

厚生科学研究研究費補助金

21 世紀医療開拓型推進研究事業

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

平成 13 年度 総括・分担報告書

主任研究者 田中 宏暁

平成 13 (2001) 年 3 月

目 次

I. 総括研究報告書

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 田中宏暁	1
--	---

II. 分担研究報告書

1. 簡易なエネルギー消費量推定法の開発 田中宏暁	4
2. 簡易エネルギー消費量測定法による1日の総エネルギー 消費量の測定および精度についての検討 吉武 裕	13
3. 二重標識水法による日本人中年男性のエネルギー消費量 と生活活動強度の推定 齊藤慎一	21

III. 研究成果の刊行に関する一覧表	31
---------------------------	----

IV. 研究成果の刊行物・別刷	32
-----------------------	----

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（福岡大学スポーツ科学部）

メタボリックチャンバー法（MC法）と二重標識水法（DLW法）による日本人のエネルギー消費量の測定例を増やした。また簡易エネルギー推定法について検討した。さらに日本人の睡眠代謝量と基礎代謝量の基礎資料を得た。

1)MC法を基準に簡易エネルギー推定法である加速度センサー法（Lifecorder）の妥当性を検討した結果昨年度までと同様の結果が得られその有用性が確認できた。またその精度は国際的に活用されている3次元の加速度センサーを内蔵したTriTracに比べて遜色なく、むしろ無意識的な動作をより精度高く評価できる利点があることが明らかになった。

2)睡眠時代謝と基礎代謝量の実測値は、体表面積当たりの基礎代謝基準値より推定したBMRよりも有意に高かった。現在の日本人の基礎代謝量は過去に比べ高く欧米人と近似している結果が得られた。従って体表面積当たりの基礎代謝基準値を変更する必要があると考えられた。

3)DLW法を用いてスポーツ選手と女子学生の総エネルギー消費量を測定し生活活動強度を推定したところ、スポーツ選手の栄養所要量では第5次改定の日本人の栄養所要量に存在する生活活動量Vを引き続き使用しても問題がないと考えられた。

4)DLW法と行動記録法、心拍数法、加速度計法を比較し簡易法の精度を調べた。その結果いずれの方法も日常生活のエネルギー推定法として有用であることが示唆された。

【研究組織】

主任研究者

田中宏暁（福岡大学スポーツ科学部教授）

分担研究者

吉武 裕（鹿屋体育大学体育学部教授）

斎藤慎一（筑波大学体育科学系助教授）

A.目的

生活習慣病の予防・治療の手段の一つとして運動が用いられている。栄養過多とな

りやすい現代社会においては、エネルギー摂取と消費のバランス面から、規則的な運動習慣の獲得は極めて重要であり、また簡易にエネルギー消費量を推定する方法を開発する必要がある。

我々は、国際的にスタンダードな方法として用いられているメタボリックチャンバー法（MC法）と二重標識水法（DLW法）を用いて、エネルギー消費量の測定を開始した。また、同時に行動記録法、心拍数法、

加速度センサー法によるエネルギー消費量推定の精度について検討を行ってきた。

本年度の目的は、1)MC法とDLW法を用いて年齢層と対象者を増やし、日本人のエネルギー消費量の基準値を作成するためにデータを蓄積すること、2)3次元の加速度センサー法と本研究で使用してきた1次元の加速度センサーとを比較すること、簡易エネルギー推定法の有用性を検討することとした。

B. 研究方法

1) メタボリックチャンバー法によるエネルギー消費量の測定

メタボリックチャンバーを用いて、24時間のエネルギー消費量の測定を行った。本年度の被検者は日本人52名、スイス人14名を対象とした。各被験者には、ゆっくりとした歩行と速歩を含む、標準的な日常生活をシュミレートした身体活動を行わせ、食事は規定食を摂取させた。睡眠時代謝量(SMR)と基礎代謝量(BMR)、日本人の体表面積あたり基礎代謝基準値から推定される基礎代謝値について、相互関係を分析した。また、加速度計法(Lifecorder, スズケン社製)の有用性について検討した。一部被検者には3次元加速度センサー内蔵のTritrac (Reining International社製)を同時に装着、妥当性を比較検討した。

2) 二重標識水 (DLW) 法によるエネルギー消費量の測定

一般成人男子45名と女子16名およびエリートスポーツ選手男子17名と女子19名、あわせて107名の日常生活時の総エネルギー消費量 (TEE) を測定した。DLWは早朝に摂取させ、その後唾液と尿の採取・分析により、15日間の平均のエネルギー消費量を評価した。生活時間調査法と心拍数モニター法によるエネルギー消費量の測定は3日間行い、加速度計法による測定は15日

間行った。

本研究は国立健康・栄養研究所「人間を対象とする生物医学的研究に関する倫理委員会」およびローザンヌ大学医学部の許可を得て実施した。初回調査時に被検者に対しては、研究や測定の意義及びこれらに伴う危険性などについての十分な説明の上、インフォームド・コンセントがとられている。

C. 結果と考察

1) メタボリックチャンバー法によるエネルギー消費量の測定

SMRはBMRよりも4%低く、この差は欧米人を対象とした先行研究と近似していた。また、日本人の体表面積あたり基礎代謝基準値による推定法では実測値よりも、平均してBMRに対して170kcal、SMRに対しても111kcal低く推定されることが分かり、基礎代謝基準値を改正することが望ましいと考えられた。

加速度計法では総エネルギー消費量が低く推定されるものの広い範囲の活動強度におけるエネルギー消費量をよく反映し、高低差の少ない環境での生活者では長期間のエネルギー消費量の評価法として有用であることが示唆された。エネルギー消費量を推定法として国際的に広く利用されている3次元加速度センサー内蔵のTritracに比べて実用性の高いLifecorderの精度は劣ることなく、特に無意識な動作時のエネルギー消費量をより良く反映し、有用であると考えられた。

