

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1.4-2.2に対応する範囲：およそ20-45%)に相当する。一般にPALの標準偏差(SD)は0.2を超える。日本人成人における標準的な体格であればBMRは1,400kcal/日程度なので、このPALのSDは、TEEのSDに換算するとおおよそ±300kcal/日に相当する。米国のDietary Reference Intakes(Institute of Medicine of the National Academies, 2005)と同様に、この分散が生物学的なバラツキと測定誤差など実験上のバラツキに分けられ、それらが等しいと仮定すると、生物学的なバラツキは、SDでおおよそ±200kcal/日強( $\approx 300 \div \sqrt{2}$ )と考えられる。

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量には、個人内・個人間で大きなバラツキがある。

## 6. 一般健常者における運動とPAL

一部のアスリートのように、際立って運動量の多い人を除くと、以下の点から考えて、運動がTEEに占める割合は、一般に小さい。

(1) 日常的な運動によって消費されるエネルギーはそれほど多くない(例；30分間×5日/週の速歩は、安静時のエネルギー消費量が1kcal/分程度であることから、およそ(4-1)kcal/分×30分/日×5日/週÷7日/週 $\approx$ 65kcal/日)

(2) 国民健康・栄養調査によると、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

こうして考えると、TEEに占める運動の割合は、上に示した65kcal/日=TEEの約3%程度かそれ以下である可能性は非常に高いと考えられる。身体活動によるエネルギー消費量は、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、運動以外の身体活動(non-exercise activity thermogenesis: NEAT)である’と考えられる。

## 7. 運動以外の身体活動(NEAT)

運動以外の身体活動については、1999年に論文<sup>9)</sup>がScienceに掲載されたのをきっかけに、

NEATという名称で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<sup>10)</sup>。

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1日に2,000kcal程度にまで及ぶと考えられる<sup>10)</sup>。

NEATは、平均値や個人間差が大きいだけでなく、肥満にも関与している可能性が示唆されている<sup>9-11)</sup>。先に述べた論文で、1,000kcal/日の過食を続けたとき、主にNEATが増加するかどうかによって体脂肪の増加量が決定されるという結果が得られた<sup>9)</sup>。また、日常生活において、肥満者は非肥満者と比べて、座位の時間が平均約2時間半長く、それによるエネルギー消費量の差は352kcal/日に及ぶと推定している<sup>11)</sup>。

## 8. 歩行以外の身体活動

現時点では、身体活動、特にNEATを正確に定量化することは難しい<sup>12,13)</sup>。その原因の一つとして、これまで身体活動 $\approx$ 歩行という考え方が強過ぎて、歩行以外の身体活動が、十分に考慮されなかったことがある。

ヒューマンカロリメーターで運動を含まない生活を送ると、PALは1.3-1.4程度であるが、1.75程度のPALとなるようにするには、約80m/分程度の普通歩行を約3時間程度行う必要がある<sup>14)</sup>。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時間程度にしかならない。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。加速度計をはじめTEEが過小評価される傾向にある<sup>9)</sup>のは、こうしたことが主な理由であると考えられる。

## 9. 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

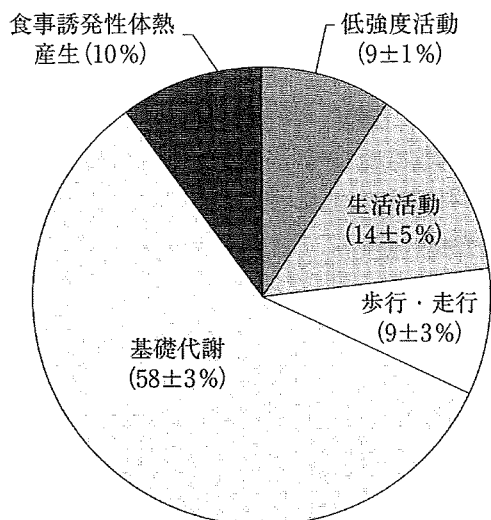


図 1 総エネルギー消費量の内訳  
(Oshima ら：RACMEM 2008 Conference. より引用)

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を過小評価する傾向にあり、その解決策が模索されている<sup>2,14)</sup>。最近、著者らは、オムロンヘルスケア株式会社と共同で、より優れた歩行と歩行以外の活動の判別法を見だし、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、生活活動では傾斜の変化があることを利用したものである。この加速度計を用いると、階段昇降や自転車こぎを除く生活活動についても、少なくとも平均値としては正確に各活動の強度を推定することが可能となった。

まだ予備的な分析であるが、この加速度計を用いて、標準的な歩数とPALを有する集団で、TEEの内訳を評価した結果を図1に示した。身体活動がTEEの約3割を占めるが、歩行・走行はその1/3にすぎない。一方で、特に低強度活動や歩行・走行以外の生活活動(そうじ、洗濯、物運びのような活動)がより大きな割合を占め、バラツキも比較的大きい。このように、標準的な体格および身体活動量を有する成人において

は、歩行以外の身体活動に要するエネルギーは、平均して400-500kcal/日程度になるはずである。これまでは、これだけのエネルギーに相当する身体活動に対して、あまり注意を払ってこなかったことになる。

## 10. 運動の効果と身体活動の効果

運動は、比較的一定の活動形態を割と短時間継続するものであり、実施した本人としても印象が強い。そのため、特にジョギングやウォーキングなどの代表的な運動の場合は、比較的定量化がしやすいのではないかと考えられる。

それに対し、NEATを評価するには、これまで主に用いられてきた質問紙法では、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<sup>12,13)</sup>。したがって、個人間差をみるには適当ではない。例えば生活習慣病予防におけるNEATあるいはNEATを含む身体活動量の役割については、たとえ検討されていたとしても、方法論の限界により、過小評価されていた可能性が高い。

最近、疫学的な研究や生理学的な研究において、不活動(sedentariness)という側面からも、身体活動の影響が検討されるようになってきている<sup>15)</sup>。今後は、NEAT評価の妥当性を確認した加速度計や歩数計、DLW法などを用いて、生活習慣病予防におけるNEATの役割を検討する必要がある。

厚生労働省が2006年に策定した‘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)’では、‘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。しかし、上記のような点を考えると、特に身体活動全体がどのような効果があるかは、方法論を改善したうえで更に検討の余地があると考えられる。

## ■ 文 献

- 1) Caspersen CJ, et al: Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep* 100: 126-131, 1985.
- 2) 田中茂穂: 身体活動レベル(PAL)とエネルギー必要量. *臨床スポーツ医学* 24: 847-853, 2007.
- 3) Westerterp KR: Impacts of vigorous and non-vigorous activity on daily energy expenditure. *Proc Nutr Soc* 62: 645-650, 2003.
- 4) Heymsfield SB, et al: Body-size dependence of resting energy expenditure can be attributed to nonenergetic homogeneity of fat-free mass. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 282: E132-E138, 2002.
- 5) Ganpule AA, et al: Interindividual variability in sleeping metabolic rate in Japanese subjects. *Eur J Clin Nutr* 61: 1256-1261, 2007.
- 6) Midorikawa T, et al: A comparison of organ-tissue level body composition between college-age male athletes and nonathletes. *Int J Sports Med* 28: 100-105, 2007.
- 7) Westerterp KR: Limits to sustainable human metabolic rate. *J Exp Biol* 204: 3183-3187, 2001.
- 8) Black AE, et al: Human energy expenditure in affluent societies: an analysis of 574 doubly-labelled water measurements. *Eur J Clin Nutr* 50: 72-92, 1996.
- 9) Levine JA, et al: Role of nonexercise activity thermogenesis in resistance to fat gain in humans. *Science* 283: 212-214, 1999.
- 10) Levine JA: Nonexercise activity thermogenesis-liberating the life-force. *J Intern Med* 262: 273-287, 2007.
- 11) Levine JA, et al: Interindividual variation in posture allocation: possible role in human obesity. *Science* 307: 584-586, 2005.
- 12) 山村千晶ほか: 身体活動量に関する質問票の妥当性について. *栄養学雑誌* 60: 265-276, 2002.
- 13) Nielsen HK, et al: Estimating activity energy expenditure: how valid are physical activity questionnaires? *Am J Clin Nutr* 87: 279-291, 2008.
- 14) 田中茂穂: 日常生活における生活活動評価の重要性. *日本公衛誌* 55: 474-477, 2008.
- 15) Hamilton MT, et al: Role of low energy expenditure and sitting in obesity, metabolic syndrome, type 2 diabetes, and cardiovascular disease. *Diabetes* 56: 2655-2667, 2007.

