

3次元加速度計により評価した子どもの総エネルギー消費量の妥当性

研究分担者 引原 有輝 千葉工業大学 工学部 教育センター体育教室 助教
研究代表者 田中 茂徳 独)国立健康・栄養研究所 健康増進プログラム
エネルギー代謝プロジェクトリーダー
研究協力者 緑川 泰史 桜美林大学 健康福祉学群 専任講師
研究協力者 太田 めぐみ 金沢星陵大学 人間科学部 スポーツ学科 専任講師

昨年度、我々は3次元加速度計(AC)を用いた子どもの総エネルギー消費量(TEE)ならびに身体活動状況(各活動強度に要した時間)を良好な精度で評価できる方法を提案した。そこで、今年度は、二重標識水(Doubly labeled water:DLW)法のTEEを妥当基準として、AC法により評価した子どものTEEの妥当性について検討した。

被験者は、小学生男女22名(男子13名、女子9名)であった。被験者には、実験室に早朝空腹条件下で入室してもらい、身体計測を実施した後、ベースラインとなる尿を採取した。さらに、体重により規定された量のDLWを経口投与した。その後、30分間の仰臥位安静状態をとらせてから、20分間の基礎代謝量を測定した。また、被験者には9日間にわたり、保護者の協力のもと自宅にて7回の採尿を実施させた。採尿期間と同期間において3次元ACを常時装着させた。また、やむなく装着できなかった場合には、所定の記録用紙に脱着時刻ならびに活動内容を記録するように指示した。

DLW法により求められた被験者の平均TEEは、 2203 ± 356 kcal/dであった。TEEをBMRで除した身体活動レベル(Physical activity level:PAL) 1.63 ± 0.20 であった。一方、AC法から得られたTEEは、 2223 ± 311 kcal/dであり、DLW法のTEEとの間には、統計的な有意差は認められなかった。また、両測定法によるTEEの関係を検討した結果、有意な相関関係($r=0.83, P<0.01$)が認められた。

これらの結果は、AC法のTEEは、集団の代表値としてだけでなく、より個人レベルでのTEEを評価できる有効な指標となる可能性を示唆するものである。

A. 研究目的

2015年度版食事摂取基準のエネルギー必要量策定に向けての課題の1つに、二重標識水(Doubly labeled water:DLW)法を用いた日本人の子どもの総エネルギー消費量(Total

energy expenditure: TEE)に関するデータ収集ならびに、それを精度良く推定できる簡易法の開発があげられてきた。この課題を達成するために、昨年度、我々は3次元加速度計(Accelerometer:AC)を用いた子どものTEEな

らびに身体活動状況(各身体活動強度に要した時間)を良好な精度で評価できる方法を提案した。これまでから、1次元か3次元かという違いだけでなく、ACに内蔵された推定モデルの違いによって精度が異なること(Scott et al., 2005)や、規則的な動作様式である歩行走行から得られた推定式を用いて不規則な活動を評価した場合、実際の活動時のエネルギー消費量(Energy expenditure:EE)との間に誤差が生じてしまうことがわかっている(Matthews et al., 2005)。我々の提案した推定モデルは、これらの点に留意した独自の評価法である。この3次元ACによる評価法の特徴として、歩行走行を評価することを主とした従来の方法に加え、歩行走行以外(例えば、ボール投げ、掃き掃除、片付け)の活動も精度良く評価できる点があげられる(引原ほか, 2009)。特に1日の中で長時間となる低強度の活動(床座位でのゲーム)や、主に上肢が中心となる活動(片付け、ボール投げ)において精度良く評価できた点は、これまで以上の精度でTEEを推定できる可能性が期待される。

そこで、本研究は、DLW法のTEEを妥当基準として、提案したAC法により得られたTEEの妥当性について検討することを目的とした。

B. 研究方法

1. 被験者

被験者は、小学生男女22名(男子13名、女子9名)であった。学年の内訳は、低学年9名、中学年10名、高学年3名であった。日常生活を送る上で支障がなく、代謝等に影響する疾患のない健康な対象であった。

2. 実験手順

被験者には、実験室に早朝空腹条件下で来

室してもらった。初めに、身体計測を実施した後、ベースラインとなる尿を採取した。さらに、体重により規定された量のDLWを経口投与した。その後、30分間の仰臥位安静状態をとらせてから、20分間の基礎代謝量を測定した。被験者には9日間にわたり、保護者の協力のもと自宅にて7回の採尿を実施させた。また、採尿と同期間において3次元ACを常時装着させた。また、やむなく装着できなかった場合には、所定の記録用紙に脱着時刻ならびに活動内容を記録するように指示した。測定期間終了後、採尿瓶、加速度計、記録用紙一式を実験室に送付する指示した。

3. 二重標識水法

被験者に体重の60%と仮定した体水分量(Total body water:TBW)あたり、0.13gの重水(およそ99.9atom%)と2.5gの18酸素水(およそ10.0atom%)を混合して作られたDLWを経口投与した。また、ベースライン尿、第1日目、2日目、3日目、5日目、7日目、8日目および9日目の計8回の尿(1回あたり20ml)を所定の採尿瓶に採取させた。ベースライン尿は実験室に来室した際に採取し、残りの7回は自宅にて各自で尿採取させた。その際、起床時より第2番目の尿を採取すること、ならびに採取した際の時刻を所定の用紙に記録するよう指示した。採取したすべての尿の同位体濃度は、大陽日酸(株)を通じて、(株)イーエステック京都により分析依頼し計測された。得られた各サンプルの同位体濃度の減少率から所定の算出式(Ishikawa-Takata et al., 2007)を介して測定期間中のTEEを算出した。

