However, large proportions of the population in Japan and in many countries in the world are insufficiently physically active (Haskell et al., 2007; Sjöström et al., 2006). According to pedometer measurements in the Japan National Health and Nutrition Survey 2005, only 21.3% of Japanese walk more than 10,000 steps a day (Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan, 2008). Physical activity promotion is one of the priorities of public health, but to establish effective intervention strategies, evidence of physical activity correlates is needed. To date, many studies have focused on individual demographics and psychological correlates. More recent research has revealed that certain neighborhood environmental characteristics, such as residential density, access to destinations, walking facilities, aesthetics, and

safety also are consistently associated with physical activity (Saelens and Handy, 2008; Gebel et al., 2007; Trost et al., 2002; Sallis and Owen, 2002; Hill et al., 2003; Humpel et al., 2002; Owen et al., 2004). Manipulations of environmental variables are expected to have a long-term and substantial impact on the population, which could complement the usually short-term effects of individually-targeted interventions.

Although an increasing number of studies examining the association between physical activity and environment have been reported, most studies were conducted in Western countries, especially in the United States and Australia (Humpel et al., 2002; De Bourdeaudhuij et al., 2003; Saelens et al., 2003; Owen et al., 2004; Wendel-Vos et al., 2007). On the other hand, few studies on physical activity and neighborhood environments could be located in English language journals from Asian countries including Japan (Takano et al., 2002). Limited variability of environmental attributes where the studies were conducted is one of the limitations of this research area. Thus, one of the directions of this research area is to conduct studies in a greater variety of cultures and geographic settings and to examine if evidences from US and Australia could be generalized to other countries.

\* Corresponding author. Fax: +81 3 3353 0162.  
E-mail address: [inoue@tokyo-med.ac.jp](mailto:inoue@tokyo-med.ac.jp) (S. Inoue).

Japan is the most economically developed Asian country, but it has a population density that is more than ten times greater than that of the US. Because both the culture and physical environment are very different from the US and Australia, while the level of economic development is roughly comparable, Japan is an interesting country in which to test the generalizability of built environment–physical activity associations. The physical activity environment in Japan appears to be different from the US and Australia on several dimensions. For instance, in contrast to Australia, the low proportion of commuters who drive their cars to work, only 32% in the Tokyo metropolitan area and 36% in the Osaka metropolitan area (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, 2008), compared with 80.1% in Australia (Australian Bureau of Statistics, 2006), may be due to environmental differences, such as the extent of walkable environment and the development of public transportation network, between the two countries. The difference of overweight prevalence ( $BMI \geq 25 \text{ kg/m}^2$ ) between Japan; 27.6% in males, 21.4% in females (Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan, 2008) and the US; 70.8% in males, 61.8% in females (Ogden et al., 2006) may be partially explained by the differences in environment and physical activity.

In the present study, we examined the association between the perceived neighborhood environment and physical activity among Japanese adults using the International Physical Activity Questionnaire and its Environmental Module.

## Methods

### Participants and data collection

Four hundred and ninety-two Japanese adults aged 20 to 74 years (61%: male) were recruited. Study collaborators at eight worksites, including four universities and four private companies, approached employees at the worksites or their acquaintances as potential research volunteers. Seven of eight worksites were located in and around the Tokyo metropolitan area, while one was in Himeji city,

located in western Japan, which has a population of about 536,000. If the person was interested in joining the survey, the collaborator delivered a study consent form and a set of self-administered questionnaires for data collection. To examine the test–retest reliability, 93 of the 492 participants were asked to answer the same questionnaire after a 7-day interval. Written informed consent was obtained from all participants. Data were collected between October 2003 and December 2003.

### Environmental measure and its translation

The International Physical Activity Questionnaire Environment Module (IPAQ-E) was used to measure perceived neighborhood environmental attributes related to physical activity. This questionnaire was originally developed as an optional component of the International Prevalence Study of Physical Activity (Craig et al., 2003). Most questions were taken or adapted from previous measures developed in the United States (Addy et al., 2004; Saelens et al., 2003). The IPAQ-E consists of 17 questions; 7 core items, 4 recommended items, and 6 optional items. In this study, we used 11 items, including core and recommended items (Table 1). These questions refer to a neighborhood environment where the person could walk within 10 to 15 min from their residences. Nine of 11 items, excluding residential density and household motor vehicles, involve statements which explain neighborhood features believed to be related to physical activity, followed by four response options: strongly disagree, somewhat disagree, somewhat agree and strongly agree. The residential density item asks about the main types of houses in neighborhoods (e.g., detached single-family residences, condos, apartments), with higher scores indicating higher densities. The question about motor vehicles concerns the number of motor vehicles in the participant's household. The Swedish version of IPAQ-E has shown good test–retest reliability (Alexander et al., 2006).

