

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

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 教授）

わが国ではじめて、二重標識水法（DLW法）とヒューマン・メタボリックチャンバー（MC法）による日本人の1日の総エネルギー消費量を測定した。また、DLW法とMC法との比較による心拍数法、加速度計法（加速度センサー法）および生活時間調査法による1日の総エネルギー消費量推定の精度について検討した。その結果、以下のようなことが明らかになった。

1) DLW法を用いて、無拘束下に日本人青年男子12名（25±2歳）の日常生活時の1日の総エネルギー消費量（TEE）を測定した。第六次改訂日本人の栄養所要量と比較すると、男子当該年齢の食事基準の「高い」に相当するものであった。また、TEEの差は個人のライフスタイルと関係することがわかった。

2) DLW法に比べて、心拍数法は同程度に、加速度計法と生活時間調査法は低く推定された。また、3つの推定法の中で加速度計法のみDLW法との間に有意な正の相関関係が認められた。

3) 歩行運動時の簡易エネルギー消費量推定法として、Margaria法と加速度センサー法の有用性を確認した。また、日常生活における微小運動時の簡易エネルギー消費量推定法として、加速度センサー法の有用性を確認した。

[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

齋藤 慎一（筑波大学体育科学系 助教授）

吉武 裕（国立健康・栄養研究所健康増進部 室長）

A. 研究目的

生活習慣病の中でも、糖尿病や肥満の予防や治療においては、長期間の日常生活でのエネルギー消費量とエネルギー摂取量の評価が必須となる。欧米諸国では、エネルギー消費量の測定に国際的なゴールドスタンダードである二重標識水（DLW）法やメタボリックチャンバー（MC）法が用いられ、エネルギー

代謝にかかわるこれまでの仮説の再検討がなされ、特に肥満の予防や治療のための貴重なデータが蓄積されている。DLW法は、実測値と数パーセントの誤差で、長期間（約2週間）無拘束で日常生活のエネルギー消費量を測定できる。一方、MC法は個室との制限はあるものの、さらに精度高く測定できる。このことは、精密な両測定法を用いることによって、長期間のエネルギー消費量と摂取量の両面から正確な検討が可能であるといえよう。

わが国でも、肥満や糖尿病の予防や治療、ならびにこれら疾患を含めた生活習慣病の生活指導のための適正な栄養所要量やエネルギー所要量の基準値作成および一般人の1日の総エネルギー消費量の正確な値の蓄積が急がれている。しかし、エネルギー消費量の測定

には、精度が著しく劣る推定法が用いられており、栄養所要量やエネルギー所要量の算定のみならず、肥満者や糖尿病患者の生活指導の現場において支障を来しているのが現状である。

そこで本研究では、DLW法とMC法により一般人の1日の総エネルギー消費量を測定し、その水準を明らかにするとともに、これまでわが国で用いられているエネルギー消費量推定法を両測定法との比較において精度検定を行い、より精度の高い普及用の推定法の開発も行う。

B. 研究方法

1. 二重標識水法による一般人の1日の総エネルギー消費量の測定 (斉藤)

二重標識水法を用いて青年男子12名の1日の総エネルギー消費量を測定した。

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その精度についての検討 (吉武、齋藤)

生活時間調査法 (RMR法)、心拍数法および歩数計法により1日の総エネルギー消費量の推定値を行い、これら推定値と二重標識水法による1日の総エネルギー消費量の測定値との比較を行い、これら推定法の精度について検討した。

3. 1日のエネルギー消費量の簡易測定方法の開発とその検定 (田中、吉武)

1) 屋内フローリングコースにおいて、歩行運動時のエネルギー消費量推定法について検討した。

2) メタボリックチャンバーを用いて加速度計による微小運動時のエネルギー消費量推定法について検討した。

C. 研究結果

1. 二重標識水法による一般人の1日の総エネルギー消費量の測定 (斉藤)

青年男子の1日の総エネルギー消費量は 2971 ± 478 kcalであった。また、身体活動レベル (Physical Activity Level: PAL) の平均値は 1.94 ± 0.32 であった。

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その精度についての検討 (吉武、齋藤)

二重標識水法による1日の総エネルギー消費量は 2971 ± 478 kcal/日であった。一方、心拍数法、加速度計法および生活時間調査法による1日の総エネルギー消費量推定値はそれぞれ 2996 ± 612 kcal/日、 2669 ± 488 kcal/日、 2705 ± 149 kcal/日であった。

3つのエネルギー消費量推定法の中で加速度計法のみDLW法と有意な正の相関関係が認められた。

3. 1日のエネルギー消費量の簡易測定方法の開発とその検定 (田中、吉武)

2.4~4.3km/hでの歩行時のEEは、0.5~0.55 kcal/kg・kmであり、Margaria法と同じ値が得られた。歩行時の加速度センサーから推定したEEと実測EEとの間および加速度センサーで算出した微小運動の運動強度レベルとメタボリックチャンバーで測定したEEとの間に高い相関関係が認められた。

D. 考察

ヒューマン・メタボリックチャンバー法および二重標識水法によるヒトのエネルギー消費量測定は国際標準とされている。しかし、これまでわが国において実施されておらず、このことから、わが国で用いられているエネルギー消費量推定法の検討も行われていない。

そこで本研究では、DLW法とMC法により一般人の1日の総エネルギー消費量を測定し、その水準を明らかにするとともに、これまでわが国で用いられているエネルギー消費量推定法をDLW法とMC法との比較において精度検定を行い、より精度の高い普及用の推定法の