4. 加速度計法

測定可能範囲が $\pm 6G$ で、加速度分解能が3

mG である 3 次元加速度センサを内蔵した AC (サイズ: W80mm×D20mm×H50mm、重さ(バッテリー含む): 60.7g) を測定期間中、常時装着させた。この AC は、32Hz で鉛直、前後、左右の加速度を検知でき、重力加速度を取り除くためにハイパスフィルター処理した後、3 軸の合成加速度を算出することが可能である。また、歩行・走行活動か歩行・走行以外の活動であるか判別した後、歩行・走行式あるいは歩行・走行以外の式を用いて 10 秒ごとの平均合成加速度 (mG) から METs (メッツ) を求めることができる (平成 21 年度報告書参照)。そこで、EE の算出には、身長、体重から算出した体表面積 (m^2) あたりの基礎代謝基準値 ($kcal/m^2/hr$) から推定基礎代謝量を求め、それを 1.1 倍した値 (座位安静時代謝量) に、推定式を介して得られた METs と時間 (分) を乗じ、さらに食事誘発性体熱産生分を加えて求めた。

5. 基礎代謝量 (Basal metabolic rate: BMR)

被験者に仰臥位での安静状態を 30 分間保持させた後、ダグラスバッグを用いて 10 分間の呼気を 2 回採取した。採取した呼気の酸素濃度および二酸化炭素濃度を質量分析計 (ARCO-1000, Arco System Inc., Chiba, Japan) により測定した。また、呼気量を乾式ガスメータ (DC-5, SHINAGAWA Co., Ltd., Tokyo, Japan) により測定した。測定値は 2 回の平均値とし、Weir (1949) の式を用いて BMR を算出した。

6. データ処理

AC により推定された TEE を採用する条件として、以下の 3 つの項目を設定した。

- ① 午前 8 時から午後 6 時までの 10 時間において合計 2 時間以上の取り外し (加速

度信号ゼロ) がない場合。

- ② 20 分以上、連続して取り外したという記録があった場合。ただし、取り外し記録がない場合は、データ上で 20 分以上連続して加速度信号がみられなかったとしても原則採用。
- ③ 1 日装着時間合計が平日 600 分以上、休日 480 以上であること。

一方、DLW 法においては、規定の採尿が十分にできなかった者や採尿時刻が正確に記録されていない者、採尿日時と採尿瓶の日付に間違いが生じたサンプルを提出した者は、本実験データから削除した。その結果、男子 12 名、女子 7 名の計 19 名をデータ解析の対象とした。

7. 倫理面への配慮

被験者ならびに保護者には、実験の目的、利益、不利益、危険性およびデータの管理や公表について、事前に十分な説明を行い、同意を得た上で測定を開始した。なお、この研究は、独立行政法人国立健康・栄養研究所「研究倫理審査委員会 (ヒトゲノム・遺伝子解析を除く研究に関する部会)」の承認を得て実施した。

C. 研究結果

本実験においてデータ解析対象となった被験者の身体的特徴を Table 1 に示した。

DLW 法により求められた集団全体の平均 TEE は、 $2203 \pm 356 kcal/d$ であった。TEE を BMR で除した身体活動レベル (Physical activity level: PAL) 1.63 ± 0.2 であった。一方、AC 法から得られた TEE は、 $2223 \pm 311 kcal/d$ であり、DLW 法の TEE との間には、統計的な有意差は認められなかった。また、男女別に検討した場合においても両測定法間に有意差

は認められなかった (Table 2)。

AC 法により求められた歩行走行の活動時の EE と歩行走行以外の活動時の EE は、それぞれ $180 \pm 78 \text{kcal/d}$ 、 $515 \pm 94 \text{kcal/d}$ であった (Table 3)。

両測定法による TEE の関係を検討した結果、有意な相関関係 ($r=0.83$, $P<0.01$) が認められた (Figure 1)。

Bland & Altman プロットの結果によると、両測定法間の平均値誤差は、 $20 \pm 196 \text{kcal/d}$ ($1.7 \pm 9.7\%$) で、信頼限界幅 ($\pm 2\text{SD}$) は、 412kcal/d から -371kcal/d であった。

DLW 法による TEE と AC 法により歩行走行時の EE ならびに歩行走行以外の活動時の EE との関係をそれぞれ検討したところ、DLW 法の TEE と歩行走行以外の活動時の間のみ、有意な相関関係 ($r=0.65$, $P<0.01$) が認められた (Figure 3)。

D. 考察

国内では、スズケン社製の 1 次元 AC であるライフコーダが身体活動量の評価として広く用いられてきた。この AC の特徴は、主に歩行から走行までの活動時の強度ならびに EE を、加速度の大きさと歩数を考慮して推定している点である (kumahara et al., 2004)。しかしながら、成人や子ども (著者未発表データ) を対象に、DLW 法による TEE を妥当基準としてライフコーダの妥当性の検討を行った複数報告では、いずれも有意に過小評価することが報告されている (田中, 2006)。我々は、この原因の 1 つとして、歩行走行以外の活動を十分に評価し切れていない可能性を考えている (Hikihara et al., 投稿中データ)。

本研究の結果では、DLW 法による TEE と AC 法による TEE との間に有意差が認められ

なかった。また、両者の TEE には有意な相関関係が認められており、このことは AC 法による TEE が集団の平均値としてだけでなく、個人の TEE の大小関係を評価できる客観的な指標としても有効であることを意味している。このような良好な精度が得られたことについて、我々の提案した推定モデルでは、特に歩行走行以外の活動の評価を意識した点が反映されたものと推察している。

