《総 説》

身体活動量の測定
—最近の進歩—

杉 本 淳*

The Measurement of Physical Activity
—A Review of Recent Progress—

Atsushi SUGIMOTO*

Abstract : There are many studies about the relationship between physical activity and health, physical fitness, and chronic disease. The measurement of daily physical activity is important for patients with several major chronic diseases and with physical disabilities, such as coronary heart disease, osteoporosis, and diabetes. In the clinical practice, the assessment of daily physical activity is useful for advising patients about their life style and designing a rehabilitation program to maintain their physical fitness and optimal physical function. Oxygen consumption is the best parameter to show the intensity of different activities ; however, it is almost impossible to measure oxygen consumption without inhibiting the subject's daily routine. Many methods instead of measuring oxygen consumption for measurement of physical activity have been studied and reported. The most generally used and well-known methods for this purpose are (a) self-administered quantitative histories or physical activity recall surveys, (b) time study method included in self-report diaries and observation, (c) doubly-labeled water method, and (d) mechanical and electronic monitor. The first two methods have been used many epidemiological studies. However both of these are subjective and influenced by subject inaccuracies or unwillingness to record every activity. The third method involves the administration of isotopes of hydrogen and oxygen and the determination of the washout kinetics of both isotopes as their concentrations fall back down to the pre-administration level. Although the technique is feasible and non-invasive, it has not been widely used because of the cost and scarcity of isotopes. The fourth method can be classified into two types. One type of devices that makes use of biological signals from electromyography (EMG) and electrocardiograph (ECG). The other type of devices that assess the quantity of body movement by using mercury-switch transducer and accelerometer technology. The mechanical and electronic monitors have been improved for overcoming the technical problems in accuracy and confidence by using three-dimensional accelerometer and computer technology. This review demonstrated these methods for measuring physical activity and the recently progress.

Key words : 身体活動量 (physical activity), エネルギー消費量 (energy expenditure), 3次元加速度計 (three-dimensional accelerometer), 慢性疾患 (chronic disease), 健康 (health)

1999年10月7日受稿

* 東京都立豊島病院リハビリテーション科/〒173-0015 東京都豊島区柴町33-1
Department of Rehabilitation Medicine, Tokyo Metropolitan Toshima Hospital

はじめに

今日、日々の身体活動量の低下が種々の成人病のリスクファクターとなることは、知られている。身体活動量の増加に伴う効果として、虚血性心疾患のリスクの減少、降圧、糖代謝改善、骨粗鬆症の予防、死亡率の低下などが報告されている^{1~4)}。また、脳卒中片麻痺患者などの身体障害者においても活動量の低下による体力低下が指摘されており、獲得した機能を維持・増進する上で日々の身体活動が重要であるとの報告もある^{5~8)}。

健康や疾病予防を目的とする生活について、アメリカでは、1970年代から1990年代初期においては、一般に強度の高い運動 (exercise) を行うことが推奨されていた。しかし1994年以降は、以前から使用されていた運動 (exercise) という言葉に替えて身体活動 (physical activity) という言葉を使用し、日常生活の中での一般的身体活動と健康との関連に着目するようになった。その結果、中等度の強度でしかも間欠的な身体活動を推奨し、運動 (exercise) よりむしろ日々の身体活動 (physical activity) を維持することが重要であると報告された^{9,10)}。それゆえに今日、健康と身体活動との関連を理解し論じるためには日常生活の身体活動量の評価が不可欠であると考えられる。

表1 Definition of terms used in physical activity

Physical activity, is any bodily movement produced by the contraction of skeletal muscles resulting in caloric expenditure.
Exercise, is a sub-category of physical activity and is activity which is planned, structured and repetitive.
Physical fitness, by contrast, is a set of outcomes or traits that relate to the ability to perform physical activity.
Cardio-respiratory fitness, is a health-related component of physical fitness that relates to the ability of the circulatory and respiratory systems to supply oxygen during sustained physical activity.