開発

についても検討した。

1. 二重標識水法による日本人男子の1日の総エネルギー消費量の測定 (斉藤)

1) 本研究における青年男子の1日の総エネルギー消費量は 2971 ± 478 kcalであった。この値を第六次改訂日本人の栄養所要量と比較すると、男子当該年齢の食事基準の高いに相当するものであった。また、身体活動レベル (Physical Activity Level: PAL) の平均値は 1.94 ± 0.32 であり、これを第六次改訂の生活活動指数からみると1名は低く、1名はやや低く、適度は4名で、残り6名は身体活動が活発なライフスタイルを示していた。

2) 測定期間を7日間と14日間の場合に1日の総エネルギー消費量に差があるかどうかを検討したが、測定期間による1日の総エネルギー消費量の差は個人のライフスタイルと関係することが分かった。

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その精度についての検討 (吉武、齋藤)

集団のエネルギー消費量の推定には、心拍数法が、個人間の比較には加速度計法が有用であることが明らかにされた。

今後は、心拍数、加速度などの複数の指標を組み合わせることにより、より精度の高い推定法の開発が可能であると考えられた。

3. 1日のエネルギー消費量の簡易測定方法の開発とその検定 (田中、吉武)

歩行速度4.3 km/hまでのEE推定にMargaria法の有用性が認められたが、それを超えると速度に依存してEEも増加しており、使用限界を考慮する必要性が示唆された。加速度センサー法も同様に、歩行速度5.4 km/h以上では測定誤差が大きくなる傾向にあり、使用限界が示唆された。また、加速度センサー法は、メタボリックチャンパー内での微小運動および歩行の実測EEを反映しており、低強度の生活活動のEEの推定に適していることが示唆された。

E. 結論

二重標識水法 (DLW法) とヒューマン・メタボリックチャンパー (MC法) による日本人の1日の総エネルギー消費量を測定した。また、DLW法とMC法との比較による心拍数法、加速度計法 (加速度センサー法) および生活時間調査法による1日の総エネルギー消費量推定の精度について検討した。その結果、下記のようなことが明らかになった。

1) DLW法を用いて、無拘束下に日本人青年男子12名 (25 ± 2 歳) の日常生活時の1日の総エネルギー消費量 (TEE) を測定した。第六次改訂日本人の栄養所要量と比較すると、男子当該年齢の食事基準の「高い」に相当するものであった。また、TEEの差は個人のライフスタイルと関係することがわかった。

2) DLW法に比べて、心拍数法は同程度に、加速度計法と生活時間調査法は低く推定された。また、3つの推定法の中で加速度計法のみDLW法との間に有意な正の相関関係が認められた。

3) 歩行運動時の簡易エネルギー消費量推定法として、Margaria法と加速度センサー法の有用性を確認した。また、日常生活における微小運動時の簡易エネルギー消費量推定法として、加速度センサー法の有用性を確認した。

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

二重標識水法による日本人青年男子の日常生活時エネルギー消費量

分担研究者：齊藤慎一（筑波大学体育科学系）

研究協力者：海老根直之（筑波大学体育科学研究科）

P.H.Jones（McGill University, CANADA）

わが国で初めて二重標識水（DLW）法を用いて、無拘束化に日本人青年男子12名（ 25 ± 2 歳）の日常生活時エネルギー消費量（TEE）を測定した。対象者は、日頃定期的にトレーニングなどをしていない大学院生である。本研究の結果から、DLW法で日常生活時のTEEを測定した場合の平均値は 2971 ± 478 kcalであった。この値を第六次改定日本人の栄養所要量と比較すると、男子当該年齢の食事基準の高位に相当するものであった。

一方、身体活動レベル（Physical Activity Level: PAL）の平均値は 1.94 ± 0.32 であり、これを第六次改定の生活活動指数からみると1名は低く、1名はやや低く、適度は4名で、残り6名は身体活動が活発なライフスタイルを示していた。なお、測定期間を7日間と14日間の場合にTEEに差があるかどうかについて5名の被験者で検討したが、測定期間によるTEEの差は個人のライフスタイルと関係することがわかった。

A. 研究目的

健康で活力のある生活は、運動と栄養のバランスを適正に保つことによって得られることは十分に理解されている。しかし現在、子供から老人にいたるまで運動不足傾向にあること、また飽食によるエネルギー過剰傾向にあることから、摂取エネルギーと消費エネルギーのアンバランスにより過剰のエネルギーが体内に保有される肥満やそれに関連する糖尿病、高血圧症、心臓病などの生活習慣病が問題になって来ている。一方、若い女性にみられるやせ嗜好の風潮は、この年代の女性に

無理な減食を引き起こし、エネルギー不足からついには無月経や骨粗しょう症を引き起こすことが指摘されている。このように肥満ややせは、遺伝的素因による違いを無視すれば、エネルギーバランスの片寄りが生じるような不健康な生活の結果と考えられる。しかし、肥満について見ると、過食が問題なのか身体活動量の不足が問題なのかは、にわかに判定できないように思われる。すなわち、それぞれを単独に測定しその結果を突合せて評価するまで、どちらが主な原因かはわからない。減量についてみると、単に減食/絶食す

るのではなく、目標の体重になるだけでなく、筋肉や骨塩量が低下しないような、すなわち運動能力を低下させない計画的な減量プログラムが必要である。これにはまず減量のための運動トレーニングを含む1日の総エネルギー消費量を知る必要がある。このような点から、わが国に限らず世界各国で身体活動量や1日のエネルギー消費量の適正な測定法に関心が集まっている。