In this study, the Japanese version of the IPAQ-E was used. The original English version was directly translated into Japanese. The

**Table 1**  
Items of international physical activity questionnaire environmental module in original English version

Scale composition	Items	Response categories
Residential density	What is the main type of housing in your neighborhood?	Detached single-family residences/townhouses, row houses, apartments, or condos of 2–3 storeys/mix of single-family residences and townhouses, row houses, apartments or condos/apartments or condos of 4–12 storeys/apartments or condos of more than 12 storeys
Access to shops	Many shops, stores, markets or other places to buy things I need are within easy walking distance of my home. Would you say that you...	
Access to public transport	It is within a 10–15 minute walk to a transit stop (such as bus, train, trolley, tram) from my home. Would you say that you...	
Presence of sidewalks	There are sidewalks on most of the streets in my neighborhood. Would you say that you...	
Presence of bike lanes	There are facilities to bicycle in or near my neighborhood, such as special lanes, separate paths or trails, shared use paths for cycles and pedestrians. Would you say that you...	
Access to recreational facilities	My neighborhood has several free or low-cost recreation facilities, such as parks, walking trails, bike paths, recreation centers, playgrounds, public swimming pools, etc. Would you say that you...	Strongly disagree/somewhat disagree/somewhat agree/strongly agree
Crime safety	The crime rate in my neighborhood makes it unsafe to go on walks at night. Would you say that you...	
Traffic safety	There is so much traffic on the streets that it makes it difficult or unpleasant to walk in my neighborhood. Would you say that you...	
Social environment	I see many people being physically active in my neighborhood. Physically active means doing things like walking, jogging, cycling, or playing sports and active games. Would you say you...	
Aesthetics	There are many interesting things to look at while walking in my neighborhood. Would you say that you...	
Household motor vehicles	How many motor vehicles in working order (e.g., cars, trucks, motorcycles) are there at your household?	Number of household motor vehicles

translation was conducted according to the standardized translation manual of IPAQ (IPAQ website, 2008). At first we made sure of the concept of each question via discussion with the IPAQ Reliability and Validity Committee. Then the questionnaire was translated into Japanese by two independent physical activity researchers. These translations were reviewed by a group of bilingual individuals to develop the first draft. After the pilot test of the first draft, the wording was revised. Then a bilingual person who was not a researcher and who had no conflicts of interest in this research back-translated it into English. Finally, the translation was checked up by the IPAQ Reliability and Validity Committee. Then, the Japanese version of IPAQ-E was adopted. Table 1 indicates the contents of IPAQ-E according to the wording of the original English version. The Japanese version of IPAQ-E is available from website (Japanese version of IPAQ-E website, 2008).

#### Physical activity measure

To assess physical activity, the self-administered, short form of IPAQ was used (Craig et al., 2003; Murase et al., 2002). Participants were asked about the frequency and duration of vigorous activity, moderate activity and walking for all purposes such as transportation, work, recreation and household chores. To avoid overlap, moderate activity did not include walking.

In this study, two variables, walking time (min/week) and total moderate to vigorous physical activity (MVPA) energy expenditure (MET\*min/week) were used as dependent variables. MET means Metabolic Equivalent and is a unit of intensity of activity. One MET is equivalent to the intensity of resting while sitting. Walking time was calculated using frequency and duration of walking. MVPA was calculated according to the IPAQ scoring manual (IPAQ website, 2008). MET values used in the calculation were 8 METs for vigorous activity, 4 METs for moderate activity and 3.3 METs for walking.

The reliability and validity of this questionnaire in 12 countries, including Japan, has been reported. Test–retest reliability for total physical activity of the Japanese IPAQ was adequate (Spearman's  $\rho=0.76$ ). Criterion validity for total physical activity assessed against the accelerometer was comparable to other survey measures (Spearman's  $\rho=0.32$ ) (Craig et al., 2003).

#### Statistical analyses

The reproducibility of the Japanese IPAQ-E was evaluated by test–retest with a 7-day interval, calculating the Spearman rank-correlation coefficient and Kappa statistic for each question.

To examine the relationship between the neighborhood environment as the independent variable and physical activity, i.e. walking time and MVPA, as the dependent variable, odds ratios of meeting walking and physical activity criteria were examined using logistic regression models. For the analysis, environmental variables were converted into dichotomous variables. For residential density, the choice of 'detached single-family residences' formed a category indicating low residential density, while others were included in another category indicating high residential density. As to the number of household motor vehicles, responses were categorized as 'none' and as 'one or more'. Regarding other questions, responses were classified into two categories of agree (strongly agree and somewhat agree) and disagree (somewhat disagree and strongly disagree). For walking, participants were classified as active if they walked 150 min or more, consistent with current physical activity guidelines (Haskell et al., 2007). MVPA was divided into two levels at the median of all participants: >950 MET\*min/week or more, and <950 MET\*min/week. To calculate odds ratios, the references were environmental characteristics expected to be associated with lower levels of physical activity, meaning that an odds ratio of more than 1.00 indicates an expected positive association. All odds ratios were adjusted for reported age, sex, employment status and educational level.