2) 二重標識水 (DLW) 法によるエネルギー消費量の測定

DLW法によるTEEとBMRから算出された身体活動指数 (PAL) を第六次改定日本人の栄養所要量に示される生活活動強度IV (PAL1.9) と比較すると、一般人男女で

は、1.9以上を示す者が33名（54%）にも達した。PALが高いスポーツ選手では、1.9以内であったのは男子1名（6%）、女子3名（16%）にしかすぎなかった。一般人のDLW法によるTEEと生活時間調査法、心拍数モニター法、加速度計法によるTEEを比較したところ、生活時間調査法、心拍数モニター法は集団を対象にする場合には妥当であるが、個人個人のTEE推定には適さない。一方、加速度計法はTEEを過小評価する可能性があるものの、運用如何では個人個人のTEE推定のツールになることがわかった。第六次改定の日本人の栄養所要量の生活活動強度IVの「1日のうち1時間程度は激しいトレーニングや木材の運搬、農繁期の農作業などのような強い作業に従事している場合」を超えた日常身体活動生活をしている人々が少なからず存在していることを示しており、エネルギー摂取量についても生活活動強度IVにおさまりきれない人がかなり存在することになると思われ、次回改定の日本人の栄養所要量策定で検討されることが望ましい。

加速度計法は1日の総エネルギー消費量を過小評価する可能性があるものの、微小な動作も評価できることから、簡易法として有用であることが明らかとなった。

D. 結論

睡眠時エネルギー代謝量は、基礎代謝量よりも10%低いと考えられてきたが、平均4%低いことが明らかとなった。性・年齢・体重別の基準値から推定する基礎代謝量は、実測した値よりも有意に低く、訂正する必要があると思われた。

生活活動強度IVに収まりきれない人がかなり存在し、生活活動強度Vを加える必要性が考えられた。

従来エネルギー消費量の測定に用いられてきた生活時間調査法、心拍数モニター法は集団を対象にする場合には妥当であるが、個人個人の1日の総エネルギー消費量推定には適さないことが明らかになった。一方、

簡易なエネルギー消費量推定法の開発

分担研究者 田中宏暁（福岡大学スポーツ科学部）
研究協力者 吉岡真由美、樋口博之、進藤宗洋（福岡大学スポーツ科学部）
熊原秀晃（北海道大学教育学部大学院生）

メタボリックチャンバー法を基準に簡易エネルギー推定法である加速度センサー法（Lifecorder）の妥当性を検討した結果、昨年度までと同様の結果が得られその有用性が確認できた。またその精度は国際的に活用されている3次元の加速度センサーを内蔵したTritracに比べて遜色なく、むしろ無意識的な動作をより精度高く評価できる利点があることが明らかになった。

睡眠時代謝と基礎代謝量の実測値は、体表面積当たり基礎代謝基準値より推定したBMRよりも有意に高かった。また少数例(14例)ではあるが白人に同一手法で測定し年齢、体格をマッチングさせた日本人と比較したところ、SMR、BMRとも有意な差はなかった。現在の日本人の基礎代謝量は過去に比べ高く欧米人と近似していると推察された。従って体表面積当たりの基準値を変更する必要があると考えられた。

A. 目的

一日のエネルギー消費量の評価は、特に肥満やそれに関連した生活習慣病の予防・治療に必須である。活動（運動）で消費されるエネルギーの内、最近では、ウォーキングやランニング等の積極的な運動以外の無意識的な活動（微小活動）が肥満関連疾患との間に重要な関連があるとの報告がされており、積極的な運動中だけでなく、一日の活動の多くを占める微小活動を含む静的活動時間のエネルギー消費量も的確に評価できる方法の開発が望まれている。我々は既に昨年度の報告で、被検者34名を対象にメタボリックチャンバー法との比較で、多メモリ加速度計装置付歩数計（スズケン社製 Lifecorder; LC）が長期間のエネ

ルギー消費量の推定法として有用であることを示唆する結果を得ている。

今年度は、研究1として、本年度測定した被検者52名を対象にLCの有用性を確認するとともに、活動量の評価法としてよく使われている3次元加速度計との比較を行い、LCを用いた長期間のエネルギー消費量推定法の妥当性を検討することを目的とした。

また、一日のエネルギー消費量（TEE）の中でも基礎代謝量（BMR）、または睡眠時代謝量（SMR）は、一般人では一日のエネルギー消費量の約70%を占めていると言われ、肥満関連疾病の生活指導の際に基礎となる重要な資料である。

研究2として、日本人のSMRおよび

BMRについての再検討も行った。

B. 研究方法

1) 被検者

本年度の被検者は男性19名、女性33名の計52名であった。昨年までの被験者34名と合わせると総計86名である。被検者特性を表1に表した。また、日本人との比較のために、ヨーロッパ人男性9名、女性5名の計14名を加えた（被検者特性：表3）。

2) 方法

スイス連邦ローザンヌ大学医学部生理学研究室（84名）、および米国ルイジアナ州立大学ペンニントン生物医学研究所（2名）に於いて、被検者にメタボリックチャンバー内で一日通常の生活をしてもらい、連続してエネルギー消費量（EE）を測定した。被検者は日中（16時間）、LCを腰右部にしっかりと固定携帯し、LCで推定された一日のエネルギー消費量と実測された一日のエネルギー消費量を比較した。また、全被検者中16名は、同時にTritrac (Reining International社製, Madison, WI) を腰左部に固定携帯し、LCおよびTritracより推定された推定された活動エネルギー消費量（=推定総エネルギー消費量-推定基礎代謝量）と実測された同値を比較した。

被検者は、電動式トレッドミルを用い、2種の異なるスピード（3.9, 5.1km/h）でそれぞれ30分間の歩行運動を行う以外の制限はなかった。また睡眠は、23:00から7:00までの8時間とし、SMRは睡眠が確認された5時間以上を平均した。BMRは、被検者中12名はメタボリックチャンバーを用い、65名は起床直後に臥位安静でフード法を用いて20分以上測定した。なお、男性2名については基礎代謝量についてのデータが得られていない。