## 5. 人の基礎代謝量

田中茂穂

基礎代謝量<sup>\*1</sup>は、安静仰臥位・覚醒状態にて、快適な室温のもと、12時間程度の絶食後に測定される。平均すると、基礎代謝量は総エネルギー消費量の約60%を占める。性・年齢・体格が変動要因とされるが、実際は、組織・臓器レベルの身体組成により個人間変動の多くが説明できる。エネルギーバランスのほか、甲状腺ホルモンや生理周期などの影響も受けるが、レプチンやアディポネクチン、遺伝子多型との関連もほとんどない。身体組成を補正すると、肥満との関連もほとんどみられず、むしろ「運動以外の身体活動 (NEAT)」を含む身体活動の方が、肥満と関連しているかもしれない。

### はじめに

ヒトの1日あたりのエネルギー消費量 = 総エネルギー消費量 (total energy expenditure : TEE) は、一般に、表1のように分けられる。

日本人の食事摂取基準 (2005年版) においても、また、欧米人においても、身体活動レベル [physical activity level : PAL<sup>\*2</sup> = TEE ÷ 基礎代謝量 (basal

metabolic rate : BMR)] の標準値は1.75程度であるので<sup>1) 2)</sup>、逆算すると、BMRは平均してTEEの約60%程度を占める。このように、一般にTEEのなかで最も大きな構成成分はBMRである。

### ■ 基礎代謝量 (basal metabolic rate : BMR) とは

人が生きていくうえで必要な最小限のエネルギー消費量を測定することを意図したものである。ただし、

#### [キーワード&略語]

身体活動, エネルギー代謝, 運動, 基礎代謝量, NEAT, 肥満

BMR : basal metabolic rate (基礎代謝量)

DLW : doubly labeled water (二重標識水)

NEAT : nonexercise activity thermogenesis (運動以外の身体活動)

PAL : physical activity level (身体活動レベル)

TEE : total energy expenditure (総エネルギー消費量)

UCP3 : uncoupling protein-3 (脱共役タンパク質3)

#### ※1 基礎代謝量 (basal metabolic rate : BMR)

人が生きていくうえで必要な最小限のエネルギー消費量を意図したもので、以下の条件で測定される。

- ・約12時間以上の絶食
- ・安静仰臥位で、筋の緊張を最小限にした状態
- ・快適な室温で、心身ともにストレスの少ない覚醒状態

#### ※2 身体活動レベル (physical activity level : PAL)

総エネルギー消費量 (TEE) を BMR で除したもので、一般におよそ1.4~2.2の幅に分布する。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。

#### Basal metabolic rate in humans

Shigeho Tanaka : Project for Energy Metabolism, Health Promotion and Exercise Program, National Institute of Health and Nutrition (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)

表1 総エネルギー消費量の内訳とばらつき

成分	割合 (%)	個人差 (kcal/日)	備考
基礎代謝量	60	100	割合は大きいですが、体格でおおよそ決定
食事誘発性体熱産生	10	50	割合も変動幅も小さいが、相対的な測定誤差が大きい
運動	0~5	50~100	日本人で週2日以上運動を実施している者は30%弱
運動以外の身体活動	25~30	200~300	PALの大きな個人差 (1.4~2.2) を生じる主な原因

数値は、標準的な体格の日本人（スポーツ選手等は除く）における、おおよその値。個人差は、標準偏差あるいは推定の標準誤差からの概算

表2 安静時における臓器別エネルギー消費量 (Reference Man)

	重量 (kg)	代謝率 (kcal/kg/日)	代謝量の割合 (%)
骨格筋	28	13	21.6
肝臓	1.8	200	21.3
脳	1.4	240	19.9
心臓	0.33	440	8.6
腎臓	0.31	440	8.1
脂肪組織	15	5	4.0
その他	23.16	12	16.5
計	70		100.0

最小のエネルギーは、睡眠中に観察される。

BMRは測定前日から、測定実施場所に宿泊して測定をすることもあるが、当日の朝、測定実施場所に移動し、十分な安静（30分以上）を保った後測定されることも多い。宿泊の影響の有無については両方の報告がある<sup>3)~5)</sup>が、現実的にBMRとよばれている計測値あるいは推定式の多くは、宿泊せずに得られている点を考えると、BMRの測定条件に宿泊を入れるのは無理があると考えられる。

なお、「安静時代謝量 (resting metabolic rate または resting energy expenditure)」は、測定条件が厳密に規定されているわけではなく、BMRは安静時代謝量の一つと考えることができる。「安静時代謝量」とよんでいるもののなかには、早朝空腹時に安静仰臥位で測定しており、基礎代謝とみなしてよいものも多い。また、「睡眠時代謝量」は、安静仰臥位で測定する点でBMRと同様であるが、長時間の絶食後に覚醒状態で測定するBMRとは異なる。

## 2 基礎代謝量の変動要因

BMRは、性・年齢・体格によって大きく異なる。そのため、日本の基礎代謝基準値 (kcal/kg 体重/日)

を含むBMR推定式は、性・年齢・体重 (+身長) を含んでいることが一般的である。ただし、一方では、体格が決まればばらつきが小さいともいえる<sup>6)</sup>。

より正確には、BMR (kcal/日) の変動の大部分は、身体組成、特に組織・臓器重量で説明ができる<sup>7)~9)</sup>。各組織・臓器のエネルギー代謝率は、動静脈の酸素濃度較差×血流量で推定できる。このようにして求めた安静時における各組織・臓器のエネルギー代謝率に、各組織・臓器の重量を掛け合わせることによって、基礎代謝量に対する各組織・臓器の寄与がわかる。

BMRは、筋肉の緊張を最小限にした状態で測定される。そのため、除脂肪量の約半分を占める筋肉が基礎代謝量測定時に消費するエネルギーは20%程度で、その他、脳、肝臓、心臓、腎臓等の内臓も大きな割合を占めている (表2)。したがって、除脂肪量、できれば上記の主要組織・臓器の重量がわかれば、基礎代謝量をより高精度で推定することが可能となる。実際、Reference Manのみならず、一般健常人や運動選手においても、この方法によりBMRが小さい誤差で推定できることが明らかとなっている<sup>7)~9)</sup>。