Significance was considered to be at a level of  $P<0.05$ . Analyses were conducted by SPSS ver15.0 for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

#### Results

Table 2 presents the demographic characteristics of participants. The sample included 62% of male. Age was widely distributed from 20 to 74 years, and the mean age (SD) was 42 (12) years. The locations of participants were mainly urban settings. In this population, 43% of participants walked more than 150 min/week. The characteristics of 93 participants for test–retest reliability were similar to the overall sample.

Spearman correlation coefficients and Kappa statistics for test–retest reliability of the questionnaire are shown in Table 3. Spearman correlation coefficients were from 0.79 for the presence of bike lanes to 0.99 for residential density. Kappa statistics were also good and ranged from 0.63 for the presence of bike lanes to 0.97 for residential density.

Logistic regression analyses revealed that three of eleven environmental attributes were significantly associated with walking (Table 4). Participants were more likely to walk 150 min/week or more when they perceived high residential density (OR, 95% CI: 1.82, 1.16–2.84), good access to shops (OR, 95% CI: 1.65, 1.05–2.58) and presence of sidewalks (OR, 95% CI: 1.65, 1.13–2.42). The number of household motor vehicles indicated borderline association with walking. Participants who did not have motor vehicles in their household were more likely to satisfy the criterion of 150 min of walking per week (OR, 95% CI: 1.54, 0.99–2.41). All of these associations were in the expected direction. Regarding the association of meeting the MVPA criterion with environmental attributes, people who perceived good access to shops (OR, 95% CI: 2.32, 1.47–3.66) and presence of bike lanes (OR, 95% CI: 1.57, 1.04–2.36) reported more physical activity. Three additional environmental attributes, the presence of sidewalks, aesthetics and

**Table 2**  
Characteristics of participants (Tokyo and Himeji, Japan, 2003)

	Overall sample n (%)	Test–retest reliability sample <sup>a</sup> n (%)
Sex		
Male	303 (61.6)	58 (62.4)
Female	189 (38.4)	35 (37.6)
Age (years)		
20–39	253 (51.4)	49 (52.7)
40–59	181 (36.8)	30 (32.3)
60–	58 (11.8)	14 (15.1)
Education (years)		
–12	125 (25.7)	19 (20.7)
13–	361 (74.3)	73 (79.3)
Employment status (h/week)		
≥40	336 (68.6)	62 (68.1)
<40	154 (31.4)	29 (31.9)
Location (population of city)		
100,000–	227 (55.6)	51 (64.6)
30,000–99,999	99 (24.3)	18 (22.8)
–29,999	74 (18.1)	2 (2.5)
Unknown	8 (2.0)	8 (10.1)
BMI (kg/m <sup>2</sup> )		
–24.9	400 (81.5)	72 (78.3)
25.0–29.9	80 (16.3)	18 (19.6)
30.0–	11 (2.2)	2 (2.2)
Walking (min/week)		
150–	211 (42.9)	38 (40.9)
–149	281 (57.1)	55 (59.1)
MVPA <sup>b</sup> (MET*min/week)		
950–	245 (49.8)	45 (48.4)
–949	247 (50.2)	48 (51.6)

<sup>a</sup> Participants in the test–retest reliability sample are included in the overall sample.

<sup>b</sup> MVPA: moderate to vigorous physical activity.

**Table 3**  
The reproducibilities of each item of the Japanese IPAQ Environmental Module estimated by test–retest with a seven day interval (Tokyo and Himeji, Japan, 2003)

	Spearman's correlation coefficients	P values	Kappa statistics	P values
Residential density	0.99	<0.001	0.97	<0.001
Access to shops	0.90	<0.001	0.85	<0.001
Access to public transport	0.83	<0.001	0.79	<0.001
Presence of sidewalks	0.85	<0.001	0.67	<0.001
Presence of bike lanes	0.79	<0.001	0.63	<0.001
Access to recreational facilities	0.82	<0.001	0.75	<0.001
Crime safety	0.86	<0.001	0.71	<0.001
Traffic safety	0.82	<0.001	0.69	<0.001
Social environment	0.88	<0.001	0.78	<0.001
Aesthetics	0.90	<0.001	0.83	<0.001
Household motor vehicles	0.96	<0.001	0.91	<0.001

household motor vehicles, also showed borderline associations with MVPA.