Epidemiology (文献11より)

身体活動 (physical activity) という言葉は、エネルギー消費をもたらす骨格筋によるすべての身体の動きを示しており、運動 (exercise) はもとより、家事、仕事などあらゆる活動を総括したものと定義される。表1にCaspersen¹¹⁾によるphysical activity、またその関連用語の定義を示し、現在、臨床・研究に用いられている、身体活動量の評価方法について述べる。

身体活動量の評価方法

身体活動の評価は、whole body calorimetryが、gold standard methodとされているが、これは呼気ガス分析によって測定されるため日常生活での測定は困難である。そこで、これに代わる種々の方法が、臨床的に使用、研究されている。表2にLaPorte¹²⁾によって分類された身体活動の測定法を示す。また、これらを整理したものを表3に示し、若干の文献的考察を加え説明する。

1. Direct physiological assessment

1) Calorimetry

Calorimetryは、呼気ガス分析によりエネルギー

表2 LaPorteによる身体活動の測定法

* Calorimetry
Direct
Indirect
* Job classification
* Surveys
Task-specific diary
Recall questionnaire
Quantitative history
* Physiological markers
Cardiorespiratory fitness
Double-labeled water
* Behavioral observation
* Mechanical and electronic monitors
Heart rate
Stabilometers
Horizontal time monitors
Pedometers
Gait assessment
Electronic motion sensor
Accelerometers
* Dietary measure

表3 身体活動量測定法の整理

-
① Direct physiological assessment
Direct calorimetry
Indirect calorimetry
② アンケート調査
自己記入法
インタビュー法
職業分類
③ タイムスタディ法
日記方式
観察法
④ Mechanical and electronic monitor
Heart rate
EMG
Pedometer
Actometer
Accelerometer
Position sensor
-

一消費量を測定するものである。マスクをつけ、直接呼吸ガスを集め分析する方法と sealed room 内にて活動し room 内のガスを分析する方法がある。どちらも身体活動量の測定としては最も正確な評価が可能であり、gold standard method とされている。近年、電波を用いて測定器とマスク間をホースレスで測定可能な装置も発売されているが、これを用いても、通常の日常生活を妨げずに長時間の測定は困難である。この方法は、主に身体活動 (physical activity) の評価ではなく、表1に示した体力 (physical fitness) の評価方法として用いられている。

2) Doubly-labeled water method^{13~15)}

Doubly-labeled water method は、hydrogen (^2H) や oxygen (^{18}O) のアイソトープを利用して、その排泄動態からエネルギー消費量を求めるものである。アイソトープの投与のみなので10~20日以上エネルギー消費量を日常生活を妨げずに測定することができ、信頼性も高い。日常生活下での測定では、gold standard method と考えられる。欠点としては、非常にコストがかかること、hydrogen (^2H) や oxygen (^{18}O) が手に入りにくいことが挙げられ、集団を対象にした調査などでは、用いづらい方法である。Seale^{16,17)} は、9人の成人に sealed room 内で Doubly-labeled water method と Indirect calor-

imetry にてエネルギー消費量を測定し、両者で測定値に有意差は認めなかったと報告している。

2. アンケート調査^{18~23)}

アンケート調査はさまざまな疫学調査などに広く用いられている。アンケート法には、自己記入法、インタビュー法、職業分類がある。どれも身体活動についてのアンケート調査結果より、身体活動量をおおまかに推測するものである。代表的なものとして Framingham study における physical activity index (PAI), 7-days physical activity re-call (PAR) questionnaire, PAR をもとした Minnesota leisure time physical activity questionnaire (MLTPA), Baecke questionnaire などがあり、主に体力や成人病と日常身体活動量の関係を検討した疫学的研究において使用されてきた。PAI は歩行、階段、スポーツや余暇時間の活動におけるエネルギー消費量を kcal/週で表わしたものであり、PAR はインタビュー方式で過去7日間の身体活動を5段階 (METs) に分けて、平日と休日のエネルギー消費量を表したものである。MLTPA は、インタビュー法で身体活動を8種類に分けて、過去1年に費やした時間を調べ、activity metabolic index (AMI) とし、METs×分/日で表している。Baecke は習慣的身体活動から、OAI (occupational activity index), SAI (sport activity index), LSI (leisure activity index) の3つの指標を使用している。これらの方法は、個人が自分の生活習慣や運動習慣について自分自身で評価をし、その内容もかなり大まかであり、身体活動量の評価としては、客観性に乏しく、正確性も乏しいと考えられる。しかし大規模な疫学調査などでは、コスト面や時間的に考えても合理的な手段であり、広く用いられている。

3. タイムスタディ法^{24,25)}

タイムスタディ法は、日々の各行動記録から各動作に費やす時間を算出し、各動作時のエネルギー代謝率から推定されるエネルギー消費量に当てはめ、合計するものである。記録方式としては、