一般に女性より男性、高齢者より若年者の方が大きく、除脂肪量を補正しても差が残る。この点につい

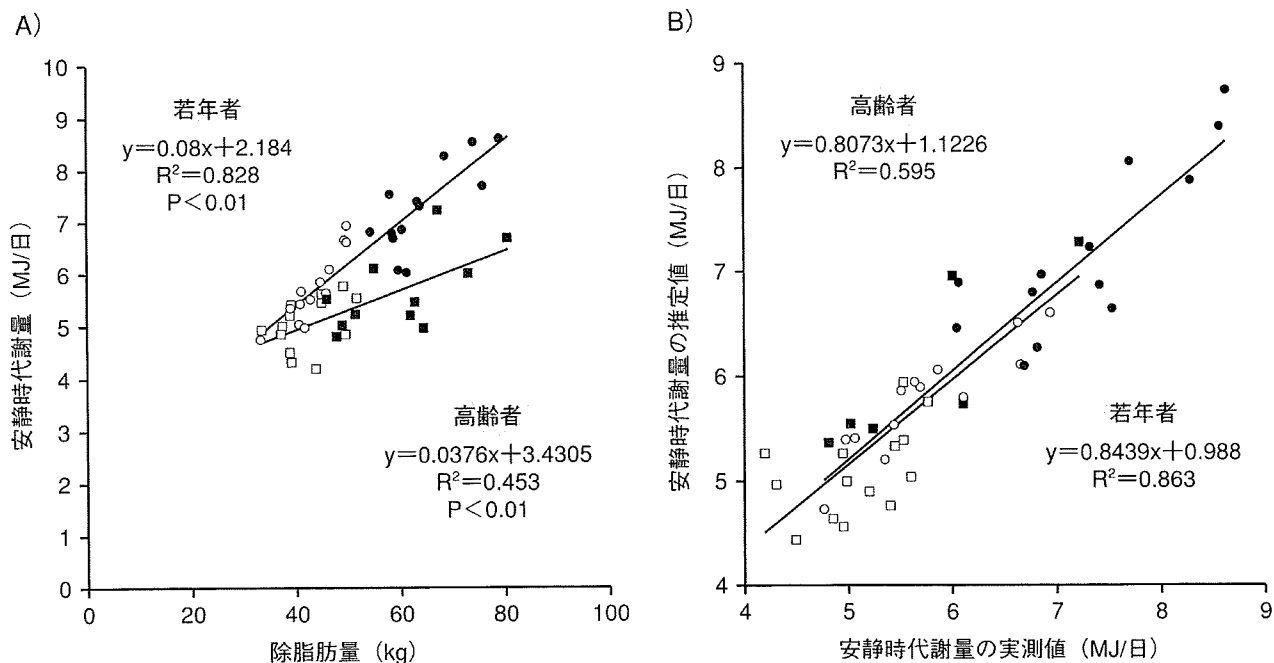


図1 高齢者と若年者における安静時代謝量の実測値とA) 除脂肪量, B) 各組織・臓器重量による安静時代謝量の推定値との関係  
文献10より改変

て、Bosy-Westphalら<sup>10)</sup>が組織・臓器重量とそれらのエネルギー代謝率を用いた推定値を用いたところ、高齢者と若年者との間に差はみられなかった(図1)。このように、性・年齢による差も、組織・臓器重量の違いでおおよそ説明がつく。すなわち、各組織・臓器の代謝率の個人差はそれほど大きくないと考えられる。一方、Hsuら<sup>11)</sup>は、同様の分析を成人(26.0±1.8歳)と子ども(9.3±1.7歳)で行った。その結果、子どもの場合は、除脂肪量に対して、安静時代謝量が非常に大きく、肝臓や脳の重量比が大きいことが関与していた。しかし、組織・臓器重量から安静時代謝量を推定した場合、成人と異なり、実測値の方が299 kcal/日も大きかった(図2)。以上より、子どもにおける各組織・臓器のエネルギー代謝率は成人と異なることがうかがえる。

### ③ BMRとアディポサイトカイン

レプチンは、動物実験の結果に基づき、摂食量を抑えるとともにエネルギー消費量を増加させることによって、エネルギーバランスを負の方向へ作用するといわれてきた。しかし、ヒトを対象とした場合、レプチンを投与しても、エネルギー消費量に変化はみられ

ない<sup>12)</sup>。また、レプチンと安静時代謝量との関係を横断的に検討した報告においても、身体組成を適切に考慮すれば、レプチンがエネルギー消費量に関与しているという結果は得られていない<sup>13)~15)</sup>。また、アディポネクチンについても、動物実験とは異なり、エネルギー消費量とは関係していないようである<sup>16)</sup>。

### ④ BMRのその他の主な変動要因

BMRの主な変動要因として、負のエネルギーバランスのほか、甲状腺ホルモン<sup>16)</sup>と生理周期<sup>17)</sup>があげられる。

もともとBMRの測定は、甲状腺機能異常の診断に用いるために行われていた。また、生理周期の影響については、否定的な結果もいくつかあるものの、より安定した指標である睡眠時代謝量での検討結果などをみる限り、体温の変化とともに、エネルギー消費量も変動するようである<sup>17)</sup>。

なお、最新のHuman Obesity Gene Map<sup>18)</sup>によると、安静時代謝量との関連について、UCP3(uncoupling protein-3)に関して2つの報告があることを除くと、複数の研究者から同様の結果が報告されている遺伝子変異・多型は、現時点では存在しない。

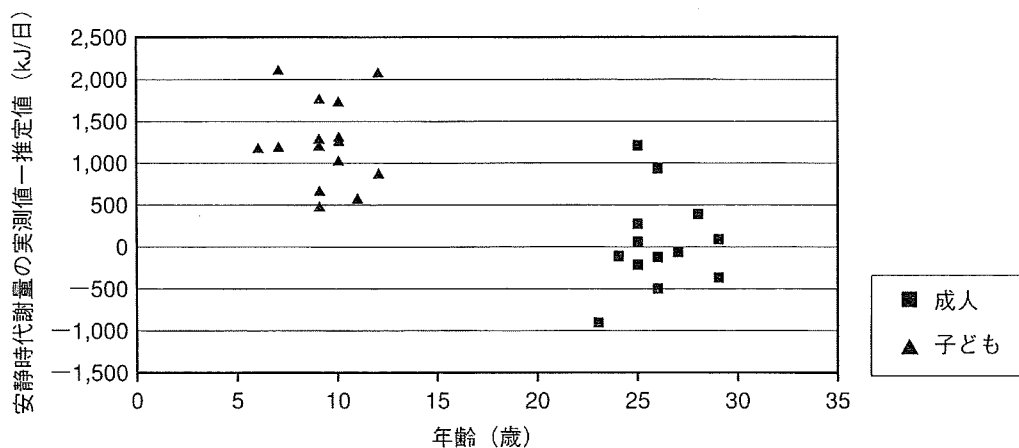


図2 成人と子どもにおける，安静時代謝量の実測値と各組織・臓器重量による推定値との差  
文献11より改変

## 5 肥満者における BMR

一般に，肥満者は体脂肪量のみならず除脂肪量も多い。そのため，BMRの絶対量も，肥満者は大きい傾向にある。

それに対し，体重あたりはもちろん，除脂肪量あたりでBMRを表現すると，肥満者の値は小さくなる<sup>19)</sup>。これは，BMRについて，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。そのため，除脂肪量の値が小さいと除脂肪量あたりの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。したがって，体重はもちろん，BMRの厳密な分析を行う際に，除脂肪量あたりの数値 (kcal/kg) での検討は避け，回帰の残差など線形補正<sup>※3</sup>が必要である<sup>19)</sup>。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ない。また，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，肥満の有無にかかわらず，ほぼ一致する<sup>20)</sup>。

## 6 肥満の原因としての BMR

ここまで述べたのは，肥満とBMRに関する横断的な検討結果である。しかし，BMRが低いことが肥満につながるかどうかには，縦断的な分析が必要である。また，先に述べたように，身体組成の影響を考慮しなければならない。

Astrupら<sup>21)</sup>は，肥満者が減量し安定したところで，

同程度の体格の非肥満者と比較した。「もしBMRが低いことが肥満につながるのであれば，元肥満者のBMRも低いだろう」という仮定に基づいている (post-obese model)。その結果，元肥満者のBMRの値が低めではあったものの，5%水準では有意ではなかった。

BMRを測定し，その後の体重変動との関係をみるのが，より直接的な検討法である。その場合にも，BMRは体格で補正しておく必要がある。このような分析を行った論文はいくつかあるが，Pima Indian<sup>※4</sup>における報告<sup>22) 23)</sup>を除いては，関連がないという結果が得られている<sup>24)</sup>。しかも，Pima Indianにおいても，相関は弱い。

その点に関して，われわれも最近，縦断的な検討を実施した (2007年度花王健康科学研究会研究助成)。

### ※3 線形補正

線形モデルを用いて，交絡因子を補正すること。この場合は，① BMRを目的変数，除脂肪量などを説明変数とした回帰分析を行い，その残差を利用したり，② BMRを目的変数，除脂肪量などを共変数とした共分散分析により，肥満群と非肥満群を比較する，といった方法がある。

### ※4 Pima Indian

1万5千年から2万年前に，アジア大陸からベーリング海峡を渡ってアメリカに移動した民族の子孫で，アリゾナの砂漠に住んでいた。元来，狩猟採集中心の生活を送っていたが，19世紀末に土地を奪われ保護区に入れられた。その結果，身体活動量が減り，第二次世界大戦の頃にハンバーガー等が入ってくるようになってからは，肥満や糖尿病が増加し，40歳以上の2/3は糖尿病である。

日本人を対象としていることに加え、BMRの代わりに、より安定した結果の得られる睡眠時代謝量を用いたことが特徴である。その結果、やはり睡眠時代謝量とその後の体重変動との間に有意な関連はみられなかった（未発表データ）。

## 7 運動以外の身体活動 (NEAT)

二重標識水 (doubly labeled water : DLW) 法から得られたPALのデータに基づくと、日常生活を特に不自由なく送っている者の多くにおいて、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<sup>1) 2) 25)</sup>。このばらつきの大部分は、余暇・家事・仕事などにおける「運動以外の身体活動 (nonexercise activity thermogenesis : NEAT)」によって生じている<sup>25)</sup>。