C. 結果と考察

研究1. 加速度計による一日のエネルギー消費量推定の妥当性を見当

〈LCを用いた一日のエネルギー消費量推定の精度の確認〉

昨年の報告で既にLCによる加速度計法が一日のエネルギー消費量の推定法として妥当であることが示唆されている。図1に本年度の被検者を対象にTEELCとTEEの関係を示した。昨年度までの被検者と今年度測定した被検者に分けて回帰式の検定を行ったところ、傾き、切片ともに有意な差は認められなかった。TEELCは 1863.4 ± 305.0 kcal であり、TEE（平均 2042.9 ± 342.6 kcal）よりも 179.4 ± 126.5 kcal 有意に低かった（実測値を100%とすると $91.4 \pm 5.2\%$ ）が、昨年度の報告と同じく両者間に有意な相関関係（ $r=0.930, p<0.001$ ）が認められ、LCが一日のエネルギー消費量を推定する上で有効であることが確認された。

〈活動量の評価法としてよく使われている3次元加速時計との比較〉

Tritracより計算された活動エネルギー消費量は実測値に対して $45.3 \pm 12.2\%$ と著しく低く推定され、しかも両者間に有意な相関関係が認められなかった（図4）。また、LCで推定された値は同16名を対象とすると実測値に対して $89.7 \pm 18.8\%$ と10%ほど低く推定されたものの実測値との間に有意な相関関係が認められた（図4）。Tritracで活動量の实測値と有意な相関関係が得られなかった理由は日常生活時活動量のかなりの量を占めるSedentaryな活動（座位・立位の繰り返し、デスクワーク等）量を反映していないためである。これは先行研究でも指摘されているように^{1,2)}腰部に装着した加速時計の加速度の積分値変化

では、Sedentaryでのむしろデスクワーク等の上肢の活動が中心で構成される活動を評価することは困難であると考えられる。一方でLCを用いた場合でも実測値に比べ10%程度低く推定するが、実測値との間に有意な相関関係が認められた。LCは垂直方向の加速度変化と頻度から判定された強度レベルからエネルギー量を算出しているが、特に強度の低いSedentaryな活動に関しては、Tritracとは異なる独特のアルゴリズムを用いて活動レベルの決定及びエネルギー消費量の算出を行っている。おそらくこのLCの微小活動を認識するアルゴリズムがよく機能しているためであろう。

研究2. 日本人の基礎代謝量についての再検討

SMRはBMRよりも 56.9 ± 110.9 kcal 有意に低い値を示した(BMRを100%とすると $96.4 \pm 7.2\%$) (図5)。SMRとBMRの差について日本人を対象とした研究はないが、欧米人を対象としたいくつかの先行研究⁴⁻⁶⁾と近似した結果である。24時間のエネルギー消費量を評価する際には、両者の差約4%による影響はおおよそ 1.3% ($=8h/24h * 4\%$)の誤差にしかならず、生活指導を行う際には多くの対象についてはSMRとBMRを区別する必要はないと思われる。

SMRおよびBMRと体重、身長、年齢、体表面積、除脂肪体重、体脂肪率、BMI、ウエストヒップ比の関係についてPearsonの単回帰相関係数とおおよそstepwise multiple-regression analysisを用いて検討した(表2)。なお、体脂肪率は皮下脂肪厚より長峰らの式により身体密度を算出し用いた。BMR,SMRともに年齢、体脂肪率を除く全ての項目と有意な相関関係があり、特に、体重、除脂肪体重と体表

面積が高い相関関係があった(BMR; $r=0.859, 0.901, 0.890$, SMR; $r=0.842, 0.862, 0.863$)。また、上記全因子を含めたmultiple-regression analysisにおいては、BMRについては、除脂肪体重が単一の指標で81.2%説明でき、さらに体重の因子を加えることで83.5%と向上した。SMRについては、体表面積単一で74.6%説明でき、さらに除脂肪体重の因子を加えると77.4%と向上した。BMR, SMRともに他の因子については棄却された。

日本人の体表面積当たり基礎代謝基準値⁶⁾から推定したBMRと実測したBMR,SMRを比較すると両者の間に有意な相関関係が認められたが、推定法では実測したBMR,SMRをそれぞれ100%とすると、 $88.8 \pm 6.6\%$, $92.8 \pm 8.3\%$ それぞれ低く推定された(図6)。

山本と小松は現代人の基礎代謝量は推定法によるものよりも実測では10%程度低く推定される可能性があるとしている⁷⁾。その理由として、推定法が開発されたのは1951~1966年にかけてであり、現代人は当時の人よりも活動量の低下により除脂肪体重が低下したであろうことを挙げている。しかしながら本研究結果は山本の仮説と全く反対の結果であった。

我々は現在人の基礎代謝量が過去よりも高い理由は、日本人の体格が当時の日本人から変化し、脚長が長くなり身体組成が欧米人に近くなったためと推察した。そこで、日本人被検者の中から年齢、身長、体重、体表面積、体脂肪率、除脂肪体重に統計学的に一致させて17名(男性10名、女性7名)を選出し、ヨーロッパ人14名と比較した。この検定に用いた被検者特性を表3に示す。年齢および身体的特性を一致させた日本人とヨーロッパ人では、基礎代謝量、睡眠時代謝量の一日当たりおよび体重当た

り、除脂肪体重当たりの全ての値に有意な差はみられなかった。日本人と欧米人の基礎代謝について検討した先行研究はないが、そもそも日本で用いられている体表面積当たり基礎代謝値は欧米人のそれ⁸⁾より低い。ちなみに欧米人用の式 (Du Boisの式を用いて体表面積を推定し、Fleischの式基礎代謝基準値より推定した) を用いて推定すると、それでもなお低く推定するものの、その誤差は小さくなった (実測したBMR,SMRを100%とすると、それぞれ94.7+/-7.9%, 98.8 +/-9.2%)。これらの結果は身体組成の時代的変化し現代の一般的な人の基礎代謝量が従来より高いという仮説を指示するものであろう。