エネルギー所要量 (Energy Requirement) は栄養所要量の基礎であるとされている¹⁾。その理由は、たんぱく質の体内での利用がエネルギー摂取量 (Energy Intake: EI) と密接な関係を持つこと、炭水化物と脂肪の摂取比率もエネルギー比によって規定されていること、また水溶性ビタミンB1、B2、ナイアシンの所要量がEIに応じて決定されることなどによる。実際に、個人に応じた栄養所要量を求める場合、まずEIを測定しエネルギー所要量を決定する必要があるが、エネルギー所要量はエネルギー消費量 (Energy Expenditure: EE) から求められている。EIではなくEEを用いる理由は、食事をぬいた場合でもエネルギー消費があること、体内エネルギー (グリコーゲン、体脂肪、筋たんぱく質など) の増減におよぼすエネルギー摂取の効果はすぐには判定しにくいことにある。

わが国のエネルギー所要量は、第五次改定日本人の栄養所要量まで、生命維持に必要な基礎代謝 (Basal Metabolic Rate: BMR)、生活活動に必要な活動代謝 (Physical Activity: PA) ならびに食物摂取に伴うエネルギー代謝の増加量 (Diet Induced Thermogenesis: DIT) の和として求められてきた¹⁾ (なお、成長期にある幼児や児童、生徒のエネルギー所要量は、EEに加えて身長、体重など発育によ

るエネルギー蓄積を考慮し、妊娠期や授乳期にある女性のエネルギー所要量は胎児の発育と母乳産生を考慮する)。ここでは、ある個人の1日の総エネルギー消費量 (Total Energy Expenditure: TEE) の推定には、EIを測定しそれを代用する方法と、または生活時間調査に基づく活動別EEの合計から求める方法 (要因加算法: factorial method) が用いられてきた。EIによる推計はEIとEEのエネルギーバランスがとれている (体組成に変化がない) ことが前提である。したがって、グリコーゲン、脂肪、筋たんぱくなどの体内エネルギーバランスの情報が得られない状況下のEIの値はTEEの代用として適当ではない (逆に、健康で正常な生活を営んでいないときのTEEを測定しても、EIの代用にはならない)。一方、要因加算法による推計では、身長と体重および時間調査からBMR、DIT、PAの推定値を求め合計する。平成12年度から第六次改定日本人の栄養所要量²⁾が用いられることになり、エネルギー所要量は従来の要因加算法から国際的に用いられている基礎代謝に対する生活活動強度の倍率として推定されることになった³⁾。そして、ここでは基礎代謝は多数のサンプルの安静時エネルギー消費量 (Resting Energy Expenditure: REE) のデータの平均値とされ、生活活動強度の倍率は別に定められることになった。しかし、これらのエネルギー所要量の推定値が正しいのかどうかは結局わからない。なぜなら、その1日のTEEを直接求める測定法が無いので確認できないからである。

TEEを測定あるいは推定する方法のうち、直接熱量を測定するチャンバー (human calorimeter) や酸素摂取量測定から間接熱量を測定するチャンバー (respiratory chamber)

表 1

No. Subject	Age (years old)	Height (cm)	Body Weight (kg)	Body Mass Index (kg·m ⁻²)
1 MT	27	172.0	59.3	20.0
2 KM	26	163.6	63.3	23.7
3 KT	28	166.7	54.9	19.8
4 YN	23	168.6	59.7	21.0
5 YH	24	174.9	69.7	22.8
6 NS	22	169.9	66.2	22.9
7 TY	24	171.0	65.4	22.4
8 WA	23	173.0	64.8	21.7
9 MI	24	173.0	66.1	22.1
10 YN	25	175.0	66.4	21.7
11 MT	24	175.0	69.3	22.6
12 IK	23	172.0	68.5	23.2

は正確で、また睡眠代謝 (Sleeping Energy Expenditure: SEE)、安静代謝 (Resting Energy Expenditure: REE)、DIT、PALなど TEEを構成する要素を個別に求めることができるという利点がある。しかし、チャンバーを用いる場合は実験室内で拘束された条件下に測定が行われるので、日常生活に伴う活動やスポーツ活動が制限されるという欠点がある。一方、栄養調査で用いられる思い出し法によるEI測定は、被験者の記憶に頼る点からいわゆる書き忘れにより実際の値よりも低くなりがちであることが指摘されている。心拍数モニターによる方法は、心拍数-酸素摂取量の関係を用いること、小型で24時間モニターできる性能のよい製品が近年開発されていることから、実験室外で行うEE測定法として優れた方法である。しかし、情緒的な変動が心拍数にも影響すること、運動後の回復期の心拍数と酸素摂取量の関係が運動時のそれとかならずしも一致しないことなどの問題点が指摘されている。ここで紹介する二重標識水 (Doubly Labeled Water: DLW) 法は、EE測定法としては比較的新しい方法であり、実験室内でも実験室外でも幅広く使用でき

る。しかしながら、後でも述べるが使用する安定同位体の酸素-18の価格および分析機器が高額なので、多数の被験者を用いる実験や疫学的調査あるいは教育プログラムへの応用には制限がある。それにもかかわらず、日常生活状態のEEを測定できるゴールドスタンダードであり、したがって得られた値はより実際に近い状況でのEEの基準となると考えられている。なお、最近柏崎によってDLW法のわが国では初めての解説がなされている⁴⁾。

本研究では、二重標識水 (DLW) 法を用いて、無拘束化に日本人青年男子の日常生活時エネルギー消費量 (TEE) を測定した。

B. 研究方法

(1) 被験者

表1には、本研究で用いた被験者の身体特性を示した。これらの被験者には、あらかじめ実験の目的と内容を説明し同意を得た。また、本実験の内容については国立健康栄養研究所の倫理委員会の承認を受けた。