ところで、Bland & Altman プロットをみると、被験者の半分程度が過大評価、残りの半分が過小評価という分布になっている。過小評価が認められた被験者の場合、AC の脱着記録から、スポーツ活動中に AC を取り外したケースが複数回に及んでいることが把握できた。データ処理において 2 時間以上の取り外しあった場合には、その日のデータは不採用としている。そのため、スポーツ活動時の EE 分は、AC の TEE には反映されていないことになり、それが過小評価を誘発した原因の 1 つとして考えられる。ただし、取り外し時間中の詳細な活動内容とその実施時間を正確に把握しきれないため、本実験データからでは取り外し時間中のスポーツ活動時の EE を補正した上で解析し直すことはできなかった。一方、我々の提案した推定式を介した推定値を 11 種類の活動中の実測値と比較検討した場合、過大評価傾向を示す項目が多かったことが、昨年の報告書からもわかる。したがって、測定期間中、AC の取り外しがない者で過大評価の傾向を示した場合については、推定式に原因を言及できるのかもしれない。

本研究で扱った AC は、歩行走行以外の活動を評価することを意識したツールであるが、本実験では、その効果が顕著に現れたと考えられる証拠が得られている。一般的に、TEE に

占める割合は、歩行時以外の活動時の EE (本被験者の場合 8%) に比べ歩行時以外の活動時の EE (同様に 24%) が有意に大きいと考えられる (Westerterp et al., 2009)。特に、今回の被験者の平均 PAL は、1.63 で一般的な活動レベル (食事摂取基準 2010 年度版) であるのに対し、平均歩数が 8523 歩と小学生の平均歩数としては少ない (東山ほか, 2010)。また、DLW 法による TEE と AC から求めた歩行時以外の活動時の EE および歩行時以外の活動時の EE との関係性を調べたところ、DLW 法による TEE と歩行時以外の活動時の EE との間にはのみ正の相関関係が認められた。これらのことから、本実験の被験者は、不規則な動きや上肢・上体を主とする活動を含む歩行時以外の活動が比較的多く、それが TEE により寄与している対象であったと考えられる。このような被験者においても、良好な精度で TEE を推定できた点は、これまでの評価法が抱える課題を幾分か改善できたと考えてよいのかもしれない。今後、様々な活動を有する対象者での検討が望まれる。

E. 結論

歩行時以外の活動を評価することをねらいとして提案した AC 法による TEE は、DLW 法による TEE との間に有意な差は認められなかった。また、両測定間の TEE との間に、有意な相関関係が認められた。これらの結果は、AC 法の TEE は、集団の代表値だけでなく、より個人レベルでの TEE を評価できる有効な指標となる可能性を示唆するものである。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

Ohkawara K, Oshima H, Hikihara Y, Ishikawa-Takata K, Tabata I, Tanaka S: Real-time estimation of daily physical activity intensity by triaxial accelerometer and a gravity-removal classification algorithm. *Br J Nutr*, 2011 (Epub ahead of print).

2. 学会発表

Hikihara Y, Tanaka C, Midorikawa T, Ohta M, Oshima Y, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, The effect of morphology and body composition on prediction of physical activity intensity using tri-accelerometers, 57th *American College of Sports Medicine*, Baltimore, 2010.

Park J, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Hikihara Y, Ohkawara K, Tabata I, The relationship between physical activity level during free living and body composition in Japanese adult women, 57th *American College of Sports Medicine*, Baltimore, 2010.

Hikihara Y, Midorikawa T, Ohta M, Sakamoto S, Tanaka S, The relation of physical activity to body composition in elementary school children, 28th *Obesity Annual Scientific Meeting*, San Diego, 2010.

引原有輝, 緑川泰史, 太田めぐみ, 田中茂穂, 生体電気抵抗法を用いた小児の体脂肪率の妥当性, 第 65 回日本体力医学会大会, 千葉, 2010.

大島秀武, 引原有輝, 大河原一憲, 高田和子, 三宅理江子, 海老根直之, 田畑泉, 田中茂穂, 健康づくりのための身体活動量の基準値 (23 エクササイズ) と歩数の関係, 第 65 回日本体

力医学会大会、千葉、2010.

朴鐘薫、高田和子、引原有輝、田中茂穂、大河原一憲、三宅理江子、田畑泉、中年男女における身体活動レベル (PAL) とエクササイズ/週 (Ex/週) との関係、第65回日本体力医学会大会、千葉、2010.

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

Table 1 Subjects of characteristics

	Boys (12)			Girls (7)		
	Mean	±	SD	Mean	±	SD
Age (yrs)	9	±	2	8	±	1
Height (cm)	136.3	±	10.8	131.7	±	9.8
Weight (kg)	39.9	±	10.6	35.5	±	8.3
BMI (kg/m ²)	21.1	±	3.3	20.2	±	1.6

BMI; body mass index

Table 2 Total energy expenditure calculated from doubly labeled water method and accelerometer

	Whole (19)			Boys (12)			Girls (7)		
	Mean ± SD	Range		Mean ± SD	Range		Mean ± SD	Range	
DLW (kcal)	2203 ± 356	1637-2846		2282 ± 340	1637-2742		1858 ± 714	1658-2846	
AC (kcal)	2223 ± 311	1777-2828		2345 ± 299	1777-2828		1838 ± 673	1817-2646	

DLW; doubly labeled water, AC; accelerometer

Table 3 Energy expenditure during locomotive movements and nonlocomotive activities calculated from accelerometer

	Whole (19)			Boys (12)			Girls (7)		
	Mean	±	SD	Mean	±	SD	Mean	±	SD
EE at Locomotive movements	180	±	78	184	±	87	163	±	68
EE at Nonlocomotive activities	515	±	94	549	±	90	412	±	147