動作の種類、またその動作時間を日記方式で自分で記録する方法と、観察者が記録する方法がある。またビデオを用いてテープに記録する方法も用いられている。日記方式は、繁雑になりがちであり、観察方式やビデオ記録方式は、かなりの時間と労力を必要とする。また、個人の運動耐容能を考慮に入れず運動強度から概算した数値の総和であるため、個人差としては性別、年齢、体重程度しか反映されず、各行動に当てはめるエネルギー消費量の値によって測定結果が大きく左右される可能性がある。特に身体障害者や呼吸・心疾患を持つ患者では、当てはめるエネルギー消費量の値の個人差は大きく、大きな測定誤差が生じると考えられる。

4. Mechanical and electronic monitor

1) 心拍数連続記録法^{26~31),33~39)}

心拍数連続記録法は、心拍数と酸素消費量には一般的に正の相関関係が得られることを利用して用いられている。しかし、この相関関係は体重や体力の影響を受け、また酸素摂取量と心拍数の関係は、100 拍/分以下の低強度の身体活動では、はっきりした相関関係は得られないという報告もある³²⁾。さらに心拍数は、身体活動に反応するだけでなく、精神的緊張等、自律神経機能の影響を受けること、高血圧、心疾患を合併している者がいることを考慮する必要がある³³⁾。山口ら³⁴⁾は、健康成人5名に対し、日中8時間中の総心拍数、尿中ノルアドレナリンおよびアドレナリン、自己評価気分調査表を測定し、気分の日内変動と交感神経系の活動と心拍数の間には密接な関係があると報告している。また活動量としての心拍数の評価方法も総心拍数を用いる方法、平均心拍数を用いる方法、平均心拍数からのばらつきである標準偏差を用いる方法、安静時心拍数を差し引き、身体活動にると考えられる心拍増加分のみを用いる方法と様々な報告があり、一定の見解はないようである。北浦ら³⁵⁾は、睡眠時の心拍数が1日の平均心拍数あるいは総心拍数に与える影響は大きく、身体活動量は睡眠時の心拍数とは独立したものと

考え、総心拍数は睡眠時と身体活動時の2つの心臓の活動状態を反映していると述べている。彼らは、安静時の心拍数を基準として、心拍数の増加分より活動量を推測している。著者ら³⁶⁾も、万歩計の歩数をホルター心電図に同時記録できるような装置を開発し、脳卒中軽度片麻痺患者に対して24時間計測したが、日中の心拍数から夜間睡眠時の心拍数を引いた値、つまり日中活動時の増加心拍数が万歩計の歩数と相関を示した。個々の被検者において実験室内でエネルギー消費量と心拍数の関係を求め、相関関係の認められる心拍数では、相関式に心拍数を代入し、それ以下の心拍数では安静時エネルギー消費量を代入しエネルギー消費量を求めるのが最も正確であるとの報告もある^{37,38)}。この方法を用いると、上記のような欠点はかなり補われるが、労力としてはかなり大きくなり、大規模な調査にはむかなくなる。装置としては、ホルター心電図が代表的であるが、より簡易な胸につけるタイプや腕時計程度の手首につけるタイプも発売されており、日常生活を妨げずに測定することは可能となっている。

2) 筋電図 (EMG)^{39,40,42)}

表面筋電図を記録しその積分値から、つまり筋活動量から活動量を推測する方法である。ポータブルの24時間連続側測定可能な筋電計が市販されており、身体活動量の測定にはこれが用いられ、記録筋としては大腿四頭筋が多いようである。心拍数や観察法と比較した結果、立ち上がりや歩行など特に大きな身体の動作において身体活動量の測定に有用であるとの報告がある。

3) 万歩計^{36,41,42)}

わが国では、身体活動の目安として万歩計がよく用いられている。万歩計は、安価で軽く、使用法が簡便であるなどの利点があり、歩行時とジョギング時と感度を変えられる振り子式のものが普及している。振り子式の原理は、振動が電気スイッチを開閉させて集積回路が振動回数を記録するものである。しかし、身体の移動に伴った上下動に応じて1方向のみに反応し、ある閾値を超えたものをカウントするのみで、細かい感度の設定は不可能である。万歩計は、それ自体の精度、体幹の