(2) 方法

方法の詳細は付録に示した。酸素-18と重水

素（昭光通商、東京）を先に示した投与方法に従って調整し投与した。また、測定期間は14日間とした。唾液と尿のサンプルの前処理とIRMSによる分析は、カナダ、マギル大学のDr. Jonesの研究室でおこなった⁵⁾。

C. 研究結果

表2に、1日あたりの総エネルギー消費量(TEE)と身体活動レベル(Physical Activity Level: PAL)をまとめた。ここで、PALはTEEをBMR(もしくはREE)で除して得られる示数である。この示数を用いると、年齢、性、体重、体組成にかかわらず、ヒトのエネルギー必要量をBMRの倍数で簡便に表せる。たとえば、FAO/WHO/UNUの専門委員会(1985年)³⁾は、男性の平均的な1日のエネルギー必要量を生活活動が軽い、中程度、重いものそれぞれについて1.55、1.78、2.10×BMRとした。一方、女性ではこの値は各々1.56、1.64、1.82である。第六次改定の日本

人の栄養所要量における食事基準の生活活動指数もこの概念を基にしている(表3)。

D. 考察

本研究の結果から、日本人青年男性(25±2歳、n=12)についてDLW法で日常生活時のTEEを測定した場合の平均値は2971±478kcalであり、一方PALは1.94±0.32であることが分かった(表2)。表3の生活活動強度と比較すると、12名の内1名は低く、1名はやや低く、適度は4名で、残り6名は身体活動が活発なライフスタイルを示していた。

ところで、これまでにDLW法を用いて測定されたTEEの値には、我々のデータ⁵⁾を除いて日本人のものはない。これまで報告された国外のデータをみると、日常生活のTEEの下限は、自力歩行ができない車椅子の被験者から得られたものであり、PALの平均値は1.21であった⁶⁾。この値はFAO/WHO/UNUの

表2

No.	Subject	BW (kg)	TEE (kcal)			eBMR [#] (kcal)	PAL (TEE/eBMR)
			1st week	2nd week	14 days		
1	MT	59.3	3699	2853	3276	1411	2.32
2	KM	63.3			2748	1507	1.82
3	KT	54.9	2332	2459	2395	1307	1.83
4	YN	59.7	3920	2791	3355	1421	2.36
5	YH	69.7	2781	4397	3589	1659	2.16
6	NS	66.2	2900	2692	2796	1576	1.77
7	TY	65.4			3670	1557	2.36
8	WA	64.8			3113	1542	2.02
9	MI	66.1			2378	1573	1.51
10	YN	66.4			2816	1580	1.78
11	MT	69.3			3258	1649	1.98
12	IK	68.5			2256	1630	1.38

[#]第5次改訂栄養所要量による。

表3 第6次改訂日本人の栄養所要量
生活活動強度別エネルギー所要量(男) (kcal/日)

年齢(歳)	I (低い)	II (やや低い)	III (適度)	IV (高い)
生活活動指数	1.3	1.5	1.7	1.9
18~29歳	2,000	2,300	2,650	2,950

専門委員会が必要最小限とするPAL= 1.27より幾分小さいものである。また、PAL= 1.3-2.5の範囲内では一過性ではなく比較的長い期間にわたって通常生活が可能と判断されており、一般の人々のライフスタイルはこの範囲で評価できると考えられている⁷⁾。FAO/WHO/UNUの専門委員会の分類を基にすると、第六次改定日本人の栄養所要量の生活活動指数のIとIIは軽い、IIIとIVは中程度と考えられる。FAO/WHO/UNUの専門委員会の重いに相当するPALの値が2.1以上を示す被験者が、今回の12名中4名もいたことを考えると、第六次改定日本人の栄養所要量の生活活動指数には、もう1段高い分類すなわちVがあってもよいと思われる。しかし、基礎代謝の値が推定値であること、サンプルの人数が少ないことなど、これについては今後さらに検討が必要である。

測定期間を14日間としたが、そのうち前半の1週間と後半の1週間に分けて、5名の被験者で検討した。その結果、それぞれの違いは最小で130kcal、最大で1,600kcalにもなることが明らかになった。その理由は、趣味やサークル活動で週毎に身体活動量が大きく違うことが、個人毎の行動記録からわかった。実際、PALの値が2.1を超えるものの差が大きく、1.8前後では差は少ない。したがって、日常活動量の推定には、個人のライフスタイルが大きく影響するので、活発なライフスタイルをもつ個人にあっては、いつ測定するかは特に重要であると思われる。

E: 結論

二重標識水(DLW)法を用いて、無拘束化に日本人青年男子12名(25±2歳)の日常生活時エネルギー消費量(TEE)を測定した。

その結果、TEEの平均値は2971±478kcalであった。一方、身体活動レベル(Physical Activity Level: PAL)の平均値は1.94±0.32であり、これを第六次改定日本人の栄養所要量の生活活動指数からみると1名は低く、1名はやや低く、適度は4名で、残り6名は身体活動が活発なライフスタイルを示していた。

引用文献:

- 1) 厚生省保健医療局健康増進栄養課監修: 第五次改定日本人の栄養所要量, (1994) 第一出版, 東京
- 2) 健康・栄養情報研究会編: 第六次改定日本人の栄養所要量, (1999) 第一出版, 東京
- 3) World Health Organization: Energy and Protein Requirements (1985) / 井上五郎 訳: エネルギー・蛋白質の必要量 (1989) 医歯薬出版, 東京
- 4) 柏崎浩: マクロレベルでのエネルギー代謝-二重標識水法の原理とその応用, 最新医学, 54, 20~27 (1999)
- 5) 海老根直之: 二重標識水法によるシンクロナイズドスイミング選手のエネルギー消費量の測定, 平成10年度筑波大学大学院修士課程体育研究科修士論文 (1999): Montoye, H. J., Kemper, H. C. G., Saris, W. H. M. and Washburn, R. A. Measuring Physical Activity and Energy Expenditure, Human Kinetics, Champaign IL, (1996)
- 6) Westerterp, K. R., Kayser, B., Brouns, F., Herry, J. P. and Saris, W. H. M.: Energy expenditure climbing Mt. Everest, J. Appl. Physiol., 73, 1815~1819 (1992)
- 7) Westerterp, K. R., Kayser, B., Wouters, L.,

- le Trong, J. and Richalet, J. : Energy balance at high altitude of 6,542 m, *J. Appl. Physiol.*, 77, 862~866 (1994)
- 8) Lifson, N., Gordon, G. B., and McClintock, R. : Measurement of total carbon dioxide production by means of D₂O¹⁸, *J. Appl. Physiol.*, 7, 704~710 (1955)
- 9) Schoeller, D. A. and van Santen, E. : Measurement of energy expenditure in humans by doubly labeled water method, *J. Appl. Physiol.*, 53, 955~959 (1982)
- 10) Prentice, A. M., Coward, W. A., Davies, H. L., Murgatroyd, P. R., Black, A. E., Goldberg, G. R., Ashford, J. and Sawyer, M. : Unexpectedly low levels of energy expenditure in health women, *Lancet*, i, 1419~1422 (1985)
- 11) Montoye, H. J., Kemper, H. C. G., Saris, W. H. M. and Washburn, R. A. Measuring Physical Activity and Energy Expenditure, *Human Kinetics*, Champaign IL, (1996) Speakman, J. R. : The history and theory of the doubly labeled water technique, *Am.J.Clin. Nutr.*, 68 (supple) , 932S~938S (1998)
- 12) Schoeller, D. A., Ravussin, E., Schutz, Y., Acheson, K. J., Baertschi, P. and Jequier, E. : Energy expenditure by doubly labeled water : validation in humans and proposed calculation. *Am. J. Physiol.*, 250, R823-R830 (1986)
- 13) de V. Weir, J. B. : New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism, *J. Physiol.*, 109, 1~9 (1949)
- 14) Black, A. E., Prentice, A. M. and Coward, W. A. : Use of food quotients to predict respiratory quotients for the doubly-labelled water method of measuring energy expenditure, *Hum. Nutr. Clin. Nutr.*, 40C, 381~391 (1986)

F. 研究発表

1. 論文発表

齊藤慎一、海老根直之、島田美恵子、吉武 裕、田中宏暁（1999）：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：生活習慣病対策からトップスポーツ選手の栄養処方まで、*栄養学雑誌* 57巻（6）317-332。

2. 学会発表

- 1) Naoyuki Enine and Shinichi Saitoh : Daily energy expenditure of elite synchronized swimmers measured by the Doubly Labeled Water method. 日本運動生理学会第7回大会抄録集p.43、東京、平成11年10月9日
- 2) 齊藤慎一、海老根直之：二重標識水法によるスポーツ選手のエネルギー消費量測定、第20回日本肥満学会抄録集、p.96、東京、平成11年10月15日
- 3) 外井浩二、海老根直之、西沢美幸、佐藤等、齊藤慎一：Multi component modelによるスポーツ選手の体組成評価、第20回日本肥満学会抄録集、p.190、東京、平成11年10月15日

G. 知的所有権の取得状況

なし

付録：二重標識水法によるエネルギー消費量測定

I 二重標識水 (DLW) 法の原理と実施方法

(1) DLW 法の歴史

DLW 法は 1949 年に Lifson ら⁸⁾ が初めてマウスに応用した。その後 30 年間は酸素-18 の価格が高額であったことから、小動物での実験が行われただけであった。同位体比質量分析計 (Isotope Ratio Mass Spectrometer: IRMS) の進歩により酸素-18 の使用量を少なくしても測定できるようになったことから、1982 年に Schoeller と van Santen⁹⁾ は初めて 4 人の被験者にこの方法の確認をおこなった。1985 年には肥満とやせの被験者グループの違いが DLW 法で測定され¹⁰⁾、それ以来ヒトでの研究は 1990 年代後半には論文数が 50 / 年にも達するようになった。

(2) DLW 法で用いる酸素 18 (¹⁸O) と重水素 (²H) は安定同位体

アイソトープ (isotope: 同位元素、同位体) とは、原子番号が同じで質量数の異なる元素、すなわち陽子と中性子の数によって決められた原子の種類を核種というが、陽子の数が同じで中性子の数が異なる核種のことをいう。天然の元素の多くは同位体の混合体である。同位体のうちには、放射線を出して原子核壊変するものがあり放射性同位体 (radio isotope) といわれ、安定なものは安定同位体 (stable isotope) と呼ばれている。DLW 法は、酸素の安定同位体である ¹⁸O と水素の安定同位体である ²H (重水素: Deuterium) で二重に標識された水を用いることからそのように呼ばれている。酸素の安定同位体は、¹⁶O、¹⁷O、¹⁸O の 3 種、水素の安定同位体は、¹H、²H の 2 種が存在する。なお、水素の同位体であるトリチウム、³H (三重水素) は放射性同位体で