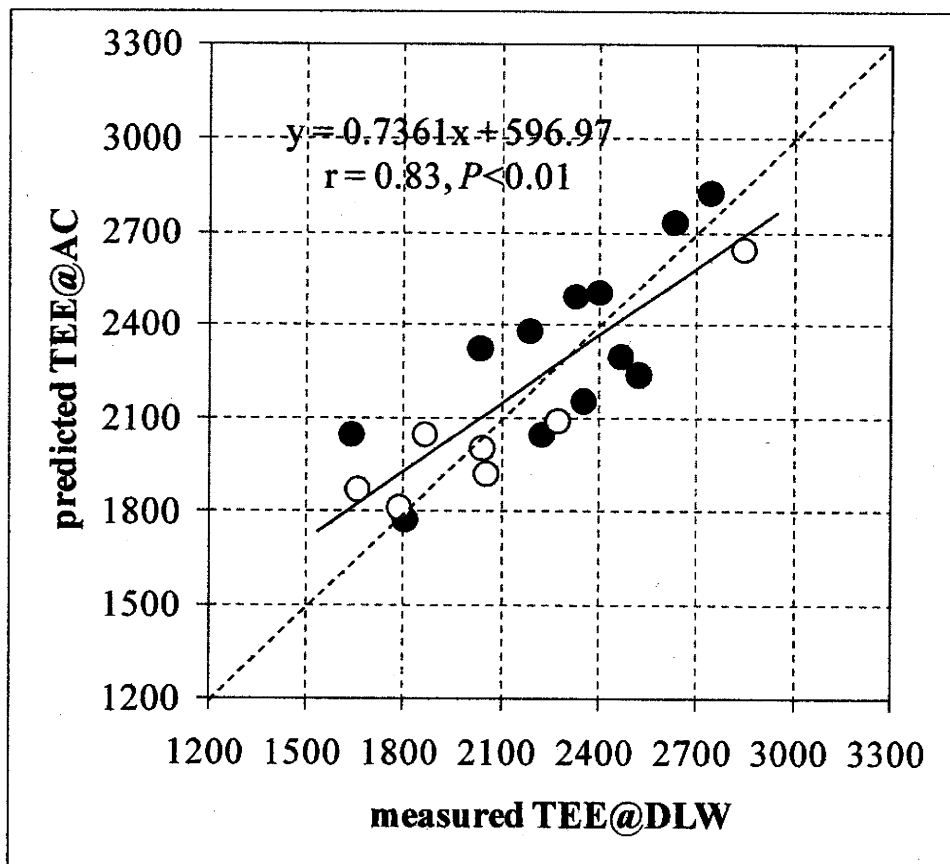


Figure 1 Relationship between predicted and measured TEE values.

●; boys, ○; girls

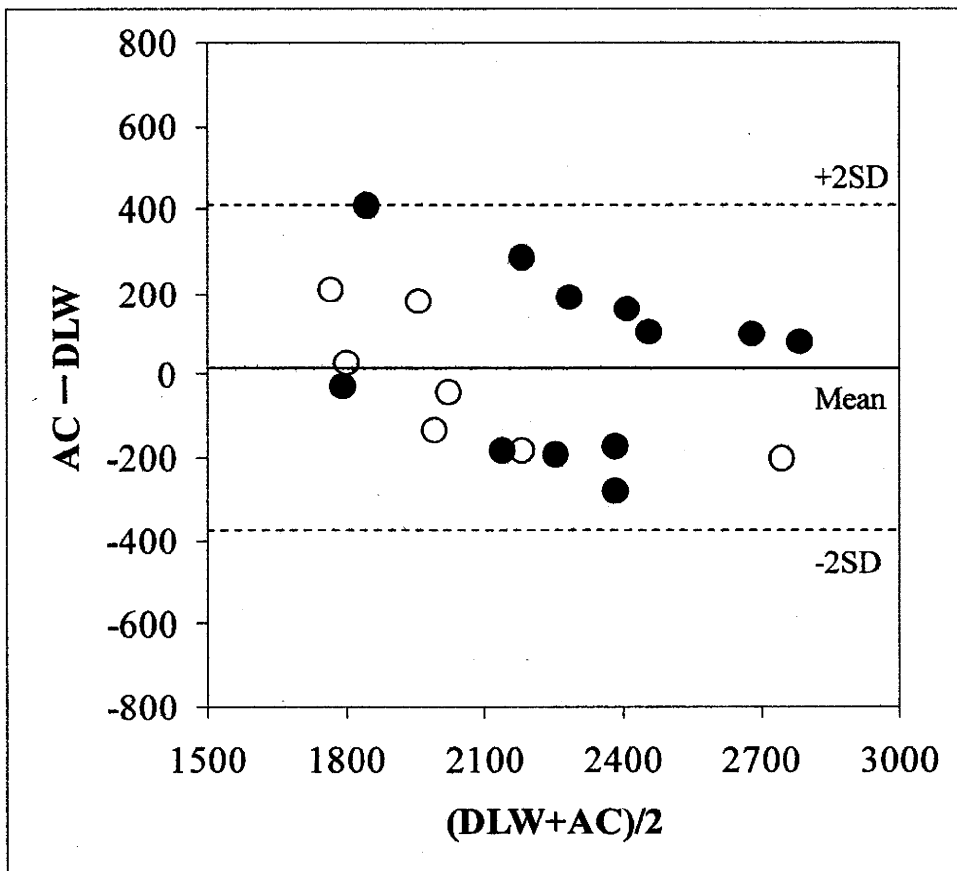


Figure 2 Mean differences between predicted and measured TEE values.

