

【特集：身体活動量評価の現状と意義】

身体活動量評価のゴールドスタンダード

—二重標識水法から歩数計まで—

吉武 裕¹⁾鹿屋体育大学体育学部生涯スポーツ学講座¹⁾

1. はじめに

最近、日常生活の身体活動量またはエネルギー消費量と肥満、糖尿病、高血圧などの生活習慣病発症との間に用量反応関係がみられることが報告されている^{1) 24)}。このことから、健康づくりのための一つの手段として日常生活の中での積極的な身体活動が推奨されるようになってきた^{1) 24)}。わが国では、1989年に厚生省において健康づくりのための運動所要量が策定されている²⁰⁾。その中では中等強度（最大酸素摂取量の約50%）の有酸素性運動が推奨され、健康の保持・増進のためには、1週間あたりの合計運動時間は140分から180分必要とされている。また米国においては、健康づくりのための運動の目安として日常生活の速歩、階段昇降などの中等強度の身体活動を少なくとも1日に30分以上確保することが望ましいとされている^{12) 25)}。さらに、わが国では、健康日本21において健康づくりのための身体活動量の目安として1日あたりの歩数が示され、運動（歩行）の生活化が図られている¹⁹⁾。

ところで、身体活動と健康との関連においては、栄養との関連も考慮しなければならないので、ここでは身体活動量をエネルギー消費量の観点からとらえることにする。1日の総エネルギー消費量の主な構成要素は基礎代謝（50～70%）、食事誘発性熱産生（7～10%）、身体活動（15～30%）である²¹⁾。日常生活のエネルギー消費量は個々人の生活様式によって大きく異なるが、その中でも身体活動によるエネルギー消費量は個人差が大きいことから、身体活動時のエネルギーを如何に正確に測定するかが肥満予

防だけでなく、生活習慣病予防などの健康づくりの観点から重要となる¹⁰⁾。このことから、国内外において簡易エネルギー消費量測定器の研究・開発が積極的に行われるようになり^{1) 31) 35) 37) 41) 42) 44)}、特に、健康づくりの観点から低強度から中等強度の身体活動のエネルギー消費量を推定する手法の確立が急がれている^{1) 35) 41) 46)}。

2. エネルギー消費量測定法

エネルギー消費量測定法には、体から放散される熱からエネルギー消費量を求める直接法と体内への酸素の取り込み量（酸素摂取量）から求める間接法がある^{31) 43)}。また、これらの他に心拍数法、加速度法、質問紙法、生活時間調査法などのエネルギー消費量推定法があり、これらはフィールド調査に用いられることが多い^{14) 23) 38) 39)}。最近では、ほぼ無拘束な状態で日常生活のエネルギー消費量を測定できる二重標識水（DLW）法が注目されている^{17) 18) 23) 29) ~31) 44)}。

本稿では、歩数計法、加速度計法、心拍数法、生活時間調査法およびDLW法の概要について述べる。なお、身体活動量およびエネルギー消費量の測定法については他の総説も参照されたい^{14) 23) 38) 39)}。

2-1. 二重標識水法

当初、DLW法は¹⁸Oが高価であったため、小動物のエネルギー消費量測定に用いられていた²³⁾。その後、分析機器の開発や測定精度の向上などにより、1982年にヒトのエネルギー消費量測定に応用され³⁰⁾、その後広く普及することになった³⁾。わが国では、Kashiwazaki

1) 〒891-2393 鹿屋市白水町1番地

ら¹⁷⁾や齋藤ら²⁹⁾の報告があり、最近では、齋藤ら²⁹⁾によってスポーツ選手や一般人のエネルギー消費量の測定が積極的に行われている。しかし、現在でも一人あたりの分析費用が約30万円と高価であるため、フィールド調査のエネルギー消費量測定法として用いられることが少なく、もっぱら基礎的研究面において用いられている⁴⁴⁾。

DLW法によるエネルギー消費量測定法は複雑である^{18) 23) 29) 31)}ので、ここでは概略の説明にとどめる。DLW法は酸素の安定同位体である¹⁸Oおよび水素の安定同位体²H(重水素)で二重にラベルした水を用いることから、このように呼ばれている^{18) 29)}。DLW法によるエネルギー消費量は²Hと¹⁸Oの減衰率の違いを利用してCO₂(二酸化炭素)産生量を求め、基本的には、二酸化炭素を呼吸商の算出式($VO_2/VCO_2=RQ$)に代入して求める。しかし、フィールドでのDLW法によるエネルギー消費量測定の際に酸素消費量の測定は行われないので、 $RQ=FQ(\text{food quotient})$ と仮定し、食事調査により得られたFQ(糖質、脂質、たんぱく質の構成割合)から酸素消費量が算出され、それから熱当量に換算される。

DLW法によるエネルギー消費量測定の手順は、まず被験者にDLWを摂取させ、そして血液、唾液または尿のいずれかを1~2週間の間に毎日または数回採取し、それを分析に供する^{18) 29)}。このように被験者はDLWを摂取し、血液、唾液または尿のいずれかをサンプリングするだけで済むので、被験者への負担はほとんどなく、無拘束にエネルギー消費量を測定できる。

DLW法のエネルギー消費量測定法としての精度検定はヒューマンカロリーメータ法との比較で行われることが多く、被験者や環境条件にもよるが±2%から±8%と報告されている^{18) 29) 31)}。このように、DLW法はフィールドにおけるエネルギー消費量測定法としてもっとも精度の高いものである^{16) 22) 28) 30)}ことから、日常生活のエネルギー消費量測定法のgold standardとされている^{18) 23) 29) 31)}。しかし、DLW法では1日毎のまたは動作毎のエネルギー消費量を測定することができないので、1日の総エネルギー消費量は測定期間の総エネルギー消費量の平均値で表される^{18) 29) 31)}。