ねじれ、上肢のみの動作には反応しづらいこと、装着部位による影響等の問題がある。Saris⁴¹⁾は、万歩計は歩行速度が速くなると計測値は実際の値よりも多く、遅くなると少なくカウントされると報告している。Kashiwazaki⁴²⁾らは、通勤時間1時間あたりの万歩計歩数はその時のエネルギー消費量と良く一致するが、家庭にいるときの1時間あたりの歩数とエネルギー消費量の間には関係は認められなかったと報告している。歩数から活動量を推定することは、歩行中心の活動をしている者が対象であれば可能であるが、そうでない場合は、万歩計の歩数は歩行している時間のエネルギー消費量を反映していると述べている。万歩計の精度に対する研究では、493名を対象とした万歩計を使用した研究が報告された、250種類の歩数計の予備テストでは10%以上の誤差を有したものが1/3あったとのことだが、最終的には、歩数計は身体活動量のよい指標となりうるという結果であった⁴³⁾。歩数計の感度、精度の問題については、振子式についてJIS規格が制定されており精度は振動試験装置を用い $\pm 3\%$ となっているそうである。

4) カロリーカウンター (アクトメーター)^{44,45)}

カロリーカウンターの多くは圧電センサー式である。圧電センサー式の原理は、特殊なセラミック材料に力を加えると表面に電気が発生するという圧電効果を利用して加速度を測定し、運動量として検出する方法である。Sarisら⁴⁴⁾は、児童の日常生活において、万歩計がアクトメーターとの間に $r=0.95$ 、観察法との間に $r=0.93$ と高い相関を認めたことを報告している。柳堀ら⁴⁵⁾は、カロリーカウンターにて測定した1日のエネルギー消費量は、心拍数法や行動記録法で求めたエネルギー消費量よりも優位に低い値を示すことを報告している。吉武ら⁴⁶⁾は歩数計、心拍数連続記録、行動記録にて日中の活動量を測定し、歩行が中心の生活をしている被験者ではこの3法に比較差は認められないが、それ以外の被験者では顕著な差が認められたと報告している。このような報告は多く、どれも科学的な厳格性をもったの評価としては問題を認めるものの、現在のところ万

歩計や心拍数の連続記録は簡便性、経済性からも有用であるという意見が多い。

5) 加速度計^{47~54)}

加速度計は、加速度センサーを内蔵しており、上下1方向の加速度変化を検出するものと、上下、左右、前後の3方向の加速度変化を検出するものがある。Hemokinetics社のCaltrac、GMS社のアクティブトレーサー、Ambulatory Monitoring社のActigraphなどがよく用いられており、どれも小型軽量であり装着により日常生活を妨げることはない。これらの特徴は、万歩計やカロリーカウンターに比べ、感度が良いこと、またその感度を比較的自由に設定できることが挙げられる。そのメカニズムは、加速度を何段階かに設定し、それを越えた時間をカウントしていくもの、またピエゾエレクトリックトランスデューサーの機能を利用した加速度によって生じた電気的な揺れの積分値を設定時間ごとにカウントしていく機能を持つものなどがある。ピエゾエレクトリックトランスデューサーは、実際に臨床医学の場で、可変式心臓ペースメーカーに利用されており、患者が運動等で身体活動を増すと、その加速度変化に反応して心拍数を増加させることができるようになっている^{53,54)}。これらは実験室内では、呼気ガス分析によるエネルギー消費量と歩行や立ち上がり等の日常動作とよく相関するという報告は多く、再現性も非常によいが、実際の日常生活での測定における信頼性は確立されていない。また、装着部位は、手首、腰、体の重心位置として腰椎レベルなどと様々な報告があるが確立されていない。しかし、現在のところ、3次元加速度計は、身体活動を感知する機器としては、最もすぐれていると考えられている。大規模な研究にも日常生活を妨げずに利用するため以下に述べるPosition sensorのように複数の加速度計を用いたり、他の方法との併用をするなど身体活動量の測定法としては、最も研究のなされているところである。表4に3次元加速度計の利点と欠点を挙げる。

6) Position sensor^{55~58)}

従来は水銀柱を用いた姿勢計、つまり臥位、座

表 4 3次元加速度計の利点と欠点

利 点	欠 点
<ul style="list-style-type: none"> ・日常生活を妨げずに測定が可能 ・万歩計等と比較して感度にすぐれている ・感度設定が目的により自由にできる ・長時間(数日間)の測定が可能 ・測定が容易で比較的規模の大きい研究にも使用できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・装着部位による誤差 ・加速度を生じづらいゆっくりとした運動には反応しづらい ・gold study との大規模な研究がなく信頼性に問題あり ・信頼性を高めるため個々のキャリブレーションを施行すると測定に時間がかかる