●; boys, ○; girls

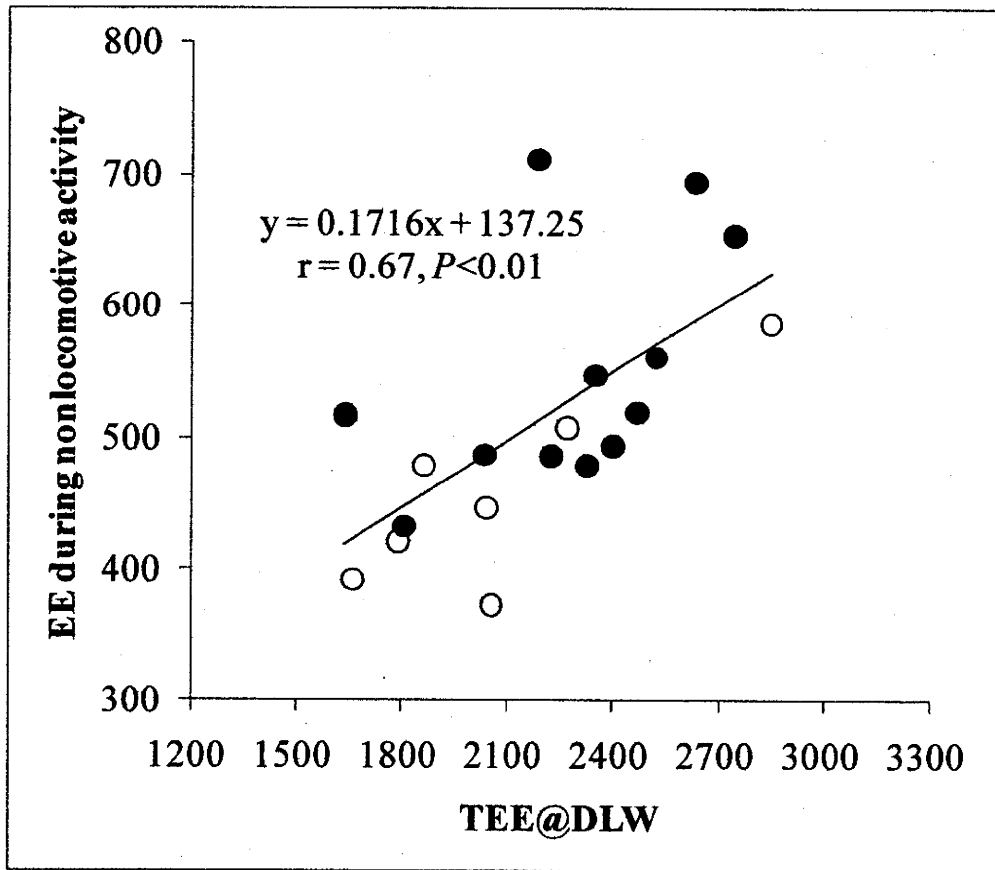


Figure 3 Relationship between total energy expenditure by doubly labeled water method and energy expenditure during nonlocomotive activity estimated from accelerometer.

●; boys, ○; girls

Ⅲ. 研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
なし							

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
田中茂穂	基礎代謝・NEATと身体活動	臨床スポーツ医学	28(3)	259-266	2011
田中茂穂	糖尿病患者のエネルギー代謝と身体活動	内分泌・糖尿病・代謝内科	31(10)	408-414	2010
田中千晶、田中茂穂	子どもにおける身体活動量の評価	体育の科学	60(6)	389-395	2010
Ishikawa-Takata K, Naito Y, <u>Tanaka S</u> , Ebine N, Tabata I.	Use of doubly labeled water to validate a physical activity questionnaire developed for the Japanese population	J Epidemiol	21(2)	114-121	2011
Ohkawara K, Oshima H, Hikiyama Y, Ishikawa-Takata K, Tabata I, <u>Tanaka S</u>	Real-time estimation of daily physical activity intensity by triaxial accelerometer and a gravity-removal classification algorithm	British Journal of Nutrition		Epub ahead of print	2011
Taguri E, <u>Tanaka S</u> , Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Hikiyama Y, Miyake R, Yamamoto S, Tabata I	Validity of physical activity indexes for adjusting energy expenditure for body size: Do index depend on body size?	Journal of Physiological Anthropology	29(3)	109-117	2010
Miyachi M, Yamamoto K, Ohkawara K, <u>Tanaka S</u>	METs in adults while playing active video games: a metabolic chamber study	Medicine and Science in Sports and Exercise	42(6)	1149-1153	2010

Inoue S, Ohya Y, Odagiri Y, Takamiya T, Ishii K, Kitabayashi M, Suijo K, Sallis JF, and Shimomitsu T.	Association between Perceived Neighborhood Environment and Walking among Adults in 4 Cities in Japan	J Epidemiol	20(4)	277-286	2010
Inoue S, Ohya Y, Odagiri Y, Takamiya T, Kamada M, Okada S, Tudor-Locke C, and Shimomitsu T.	Characteristics of Accelerometry Respondents to a Mail-Based Surveillance Study	J Epidemiol	20(6)	446-452	2010
井上茂、下光輝一	生活習慣病と環境要因 - 身体活動に影響する環境要因とその整備	医学のあゆみ	236(1)	75-80	2010
石井香織、柴田愛、岡浩一朗、井上茂、下光輝一	日本人成人における活動的な通勤手段に関連する環境要因	体力科学	59(2)	215-224	2010

IV. 研究成果の刊行物・別刷

特集 肥満と身体活動 up to date

基礎代謝・NEATと身体活動

田中茂穂*

臨床**スポーツ医学** 第28巻 第3号 別刷

(平成23年3月)

基礎代謝・NEATと身体活動

田中茂穂*

エネルギーバランスと肥満

肥満は、エネルギー摂取量と消費量とのアンバランスによってもたらされる。長期的な肥満者の増加の原因に関しては、「国民健康・栄養調査によると、日本人のエネルギー摂取量の平均値は減少傾向にあるので、日本人の肥満者の割合は増えているのは、身体活動量の減少による」と推測されることが多い。