NEATについては、1999年に論文がScience誌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、平均値や個人間差が大きいだけでなく、肥満にも関与している可能性が示唆されている<sup>25)</sup>。

今後は、NEAT評価の妥当性を確認した加速度計や歩数計、DLW法などを用いて、生活習慣病予防におけるNEATの役割を検討する必要がある。

## 文献

- 1) 田中茂穂：臨床スポーツ医学, 24 : 847-853, 2007
- 2) Westerterp, K. R. : Proc. Nutr. Soc., 62 : 645-650, 2003
- 3) Berke, E. M. et al. : Am. J. Clin. Nutr., 55 : 626-629, 1992
- 4) Turley, K. R. et al. : Am. J. Clin. Nutr., 58 : 141-144, 1993
- 5) Bullough, R. C. & Melby, C. L. : Ann. Nutr. Metab., 37 : 24-32, 1993
- 6) Ganpule, A. A. et al. : Eur. J. Clin. Nutr., 61 : 1256-1261, 2007
- 7) Gallagher, D. et al. : Am. J. Physiol., 275 : E249-E258, 1998
- 8) Müller, M. J. et al. : Obes. Rev., 3 : 113-122, 2002
- 9) Midorikawa, T. et al. : Med. Sci. Sports Exerc., 39 : 688-693, 2007
- 10) Bosity-Westphal A. et al. : J. Nutr., 133 : 2356-2362, 2003
- 11) Hsu, A. et al. : Am. J. Clin. Nutr., 77 : 1506-1511, 2003
- 12) Hukshorn, C. J. & Saris, W. H. : Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care., 7 : 629-633, 2004
- 13) Plasqui, G. et al. : Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab., 285 : E338-E343, 2003
- 14) Johnstone, A. M. et al. : Am. J. Clin. Nutr., 82 : 941-948, 2005
- 15) Usui, C. et al. : J. Nutr. Sci. Vitaminol., 53 : 529-535, 2007
- 16) Danforth, E. Jr. & Burger, A. : Clin. Endocrinol. Metab., 13 : 581-595, 1984
- 17) Bisdee, J. T. et al. : Br. J. Nutr., 61 : 187-199, 1989
- 18) Rankinen, T. et al. : Obesity, 14 : 529-644, 2006
- 19) Ravussin, E. & Bogardus, C. : Am. J. Clin. Nutr., 49 : 968-975, 1989
- 20) Bosity-Westphal, A. et al. : Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord., 28 : 72-79, 2004
- 21) Astrup, A. et al. : Am. J. Clin. Nutr., 69 : 1117-1122, 1999
- 22) Ravussin, E. et al. : N. Engl. J. Med., 318 : 467-472, 1988
- 23) Tataranni, P. A. et al. : Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord., 27 : 1578-1583, 2003
- 24) Weinsier, R. L. et al. : Obes. Res., 11 : 937-944, 2003
- 25) 田中茂穂：日本公衛誌, 55 : 474-477, 2008

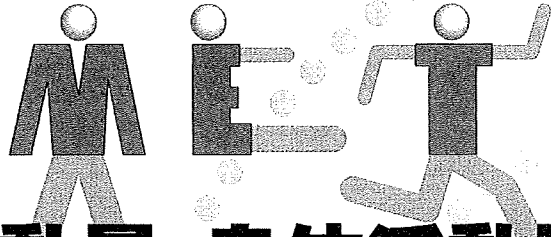
## <著者プロフィール>

田中茂穂：東京大学教育学部体育学・健康教育学科（健康教育学コース）を卒業し、大学院修了後、東京大学教育学部助手、茨城大学教養部・教育学部（講師・助教授）を経て、2001年3月より、国立健康・栄養研究所に所属。現在、エネルギー代謝プロジェクトリーダー。日本で初めてつくられたヒューマンカロリメーター（エネルギー代謝測定室）等を用いて、エネルギー消費量や身体活動の評価法、およびエネルギー代謝の変動要因を検討している。



# Seminar

セミナー：  
現場で役立つ  
運動・身体活動の科学①



## 日本人の運動量・身体活動量の 評価と現状

独立行政法人国立健康・栄養研究所 健康増進プログラム

田中茂穂 *Tanaka, Shigebo*

### Key word

身体活動, 運動, メッツ, 歩数, エクササイズ

### 身体活動と運動の定義

「身体活動」と「運動」は、以下のように定義されている。「健康づくりのための運動基準 2006」<sup>1)</sup>や「健康づくりのための運動指針 2006」<sup>2)</sup>でも、これら2つを区別して用いている(図1)。

#### ■身体活動

骨格筋活動による身体動作をともなう、安静時よりも多くのエネルギー消費をと

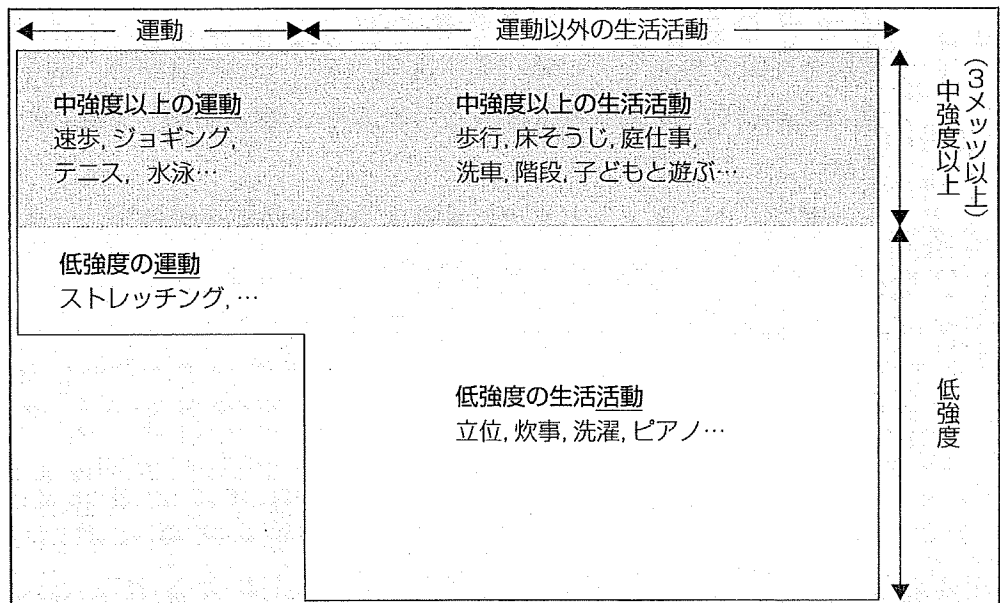


図1 身体活動と運動

もなう身体の状態。日常生活における労働、家事、通勤・通学、趣味などの「生活活動」と、「運動」の2つに分けられる。

## ■運動

身体活動の一種であり、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もの。たとえば、健康増進のための速歩やジョギング、ランニング、自転車、水泳、テニス、バドミントン、サッカー、ストレッチングなどが含まれる。

## メッツ\*1

身体活動強度の指標として、日本では、エネルギー代謝率 (relative metabolic rate : RMR) という指標<sup>3)</sup> が用いられてきたが、最近ではメッツ<sup>4)</sup> がよく用いられるようになってきた。

分母の安静時代謝量は「座位安静時におけるエネルギー消費量」で、12時間前後の絶食後に安静仰臥位で測定する基礎代謝量と比べると、食事による産熱の影響(≒食後の時間)によっても値は異なるが、座位である分10%弱~20%程度高めめの値となる。本来は、座位安静時代謝量を実測してメッツ値を求めるが、座位安静時の酸素摂取量は3.5 ml/kg/分であるとして得られたメッツ値も存在する。ただし、3.5 ml/kg/分は、もともと40歳くらいの白人男性における標準的な値として使用されるようになった値であるのに対し、実際の体重当たりの安静時代謝量は、性や年齢などによって平均値が異なる。

また、メッツの値は、元来、多少の個人差があることを踏まえて利用する必要がある。アメリカスポーツ医学会 (ACSM)<sup>5)</sup> は、メッツ値の個人による誤差は、標準偏差相当で約7%としている。たとえば、4メッツの歩行は、ほとんど(約95%)の個人において、 $4 \pm 4 \times 0.07 \times 2$  (およそ3.45~4.55) くらいの幅に入ると考えられる。