位、立位を判別するものが用いられていた。しかし最近では、加速度計とコンピュータテクノロジーを用いて、複数の加速度計を身体の数部分に取り付け、各装着部位の加速度変化を組み合わせることにより、その時の身体の活動内容を予測できるシステムが数種類開発されている。これらは開発段階であり、便宜上 Position sensor の項に分類したが、Activity sensor または、Activity monitor と呼ばれている。これは、単一の加速度計を用いる時に生じる装着部位による測定誤差を是正していると考えられる。

5. その他の方法^{59,60)}

食事調査や体重変化や体組成より活動量を推測する方法、体力テストの成績や最大酸素摂取量より日常の活動量を推測する方法などがある。

最近の研究報告

身体活動量の測定法における最近の研究では、アンケート調査や日記方式は、大規模な成人病や健康との疫学的調査に確立された方法として使用されており、主にエレクトロニクスやコンピュータテクノロジーの進歩とともに加速度計などの測定装置の開発やその信頼性を示す文献が多い。その中からいくつか紹介する。

Patterson ら⁴⁷⁾ は、実験室において 15 名の成人に対して 3 次元加速度計を手首に装着し、歩行、走行、階段昇降、タイピング、読書など種々の動作において、各動作中の酸素消費量、心拍数と加速度計のカウント数を比較し、どちらも統計学的に有意な相関を認めたと報告した。また各動作における再現性も非常に高いと報告した。著

者ら⁴⁸⁾ は、10 名の成人に対して 3 次元加速度計と日常生活活動を 6 つの運動強度に分けたタイムスタディ法とを日中 6 時間以上、日常自由生活中に記録し比較した結果、両者の間には有意な相関関係を認めた。Kochersberger ら⁴⁹⁾ は、40 名のナーシングホームに入所している老人に対して 3 次元加速度計である Actigraph と Tritrac にて 2 週間の身体活動量を測定し、両者の測定結果には有意な差は認めなかったと報告している。また各加速度計のカウントについて 1 週間ごとの平均値を比較しても有意な差は認められなかったと報告し、3 次元加速度計は、身体活動量の評価に有用であると報告している。

Tuomisto ら⁴⁰⁾ は、加速度計、筋電図、水柱式姿勢計、HR variance を同時に測定し、立位、座位、種々の速度の歩行、種々の負荷におけるエルゴメーター動作中の身体活動量を推測し比較検討した。また同様に 5 時間の自由生活においても比較検討した。筋電図や加速度計は身体活動内容を区別するのにすぐれており、姿勢計は姿勢を最も正確に評価し、運動負荷量を測定するには筋電図が最も適していたと述べている。身体活動量を測定するには、姿勢計とともに加速度計が筋電図を同時に用いるのがよいと報告している。

Johnson ら⁵⁰⁾ は、31 名の小児に対し日常生活上で Caltrac accelerometer と Doubly water method にてエネルギー消費量を測定し比較検討した。Caltrac accelerometer により測定されたエネルギー消費量は Doubly water method によって測定されたものに比較して有意に大きく評価され、Caltrac accelerometer は、小児においては身体活動量の評価には有用でないと報告している。Westertep ら^{51,52)} は、30 名の正常体重成

人, 11名の神経性食思不振症, 8名の高度肥満者に対し, 3次元加速度計と Doubly water method にてエネルギー消費量を7日間測定し, 両者に有意差はなく, 3次元加速度計は身体活動量の測定に有用であると報告している。また, 現在発売されている種々の加速度計と Doubly water method との比較検討において, どの加速度計も, 腰, 手首, 腰部中央どこにつけても Doubly water method によって測定されたエネルギー消費量と有意な差は認められないと報告し, さらに3次元加速度計は2次元の加速度計に比べ, 低強度の活動もよく反映すると報告している。

Bussmann ら⁵⁵⁾ は, 両側大腿上部と胸部(胸骨上)に垂直に2個の計4個の加速度計を装着し, 日常生活の立つ, 座る, 歩くなど40の異なった動作を行い, 4個の異なる部位に装着した加速時計の変化の組合せから各動作を推測した。また4×6mの部屋で4時間ビデオに撮影しながら自由に生活させ, 加速度計から推測された動作とビデオから解析した実際の動作は, 86%一致し, 複数の加速度計からの身体活動の評価は有用であると報告している。また Fahrenberg ら⁵⁶⁾ も, 6個の加速時計を大腿, 下腿, 手関節, 胸部に取り付け, 臥床, 座位, 立位, 歩行, 階段昇降, コンピューター操作, サイクリングの動作にて同様に分析し, 各動作はビデオ撮影の結果とほぼ100%一致したと報告している。Bussmann ら⁵⁷⁾ は, 4名の下肢切断患者に日常生活において同様の方法で身体活動量を測定し, 90%ビデオ撮影の結果と一致したと報告している。Kiani ら⁵⁸⁾ は, この方法の artificial neural network を作成し, これに基づき日常生活の動作を95%以上, 区別することができたと報告している。