しかし、食事調査に基づくエネルギー摂取量については過小評価の問題があり、調査される者の「こうありたい」という願望の影響を受けると考えられている¹⁾。そのため、本当に減少傾向が続いているかどうか疑問もある。一方、質問紙法などでは、身体活動量の個人間の差をとらえるにはかなり粗い^{2,3)}。

本稿では、総エネルギー消費量や身体活動量について、二重標識水(doubly labeled water : DLW)法や加速度計法などの客観的かつ比較的正確な方法⁴⁾を用いて得られた結果を中心に、原則として成人におけるエネルギーの各構成要素と肥満予防との関連を概観する。

エネルギー消費量の構成要素

1日当たりの総エネルギー消費量(total energy

expenditure : TEE)は、一般に、①基礎代謝量(basal metabolic rate : BMR)、②食事誘発性体熱産生、③身体活動、の3つに分けられる⁴⁾。

また、TEEに関する指標として、

$$\begin{aligned} \text{身体活動レベル(physical activity level : PAL)} \\ = \text{TEE} \div \text{BMR} \end{aligned}$$

がある。PALは食事誘発性体熱産生も反映する。しかし、1日全体での身体活動量が大きいとそれに伴ってエネルギー摂取量も増加し、DITも大きくなる。そのため、あらゆる身体活動の総量をBMRで補正したものと考えられることができる。

PALの標準的な値は、日本人・欧米人とも1.75程度であると考えられている^{5,6)}。この数値から逆算すると、BMRはTEEの平均60%を占めると考えられる。食事誘発性体熱産生をTEEの約10%と仮定すると、身体活動は平均して約30%程度を占めると考えられる。

エネルギー消費量の各構成要素と肥満予防

1. 食事誘発性体熱産生と肥満予防

食事誘発性体熱産生(diet-induced thermogenesis (DIT), thermic effect of food (TEF), または thermic effect of meal (TEM))は、摂取した食事の消化・吸収に要するエネルギーで、通常の食事であれば食後6時間程度かそれ以上にわたっ

* (独)国立健康・栄養研究所健康増進プログラムエネルギー代謝プロジェクト

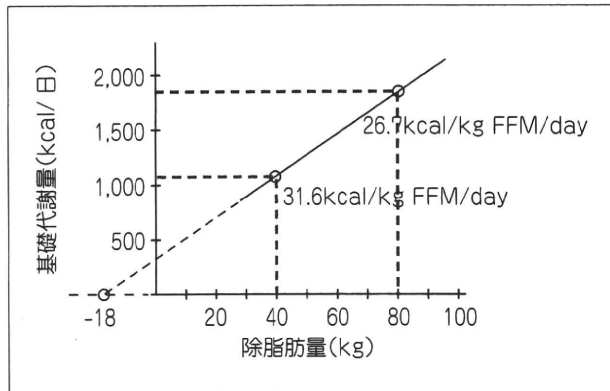


図1 ◆体重や除脂肪量が大きいと、「体重当たりの基礎代謝量 (kcal/日)」が小さくなる(文献11より引用)

て観察される。BMRの測定条件の1つが「食後約12時間程度」であるのは、その影響を除くためである。

しかし、DITを他の構成要素から厳密に分離して評価するのは容易ではなく、測定時間や測定条件、機器などが統一されているわけではない。ヒューマンカロリーメーターで肥満者におけるDITが小さいという結果が得られた⁷⁾ことなどを受けて、「DITは肥満の原因の1つ」と考えられたが、その後の研究結果をみる限り、必ずしも一定した結果が得られているわけではない⁸⁾。

2. 基礎代謝量(BMR)と肥満予防

TEEの最大の構成要素は、多くの個人においてBMRである。また、BMRの個人間の差も大きい。ただし、そのバラツキの大部分は体格、とくに除脂肪量や体脂肪量、より厳密には各組織・器官重量で説明できる⁹⁾。その結果、体格が決まればバラツキが小さいともいえる¹⁰⁾。

そのため、「BMRが相対的に高い(あるいは低い)か」どうかは、体格などの影響を考慮した上で判断する必要がある。すなわち、体格などから推定した値より高いと「BMRが高い」、推定値より低いと「BMRが低い」とする。

体重当たりはもちろん、除脂肪量当たりでBMRを表現することも多いが、その場合、肥満者に限らず、大柄な人の値は小さくなる^{9,11)}。それは、図1のように、除脂肪量とBMRとの間には強い相関がみられるものの、正の切片を有する関係式があるためである。実際、体重当たりの値

となっている「日本人の食事摂取基準(2010年版)」¹²⁾の基礎代謝基準値(kcal/kg体重/日)を用いた推定法を除くと、ほとんどのBMRの推定式は、体重などを変数としつつ、切片を有する推定式となっている。そのため、体重に限らず、除脂肪量の値が小さいと除脂肪量当たりのBMR(kcal/kg除脂肪量/日)は大きくなり、除脂肪量の値が大きいと小さくなる傾向がある¹¹⁾。これは、例えば脳や肝臓、心臓などエネルギー代謝の活発な臓器の重量と除脂肪量との関係は比例ではない(=例えば、除脂肪量が少ない個人の場合、これらの臓器重量の割合が大きくなる)ことを意味している。肥満者の場合は除脂肪量も概して大きい傾向にあるが、体脂肪量の割合が大きいため、kcal/kg体重の値はさらに小さい傾向がみられる。したがって、BMRの厳密な分析を行う際には、体重あるいは除脂肪量当たりの数値(kcal/kg)での検討は避け、回帰の残差などを利用した線形補正が望ましい¹¹⁾。そうした分析によれば、肥満者のBMRが低いという傾向はみられず、組織・臓器重量を用いて推定した安静時代謝量と実測値は、肥満の有無や性・年齢、スポーツ実施状況にかかわらず、ほぼ一致する¹³⁾。また、BMRの推定値からの残差とその後の体重変動は、Pima Indianで弱い有意な関連が得られた以外は有意な関連が得られていない^{13,14)}。当研究所で睡眠時代謝量を用いて行った検討結果でも、同様であった。