D. まとめ

メタボリックチャンバー法を基準に簡易エネルギー推定法である加速度センサー法 (Lifecorder) の妥当性を検討した結果昨年度までと同様の結果が得られその有用性が確認できた。またLifecorderは国際的に利用されている3次元の加速度センサーを内蔵したTritracに比べ小型であり長時間の身体活動量を測定できるだけでなく、特に日常生活のかなりの部分を占める involuntary activity (無意識な動作) をより精度高く測定できるため日常生活活動量の評価法として有用性に優れていると考えられた。

睡眠時代謝と基礎代謝量をメタボリックチャンバー法またはフード法で測定し、体表面積当たり基礎代謝基準値より推定したBMRと比較した。BMRの推定値は実測された睡眠時代謝量と基礎代謝量のいずれよりも有意に低かった。また少数例 (14例) ではあるが白人に同一手法で測定し年齢、体格をマッチングさせた日本人と比較したところ、SMR、BMRとも有意な差はなかつ

た。現在の日本人の基礎代謝量は過去に比べ高く欧米人と近似していると推察された。従って体表面積当たりの基準値を変更する必要があると考えられた。

E. 参考文献

- 1) Bouten et al. Assessment of energy expenditure for physical activity using a triaxial accelerometer. *Med. Sci. in Sports* 26: 1516-1523, 1994.
- 2) Nichols et al. Validity, reliability, and calibration of the Tritrac accelerometer as a measure of physical activity. *Med. Sci. in Sports* 31: 908-912, 1999.
- 3) Goldberg et al. Overnight and basal metabolic rates in men and women. *Eur. J. Clin. Nutr.* 42:137-144, 1987.
- 4) Fontvieille et al. Energy cost of arousal: effect of sex, race and obesity. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 17: 705-709, 1993.
- 5) Schutz et al. Diet-induced thermogenesis measured over a whole day in obese and non obese women. *Am. J. Clin. Nutr.* 40: 542-552, 1984.
- 6) 厚生省保健医療局健康増進栄養課. 第5次改訂 日本人の栄養所要量. 第一出版, 1997.
- 7) 山本茂、小松龍史. 日本人の基礎代謝資料の評価. *栄養学雑誌.* 59:51-59. 2001
- 8) Fleisch. *Helv. Med. Acta* 18:23-, 1951.
- 9) Du Bois. Basal metabolism in health and disease. Lee & Febiger, Philadelphia, 1927.

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Yoshioka M, Ayabe M, Yahiro T, Higuchi H, Higaki Y, St-Amand J,

Miyazaki H, Yoshitake Y, Shindo M.
Tanaka H: Role of non-exercise physical
activity in obesity. Obesity Res.
(submitted)

2. 学会発表

1) Kumahara H. et al. Assessment of
physical activity using a uniaxial
accelerometer in a respiratory chamber.
MSSE. 33 (Supplement):S251, 2001

表1. 被検者の身体特性

	身長(cm)	体重(kg)	BMI(kg/m ²)
昨年度報告(34名)			
男性(11名)	168.4±4.7	60.5±6.2	21.3±1.5
女性(23名)	159.2±4.4	56.1±10.3	22.1±3.8
今年度報告(52名)			
男性(19名)	171.7±6.4	70.9±10.6	23.9±2.6
女性(33名)	158.6±6.1	52.9±8.8	21.0±3.0
総計(86名)			
男性(30名)	170.5±6.0	67.1±10.4	23.0±2.6
女性(56名)	158.8±5.4	54.2±9.5	21.5±3.4