一般に、3~6メッツまでに相当する身体活動を中強度、6を超える活動を高強度活動と分類する<sup>6)</sup>(表1)。健康増進のための身体活動を扱う場合は、生活習慣病などとの関連が検討されており、安全性も確保しやすい中強度活動を取りあげることが一般的である。

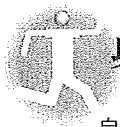
\*1 メッツ (metabolic equivalent : MET) : 各活動時のエネルギー消費量を座位安静時代謝量で補正したもので、アメリカスポーツ医学会 (ACSM) が、600近くの活動について、値をまとめている<sup>4)</sup>。

メッツ=各活動時のエネルギー/座位安静時代謝量

その日本語訳が、(独)国立健康・栄養研究所のHPに掲載されている ([http://www.nih.go.jp/eiken/programs/pdf/mets\\_n.pdf](http://www.nih.go.jp/eiken/programs/pdf/mets_n.pdf))。

表1 身体活動の強度

<p>中強度 (moderate) 活動：3～6メッツ          ふつう歩行：3.0メッツ          速歩 (90～100 m/分)：約4.0メッツ          速歩+ジョギング：6.0メッツ          一般的な中高年向きの身体活動          (最大酸素摂取量のおよそ40～60%に相当)</p>
<p>高強度 (vigorous) 活動：&gt;6メッツ          ジョギング：8.0メッツ          自転車エルゴメーター (150ワット)、重い物を運ぶ、積荷          (最大酸素摂取量のおよそ60%以上に相当)</p>



## 身体活動量の指標

身体活動量は、一般に

$$\Sigma (\text{活動強度} \times \text{時間} \times \text{頻度})$$

と表わすことができる。具体的な指標としては、以下の3つがあげられる。

### ■身体活動によるエネルギー消費量

身体活動を実施している間に消費したエネルギー消費量のうち、基礎代謝量や食事誘発性体熱産生を除いた残りをさすことが一般的である。ただし、一般にエネルギー消費量は体格を反映する。たとえば、同じ速歩を1時間実施した場合に、エネルギー消費量は、体重が80kgの人のほうが40kgの人の約2倍になる。

### ■身体活動レベル\*2

「日本人の食事摂取基準(2010年版)」<sup>7)</sup>で、エネルギー必要量を推定するために用いられている指標である。運動はもちろん、仕事や家事、余暇活動、その他、立位など姿勢保持によって生じるエネルギーの影響も受ける。したがって、低強度を含め、すべての身体活動量を丸ごと評価したい場合に利用する指標である。

### ■メッツ・時(エクササイズ)\*3

体格の影響を除いて身体活動量を定量化するために使われる。たとえば、4メッツ(分速90～100m)の速歩を60分/週実施すると、4メッツ・時となる。同様に、ジョギングやテニス(約7メッツ)の場合は、約35分/週で4メッツ・時に相当す

\*2 身体活動レベル (physical activity level : PAL) : 1日のエネルギー消費量 (kcal/日) を基礎代謝量 (kcal/日) で割ったものを、身体活動レベルと呼ぶ。総エネルギー消費量の構成要素から考えると、身体活動レベルは、食事誘発性体熱産生の影響も受けるが、主として、すべての身体活動量を反映する。

る。「健康づくりのための運動基準 2006」<sup>1)</sup>において、生活習慣病予防のために 23 メッツ・時/週以上の身体活動量が必要だとされている。

## 身体活動量の測定法の実際

### ■生活活動記録と質問紙

生活時間調査により活動内容を本人または観察者が記録し、それぞれの活動時のエネルギー消費量を推定して、身体活動量を推定できる。ただし、記録の正確性や活動の記録・集計・分析の手間という問題がある。

また、最近の一定期間（例：ここ 1 週間～1 年）における身体活動や運動の実施状況について、複数の質問項目に答えることによって、活動量を捉えようとする質問紙もある。国内で使用されているものとしては、IPAQ（国際標準化身体活動量質問票）や JALSPAQ<sup>2)</sup> などがある。これらは、手間やコストがかからず、簡単に実施できる一方で、答える者の主観が入り込みやすく、正確な評価がむずかしいという短所がある。

いずれも、一般には、個人間の身体活動強度の差を捉えるには限界がある<sup>3)</sup>。

### ■歩数計法

歩数計は、身体活動のうち歩行・走行のみを対象としているが、歩行は、中強度以上の身体活動において重要な要素であり、その量の指標である歩数を、客観的かつかなり正確に捉えられる。また、一般に安価なのも魅力である。

歩数と歩行時間の関係は、厳密には歩行速度によって異なるものの、一般に「1,000 歩≒10 分」という関係が成り立つ。そこで、身体活動のなかで一定の比重を占めると考えられる歩数の値から、ある程度の歩行時間の目安を捉えることが可能である。

日常生活のなかでは、屋内での歩行など、低強度で意識されない歩数が 2,000～4,000 歩程度見られる。もし、1 日当たりの歩行が 1 万歩だった場合、6,000～8,000 歩程度が、3 メッツ以上の歩行ではないかと推測される。その場合、10 分当たり 1,000 歩とすると、1 日当たり約 60～80 分に相当する。ただし、たとえば掃除機をかけたり窓を拭いたりするような作業は、やり方次第で 3 メッツ以上となるが、歩数計ではほとんど捉えられない。そこで、歩数計で評価できない活動は、別途加えて考える必要がある。

日本においては、歩数計にも JIS 規格がある。しかし、正しく装着した場合でも、

\* 3 メッツ・時（エクササイズ）：運動強度の指数であるメッツに運動時間（時間）を掛けて求める。運動基準・指針<sup>1,2)</sup>においては、体格の違いを考慮することができ、また、運動基準を決定するに当たって使用した文献でも多く用いられていたため、身体活動量を 1 週間当たりのメッツ・時で表現し、“エクササイズ”（Ex）と呼ぶこととした。

歩数計間で1日の歩数に最大で20~30%程度の差が出ることもある。その原因として、加速度計タイプではどの程度連続して歩いたら歩数とみなすかが歩数計によって異なることや、すり足歩行・ゆっくり歩行が多いことなどが考えられる。

### ■加速度計法

一般に身体の動作は加速度をとまなうことを利用して、加速度の大きさと身体活動強度との関係式から身体活動強度やエネルギー消費量を推定する。その多くは歩数計と同じかやや大きい程度で、装着はしやすい。上下方向だけ（1次元）の加速度計から3次元の加速度計まである。ただし、比較的低強度の活動をはじめ、重い物を持ってじっと立っている場合、坂道を昇り降りする場合、自転車こぎなどは捉えにくい。また、水泳や着替え、入浴などのときは装着できない。

また、市販されている加速度計の種類によって、評価できる活動の種類（歩行・走行やそれ以外の活動など）や正確さに大きな差があり、異なる加速度計を同時に装着して比較すると、異なる値が得られることもある<sup>10)</sup>。

### ■身体活動量評価法に関するまとめ

上記の方法のなかでは、一般に加速度計がもっとも身体活動量を正確に評価できる。歩数計も、加速度計につぐ方法と考えられる。これらの客観的な方法は、一般に、個人間の身体活動量を比較するうえでは有効である。しかし、異なるタイプの加速度計間では値の違いが大きく、妥当性の検討結果をしっかりと確認してから利用したい。それに対し、生活活動記録や質問紙法は、コストがかからない一方で、個人間の身体活動量の比較には限度がある。

活動量計や歩数計は、活動量を逐一確認することができる。そのため、これらを使用すること自体が、活動量を増やす傾向にあることが証明されつつある<sup>11)</sup>。その点も、これらの機器の利点と言える。



### エネルギー消費量の推定法

メッツの分母である座位安静時の酸素摂取量はおよそ3.5 ml/kg/分、酸素消費量1 lにつき約5 kcalに相当する。そこで、

$$\text{エネルギー消費量} \approx (3.5 \times 5 \times \text{体重 (kg)} \div 1,000) \times \text{メッツ} \times \text{時間 (分)}$$

となる。また、

$$1 \text{ メッツ} \cdot \text{時} \approx 3.5 \text{ ml/kg/分} \times 5 \text{ kcal/l} \div 1,000 \times 60 \text{ 分} = 1.05 \text{ kcal/kg}$$