ま と め

現在までに報告されている主な身体活動量の測定方法について述べた。これらの方法は体力や疾病, 特に成人病や虚血性心疾患との関係などにおいて数多く利用され, 多くの報告がある一方, その測定方法の信頼性や測定誤差などについての報

告もあり, 矛盾が生じているように感じる。しかしどの方法もエネルギー消費量の推定法としては問題のある可能性はあるものの, 身体活動量の一指標としては有用であると考えられる。近年, 3次元加速度計やコンピューターテクノロジーの進歩により新たな測定機器が開発されており, 日常生活の測定においても gold standard method である Doubly-labeled water method と有意な相関関係を認めている。今後, 簡便かつ信頼性のある測定法が開発され, 疫学的大規模な研究にも用いられることを期待する。

文 献

- 1) Kannel WB, Sorlie MS: Some health benefit of physical activity. The Framingham study. Arch Intern Med 1975; **139**: 857-861
- 2) Montoye HJ, McCabe JF, Metzner HL, Garn SM: Physical activity and bone density. Hum Biol 1976; **48**: 599-610
- 3) Rhoads GG, Kagan A: The relation of coronary disease, stroke, and mortality to weight in youth and in middle age. Lancet 1983; **1**: 492-495
- 4) US Department of Health and Human Services: Physical activity and health: A Report of the Surgeon General. US Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention; National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion: Atlanta, 1996
- 5) 宮原恵子, 緒方 甫, 浅山 滉, 今村義典: 脳卒中後片麻痺患者の活動性. 総合リハ 1984; **12**: 853-857
- 6) 木村美子, 大塚三郎, 江西一成: 脳卒中在宅片麻痺患者の退院後の機能と体力の維持について. 理学療法学 1988; **15**: 27-34
- 7) 間嶋 満, 上田 敏: 脳卒中片麻痺患者の体力に関する検討. リハ医学 1985; **22**: 64-72
- 8) Peter RM, Carlton BC, Jonathon L: Daily physical activity in adults with mild and moderate learning disabilities: is there enough? Disabil Rehabil 1998; **20**: 424-427
- 9) American College of Sports Medicine: The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults. Med Sci Sports Exerc 1990; **22**: 265-274
- 10) Pate R: Physical activity and public health: a recommendation from the Centers for Disease Control and the American College of Sports Medicine. JAMA 1995; **273**: 402-407
- 11) Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM: Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. Public Health Rep 1985; **100**: 126-131