このように、一般に「TEEの中で最も割合の大きいBMRを増加させれば痩せやすい」と考えられがちであるが、必ずしもそうではないという知見が得られている。

3. 身体活動量と肥満予防

a. 身体活動量の評価法と個人間変動

身体活動とは、「骨格筋の活動により安静時よりも多くのエネルギー消費を伴う身体の状態」であり、健康増進や体力の維持・増進を目的とした計画的・組織的で継続性のある「運動」と、それ以外の余暇・家事・仕事からなる「生活活動」に大別できる¹⁵⁾。後者については、NEAT(nonexercise activity thermogenesis)に相当する¹⁶⁾。

DLW法から得られたPALのデータに基づく

と、日常生活をとくに不自由なく送っている者において、PALは1.4程度から2.2~2.5程度に分布すると考えられている。それから推測される標準的な集団における個人間変動は、標準偏差でおおよそ±200kcal/日強と考えられる¹⁷⁾。

このように、運動以外にも余暇・家事・仕事などによって構成される身体活動には、個人間で大きなバラツキがある。しかも、多くの人において、運動はしていないか、していても毎日ではないこと、実施している種目はウォーキング程度の運動であることを考えると、運動により余分に消費するエネルギーは、1日数十kcal程度(大多数の個人において、TEEの3%程度以下)と考えられる。身体活動によるエネルギーは、平均するとTEEの約30%程度であるので、身体活動の大部分はNEATである¹⁷⁾。

NEATは、姿勢の保持や、掃除・洗濯を含む家事、買い物・通勤などにおける歩行、庭仕事などの余暇活動、仕事における荷物の運搬など、さまざまな活動が含まれる。農作業や土木建築業などの仕事や家具の移動など例外もあるが、概して低~強度の活動が多い。

われわれがオムロンヘルスケア(株)と共同で開発した加速度計(Active style Pro HJA-350IT)は、従来の加速度計とは異なり、歩行以外の活動についても、活動強度をかなり正確に推定することが

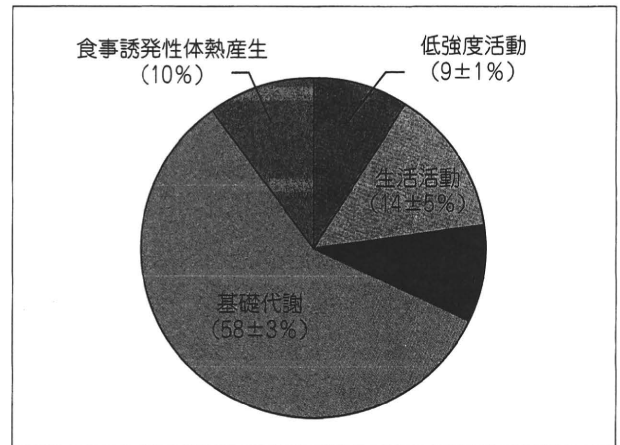


図2 ◆総エネルギー消費量の内訳(Oshima, et al.: RACMEM 2008 Conference)

できる^{18,19)}。それを用いて得られたTEEの内訳の一例を図2に示す。対象とした成人男女における平均のPALや歩数は、いずれも標準的なものであった。それによると、約30%の身体活動によるエネルギー消費量のうち、歩行・走行によるものは約10%(身体活動の約1/3)で、歩行以外の身体活動や低強度活動の割合の方が大きかった。歩行のみをとらえることができる加速度計では、TEEを平均して約20%程度過小評価する²⁰⁾が、それとおおよそ一致する。

また、Westerterpら²¹⁾は、自転車こぎなども評価できる加速度計を開発したが、それを用いて

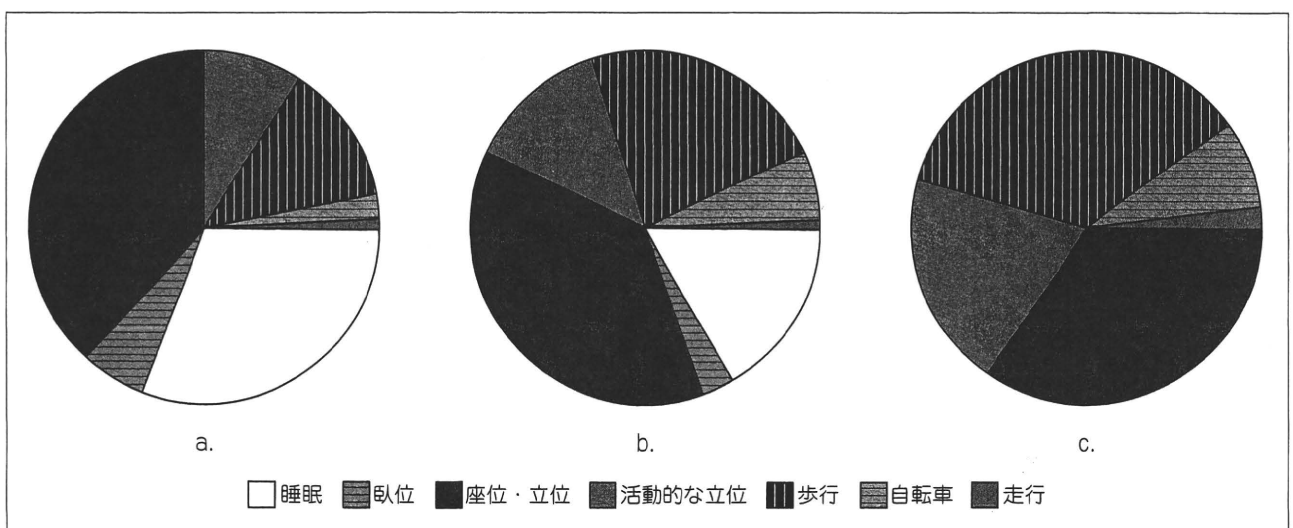


図3 ◆身体活動レベルが1.75のオランダ人における標準的な時間(a), 総エネルギー消費量に対する割合(b), 身体活動によるエネルギー消費量(c)の構成割合(文献21より引用)