## Discussion

The results of this study demonstrated that 4 of 11 environmental variables: residential density, access to shops, presence of sidewalks and presence of bike lanes, were significantly associated with walking or MVPA among Japanese adults. Adults who reported living in neighborhoods with high residential density, good access to shops, presence of sidewalks, and presence of bike lanes had higher physical activity levels. In addition, borderline significant associations between physical activity and 2 additional environmental variables: aesthetics

and household motor vehicles were observed. The environmental measures used in the present study have been developed and used mainly in Western countries, such as the United States and Australia (Humpel et al., 2002; Saelens et al., 2003; Owen et al., 2004; Mota et al., 2005). To date, few studies have been reported from Asian countries, where neighborhood environmental characteristics and physical activity patterns of people are different from Western countries (Takano et al., 2002). Present results indicate that the same kinds of neighborhood attributes related to physical activity in Western countries are also related to physical activity among Japanese. In other words, these results support the generalizability of previous findings in Western countries to different environments and cultures like Japan.

On the other hand, five environmental variables: access to public transport, access to recreational facilities, crime safety, traffic safety and social environment were not significantly related to physical activity among Japanese adults. There are some possible reasons for these results. As for access to public transport, 85% of participants in this study reported good access. This clustering of responses may cause weak statistical power and the result of no significant relationship. Access to recreation facilities has been related repeatedly to leisure time physical activity (Humpel et al., 2002; Gebel et al., 2007). However, in this study, we used the short version of IPAQ which did not assess specific purposes of physical activity, leading to a limited test of the hypothesis regarding recreation facilities. Environmental attributes regarding crime safety and traffic safety were not related to physical activity. These issues may be more relevant in specific populations such as women, children, and older adults. Results, especially for crime safety, have been inconsistent in the previous

**Table 4**  
Odds ratios for environmental variables and likelihood of subjects meeting walking and physical activity criteria (Tokyo and Himeji, Japan, 2003)

	n (%)	Walking ≥ 150 min/week			MVPA <sup>a</sup> ≥ 950 MET <sup>a</sup> min/week		
		Odds ratios	95% CI <sup>b</sup>	P values	Odds ratios	95% CI	P values
<b>Residential density</b>							
High	111 (23.6)	1.82	(1.16, 2.84)	0.009	1.07	(0.69, 1.68)	0.753
Low	360 (76.4)	1.00			1.00		
<b>Access to shops</b>							
Good	373 (76.7)	1.65	(1.05, 2.58)	0.029	2.32	(1.47, 3.66)	<0.001
Poor	113 (23.3)	1.00			1.00		
<b>Access to public transport</b>							
Good	420 (86.4)	1.43	(0.82, 2.48)	0.205	1.50	(0.87, 2.59)	0.148
Poor	66 (13.6)	1.00			1.00		
<b>Presence of sidewalks</b>							
Yes	288 (59.6)	1.65	(1.13, 2.42)	0.010	1.39	(0.95, 2.04)	0.087
No	195 (40.4)	1.00			1.00		
<b>Presence of bike lanes</b>							
Yes	140 (29.0)	0.93	(0.62, 1.40)	0.739	1.57	(1.04, 2.36)	0.032
No	343 (71.0)	1.00			1.00		
<b>Access to recreational facilities</b>							
Good	283 (58.4)	1.14	(0.79, 1.66)	0.484	1.09	(0.75, 1.58)	0.663
Poor	202 (41.6)	1.00			1.00		
<b>Crime safety</b>							
Safe	321 (66.6)	1.30	(0.87, 1.94)	0.200	1.37	(0.92, 2.04)	0.126
Not safe	161 (33.4)	1.00			1.00		
<b>Traffic safety</b>							
Safe	309 (63.8)	0.80	(0.55, 1.17)	0.258	1.01	(0.69, 1.48)	0.963
Not safe	175 (36.2)	1.00			1.00		
<b>Social environment</b>							
Good	318 (65.6)	1.05	(0.72, 1.55)	0.795	1.35	(0.92, 1.99)	0.128
Poor	167 (34.4)	1.00			1.00		
<b>Aesthetics</b>							
Good	216 (44.5)	1.04	(0.71, 1.50)	0.855	1.38	(0.95, 2.02)	0.090
Poor	269 (55.5)	1.00			1.00		
<b>Household motor vehicles</b>							
None	107 (22.0)	1.54	(0.99, 2.41)	0.055	1.47	(0.93, 2.32)	0.097
One or more	379 (78.0)	1.00			1.00		

Note. All odds ratios were calculated, adjusted for age, sex, employment status and educational attainment. The references were the categories which were hypothesized to be associated with lower levels of physical activity.

<sup>a</sup> MVPA: moderate to vigorous physical activity.

<sup>b</sup> CI: confidence interval.