と換算できるため、以下のように変形できる。

$$\text{エネルギー消費量} \approx \text{メッツ} \cdot \text{時} \times \text{体重 (kg)} \times 1.05$$

表2 主な運動によって、安静時より余分に消費されるエネルギーの推定値

	速歩	水泳	自転車 (軽い負荷)	ゴルフ	軽い ジョギング	ランニング	軽いテニス
強度(メッツ)	4.0	8.0	4.0	3.5	6.0	8.0	7.0
運動時間(分)	10	10	20	60	30	15	20
運動量(Ex)	0.7	1.3	1.3	3.5	3.0	2.0	2.3
体重	体重別エネルギー消費量 (kcal)						
50 kg	25	60	55	130	130	90	105
60 kg	30	75	65	155	155	110	125
70 kg	35	85	75	185	185	130	145
80 kg	40	100	85	210	210	145	170

(厚生労働省 運動所要量・運動指針の策定検討会. 健康づくりのための運動指針 2006

～生活習慣病予防のために～ 〈エクササイズガイド 2006〉: 2006. p.23<sup>2)</sup> より)

エネルギー消費量は、強度(メッツ)×体重×時間(h)×1.05の式より得られた値から安静時のエネルギー量(1メッツ分)を引いたもの。すべて5 kcal 単位で表示。

「安静時からの増加分のエネルギー(=運動により余分に消費したエネルギー)」を知りたい場合は、安静時のメッツ値(=1メッツ)を引いて、以下のようにエネルギー消費量を概算することができる。

60 kgの人が速歩を1時間実施した場合： $(4 - 1) \times 1 \times 60 \times 1.05 \approx 190$  kcal

「健康づくりのための運動指針 2006」<sup>2)</sup>のp.23の表(表2)には、こうして得られた値が掲載されている。

一般に、生活習慣病全体の予防を考える際には、体格を補正した“エクササイズ”(メッツ・時)を用いるのがよい。それに対し、肥満・メタボリックシンドロームの解消のようにエネルギー消費量を知りたい場合には、「安静時からの増加分」のエネルギーを計算するほうが目的にかなっている。

こうして得られた値には誤差があるので、減量などを進めるうえでは、上記のような推定に基づいて運動を実施したところで、その後の体重の変動を考慮して、実施する運動の量を微調整することになる。

## 運動量・身体活動量の現状

国民健康・栄養調査<sup>12)</sup>の運動習慣に関する質問項目と歩数調査は、それぞれ、運動量・身体活動量の調査項目と言える。前者は、30分以上の運動を週2日以上、1年以上継続しているかどうかをたずねている。後者は、食事調査を実施した日(1日)の歩数を調査している。

それぞれについて、平成9年と17年を比較したものを、表3と表4にまとめた。運動習慣がある人の割合は、平均すると約30%程度であり、若年者より高齢者のほうが多い。また、全体で見ると、運動習慣については、とくに女性において実施者

表3 運動習慣者の割合(%)

年齢階級(歳)	平成9年	平成17年	差
男性			
20~29	26.9	18.5	-8.4*
30~39	20.6	16.5	-4.1
40~49	24.5	15.6	-8.9*
50~59	25.8	26.6	0.8
60~69	36.3	42.8	6.5*
70~	36.2	39.1	2.9
全体(20歳以上**)	28.6	30.7	2.1
全体(年齢調整後***)	28.6	27.4	-1.2
女性			
15~19			
20~29	16.7	14.6	-2.1
30~39	19.4	14.0	-5.4*
40~49	24.3	21.8	-2.5
50~59	27.3	28.0	0.7
60~69	31.6	41.6	10.0*
70~	24.9	31.6	6.7*
全体(20歳以上**)	24.6	28.2	3.6*
全体(年齢調整後***)	24.6	26.1	1.5

(健康・栄養情報研究会編。国民健康・栄養の現状：平成17年厚生労働省国民健康・栄養調査報告より：第一出版；2008<sup>12)</sup>より)

\* 平成9年と平成17年の比較 ( $p < 0.05$ )。

\*\* 20歳以上における単純平均。

\*\*\* 平成17年については、年齢構成を平成9年にそろえたうえで計算した平均値。

表4 平均歩数(歩/日)

年齢階級(歳)	平成9年	平成17年	差
男性			
20~29	8,785	8,736	-49
30~39	8,866	8,568	-298
40~49	8,443	8,059	-384
50~59	8,851	8,400	-451
60~69	7,683	7,418	-265
70~	5,436	5,151	-285
全体(20歳以上**)	8,125	7,561	-564*
全体(年齢調整後***)	8,125	7,823	-302*
女性			
15~19			
20~29	7,270	7,350	80
30~39	7,629	6,992	-637*
40~49	8,198	7,388	-810*
50~59	8,121	7,541	-580*
60~69	6,876	6,777	-99
70~	4,604	4,088	-516*
全体(20歳以上**)	7,188	6,525	-663*
全体(年齢調整後***)	7,188	6,747	-441*

(健康・栄養情報研究会編。国民健康・栄養の現状：平成17年厚生労働省国民健康・栄養調査報告より：第一出版；2008<sup>12)</sup>より)

\* 平成9年と平成17年の比較 ( $p < 0.05$ )。

\*\* 20歳以上における単純平均。

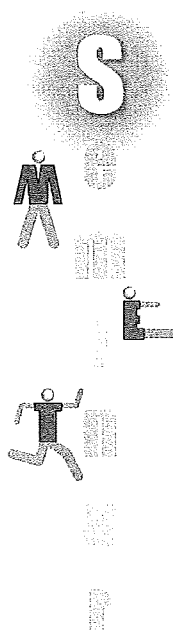
\*\*\* 平成17年については、年齢構成を平成9年にそろえたうえで計算した平均値。

の割合が増加しているように見える。しかし、これは主に、この8年の間にも高齢化が進み、年齢階級が高い方で運動実施者の割合が増えているからである。男女とも、40歳代以下では減少、60歳代以上では増加の傾向が見られる。したがって、運動する時間を確保するのが容易ではない働き盛りの世代で、いかに運動習慣者の割合を増やすかが重要な課題である。

一方、歩数は、必ずしも統計的に有意な差ではないものの、60歳以上を含めたほとんどの性・年齢階級で減少傾向が見られており、最近の身体活動量は減少傾向にあることを示唆している。

#### 文献

- 1) 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。
- 2) 厚生労働省 運動所要量・運動指針の策定検討会。健康づくりのための運動指針2006～生活習慣病予防のために～〈エクササイズガイド2006〉：2006。



- 3) 沼尻幸吉. 活動のエネルギー代謝. 増補第2版: 労働科学研究所出版部; 1987.
- 4) Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC, et al. Compendium of Physical Activities: An update of activity codes and MET intensities. Med Sci Sports Exerc 2000; 32 (9 Suppl): S 498-516.
- 5) American College of Sports Medicine (日本体力医学会体力科学編集委員会, 監訳). 運動処方指針 運動負荷試験と運動プログラム. 原著第7版: 南江堂; 2006.
- 6) 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): 402-7.
- 7) 厚生労働省. 日本人の食事摂取基準 (2010年版)「日本人の食事摂取基準-策定検討委員会報告書」; 2009.
- 8) 原田亜紀子, 内藤義彦. 身体活動量の評価. In: 熊谷秋三, 責任編集. 健康・運動の疫学入門: 医学出版; 2008. p 28-37.
- 9) 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(12): 265-76.
- 10) 田中茂穂. 身体活動レベル (PAL) とエネルギー必要量. 臨床スポーツ医学 2007; 24(8): 847-53.
- 11) Bravata DM, Smith-Spangler C, Sundaram V, et al. Using pedometers to increase physical activity and improve health: a systematic review. JAMA 2007; 298(19): 2296-304.
- 12) 健康・栄養情報研究会, 編. 国民健康・栄養の現状: 平成17年厚生労働省国民健康・栄養調査報告より: 第一出版; 2008.