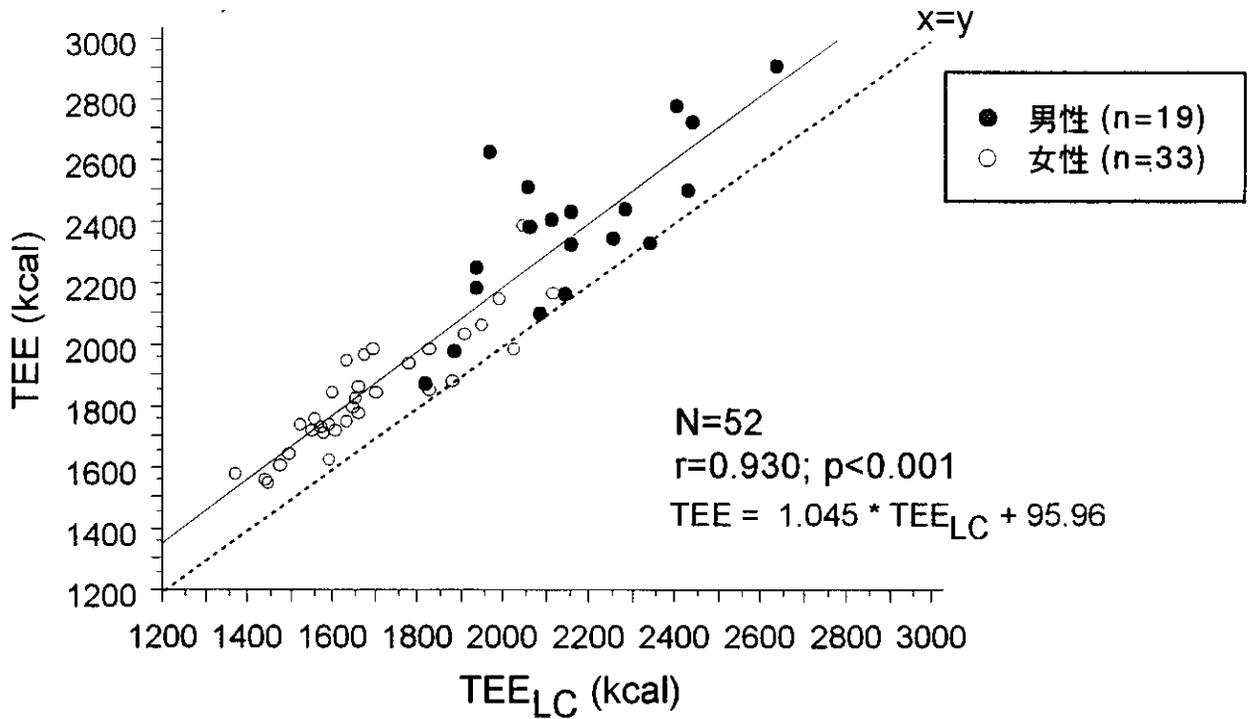


図1. TEEとTEE_{LC}の関係

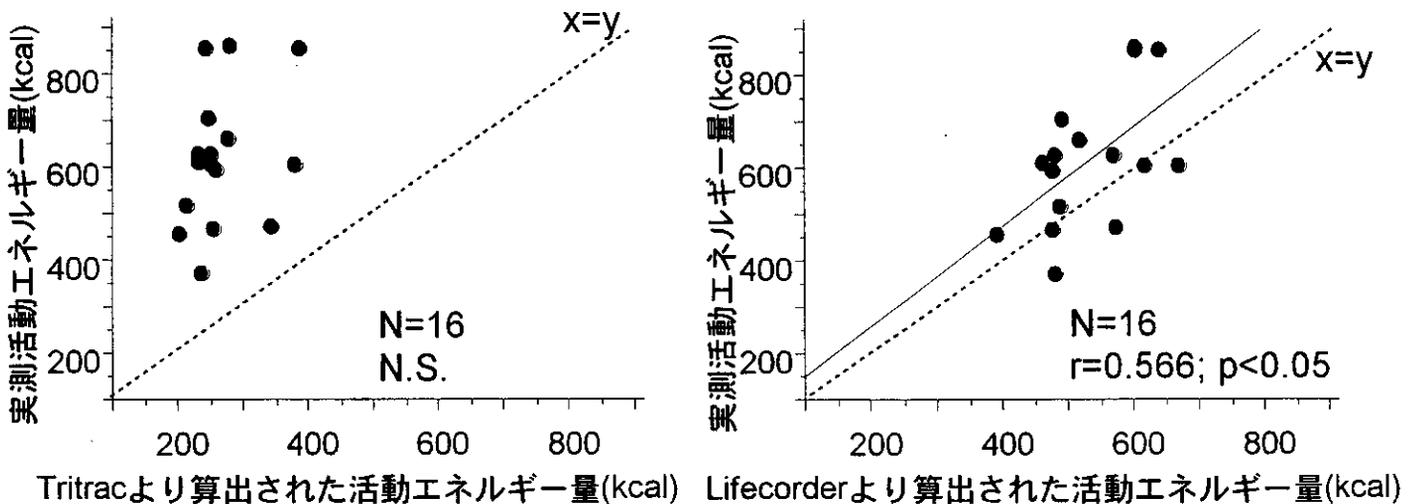


図2. 加速度計法による活動エネルギー消費量推定の精度

左図はTritracによる、右図はLifecorderにより推定された活動エネルギー消費量を独立変数にとり、従属変数にはそれぞれメタボリックチャンバーにより測定された活動エネルギー消費量（総エネルギー消費量-睡眠時エネルギー消費量）をとった