ある。わが国では、同位体 (標識水) というと放射性であると誤解されやすいが、DLW 法では安定同位体の ¹⁸O と ²H を使用するので放射線障害の危険性は全くない。

自然界での存在比 (natural abundance: atom%) は、酸素 ¹⁶O、¹⁷O、¹⁸O の場合それぞれ 99.759 atom%、0.037 atom%、0.204 atom% であり、水素 ¹H、²H の場合それぞれ 99.9844 atom%、0.0156 atom% である。この存在比は地球のさまざまな地域で異なる。一般に、赤道付近に比べ、極地近くの酸素 ¹⁸O と水素 ²H の存在比は小さく (fractionation: 下記参照)、同じ理由で高い山でも小さくなる。したがって、これらの同位体測定には国際標準物質 (たとえば、Vienna-Standard Mean Ocean Water: V-SMOW など) による校正が必要で、標準に対するエンリッチメント (enrichment) として次式のデルタ・パーミル (δ ‰: per mil) で表示される。

$$\delta \text{‰} (\text{2H の場合}) = [(2\text{H}/1\text{H}) \text{ サンプル} / (2\text{H}/1\text{H}) \text{ 標準物質} - 1] \cdot 1000$$

(3) DLW 法の原理

あらかじめ濃度のわかっている水素と酸素の安定同位体を含む既知量の水 (二重標識水) を飲む。この濃度は、もちろん自然界にある濃度より高く、飲む前の体内の濃度よりも飲んだ後では十分に高くなる量である。この標識水は 4-8 時間後までに体全体にいきわたり、体水分と平衡状態になる。それ以降、標識された酸素 (¹⁸O₂) は水 (H₂¹⁸O) として尿、汗、呼気中の水蒸気となり体外に排泄される他に、二酸化炭素 (C¹⁸O₂) としても排泄される。一方、標識された水素 (²H₂) は水 (²H₂O) として体外に排泄される。その結果、

2つの同位体の排泄率 (elimination or turnover rate) の違いから、二酸化炭素の排出量を求めることができる。そして、別の方法で推定した呼吸商 (Respiratory Quotient: RQ) を用いて間接熱量測定の原理から酸素摂取量を求める。

実際に2つの同位体の排泄率は、時間経過に対する体水分中のそれぞれのエンリッチメントの低下から (指数関数的に低下する) 求めることができる。同位体を飲んだ直後 (t1) に採取したサンプル中のエンリッチメント (E1) と、ある程度時間経過した後の任意の時間 (t2) に採取した第2番目のサンプル中のエンリッチメント (E2) からそれぞれバックグラウンドの同位体レベル (Eb) を差し引いて、以下の式によりそれぞれの排泄率 (k) を求める。

$$k = [\ln (E2 - E_b) - \ln (E1 - E_b)] / t \quad (1)$$

ただし、 $t = t2 - t1$ である。

このようにして求めた、酸素18の排泄率 (ko) と重水素の排泄率 (kd) および体水分量 (N) を用いて、DLW法の原理から二酸化炭素排出量を以下の式で算出する。

$$rCO_2 = (N/2) \cdot (k_o - k_d) \quad (2)$$

ここで2は定数であり、1モルのCO₂は2原子の酸素を体外に排泄するが、1モルのH₂Oは1原子であることによる。

ところで、同位体はH₂O以外の体組織へ移動することも考慮する必要があり、体水分量と希釈容積 (dilution space) の差から求めると、この分は¹⁸Oでは1%、²Hでは4%であるとされている¹¹⁾。加えて、²Hと¹⁸Oの存在比は水

蒸気よりも液体中で相対的に大きく、また¹⁸Oは水よりもCO₂に相対的に大きいことによつて起こる同位体分別 (効果) (isotope fractionation) が知られている。これらのことを考慮して、Schoellerら⁹⁾は以下の式を提唱した。

$$rCO_2 = N/2.076 \cdot (1.01k_o - 1.04k_d) - 0.0246rGf \quad (3)$$

ただし、N (総体水分量、total body water: TBW) = (No/1.01 + Nd/1.04) / 2、Noは¹⁸O、Ndは²Hの希釈容積 (モル); koとkdは¹⁸Oと²Hの排泄率 (／日) である。rGfはフラクシヨネーションによる水の損失率 = 1.05 · N (1.01ko - 1.04kd) である。これを整理すると、以下の様になる。

$$rCO_2 \text{ (mol/day)} = 0.4554 \cdot TBW (1.01k_o - 1.04k_d) \quad (3')$$

なお、kの値を求めるには上述のように実験の最初と最後の2ポイントでサンプルを採取する方法 (two point method) と毎日サンプリングを行う方法 (multipoint method) の2つがある。現在、主には前者の方法が用いられている¹¹⁾。

II 測定の概略

(1) 投与量と実験期間

地球上の地域により¹⁸Oと²Hの存在比が変わるとしても、投与前の1-2週間普通の生活をしていれば体組織中の¹⁸Oと²Hの存在比はあまり変動しない。Schoeller¹²⁾によれば、週毎の変動は0.19%にしかすぎない。しかし、投与前になんらかの原因で一時的に安定同位