DLW法によるエネルギー消費量測定は、表1に示されているようにいくつかの仮定のもとに実施されるものである。このことから、多量飲酒者やエネルギー消費量が10,000kcalを超えるようなスポーツ選手の場合などでは、測定に影響があるとされている³⁾。またDLW法によるエネルギー消費量は、肥満では過小に、一方やせでは過剰に推定される²⁷⁾。

ところで、DLW法の最大の誤差要因は同位体の測定それ自身であるが、その測定が正確であれば、補正などに不適切な面があっても、それによる誤差は10%未満とされている¹⁸⁾。DLW法の高い精度を確保し、有用なデータを得るためには、被験者の生活状況の把握、食物摂取量調査、安静時または基礎代謝量の測定などを行うことが重要となる^{18) 29)}。

2-2. エネルギー消費量推定法

A. 推定法による歩行時のエネルギー消費量測定の妥当性

表1 二重標識水法に含まれるいくつかの仮定¹⁸⁾

-
- ① 測定期間中(通常は約2週間)の体水分量は一定と考える
 - ② この期間中は水分摂取量、水分排泄量、二酸化炭素排泄量は安定している
 - ③ 二重標識水として投与される安定同位体は、体内の水と二酸化炭素のみにラベルされる
 - ④ 体内の安定同位体は水分と二酸化炭素としてのみ体外に排泄される
 - ⑤ 体外に排泄される水分と二酸化炭素に含まれる安定同位体は、その時点での体水分中の割合と同じである(同位体のfractionationはないものとする)
 - ⑥ いったん体外に排泄された水分および二酸化炭素が再び体内に取り込まれることはないものとする
 - ⑦ 測定期間中、ふだん摂取する水、空気、および食物などバックグラウンドに含まれる安定同位体(natural abundance)は一定である
-

ここではエネルギー消費量推定法としての加速度計法、歩数計法および心拍数法の有用性について述べる。歩数計と加速度計は活動量計法の代表的なものであり、両者とも身体の動きに伴う加速度（または振動）を検出し、それを基にエネルギー消費量を推定するものである²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。

著者らは、できるだけ日常生活に近い条件でのエネルギー消費量推定式を作成するために、これまでの研究のようなトレッドミル走・歩行ではなく、フロア走・歩行を採用している³⁾³⁾⁴⁾¹⁾⁴⁾²⁾⁴⁾⁴⁾。図1は、フロア走・歩行時の酸素摂取量と心拍数、歩行率、加速度（ピーク加速度および積算加速度）との関係を示したものである⁴⁾¹⁾⁴⁾²⁾。酸素摂取量が20ml/kg/分（約6METs）あたりまでは心拍数、歩行率、ピーク加速度および積算加速度のいずれも酸素摂取量との間にほぼ直線関係が認められている。健康づくりの指針においては、3~6METsの中等強度の運動（身体活動）が推奨されていることか

ら¹⁾²⁾²⁾⁰⁾²⁾⁵⁾、中等強度に相当する歩行など身体の移動を伴う持続的な身体活動のエネルギー消費量推定には心拍数法、歩数計法および加速度計法のいずれも有用であると考えられる⁴⁾¹⁾⁴⁾²⁾。

B. 日常生活活動時のエネルギー消費量推定の妥当性

連続歩行では歩数計法、加速度計法および心拍数法はエネルギー消費量推定法として有用であることは述べた。次に、複雑な動作が多くを占める日常生活活動のエネルギー消費量推定法としての歩数計法、加速度計法および心拍数法の有用性について述べる。

(1) 歩数計法

歩数計は広く普及しているが、歩数計の歴史は古くその起源は約500年前のレオナルドダビンチにまでさかのぼるといわれている²⁾³⁾。歩数計はその名が示すとおり歩行歩数をカウントする器具であり、性能等についてはJIS規格が設けられている⁴⁾⁵⁾。最近の歩数計は電子技術の発達による小型・軽量化やメモリー容量の増大などにより、日常生活活動に支障なく長期間にわたる歩数の記録が可能になった。また、最近の歩数計は歩数だけでなく、エネルギー消費量、歩行距離、歩行時間などの表示機能が付いたものが大部分を占めるようになってきた。

一般に、歩数計は身体活動量を大雑把に把握する手段として用いられているが、60m/分から速歩の範囲内では、歩数計に表示される歩数は実歩数に近い値である⁴⁾⁵⁾。しかし、すり足歩行や重心の移動が少ない歩行では過小に表示される⁴⁾⁵⁾。

最近、歩数計にエネルギー消費量測定機能が付加されている機種が多く出回っている⁴⁾⁵⁾が、日常生活のエネルギー消費量を測定する機器としての精度はどの程度であろうか。体をよく動かす事務作業や通勤では、歩数計歩数はエネルギー消費量（心拍数法）との間に高い相関関係が認められるが、あまり体を動かすことのない組み立て作業においては有意な相関関係はみられていない¹⁾⁶⁾⁴⁾⁰⁾。しかし、家の中での活動においても活動量が多い時は歩数計歩数とエネルギー消費量との間には有意な相関関係が認められている¹⁾⁶⁾。これらの結果¹⁾⁶⁾⁴⁾⁰⁾は、身体活動量の違いが歩数計によるエネルギー消費量推定に影響を及ぼしていると推察される。図2は、