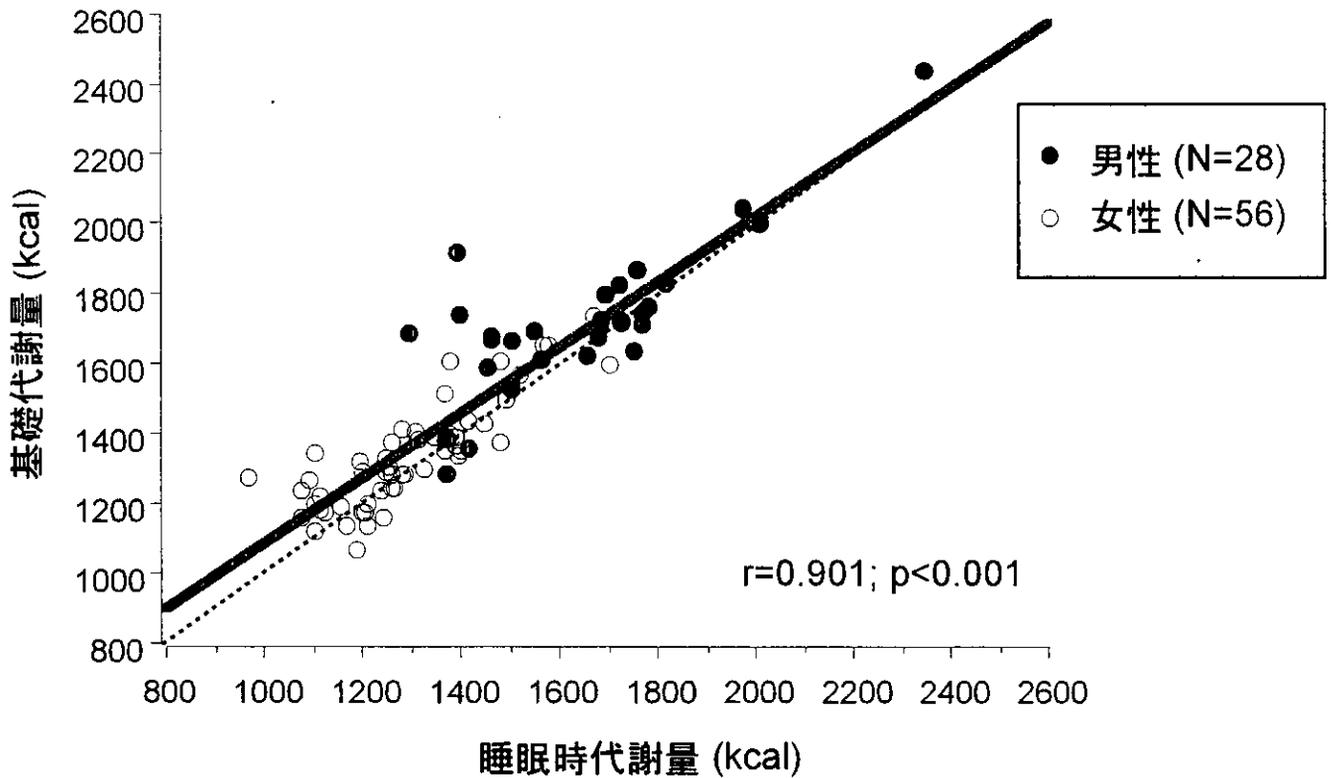


図3. 睡眠時代謝量と基礎代謝量の比較

表2. BMRおよびSMRと身体的指標の相関関係

	BMRとの相関			SMRとの相関		
	男性	女性	計	男性	女性	計
年齢 (歳)	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
身長 (cm)	.685	.488	.793	.630	.492	.748
体重 (kg)	.826	.772	.859	.806	.752	.842
BMI (kg/cm ²)	.668	.649	.613	.695	.624	.617
体脂肪率 (%)	.587	.458	N.S.	.519	.402	N.S.
除脂肪体重 (kg)	.811	.742	.901	.779	.759	.862
体脂肪量 (kg)	.712	.640	.290	.693	.597	.320
体表面積 (m ²)	.830	.784	.890	.795	.768	.863
ウエスト・ヒップ比	N.S.	N.S.	.398	N.S.	N.S.	.425

有意水準を5%未満とし、相関係数の小数点第一以下を表す。N.S.は有意な相関関係が認められなかったものを示す。

表3. 人種差の検討に用いた被検者の身体特性および代謝量

年齢	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪率 (%)	除脂肪体重 (kg)	BSA.jp (cm ²)	BSA.eur (cm ²)	BMR (kcal/cm ²)	BMR/BSA.jp (kcal/cm ²)	BMR/BSA.eur (kcal/cm ²)	BMR/体重 (kcal/kg)	BMR/除脂肪体重 (kcal/kg)
ヨーロッパ人(14名)											
男性(9名)	30.8±12.6	176.4±7.5	69.5±5.9	13.8±3.8	59.7±12.9	180.0±7.5	185.1±7.7	1794.8±136.6	9.97±0.64	9.70±0.63	25.9±1.9
女性(5名)	34.6±15.7	160.9±6.2	60.4±4.2	26.3±6.9	44.3±2.4	159.2±5.6	163.2±5.8	1408.0±118.1	8.34±0.53	8.62±0.51	23.4±2.0
日本人(17名)											
男性(10名)	31.4±11.0	173.7±7.3	69.1±12.6	16.2±4.1	57.5±8.1	177.5±18.9	182.4±19.2	1773.7±324.3	9.93±0.86	9.66±0.85	25.7±1.2
女性(7名)	40.6±12.9	158.2±5.3	60.0±10.8	30.9±6.4	41.1±5.9	156.7±14.1	160.5±14.1	1422.4±167.3	9.06±0.36	8.85±0.36	24.0±1.9

BSAは体表面積を表し、.jpは日本の式、.eurはヨーロッパでよく使われているDu Boisの式(Arch.Intern.Med. 17:863-, 1916)を表す。身体的特徴および各代謝量において、人種間の統計学的差はみられなかった。

厚生科学研究費補助金（健康科学総合研究事業）
分担報告書

簡易エネルギー消費量測定法による1日の総エネルギー消費量の
測定および精度についての検討

分担研究者 吉武 裕（鹿屋体育大学体育学部 教授）

研究協力者 西牟田 守（独立行政法人国立健康・栄養研究所 栄養所要量研究部 室長）
島田美恵子（東京大学大学院博士課程総合文化研究科）

本年度は、30～69歳（48±10歳）の中老年男子24名を対象に、中老年者を対象に行動記録法、心拍数法および加速度計法のエネルギー消費量推定法としての精度を二重標識水法との比較において検討した。その結果、二重標識水法によるエネルギー消費量は2724±396kcal/日で、行動記録法では2389±430kcal/日、心拍数法では2781±791kcal/日、加速度計法では2158±259kcal/日であった。二重標識水法と行動記録法（ $r=0.758$, $p < 0.001$ ）、心拍数法（ $r=0.667$, $p < 0.001$ ）および加速度計法（ $r=0.833$, $p < 0.001$ ）との間にいずれも有意な正相関関係が認められた。このことから、行動記録法、心拍数法および加速度計法はいずれも日常生活のエネルギー消費量推定法として有用であることが示唆された。

A. 研究目的

最近、肥満、糖尿病、高血圧などの生活習慣病と身体活動量（またはエネルギー消費量）との間に用量反応関係があることが明らかにされている。このことから、生活習慣病の予防や治療において、日常の身体活動量のモニターの必要性が高まってきている。しかし、日常生活のエネルギー消費量を簡便で、しかも正確に測定する方法が検討されているが、これらの条件を満たす簡易エネルギー消費量推定法は確立されていないのが現状である。

そこで著者らは、平成11年度と12年度に青年男性を対象に行動記録法、加速度計法および組み合わせ法（心拍数法と加速度計法）のエネルギー消費量推定法としての精度を二重標識水法との比較で検討した。そ

の結果組み合わせ法と加速度計法は二重標識水法との間に有意な相関関係がみとめられ、日常生活のエネルギー消費量推定法としての組み合わせ法と加速度計法の有用性を明らかにしている。