- 12) LaPorte RE, Montoye HJ, Caspersen CJ: Assessment of physical activity in epidemiologic research: problem and prospects. *Public Health Service* 1985; **100**: 131-146
- 13) Prentice AM: The double-labelled water method for measuring energy expenditure: technical recommendations for use in humans. A consensus report by the International Dietary Energy Consultancy Working Group. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1990
- 14) Black AE, Coward WA, Cole TJ, Prentice A: Human energy expenditure in affluent societies: an analysis of 574 doubly-labelled water measurements. *Eur J Clin Nutr* 1996; **50**: 72-92
- 15) Starling RD, Matthews DE, Ades PA, Poehlman ET: Assessment of physical activity in older individuals: a doubly labeled water study. *J Appl Physiol* 1999; **86**: 2090-2096
- 16) Seale JL, Conway JM, Canary JJ: Seven-day validation of doubly labeled water method using indirect room calorimetry. *J Appl Physiol* 1993; **74**: 402-409
- 17) Seale JL, Rumpler WV, Conway JM, Miles CW: Comparison of doubly labeled water, intake-balance, and direct- and indirect-calorimetry methods for measuring energy expenditure in adult men. *Am J Clin Nutr* 1990; **52**: 66-71
- 18) Chilsan-Taber S, Rimm EB, Stampfer MJ, Spiegelman D, Colditz GA, Giovannucci E, Ascherio A, Willett WC: Reproducibility and validity of a self-administered physical activity questionnaire for male health professionals. *Epidemiology* 1996; **7**: 81-86
- 19) Crocker PR, Bailey DA, Faulkner RA, Kowalski KC, McGrath R: Measuring general levels of physical activity: preliminary evidence for the Physical Activity Questionnaire for Older Children. *Med Sci Sports Exerc* 1997; **29**: 1344-1349
- 20) Hopkins WG, Wilson NC, Russell DG: Validation of the physical activity instrument for the Life in New Zealand national survey. *Am J Epidemiol* 1991; **133**: 73-82
- 21) Folsom AR, Jacobs DR Jr, Caspersen CJ, Gomez-Marín O, Knudsen J: Test-retest reliability of the Minnesota Leisure Time Physical Activity Questionnaire. *J Chronic Dis* 1986; **39**: 505-511
- 22) Baecke JA, Burema J, Frijters JE: A short questionnaire for the measurement of habitual physical activity in epidemiological studies. *Am J Clin Nutr* 1982; **36**: 936-942
- 23) Pols MA, Peeters PHM, Bueno-De-Mesquita BH, Ocke MC, Wentink CA, Kemper HC, Collette HJ: Validity and repeatability of a modified Baecke questionnaire on physical activity. *Int J Epidemiol* 1995; **24**: 381-388
- 24) Patterson SM, Krantz DS, Montgomery LC, Deuster PA, Hedges SM, Nebel LE: Automated physical activity monitoring: validation and comparison with physiological and self-report measures. *Psychophysiology* 1993; **30**: 296-305
- 25) 木田和幸, 白谷三郎: 心拍数を用いる方法と RMR 法によるエネルギー消費量の比較. *産業医* 1988; **30**: 206-207
- 26) Meijer GA, Westerterp KR, Koper H, ten Hoor F: Assessment of energy expenditure by recording heart rate and body acceleration. *Med Sci Sports Exerc* 1989; **21**: 343-347
- 27) Verma SS, Malhotra MS, Gupta JS: Indirect assessment of energy expenditure at different work rates. *Ergonomics* 1979; **22**: 1039-1044
- 28) 芳田哲也, 中井誠一, 森田恭光, 伊藤 孝: 心拍数からみた 1 日の消費熱量. *体力科学* 1984; **33**: 280
- 29) 山本高司, 加藤好信, 坪内伸司, 藤松 博: 24 時間心拍数から 1 日の消費エネルギーを推定する方法の開発. *体力科学* 1981; **30**: 351-352
- 30) Livingstone MB, Prentice AM, Coward WA, Ceesay SM, Strain JJ, McKenna PG, Nevin GB, Barker ME, Hickey RJ: Simultaneous measurement of free-living energy expenditure by the doubly labeled water method and heart-rate monitoring. *Am J Clin Nutr* 1990; **52**: 59-65
- 31) Livingstone MB, Coward WA, Prentice AM, Davies PS, Strain JJ, McKenna PG, Mahoney CA, White JA, Stewart CM, Kerr MJ: Daily energy expenditure in free-living children: comparison of heart-rate monitoring with the doubly labeled water ($^2\text{H}_2^{18}\text{O}$) method. *Am J Clin Nutr* 1992; **56**: 343-352
- 32) Malhotra MS, Gupta JS, Rai RM: Pulse count as a measure of energy expenditure. *J Appl Physiol* 1963; **18**: 994-996
- 33) 杉本 淳, 宮野佐年: 体動センサーによる日中身体活動量の測定. *慈恵医大誌* 1995; **110**: 163-173
- 34) 山口 剛, 竹下輝和: 気分と心拍数, 歩行距離および尿中カテコールアミン排泄値との関係. *自律神経* 1985; **22**: 277-285
- 35) 北浦 孝, 沼 哲夫: 一日総心拍数の得点化 (心臓活動係数) による運動量の評価. *デサントスポーツ科学* 1990; **11**: 254-261
- 36) 杉本 淳, 河井宏之, 猪飼哲夫, 宮野佐年, 米本恭三: ホルター心電図・万歩計同時記録による脳卒中片麻痺患者の活動量の評価. *福田記念医療技術振興財団* 1995; **6**: 17-23
- 37) Spurr GB, Prentice AM, Murgatroyd PR, Goldberg GR, Reinal JC, Christman NT: Energy expenditure from minute-by-minute heart rate recording: comparison with indirect calorimetry. *Am J Clin Nutr* 1988; **48**: 552-559
- 38) Ceesay SM, Prentice AM, Day KC, Murgatroyd PR, Goldberg GR, Scott W: The use of heart rate monitoring in the estimation of energy expenditure: a validation study using whole-body calorimetry. *Br J Nutr* 1989; **61**: 175-186
- 39) Mello MT, Lauro FA, Silva AC, Tufik S: Incidence