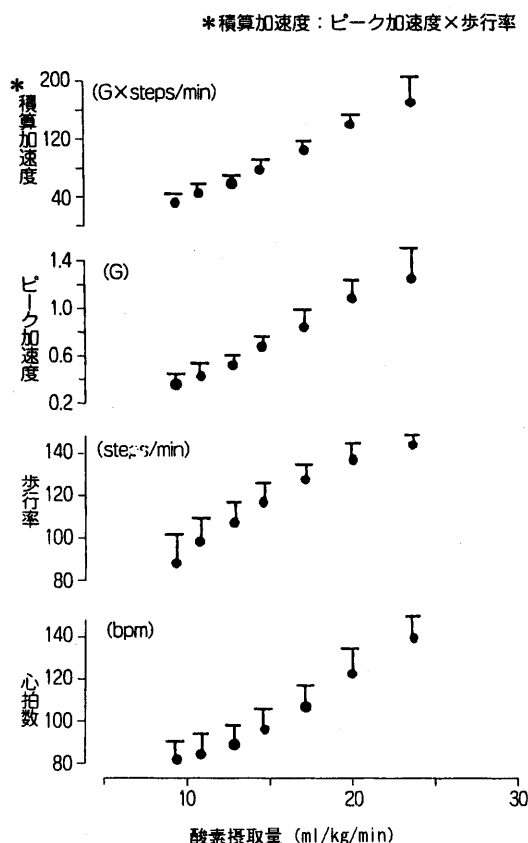


図1 フロア歩行における酸素摂取量と各測定項目との関係⁴⁾¹⁾⁴⁾²⁾

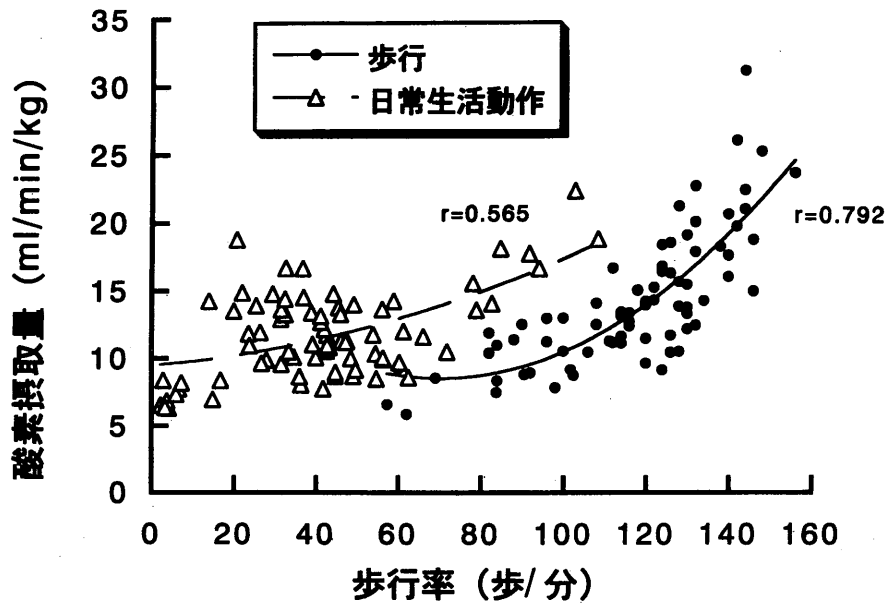


図2 歩行率と酸素摂取量との関係 (吉武, 島田)

日常生活活動時の歩行率と酸素摂取量との関係を示したものである。歩行率が80歩/分以下の間欠的歩行では、歩行率が增大しても酸素摂取量の増大が認められていない。つまり、間欠的歩行が大部分を占めるような歩行では、歩数計歩数はエネルギー消費量の変化として必ずしも反映されないと思われる。このことから、家庭内歩行のような間欠的歩行や数分継続する連続歩行時のエネルギー消費量を歩行率から推定する際に同一推定式により求めることはかなりの誤差を生じるものと考えられる。このような結果は加速度計法においてもいえることである^{13) 24)}。

最近、著者らは二重標識水法との比較において、エネルギー消費量推定法としての歩数計法の精度について検討している⁴⁴⁾。歩数計法による1日の総エネルギー消費量と活動時(総エネルギー消費量-安静時エネルギー消費量)エネルギー消費量は何れも二重標識水法によるエネルギー消費量との間に有意な相関関係が認められていない。また、歩数計法により推定された1日の総エネルギー消費量は二重標識水法により求められたエネルギー消費量より低い値を示す傾向にある⁴⁴⁾。このことから、歩数計法(歩行率を指標)は個人を対象にした1日の総エネルギー消費量推定法としては必ずしも有用ではないと考えられる。

一方、歩数計の利点を生かした身体活動量測定器が開発されている⁴⁵⁾。図3は、歩行の生活化を図るために著者らが開発した身体活動量測定システムで、それを用いて日常生活の歩行状況を測定しその結果を視覚的に分かりやすくした表である。今後は、エネルギー消費量推定法の開発だけでなく、歩行を日常生活の中に根付かせる教材の開発も必要と思われる。

(2) 加速度計法

最近、加速度センサーの性能の向上による加速度計の小型・軽量化およびメモリー容量の飛躍的な増大などにより、身体への装着が簡単になり、日常生活活動に支障なく長時間(数日から数週)の加速度記録が可能になった。このことから、加速度計法はエネルギー消費量や身体活動量の測定法としてフィールド調査において多く用いられるようになってきた^{14) 23) 38)}。加速度計法による活動量やエネルギー消費量の測定には、垂直方向の加速度を用いることが多いが、最近では3方向(垂直, 前後, 左右)の加速度を用いたものもみられる^{4) 23) 37)}。