本年度は中老年者を対象に、行動記録法、心拍数法および加速度計法の簡易エネルギー消費量推定法としての精度について二重標識水法との比較で検討する。

B. 研究方法

1. 対象者

被験者は30～69歳（48±10歳）の健康な男子24名である（表1）。これら被験者には、あらかじめ実験の目的と内容を説明し、署名にて同意を得た。

なお、本研究は、「国立健康・栄養研究

所の人間を対象とする生物医学的研究に関する倫理委員会」の承認を得て実施した。

2. 方法

(1) 測定期間 (図 1)

行動記録法、心拍数法および加速度計法によるエネルギー消費量の測定期間は二重標識水法による測定期間の最初の 3 日間とした。

なお、心拍数法、加速度計法、二重標識水法についての測定法の詳細は、平成 11 年度の報告書に記載されているので、本年度は簡単に述べるにとどめる。

(2) 行動記録法

エネルギー消費量は各動作に相当する *Mets* を当てはめ、その合計から算出した。

(3) 心拍数法

心拍数法によるエネルギー消費量測定に先立ち、トレッドミルを用いた多段階の運動負荷試験を実施し、個人毎の酸素摂取量と心拍数の関係式を作成した。

日常生活活動時の心拍数は心拍計 (アキレックスプラス、ポーラ社製) を用い、連続 3 日間記録した。睡眠時においては、被験者への負担を考慮し、被験者が許容する範囲内で心拍計を装着させた

(4) 加速度計法

加速度計法によるエネルギー消費量測定は著者らが平成 11,12 年度の研究で用いた市販の加速度計 (ライフコーダ; スズケン社製) を用いた。

加速度計の装着は起床時から就寝時までとした。

(5) 二重標識水法

二重標識水法によるエネルギー消費量の測定は Jones らの方法を用いた。二重標識水法によるエネルギー消費量の測定期間は 14 日とし、1 日の総エネルギー消費量は 14 日間の平均値で表した。

C. 研究結果

表 2 は、二重標識水法、行動記録法、心拍数法および加速度計法による 1 日の総エネルギー消費量を示したものである。各推定法によるエネルギー消費量は、心拍数法がもっとも高く、次が行動記録法で、加速度計法はもっとも低く推定された。

二重標識水法によるエネルギー消費量と行動記録法によるエネルギー消費量との関係を示したものである。両者の間に有意な正の相関関係 ($r=0.758$, $p < 0.001$) が認められた (図 2)。

二重標識水法によるエネルギー消費量と心拍数法によるエネルギー消費量との関係を示したものである。両者の間に有意な正の相関関係が認められた ($r=0.667$, $p < 0.001$) (図 2)。

二重標識水法によるエネルギー消費量と加速度計法によるエネルギー消費量との関係を示したものである。両者の間に有意な正の相関関係が認められた ($r=0.833$, $p < 0.001$) (図 2)。

図 3 は、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の一致度を Blad & Altman の方法に基づいてプロットしたものである。波線は 2 方法間の差の 2 標準偏差である一致限界を示したものである。加速度計法がもっとも狭く算出され、次が行動記録法で、もっとも広く算出されたのは心拍数法であった。

D. 考察

これまで多くのエネルギー消費量推定法の精度等について検討されており、その中でも心拍数法と加速度法の有用性が報告されている。しかし、これらの推定法にも一長一短があり、低強度から高強度の日常の身体活動時のエネルギー消費量を一つの方法でカバーできないのが現状である。

吉武らは、平成 11、12 年度に青年男性

を対象に行動記録法、心拍数法、加速度計法および組み合わせ法（加速度計法と心拍数法の組み合わせ）によるエネルギー消費量推定法の精度検定を二重標識水法との比較で実施した。その結果、これら推定法の中で加速度計法と組み合わせ法はいずれも二重標識水法との間に有意な正の相関関係がみられることを報告している。

本年度の中高齢者を対象とした研究においては、行動記録法、心拍数法および加速時計法のいずれも二重標識水法との間に有意な正の相関関係が認められた。

加速度計法、心拍数法および行動記録法のエネルギー消費量推定法としての精度については平成 11 年度の報告書で述べているので、今回は簡単にのべる。

1. 加速度計法

最近、加速度センサーの小型化などにより、小型の加速度計の制作が可能となった。また、加速度計は日常生活のエネルギー消費量測定器としての有用性を報告する研究が多くなってきている。

著者らは、平成 11,12 年度に青年男性を対象に加速度計法によるエネルギー消費量は二重標識水法によるエネルギー消費量との間に有意な正の相関関係を認めている。今年度も、中高齢者を対象とした研究においても同様な結果を得ることができた。このような結果は、加速度計の日常生活のエネルギー消費量測定法としての有用性を示唆するものである。

今後、加速度計の小型化とエネルギー消費量測定器としての精度の向上により、フィールド調査におけるエネルギー消費量測定器として有用なツールとなると考えられる。

2. 心拍数法

心拍数法はエネルギー消費量推定法としてもっとも多く用いられている方法の一つ

である。心拍数法による日常生活のエネルギー消費量の推定精度については二重標識水法との比較で検討されることが多い。これまでの報告では、二重標識水法によるエネルギー消費量との間に必ずしも有意な正の相関関係が認められていない。しかし、二重標識水法によるエネルギー消費量の平均値と心拍数法によるエネルギー消費量の平均値を比較した場合、顕著な差がみられないことから、心拍数法は集団間のエネルギー消費量を比較する際には有用であるといわれている。

本研究では二重標識水法との間に有意な正の相関関係が認められた。

これまで、二重標識水法との比較で心拍数の精度の検討を行う際に、二重標識水法によるエネルギー消費量の測定期間をとおして心拍数法によるエネルギー消費量の測定が実施されることは少ない。これは二重標識水法の実施期間中の身体活動状況ができるだけ同じようにするように指示されて行われている。しかし、平成 11 年度の報告書に示されてあるように、14 日間の心拍数法による日々のエネルギー消費量は対象者の日常生活活動様式によっても異なるが、エネルギー消費量の日々の変化は大きく、1000kcal/日以上の変動がみられている。このような変動の要因として心拍数法それ自体の誤差も考えられるが、それ以外にも日常生活の身体活動量の変動要因も加算されるものと考えられる。