新栄養管理情報システム

# Macrobios®

NUTRITION SOLUTION

**このようなニーズをお持ちではありませんか？**

- 患者様個々のアレルギー・嗜好への対応
- 特別指示の献立の作成
- 院外調理採用
- クックチル・真空調理を用いた新調理の導入への対応
- 1日単位から1食管理への対応
- 個人情報保護の遵守
- 栄養管理実施加算への対応
- 健康増進法
- 電子カルテシステム・オーダリングシステムの導入と対応



## 提供するサービス内容

- 栄養管理業務の統合管理
- 個人栄養管理機能
- 栄養管理計画/栄養ケアマネジメント機能
- 委託業務との共存・環境への対応
- 外来患者向けの栄養サービス機能
- 新調理システムへの対応

**全国無料にて持ち込みデモ実施中**



医療システム事業部 医療営業課  
 〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台4-3 TEL:03-5280-7713 FAX:03-5280-8612  
 URL:<http://www.nct-inc.jp/>(弊社HP) <http://www.macrobios.biz/>(製品HP)  
 E-Mail:[macrobios@nct-inc.jp](mailto:macrobios@nct-inc.jp)



## 加速度計と幼児の身体活動量評価

田中千晶\*1, 田中茂穂\*2

### はじめに

わが国では、約20年前との比較において、諸外国と同様、肥満傾向の子どもが増えており<sup>1)</sup>、さらなる増加が懸念されている。小児期の肥満は、成人期の肥満や糖代謝異常にもつながりやすいため、小児期からの肥満対策は重要である<sup>2)</sup>。諸外国においては、幼少期の肥満や身体活動量が、思春期や成人期に移行するという報告があり、幼児期を対象とした研究がなされている。また、肥満のリスクは、幼児期後半にみられる adiposity rebound のタイミングと関連しているのではないかと指摘もあり、その点でも幼児期は注目されている<sup>3)</sup>。また、最近では、幼児においても、活動的な時間だけでなく、テレビ視聴などの不活動な時間に関して問題視されてきており、テレビの視聴時間が1日当たり2～3時間を超えると、過体重や肥満の増加と関連がみられる<sup>4,5)</sup>。そして、幼児期のテレビの視聴時間が1日当たり2時間を超えると、就学後に移行することが報告されている<sup>4)</sup>。このように、予防医学の重要なターゲットである小児、とりわけ幼児を対象とした日常の身体活動量に関する研究に注目が集まっている。

身体活動(Physical Activity)とは、安静にしている状態より多くのエネルギーを消費する全ての動きを指し、運動(Exercise)と運動以外の身体活

動(NEAT: Nonexercise activity thermogenesis)に分けられる。成人においては、主に3METs (metabolic equivalents)以下のさまざまな低強度の活動からなるNEATが、日常の身体活動の多くを占めており、それらの評価と健康に与える影響が注目されてきている<sup>6)</sup>。幼児の身体活動としては、室内外での遊び、食事および登園といった、日常生活を営む際にみられる全ての活動を考慮する必要がある。

現在、身体活動量の評価には、二重標識水法、加速度計法、歩数計法、心拍数の連続測定および質問紙法などさまざまな方法が用いられている。なかでも質問紙法は、他の測定方法に比較して、短時間で実施可能であり、安価で導入しやすく、対象者の日常の身体活動パターンを長期的に評価できる。しかし、一般に、身体活動の定量化において、質問紙法あるいは活動記録では、強度の個人差を判別するのは難しい<sup>7,8)</sup>。とくに幼児の場合は、比較的定量化しやすいと考えられる、ウォーキングやジョギングなどの規則的な「運動」の頻度・時間が少ない一方で、不規則な活動の割合が多い「遊び」の時間が長いと考えられる。Warehamら<sup>9)</sup>やBlair & Haskell<sup>10)</sup>が指摘しているように、加速度計法などのより客観的かつ正確な方法を用いる必要がある。客観的な方法のうち、心拍数法は、数日間にわたる装着はしにくい点に加え、比較的低強度の活動時では心理的影響を受けやすく、エネルギーの換算時に推定誤差が出るということが指摘されている<sup>11)</sup>。その点、加速度

\*1 桜美林大学

\*2 (独)国立健康・栄養研究所

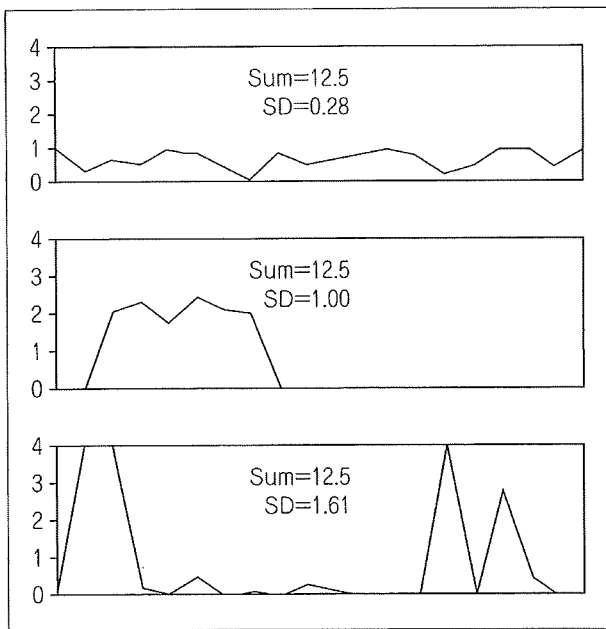


図-1 デジタル積分値が等しく、SDの異なる、3種類のデータの例(文献13より引用)

計は、低強度から高強度までの活動を評価できる。最近、de Vriesら<sup>12)</sup>は、幼児を含む小児の身体活動量を評価する上で、加速度計は、ある程度の妥当性および再現性があり、適当な評価方法であることを報告している。

本稿では、加速度計法を用いた幼児の身体活動の解析法の現状について論じる。

### 加速度計による身体活動の計測原理

加速度計は、加速度に基づいて身体の動きを測定する装置である。1軸から3軸まで、さまざまなタイプが利用されている。加速度計の種類は歪みゲージ型、静電容量型などいくつかあるが、中でも圧電素子(piezoelectric element)と振動重量(seismic mass)などからなる圧電加速度センサーは、小型化に適しており、非常に感度が高いことなどの理由から、3軸加速度センサーをはじめ広く用いられている。動きに伴う加速度によって振動重量が圧電素子に歪みを生じ、その結果として圧電素子の抵抗値が変化する。それを出力電圧として取り出して、加速度に換算する。

身体活動を評価する加速度計に要求される基本的な性能については、Chen & Bassett<sup>13)</sup>がまと

めている。加速度計のサンプリング周波数は、ナイキストの標本化定理に基づき、最も高い周波数の少なくとも2倍でなければならない。人が通常行う衝撃のない身体活動時における重心の一般的な周波数は、走行中の垂直方向で8 Hz以下である。しかし、腕の特定の動きにおいては25 Hz程度になりうるし、立ち上がりや着地などの動作を細かくみたい場合は、50 Hzかそれ以上になる。こうしたことから、身体活動のモニター時のサンプリングは、一般的に1~64 Hzである。

加速度のレンジとしては、通常の歩行であれば、得られる全ての加速度が±2 G以内(平均すると0.2~0.3 G程度)であるが、ランニングなどでは瞬間的に±10 Gを超えることもありうる。一方で、とくに日常動作などの小さい動きを感知するには、分解能が小さいことが要求される。一般に8-bit(±128単位)から12-bit(±2,048単位)の間が利用されるが、大きな加速度をとらえたいか、あるいは小さな動きにおける精密な感度(分解能)を要求するかによって、分解能とレンジ、bit数が決定される。

得られた加速度値については、高周波数帯域にみられる電氣的ノイズや、低周波数帯域にみられるセンサーの劣化や温度変化に伴うドリフトの影響などを取り除くために、フィルタリング処理を行う。その際、扱いたい動作の周波数を考慮して、フィルタリングのレンジが決定される。現在、フィルタリング処理により、およそ0.25~7 Hz程度の周波数帯域が利用されることが多い。

なお、鉛直方向の加速度には、重力加速度(1 G)が含まれる。歩行を含む日常生活動作の加速度は重力加速度よりかなり小さいが、身体の向きが変わると、重力加速度の影響を大きく受けてしまう。そのため、加速度計の種類によるが、低周波の加速度を除去した値を利用することが多い。

加速度計に示されるカウントは、以下の3つに大別できる。第一の算出方法は、あらかじめ決められた閾値を信号が通過した数である。この閾値は、ゼロとする(zero-crossing method)か、あるいは動作があったと考えられる特定の値(最小値)とされる。第二の方法は、任意に設定した選択時間(epoch)の中での、加速度の最大値とする方法