最近、著者らは日常生活のエネルギー消費量推定法としての加速度計法の精度について検討している⁴⁴⁾。図4, 5は、DLW法および加速度計法により求められたエネルギー消費量の関係を示したものであり、両者間に有意な正相関が認められている。このことは、加速度計法は1

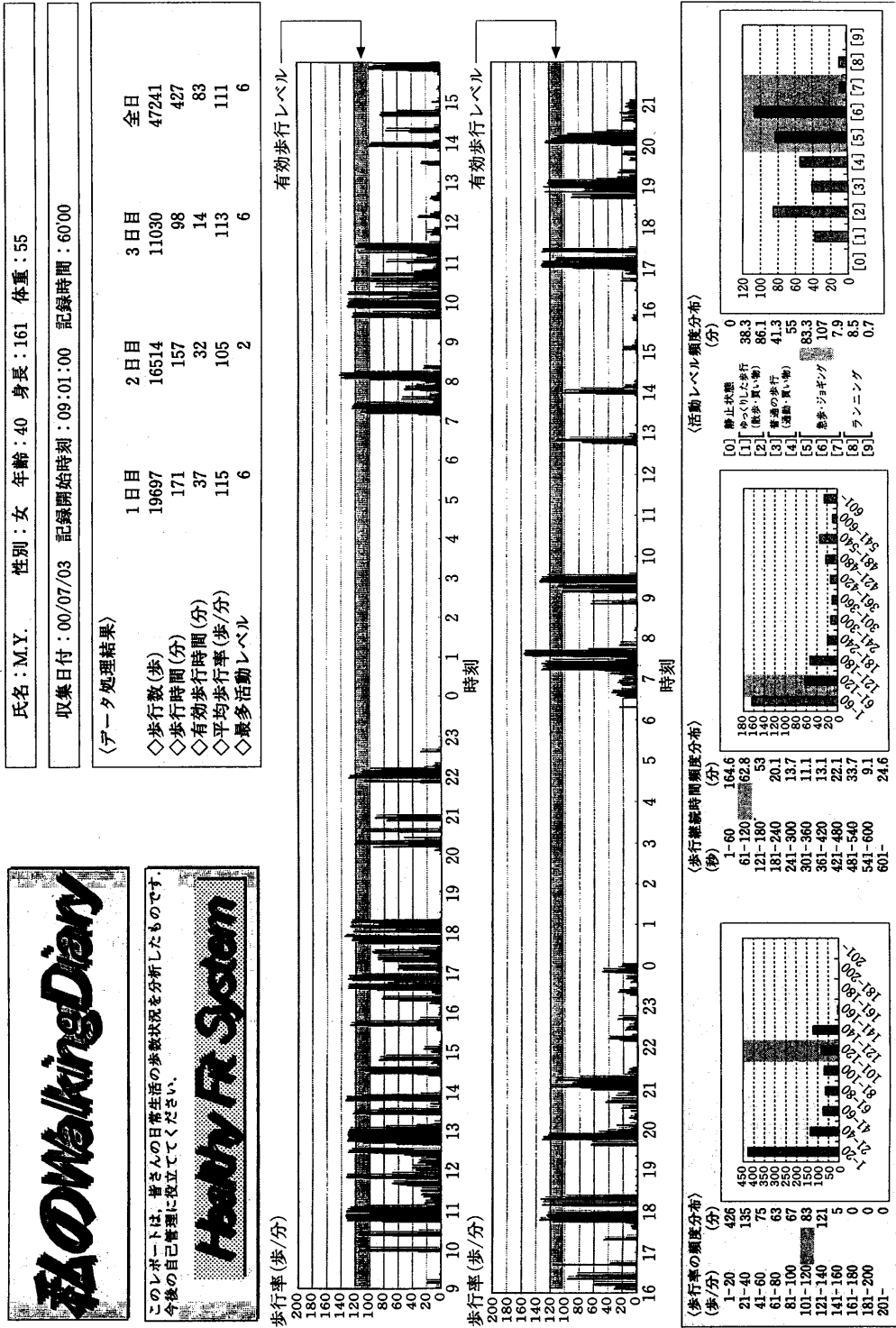


図3 ヘルシーフィットシステムによる日常生活の歩行状況調査法(46)