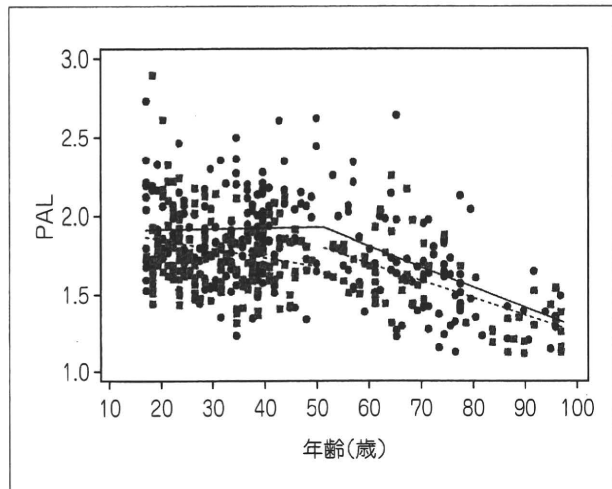


図4 ◆欧米の成人男女における年齢とPALとの関係(●：男性，■：女性) (文献22より引用)

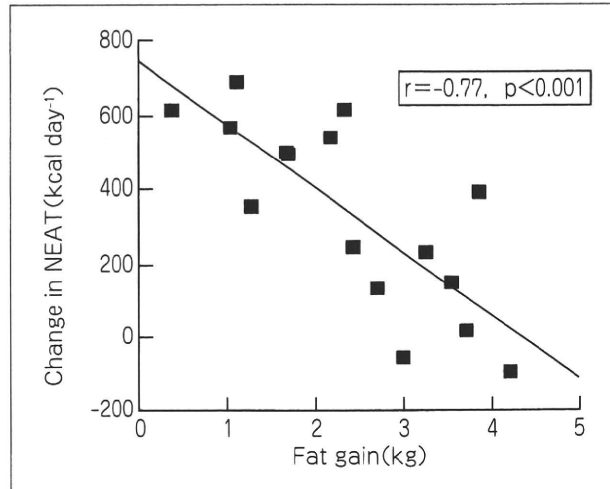


図5 ◆1,000kcal/日の過食実験時における，体脂肪の増加量とNEATの変化量との関係(文献24より引用)

得られた結果の一例が図3である。歩行以外にも、座位・立位、および活動的な立位が大きな割合を占めており、時間に占める割合はもちろん、身体活動のエネルギーでも(図3c)、およそ2/3を占めている。また、オランダで得られた結果であるため、自転車についても身体活動のエネルギーの10%以上を占めている。

b. 年齢や肥満による身体活動量

一般に、年齢が上がると、身体活動量が減少すると考えられている。2007年の国民健康・栄養調査で得られた歩数についても、とくに成人男性においては、8,562歩の20歳代から7,162歩の60歳代まで、年齢が高いほど平均値が低くなっている。70歳代では5,000歩を割っている(4,948歩)。また、女性の場合は40歳代の平均値が最大であるものの、それ以上の年代においては年齢階級が上がるにつれて少なくなっている。

しかし、DLW法で得られた値からは、日本人を対象とした当研究所のデータを含め、必ずしもそのような結果が得られてはいない。最近になってSpeakmanら²²⁾は、529人の白人成人男女のデータベースを用い、区分回帰分析(segmented regression analysis)を利用してその点を検討したところ、52歳まではPALに年齢変化がみられず、それ以降およそ10年間当たりで0.1の減少があるという結果が得られた(図4)。一方、「日本人の食事摂取基準(2010年版)」¹²⁾では、欧米を中

心とした70歳代における論文に基づき、70歳以上のPALの標準値を2005年版の1.50から1.70に引き上げたところである。ただし、これらのデータは、外出可能で比較的活動的な高齢者を中心に得られたものであることに留意する必要がある。

肥満とPALの関係に関して、Prenticeら²³⁾は、BMI = 35kg/m²を超えた極端な肥満者でない限り、とくにPALが低いという傾向はみられないという結果を得ており、他からも概してそれと同様な結果が報告されている。日本人を対象とした当研究所におけるデータでも、とくに体脂肪が多い者に限定しない限り、肥満とPALの間には明らかな関係はみられていない(Parkら、投稿中)。

c. 身体活動と肥満予防

NEATは、平均値や個人間差が大きいだけでなく、肥満にも関与している可能性が示唆されている^{16,24,25)}。NEATに対する注目を初めて喚起した論文では、1,000kcal/日の過食を続けた時、NEATが増加した者では体脂肪の増加量が抑えられたという結果が得られた²⁴⁾(図5)。

身体活動による肥満予防に関しては、国際肥満学会によるコンセンサス・ステートメントがある²⁶⁾。これは、単独の論文や研究結果に基づくものではない。しかし、とくに身体活動量とその後の体重変化を観察した研究のレビューに基づき、PAL = 1.7程度(≒45~60分/日の中高強度活