である。最も一般的に使用される方法は、一定時間における加速度の積分値を用いる方法である。多くの場合、デジタル信号は、積分の前に負の値を正の値に置換される。図-1は、デジタル積分値が等しく、SDの異なる、3種類のデータをシミュレーションしたものであり、上段は、一定の低強度活動、中段は中強度活動、下段は突発的な高強度活動である<sup>13)</sup>。これらの加速度のSDは異なるものの、積分値は同じ値となる。このように、epochの長さが長い場合は、異なる強度の2つ以上の活動を区別できなくなり、間欠的な高強度活動は、中強度以下の活動の一部とみなされてしまう。一方、短い場合の問題点は、数秒程度の短時間のエネルギー消費量には、生理学的な意味がほとんどないことである。そうしたことに加え、メモリの制約もあり、多くの装置では、epochは1分が用いられてきた。しかし、最近、とくに子どもにおいて、間欠的な高強度の身体活動をとらえるためにはepochを短く(10秒以下)することが望ましいことが報告されている<sup>14)</sup>。

#### 加速度計によるエネルギー消費量の評価

加速度計によるエネルギー消費量の推定に関する研究は、1980年代から開始され、1軸や3軸などの加速度計が製造・販売されている。得られた加速度値を利用して、①装置から得られたカウントそのものを利用したり、②低強度、中強度、高強度といった活動強度を区分したり、③得られた加速度を用いてMETsなどの推定値を算出したりするものがある。②や③のためには、あらかじめ、呼気分析法を用いた歩行・走行や日常生活活動、ヒューマンカロリーメータ法による室内活動、および二重標識水法を用いた日常生活での測定のうちいずれかにより得られた実測値を基準として、加速度計から得られたカウントとの関係により作成した線形モデルあるいは非線形モデルの推定式が必要である。なお、エネルギー消費量を推定する際は、一般に対象者の身長、体重、年齢、性別などが説明変数に加えられるため、動作のみから評価しているわけではない。

#### 加速度計による子どもの身体活動量の評価の意義

Hoosら<sup>15)</sup>は、3軸加速度計を用いて、8.6±3.3歳のオランダ人男女における日常生活での活動強度分類を検討した結果、成人より高強度活動の時間が長いことを報告している。また、子どものPALは、低強度活動時間と負の相関関係を、また、高強度活動時間と正の相関関係を示した。一方、成人を対象としたWesterterp<sup>16)</sup>の報告では、成人のPALが、中強度活動の時間とのみ正の相関を示している。このように、成人と子どもでは異なる関係がみられた。このことは、子どもの身体活動は、高強度と低強度の活動が入り混じっており、活動強度別に分類を行うことが重要であることを意味している。

加速度計法により、客観的に身体活動量を評価する可能性は大いにあるが、推定式によって、結果に大きな違いが出る可能性があることも事実である。例えばGuinhouyaら<sup>17)</sup>は、同じ加速度計(ActiGraph)を用いて2つの異なる推定式から中～高強度活動の時間を推定したところ、それぞれ28分と141分であった、と報告している。ActiGraphは1軸加速度計であるが、歩行などから得られた推定式で生活活動の強度を推定すると、過小評価をしてしまう<sup>18)</sup>。そこで、こうした点を考慮した推定法が必要になってくる。そもそも、子どもに限らず成人においても、歩行と歩行以外の生活活動では、加速度と活動強度の関係性は大きく異なる<sup>18~21)</sup>。ただし、加速度計による身体活動評価は、装置を装着した腰や腕などの部位における特定の部分の動きを選択的に記録しており、活動のタイプの区別はできないものが多い。

#### 幼児を対象とした1軸加速度計の妥当性

幼児を対象とした1軸加速度計の妥当性に関する研究は、ActiGraph (Computer Science and Applications, Inc. (CSA) および Manufacturing Technology, Inc (MTI)社製, USA), Actical (前身は、腕時計型のActiwatch), および Lifecorder EX (スズケン社製, 日本)などで行われてき



図-2 日本製の各種加速度計

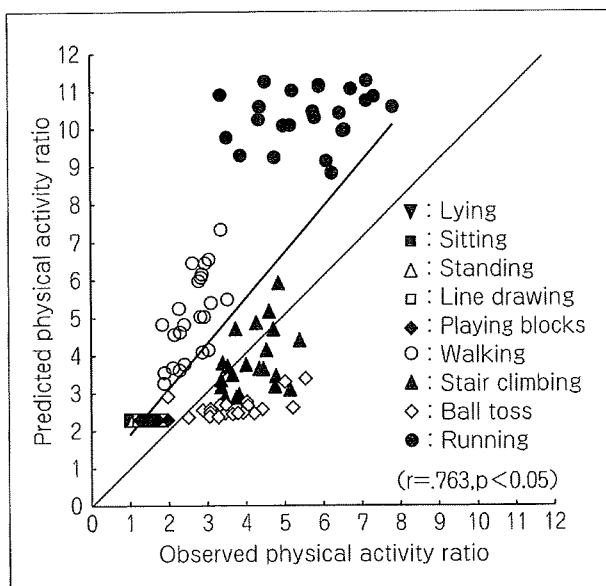


図-3 幼児における日常生活活動の PAR (physical activity ratio) の実測値と 1 軸加速度計による推定値との差(文献 24より引用)

た<sup>12)</sup>。図-2に、現在、国内で製造・販売されている加速度計をいくつか示した。このように、加速度計は、小さく、ワイヤレスであるため、日常生活での動作への影響は最小限であり、比較的長期にわたり身体活動量や加速度が記録される。

欧米では、少なくとも研究・調査レベルでは、ActiGraph や Actical などの加速度計が広く使用されている。ActiGraph (7,164 model : 51×41×51mm, 43g) は、垂直方向の加速度を記録する 1 軸加速度計である。この装置は、加速度信号を 10 Hz で検出し、0.05 G から 2.5 G の範囲の値を評価する。周波数の範囲は、0.25~2.5Hz である。「カウント数」を記録してくれるため、機器に内蔵さ

れた推定式の他、さまざまな研究者によって歩行・走行や日常生活活動のいずれかまたは両方から得られた推定式のいずれかを用いて活動の強度を推定することができる<sup>21)</sup>。最近は、より小型な改良型が発売されている。Actical は、28×27×10mm と非常に小型で、電池を入れてもわずか 17g にしかならない。また防水性に優れている。一端だけが固定された長方形の圧電素子センサーにより、3 方向の動きを感知できる点にも特徴がある。しかし、ActiGraph, Actical のいずれも分解能は 0.05 G であり、日常生活の多くの活動における強度を感知するには限界がある。また、日本の場合、これらは入手しづらいか高価で、使用しやすい状況にはない。

日本で広く用いられている Lifecorder EX (72.5×41.5×27.5mm, 60g) は、垂直方向への加速度を検出する 1 軸加速度計である。この装置は、加速度信号を 32Hz で検出し、0.06 G から 1.94 G の範囲に 4 つの閾値が設定されている<sup>22)</sup>。4 秒間の最大加速度と歩数により、9 段階の“運動強度” (1-9) を決定する。なお、加速度が 0.06 G 未満の場合の“運動強度”は 0 とする。さらに、1-9 の“運動強度”には当てはまらないものの、0.06 G 以上の加速度変化量を検出した場合、微小運動ありとして認識し、“運動強度”として 0.5 という値が与えられる。以上のように、4 秒ごとにそれぞれの活動は 11 段階の“運動強度”のいずれかに分類される。ただし、初めの 1 歩を認識後 1.5 秒以内に 2 歩目を認識しない時は、初めの 1 歩を取り消す。

この 1 軸加速度計の妥当性について、成人を対象に、間接カロリーメトリを用いて実測したトレッドミルでの歩行・走行時の METs との間に、非常に強い相関が報告されている<sup>22,23)</sup>。これに対し、田中ら<sup>24)</sup>は、幼児を対象に、間接法により評価した日常にみられる身体活動時の身体活動強度 (physical activity ratio (PAR) : 基礎代謝量の倍数で表した活動強度) との関係を検討したところ、Lifecorder EX による“運動強度”との間に有意な正の相関関係がみられたことを報告している ( $r=0.827$ )。しかし、“運動強度”から成人用の推定式を用いて PAR を推定した場合、歩行・走行