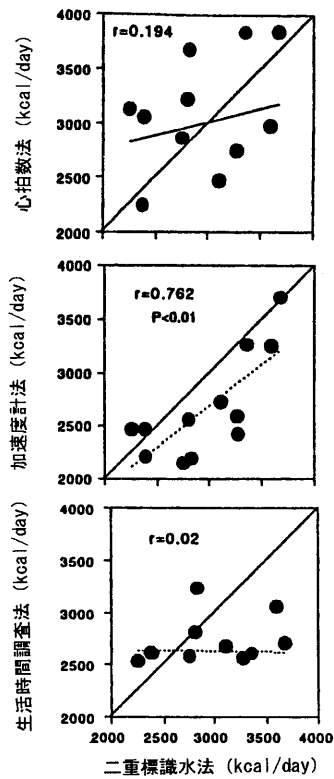


図 4 二重標識水法によるエネルギー消費量と各測定法によるエネルギー消費量との関係 (1日のエネルギー消費量)⁴⁴⁾

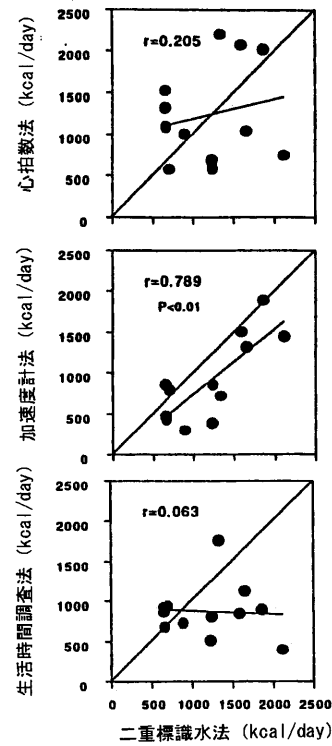


図 5 二重標識水法によるエネルギー消費量と各測定法によるエネルギー消費量との関係 (活動時エネルギー消費量)⁴⁴⁾

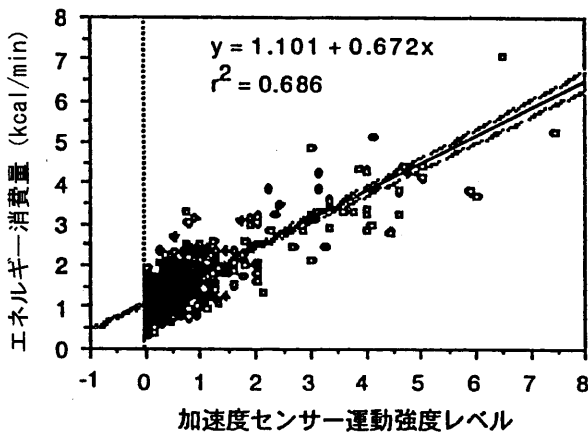


図 6 加速度センサー運動強度レベルとエネルギー消費量(メタボリックチャンバー法)との関係³⁵⁾

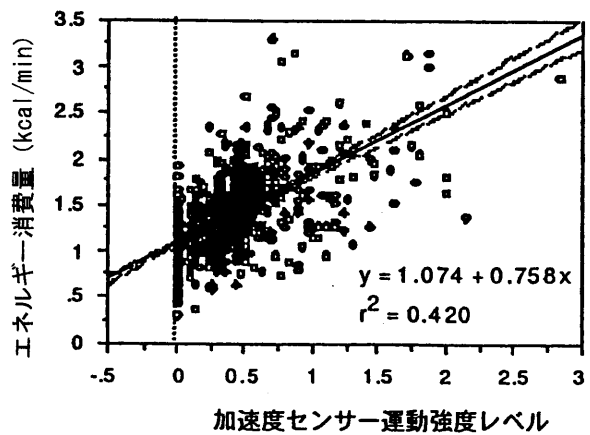


図 7 加速度センサー運動強度レベル(微小運動)とエネルギー消費量(メタボリックチャンバー法)との関係³⁵⁾

日の総1日の総エネルギー消費量推定法として有用であることを示唆している。

次に、運動強度別にエネルギー消費量推定法としての加速度計法の有用性について述べる。

図6は、メタボリックチャンバー内で安静からトレッドミル走・歩行の広範囲にわたる活動時のエネルギー消費量を加速度計法で推定した結果を示したものである³⁵⁾。加速度計法により

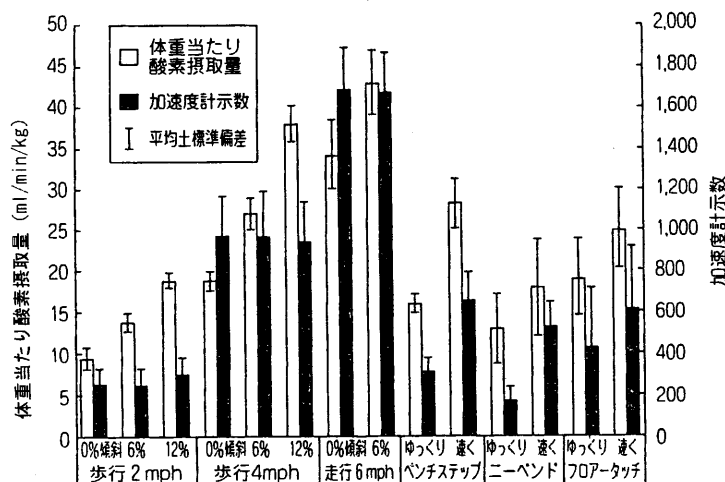


図 8 各種動作における体重当たり酸素摂取量と加速度計示数^{2,2)}

推定されたエネルギー消費量はメタボリックチャンバー法によるエネルギー消費量との間に有意な相関関係が認められている。また、図 7 は、図 6 と同様な実験条件で行われたものであるが、微少運動に限定し、その時のエネルギー消費量推定法としての加速度計法の精度を検討したものである^{3,5)}。メタボリックチャンバー法によるエネルギー消費量と加速度計法によるそれとの間には有意な相関関係が認められている。加速度計法による 1 日の総エネルギー消費量は二重標識水法によるそれより低く推定される傾向にあるが、加速度計法は個々人の活動強度別および 1 日の総エネルギー消費量推定法として有用であると考えられる。