- of periodic leg movements and of the restless legs syndrome during sleep following acute physical activity in spinal cord injury subjects. *Spinal Cord* 1996; **34**: 294-296
- 40) Tuomisto MT, Johnston DW, Schmidt TFH: The ambulatory measurement of posture, thigh acceleration, and muscle tension and their relationship to heart rate. *Psychophysiology* 1996; **33**: 409-415
 - 41) Saris WHM, Binkhorst RA: The use of pedometer and actometer in studying daily physical activity in man. Part I: reliability of pedometer and actometer. *Eur Appl Physiol* 1977; **37**: 219-228
 - 42) Kashiwazaki H, Inaoka T, Suzuki T, Kondo Y: Correlation of pedometer reading with energy expenditure in workers during free-living daily activities. *Eur J Appl Physiol* 1986; **54**: 585-590
 - 43) Sequeria MM: Physical activity assessment using a pedometer and its comparison with a questionnaire in a large population survey. *Am J Epidemiol* 1995; **142**: 989-999
 - 44) Saris WHM, Binkhorst RA: The use of pedometer and actometer in studying daily physical activity in man. Part II: validity of pedometer and actometer measuring the daily physical activity. *Eur J Appl Physiol* 1977; **37**: 229-235
 - 45) 柳堀朗子, 青木和夫, 鈴木洋児, 郡司篤晃: 1日の日常生活活動量測定方法の検討. *日公衛誌* 1991; **38**: 483-491
 - 46) 吉武 裕, 島田美恵子, 樋口 満, 太田壽城, 小林修平, 岩田研典: 歩数と心拍数による日常生活活動量の推定法について. *体力科学* 1992; **41**: 843
 - 47) Patterson SM, Krantz DS, Montgomery LC, Deuster PA, Hedges SM, Nebel LE: Automated physical activity monitoring: validation and comparison with physiological and self-report measures. *Psychophysiology* 1993; **30**: 296-305
 - 48) Sugimoto A, Hara Y, Findley TW, Yoncmoto K: A useful method for measuring daily physical activity by a three-direction monitor. *Scand J Rehabil Med* 1997; **29**: 37-42
 - 49) Kochersberger G, McConnell E, Kuchibhatla MN, Pieper C: The reliability, validity, and stability of a measure of physical activity in the elderly. *Arch Phys Med Rehabil* 1996; **77**: 793-795
 - 50) Johnson RK, Russ J, Goran MI: Physical activity related energy expenditure in children by doubly labeled water as compared with the Caltrac accelerometer. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1998; **22**: 1046-1052
 - 51) Westerterp KR, Bouten CV: Physical activity assessment: comparison between movement registration and doubly labeled water method. *Z Ernährungswiss* 1997; **36**: 263-267
 - 52) Westerterp KR: Physical activity assessment with accelerometers. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1999; **23**: 45-49
 - 53) 横山正義: ペースメーカーの種類と適応. *内科* 1991; **68**: 116-120
 - 54) 金子敬子, 浅野由紀子, 田村 俊, 松本万夫, 土肥 豊: 体動感知型レートレスボンスペースメーカー(VVI)の諸動作および外的負荷に対する心拍反応について. *Dialog Siemens* 1989: 1-4
 - 55) Bussmann JB, Tulen JH, van Herel EC, Stam HJ: Quantification of physical activities by means of ambulatory accelerometry: a validation study. *Psychophysiology* 1998; **35**: 488-496
 - 56) Fahrenberg J, Foerster F, Smeja M, Muller W: Assessment of posture and motion by multichannel piezoresistive accelerometer recordings. *Psychophysiology* 1997; **34**: 607-612
 - 57) Bussmann HB, Reuvekamp PJ, Veltink PH, Martens WLJ, Stam HJ: Validity and reliability of measurements obtained with an "activity monitor" in people with and without a transtibial amputation. *Phys Therapy* 1998; **78**: 989-998
 - 58) Kiani K, Snijeders CJ, Gelsema ES: Recognition of daily life motor activity classes using an artificial neural network. *Arch Phys Med Rehabil* 1998; **79**: 147-154
 - 59) 岸田敏彦, 井奈波良一, 岩田弘敏: 最大酸素摂取量と身体活動度, 血圧, 血清脂質の関係. *日衛誌* 1997; **52**: 475-480
 - 60) Blair NS: Physical activity leads to fitness and pay off. *Sport Med* 1985; **13**: 145-150