体存在比が高くなることがあれば、その後の測定にバックグラウンドの影響がある¹²⁾。投与量と実験期間は、安定同位体が実験終了時点で投与直後に対して十分低下していること、またバックグラウンドに対して測定できる程度に高いことの両方を満足するものでなければならない。大人の場合は約2週間、子供の場合は6-7日が一般的である。Schoeller¹²⁾によれば、大人と子供の場合、0.12 g/kg TBW の²H₂O と 0.3 g/kg TBW の H₂¹⁸O が最適であり、新生児ではもう少し多くする (0.16 g/kg TBW の²H₂O、0.4 g/kg TBW の H₂¹⁸O) としている (下記参照)。このように、実験期間は安定同位体の半減期の1-3倍とするので、代謝が活発化している状態 (新生児、火傷患者、スポーツ選手など) では測定期間を短くし、老人の場合は長く (-24日) する。

(2) 投与方法とサンプリング

サンプルに用いる体液は、唾液、尿、血液のいずれでもよい。普通、投与前日に被験者を空腹状態で来室させ、唾液と尿をベースラインサンプルとして採り、体重も記録する。我々の実験では、総体水分量を体重の60%と推定して、0.12 g/kg TBW の²H₂O と 0.25 g/kg TBW の H₂¹⁸O になるように、市販の重水素 (99.8 atom%) と酸素-18 (10.0 atom%) を用いて調整しておく⁵⁾。ちなみに、体重70kgの男子の場合には推定TBWは42kgとなるので、重水素の投与量は5.05g、酸素-18の投与量105gである。

投与日には、前日調整した二重標識水を経口投与し、投与に使用した容器に水道水100mlを入れて洗い、これで口を洗わせ再び飲ませる。その後、同位体が体内の水に平衡になる4時間後まで飲食を禁じ、投与3時間

後と4時間後の2時点で唾液を採取する (約2ml)。投与24時間後の翌日とまる7日後か14日後の同じ時間にスポット尿を採取する。したがって、投与翌日の尿採取後から実験最終日の尿採取までの間は、被験者はまったく拘束されずに自由に行動可能である。

(3) 分析と総エネルギー消費量の算出

サンプルの分析には、IRMSを使用するが、サンプルの前処理 (CO₂/H₂/H₂O平衡装置) に1-3日間程度必要である。サンプル中の²Hと¹⁸Oのエンリッチメントは、スタンダード (V-SMOWなど) を参照にする。

得られたデータから希釈容積を求め、総体水分量を算出する。²Hの希釈容積は以下の式による。

$$DSH \text{ (mol)} = [W \cdot A \cdot (Ea - Et)] / [18.02 \cdot a \cdot (Es - Ep)] \quad (4)$$

ただし、DSHは²Hの希釈容積 (mol)、Wは分析の際にDLW標準液を希釈するのに用いた飲料水の量 (g)、AはDLW溶液の被験者への投与量 (g)、EaはDLW標準液の²Hの δ ‰、Etは分析の際にDLW標準液を希釈するのに用いた飲料水の²Hの δ ‰、aは飲料水により希釈されるDLW標準液の質量 (g)、Esは投与したDLW溶液が体水分で平衡となったときの体水分における²Hの δ ‰、EpはDLW溶液投与前の被験者の体水分における²Hの δ ‰である。総体水分量は次の式によって求める。

$$TBW \text{ (mol)} = DSH \text{ (mol)} / 1.04 \quad (5)$$

$$TBW \text{ (kg)} = DSH \text{ (kg)} / 1.04 \quad (5')$$

ただし、 $DSH (kg) = DSH (mol) \cdot 18.02/1000$ である。

このようにして求めた TBW と 2H と ^{18}O の排出率から式 (3) により、二酸化炭素産生率を求め、下に示す Weir¹³⁾ の式により間接熱量測定法から総エネルギー消費量を算出する。

$$TEE (kcal/day) = 3.941 (rCO_2/RQ) + 1.106 (rCO_2) \quad (6)$$

ここで、 rCO_2 は二酸化炭素産生率であり、また RQ は実際には測定期間中の食事調査から求めた FQ (food quotient) で置き換える。FQ が測定できない場合および食事記録が不正確な場合には、仮に 0.85 としても誤差はわずかである 14)。

(4) 総エネルギー消費量測定の妥当性

上述のように DLW 法によるエネルギー消費量は、およそ 1-2 週間の CO_2 産生量を測定するので、得られた 1 日当りの総エネルギー消費量はこの実験期間の平均的な値である。

DLW 法によるエネルギー消費量の妥当性については、これまでレスピラトリーチャンバーとの比較によって行われてきた¹¹⁾。それによれば、相体的な精度 (SD) は $\pm 7\%$ 、相体的な確度 (DLW-respiratory chamber) は $\pm 4\%$ である。ただし、DLW の投与量が少ない場合、フィールド研究の時ではありがちであるが飲酒量が著しく多い被験者の場合、また総消費エネルギーが 10,000kcal に近いスポーツ活動をおこなう選手の場合などでは、DLW の測定に影響があるとされている。

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
測定およびその精度についての検討

分担研究者 吉武 裕（国立健康・栄養研究所 室長）
研究協力者 島田美恵子（国立健康・栄養研究所）

本研究では、二重標識水法との比較において心拍数法、加速度計法および生活時間調査法によるエネルギー消費量の推定精度について検討した。

二重標識水法、心拍数法、加速度計法、生活時間調査法による1日の総エネルギー消費量は、それぞれ $2,971 \pm 478\text{kcal}$ 、 $2,996 \pm 612\text{kcal}$ 、 $2,669 \pm 487\text{kcal}$ 、 $2,706 \pm 148\text{kcal}$ であった。二重標識水法と比べて、心拍数法は高く（ $+3 \pm 24\%$ ）、一方、加速度計法（ $-10 \pm 11\%$ ）と生活時間調査法（ $-7 \pm 15\%$ ）は低く推定された。また、3つの推定法の中で加速度計法のみ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。