ところで、加速度計や歩数計はいずれも身体の動きを感知する一種の動きセンサーであることから、このことが欠点となり、身体活動量やエネルギー消費量を正確に測定できない場合がある^{1,1) 2,2) 2,3) 3,6)} (図 8)。例えば、坂道や階段の上りでは過小に、一方、坂道や階段の下りではエネルギー消費量は過大に評価されることになる。また、レジスタンストレーニングのような静的運動の場合には、エネルギー消費量は過小に評価される。特に、水泳、ボート漕ぎ、自転車などの運動ではエネルギー消費量の変化を正確に把握できない。バス、電車、自動車の座席に座っている時は振動による体の動きが歩数計や加速度計のセンサーで感知され、これが誤ってエネルギー消費量として換算されることもある。このようなことは歩数計や加速度計の

技術的に避けられない欠点であることから、歩数計法や加速度計法によるエネルギー消費量推定の際には考慮する必要がある。

加速度計法によるエネルギー消費量推定における今後の課題としては、階段や坂道の上下りの時のエネルギー消費量を推定する新たな方法の開発が必要とされている^{1,1) 3,1) ~3,3) 3,6) 4,6)}。

(3) 心拍数法

心拍数法によるエネルギー消費量推定は Goldsmith ら⁹⁾ により初めて試みられ、Brafield⁵⁾ がフィールド調査でのエネルギー消費量測定に用いて以来、日常生活活動時やスポーツ活動時のエネルギー消費量測定などに多く利用されるようになってきた^{2,3)}。

心拍数法によるエネルギー消費量測定の原理は運動強度の増大に伴う酸素摂取量と心拍数の増大との間に直線関係が成り立つことを利用したものである^{1,5) 2,3) 3,1)}。しかし、心拍数と酸素摂取量との間に直線関係が成立するのは、運動強度が 40%VO₂max 以上、心拍数では 110~120 拍/分から 170 拍/分程度までと考えられている^{1,5) 2) 3,7)}。また、同一心拍数に対する酸素摂取量は上肢の運動と下肢の運動または静的運動と動的運動では異なる^{1,1)}。さらに、心拍数は姿勢、精神的状態、環境温度や湿度、食事摂取、およびカフェインなどの刺激物などの影響を受けることから、これらの影響を受けやすい低強度の身体活動においては、エネルギー消費量推定の精度が低下することが報告されてい

る^{15) 23) 31)}。そこで、このような問題を解決する1つの手法としてカットオフポイントを設定し、その前後の2本の関係式からエネルギー消費量を推定する FLEXH 法が提案されている^{6) 34)}。

心拍数法を実際に用いる場合、運動負荷試験により個人毎の心拍数と酸素摂取量の関係式を作成しなければならず、それにはかなりの時間を要する。しかも、心拍数と酸素摂取量の関係式は体力(全身持久能力)やトレーニングの影響を受けることから、心拍数法によるエネルギー消費量の推定を確実にするためには、関係式作成のために時々運動負荷試験の実施が必要である。また、心拍数と酸素摂取量の関係式は自転車エルゴメータ、トレッドミル、踏み台などを用いた運動負荷試験での定常状態(4分から6分)が成立する条件下でのものである。しかし、日常生活活動は連続的な動作は少なく間欠的な動作がほとんどである。このことから、必ずしも定常状態になっていない時の心拍数から各動作のエネルギー消費量が推定されることになる。心拍数法には、上述したような問題があるが、心拍数法はエネルギー消費量の推定だけでなく個々の動作の運動強度の把握が可能であることから、特に、スポーツ活動のエネルギー消費量推定には有用と思われる。

図4, 5は、著者らが DLW 法との比較で心拍数法の精度を検討したものであり、両者間に有意な差は認められていない⁴⁴⁾。これまで、心拍数法のエネルギー消費量推定度については DLW 法やメタボリックチャンバー法との比較で検討されている。個人レベル毎にみた場合は必ずしも有意な相関はみられておらず、検定法は異なるものの-12%から+20%、またはそれ以上の誤差が認められている^{7) 18) 23) 31) 33)}。このように、これまでの研究では心拍数法による集団レベルでのエネルギー消費量の比較は個人レベルでのそれよりかなり良い成績が得られている^{7) 33) 44)}。

(4) 生活時間調査法

わが国では、日記法として RMR を用いた生活時間調査法がある^{14) 38) 39)}。ここでは、この生活時間調査法について述べる。

生活時間調査法は一度に多くの者を対象とすることができることから、集団を対象とした疫学的研究においてよく用いられている。これま

で、わが国においては生活時間調査法のエネルギー消費量推定法としての精度については検討されていない。そこで著者らは DLW 法との比較で生活時間調査法の精度を検討している⁴⁴⁾

(図4, 5)。図4, 5に示されているように、DLW 法によるエネルギー消費量と生活時間調査法によるそれとの間には有意な相関関係は認められていない。生活時間調査法は DLW 法に比べて平均値で約7%低く推定されている。これは、これまでの日記法と同様な傾向にあることから、RMR を用いた生活時間調査法は集団レベルでのエネルギー消費量推定法として有用であると考えられる²³⁾。

生活時間調査法によるエネルギー消費量の推定精度を高めるためには、忘れないようにできるだけ早く行動を詳細に記録することが重要であり、また、記録に際しては、記載された行動に対して的確な RMR を選択する必要がある^{14) 16) 39) 40)}。

3. 新しいエネルギー消費量推定法の開発

本稿では、エネルギー消費量推定法について述べた。加速度計法、心拍数法、歩数計法の何れの推定法も歩行時のエネルギー消費量推定法としては有用であると考えられる。しかし、複雑な動作が多い日常生活活動のエネルギー消費量を推定するには何れの推定法にも一長一短があり、低強度から高強度の広範囲にわたる身体活動時のエネルギー消費量を一つの方法で測定することは難しいと思われる。健康づくりの面からみた場合、低強度から中等強度の身体活動のエネルギー消費量の測定が必要なので、著者^{33) 41) 42) 44) 46)}は加速度計法は軽強度から中等強度の活動のエネルギー消費量推定法として有用であると考えている。