このようなことから、心拍数法によるエネルギー消費量推定の精度については、今後更なる研究が必要があると思われる。

3. 行動記録法

行動記録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多く用いられている。これまでに、行動記録法による日常生活のエネルギー消費量推定の精度

- 6) 臼谷三郎: エネルギー消費量推定法ー最近の動向ー. 日衛誌, 38:87-92, 1991.
- 7) 吉武 裕: 高齢者の身体活動量評価システム. 平成6年度厚生科学研究費補助金長寿科学総合研究報告書, Vol.7: 78-82, 1995.
- 8) 吉武 裕: 高齢者の身体活動量評価システム. 平成8年度厚生科学研究費補助金長寿科学総合研究報告書, Vol.6: 4-8, 1997.
- 9) 吉武 裕: 歩数計による身体活動量の評価. 日本臨床(増刊号), 58:179-183, 2000.
- 10) 吉武 裕、島田美恵子、西牟田守: 簡易エネルギー消費量測定法による1日の総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. pp.14-27、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研究報告書「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)」, 2000.
- 11) 吉武 裕. エネルギー消費量測定の応用的展開. 臨床スポーツ医学, 18(4): 419-425, 2001.
- 12) 吉武 裕、島田美恵子、西牟田守: 簡易エネルギー消費量測定法による1日の総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. pp.9-14、平成12年度厚生科学研究費補助金健康科学総合研究事業研究報告書「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)」, 2001.
- 13) 吉武 裕: 身体活動量評価のゴールドスタンダードー二重標識水法から歩数計までー. 運動疫学研究, 3:18-28, 2002.
- 1) 吉武 裕: 身体活動量評価のゴールドスタンダードー二重標識水法から歩数計までー. 運動疫学研究, 3:18-28, 2002.

2.学会発表

- 1) 吉武 裕: 機械的測定法(歩数計、加速度計)の現状と今後ーワークショップ日常生活における身体的活動量の評価ー. 体力科学, 51:74, 2002.

F. 研究発表

1.論文発表

表 1. 被検者の身体特性

		Mean ± s.d.
年齢	(歳)	48 ± 10
体重	(kg)	65.5 ± 10.9
身長	(cm)	167.8 ± 7.2
BMI*	(kg·m ⁻²)	23.1 ± 2.7
体脂肪率	(%)	18.7 ± 4.8

* BMI: body mass index

表 2. 総エネルギー消費量

		Mean ± s.d.
AR	(kcal·day ⁻¹)	2,389 ± 450
HR	(kcal·day ⁻¹)	2,781 ± 791
LC	(kcal·day ⁻¹)	2,158 ± 259
DLW	(kcal·day ⁻¹)	2,724 ± 396

AR: activity record, HR: Heart rate monitoring, LC: Lifecorder, DLW: doubly labeled water method.

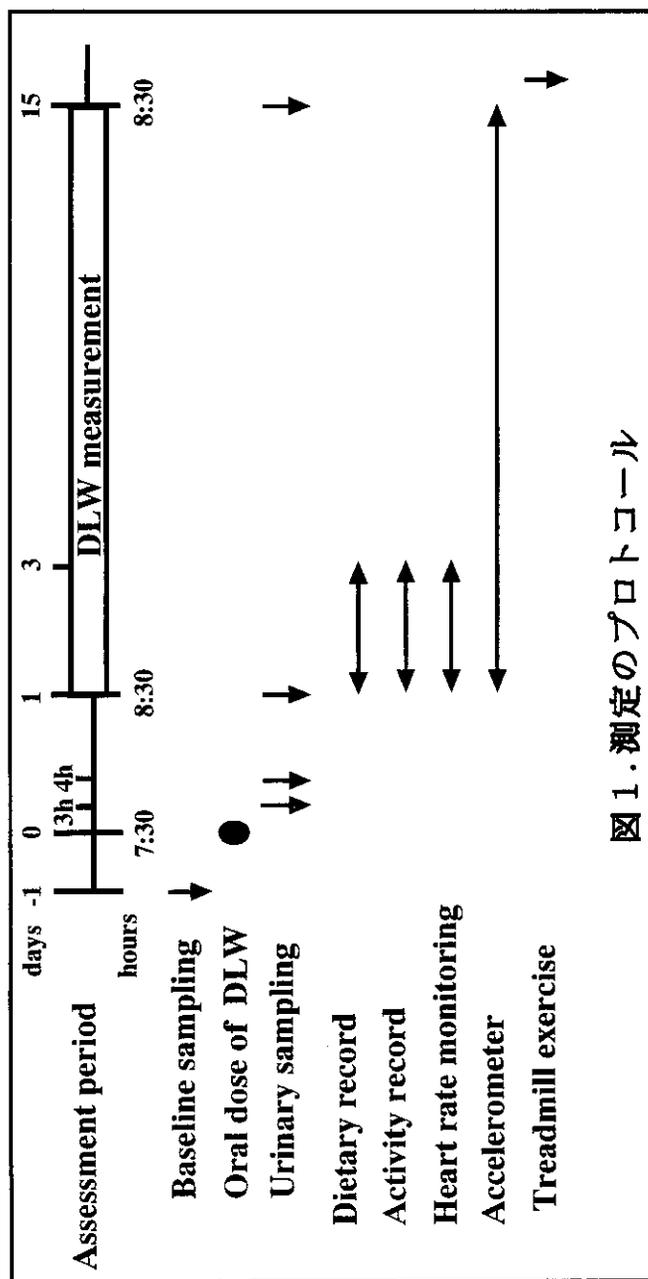


図 1. 測定のプロトコール