最近、低強度から高強度と広範囲にわたるエネルギー消費量を推定する手法として、加速度計法と心拍数法との組み合わせが考えられている^{11) 28) 33) 37) 46)}。著者らは、心拍数法と加速度計法を組み合わせたエネルギー消費量推定法は加速度計法、心拍数法などの単一の指標による推定法より推定精度が向上することを報告している³³⁾。今後は、複数の推定法を組み合わせた新たなエネルギー消費量推定法を考える必要がある^{11) 31) 37)}。

一方、GPS (global positioning system) を利用し、歩行、走行時のスピードを測定し、それからエネルギー消費量を測定する試みもなされている^{2,6)}。これからは、ハイテクを応用した新たなエネルギー消費量測定法の開発が期待される^{3,1)}。

4. おわりに

本稿では、日常生活活動時のエネルギー消費量推定法を中心に述べた。身体活動の健康増進効果の評価には、エネルギー消費量 (身体活動量) だけでなく、活動の運動強度、持続時間、頻度を測定できる機器の開発が必要である。今後は、スポーツ医学、工学など複数の専門分野の研究者による共同研究によって、より精度の高いエネルギー消費量推定法の開発が可能になると思われる。

【謝辞】本論文に引用した著者らの二重標識水法による心拍数法、加速度計法、歩数計法および生活時間調査法のエネルギー消費量推定法としての有用性についてのデータは田中宏暁教授 (福岡大学スポーツ科学部) と齋藤慎一教授 (筑波大学体育科学系) との共同研究「平成 10, 11 年度厚生科学研究費補助金健康科学総合研究事業 [エネルギー消費量の評価法および基準値作成に関する研究 (主任研究者: 田中宏暁)]」によるものである。

文 献

- 1) American college of Sports Medicine. Measurement of moderate physical activity : advances in assessment techniques. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32 (9) Suppl., 2000.
- 2) Avons, P., Garthwaite, P., Davies, H.L. et al. : Approaches to estimating physical activity in the community : calorimetric validation of actometers and heart rate monitoring. *Europ. J. Clin. Nutr.* 42 : 185-196, 1988.
- 3) Black, A.E., Coward, W.A., Cole, T.J. et al. : Human energy expenditure in affluent societies : an analysis of 574 doubly-labeled water measurements. *Eur J Clin Nutr.*, 50 : 72-92, 1996.
- 4) Bouten, C.V., Westerterp, K.R., Verduin, M. et al. : Assessment of energy expenditure for physical activity using a triaxial accelerometer. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 26 (12) : 1516-1523, 1994.
- 5) Bradfield, R.B. : A technique for determination of usual daily energy expenditure in the field. *Am. J. Clin. Nutr.*, 24 : 1148-1154, 1971.
- 6) Ceesay, S.M., Prentice, A.M., Day, K.C. et al. : The use of heart rate monitoring in the estimation of energy expenditure : a validation study using indirect whole-body calorimetry. *Br. J. Nutr.*, 61 : 175-186, 1989.
- 7) Davidson, L., McNeill, G., Haggarty, P. et al. : Free-living energy expenditure of adult men assessed by continuous heart-rate monitoring and doubly-labelled water. *Br. J. Nutr.*, 78 : 695-708, 1997.
- 8) Freedson, P.S., Miller, K. : Objective monitoring of physical activity using motion sensors and heart rate. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 71 (2) : 21-29, 2000.
- 9) Goldsmith, R., Miller, D.S., Mumford, P. et al. : The use of long-term measurements of heart rate to assess energy expenditure. *J. Pjysiol. (Lond)*, 189 : 35P, 1967.
- 10) Grundy, S.M., Blackburn, G., Higgins, M., et al. : Physical activity in the prevention and treatment of obesity and its comorbidities. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 31 (11) Suppl. : S502-S508, 1999.
- 11) Haskell, W.L., Yee, M.C., Evans, A. et al. : Simultaneous measurement of heart rate and body motion to quantitate physical activity. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 25 (1) : 10-115, 1993.
- 12) Haskell, W. : Health consequences of physical activity : understanding and challenges regarding dose-response. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 26 (6) : 649-660, 1994.
- 13) Hendelman, D., Miller, K., Baggett, C., et al. : Validity of accelerometry for the assessment of moderate intensity physical activity in the field. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32 (9) Suppl. : S442-S449, 2000.
- 14) 李 延秀, 川久保清, 原田亜紀子ほか : 疫学調査における身体活動量評価法. *日循協誌*,

- 35 : 116-124, 2000.
- 15) 加賀谷淳子：心拍数法に基づいた消費カロリー算出法とその問題点. 体育の科学, 36 : 881-889, 1986.
 - 16) Kashiwazaki, H., Inaoka, H., Suzuki, T., et al. : Correlations of pedometer readings with energy expenditure in workers during free-living daily activities. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 54 : 585-590, 1986.
 - 17) Kashiwazaki, H. et al. : Energy expenditure determined by the doubly labeled water method in Bolivian Aymara living in a high altitude agropastoral community. *Am. J. Clin. Nutr.*, 62 : 901-910, 1995.
 - 18) 柏崎 浩：エネルギー代謝測定法—最近の進歩. *臨床スポーツ医学*, 18 (4) : 419-425, 2001.
 - 19) 健康日本 21 企画検討会, 健康日本 21 計画策定検討会：健康日本 21 計画策定検討会報告書—健康日本 21 (21 世紀における国民健康づくり運動について). (財) 健康・体力づくり事業財団, 東京, 2000.
 - 20) 厚生省：健康づくりのための運動所要量策定検討会報告書. 1989.
 - 21) McArdle, W.D., Katch, F.I., & Katch, V.L. : *Exercise Physiology : energy, nutrition and Human Performance.* Lea & Febiger, Philadelphia, 1996.
 - 22) Montoye, H.J., Washburn, R., Servais, S. et al. : Estimation of energy expenditure by a portable accelerometer. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 15 : 403-407, 1983.
 - 23) Montoye, H.J., Kemper, H.C.G., Saris, W.H.M. et al. : Measuring physical activity and energy expenditure. *Human kinetics*, Champaign, IL., 1996.
 - 24) Nichols, J.F., Morgan, C.G, Chabot, L.E., et al. : Assessment of physical activity with the computer science and applications, inc., accelerometer : laboratory versus field validation. *Research Quarterly Exercise and Sport*, 71 (1) : 36-43, 2000.
 - 25) Pate, R.R., Pratt, M., Blair, S.N. et al. : Physical activities and public health : a recommendation from the American College of Sports Medicine. *JAMA*, 273 : 402-407, 1995.
 - 26) Perrin, O., Terrier, P., Ladetto, Q. et al. : Improvement of walking speed prediction by accelerometry and altometry, validated by satellite positioning. *Med. Biol. Eng. Comput.*, 38 : 165-168, 2000.
 - 27) Ravussin, E., Harper, I.T., Rinsing, R. et al. : Energy expenditure by doubly labeled water : validation in lean and obese subjects. *Am. J. Physiol.*, 24 : E402-E409, 1991.
 - 28) Renni, K., Rowsell, T., Jebb, S.A., et al. : A combined heart rate and movement sensor : proof of concept and preliminary testing study. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 54 : 409-414, 2000.
 - 29) 齋藤慎一, 海老根直之, 島田美恵子ほか：二重標識水法によるエネルギー消費量測定の原理とその応用—生活習慣病からトップスポーツ選手の栄養処方まで—. *栄養学雑誌*, 57 : 317-332, 1999.
 - 30) Schoeller, D.A., van Santen, E. : Measurement of energy expenditure in humans by doubly labeled water method. *J. Appl. Physiol.*, 53 : 955-959, 1982.
 - 31) Schutz, Y., Deurenberg, P. : Energy metabolism : Overview of recent methods used in human studies. *Ann. Nutr. Metab.*, 4 : 183-193, 1996.
 - 32) Schutz, Y., Herren, R. : Assessment of speed of human locomotion using a differential satellite global positioning system. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32 (3) : 642-646, 2000.
 - 33) 島田美恵子：エネルギー消費量推定法に関する研究. 平成 12 年度日本女子体育大学大学院修士課程スポーツ研究科修士論文, 2001.
 - 34) Spurr, G.B., Prentice, A.M., Murgatroyd, P.R et al. : Energy expenditure from minute-by-minute heart rate recording : comparison with indirect calorimetry. *Am. J. Clin. Nutr.*, 109 : 1-9, 1988.
 - 35) 田中宏暁：簡易エネルギー消費量推定法の開発—歩行動作および微小運動時の簡易エネルギー推定法の検討—, 平成 11 年度厚生科学研究費補助金健康科学総合研究事業報告書. エネルギー消費量の評価法および基準値作成に関する研究 (主任研究者：田中宏暁), 28-32, 2000.
 - 36) Terrier, P., Aminian, K., & Schutz, Y. : Can

- accelerometer accurately predict the energy cost of uphill/downhill walking. *Ergonomics*, 44 (1) : 48-62, 2001.
- 37) Trost, S.T. : Objective measurement of physical activity in youth : current issues, future directions. *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 29 (1) : 32-36, 2001.
- 38) 辻岡三南子 : 身体活動量の評価法. *臨床スポーツ医学*, 14 : 517-522, 1997.
- 39) 臼谷三郎 : エネルギー消費量推定法. 最近の動向. *日衛誌*, 47 : 881-889, 1992.
- 40) 柳堀朗子, 青木和夫, 鈴木洋児, 郡司篤晃 : 一日の日常生活活動量測定法の検討. *日本公衛誌*, 38 : 87-92, 1991.
- 41) 吉武 裕 : 高齢者の身体活動量測定評価システム. 平成6年度厚生科学研究費補助金長寿科学総合研究事業報告書, 7 : 78-82, 1994.
- 42) 吉武 裕 : 高齢者の身体活動量測定評価システム. 平成8年度厚生科学研究費補助金長寿科学総合研究事業報告書, 6 : 4-8, 1997.
- 43) 吉武 裕, 島田美恵子, 海老根直之ほか : ヒューマン・カロリメータ. 58 : 185-194, 2000.
- 44) 吉武 裕 : 簡易エネルギー消費量測定法による1日のエネルギー消費量の測定およびその精度についての検討一. 平成11年度厚生科学研究費補助金健康科学総合研究事業報告書. エネルギー消費量の評価法および基準値作成に関する研究 (主任研究者 : 田中宏暁), 14-27, 2000.
- 45) 吉武 裕 : 歩数計による身体活動量の評価. *日本臨牀 (増刊号)*, 581 : 79-183, 2000.
- 46) 吉武 裕 : エネルギー消費量測定法の応用的展開. *臨床スポーツ医学*, 18 (4) : 419-425, 2001.