今後の課題として、エネルギー消費量推定法の精度を高めるためには、複数の指標を組み合わせ、これら指標によるエネルギー消費量推定のためのアルゴリズムの開発が必要と考えられた。

A. 研究目的

生活習慣病の中でも、肥満や糖尿病の予防や治療においては、日常生活におけるエネルギー消費量と摂取量の長期間にわたる正確な把握が必要である。

わが国においては、エネルギー消費量の測定は生活時間調査法、心拍数法などの推定法が多く用いられているが、これら推定法の精度について十分な検討がなされていない。このことから、栄養所要量策定における栄養所要量やエネルギー所要量の算定だけでなく、肥満や糖尿病の予防や治療のための運動や栄養指導を含めた生活指導に支障を来しているのが現状である。

そこで本研究では、日常生活活動時のエネ

ルギー消費量測定法としてゴールドスタンダード¹⁾とされている二重標識水法との比較において、心拍数法、加速度計法および生活時間調査法によるエネルギー消費量の推定精度について検討した。

B. 研究方法

1. 対象者

被験者は22~28歳（ 24 ± 2 歳）の健康な青年男子12名である。表1は、対象者の身体的特性を示したものである。これらの被験者には、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

表1. 被験者の身体的特性

	性別	人数	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI
平均値	男性	12	24.4	171.2	64.5	22.0
標準偏差			1.8	3.5	4.5	1.2

理委員会」の承認を得て実施した。

2. 方法

図1は、実験プロトコールを示したものである。心拍数法，加速度計法，生活時間調査法によるエネルギー消費量の測定期間は二重標識水法のそれと同じ14日間とした。

基礎代謝量の測定と運動負荷試験は実験の最終日に行った。

(1) 基礎代謝量の測定

基礎代謝量測定は、測定前日に被験者を国立健康・栄養研究所に宿泊させ、12時間の絶食後に実施した。呼気ガスの採集は仰臥位姿

勢でダグラスバッグ法にて行った。

(2) 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。重水素と¹⁸Oの投与に際しては、Jones²⁾らの方法に従い総体水分量を体重の60%と仮定し、0日目正午までの間に、体水分量1kgあたり0.12gの重水素と2.5gの¹⁸Oを経口投与した。尿サンプルは実験開始前、8日目、15日目に採取した。サンプルは分析まで-20℃で保存した。これらのサンプルから重水素と¹⁸Oの一日あたりの排出率を求め、CO₂産生率はJones、

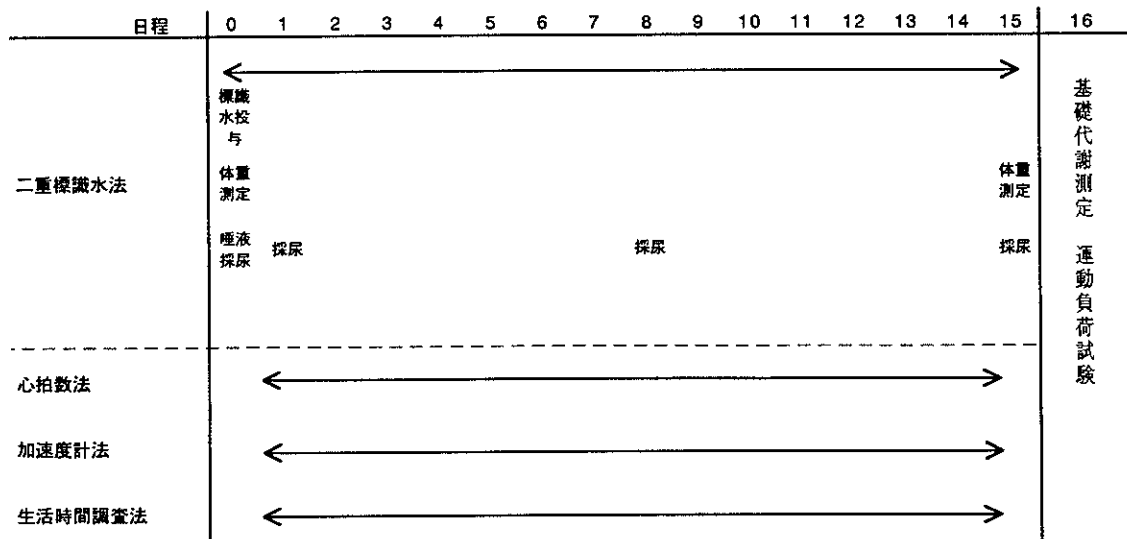


図1. 実験のプロトコール

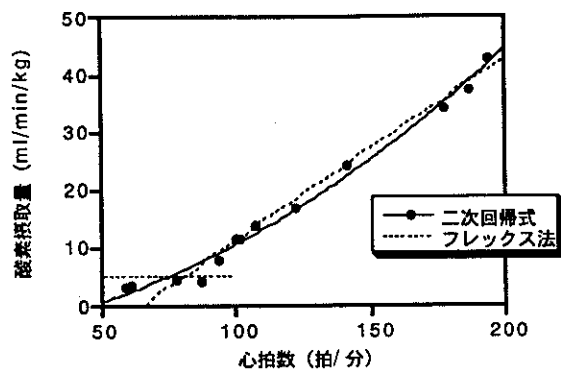


図2. 心拍数による関係式

Wong³⁾と同様の式によって求めた。エネルギー消費量はWeir⁴⁾の方法で算出した。

(3) 心拍数法

心拍数-酸素摂取量の関係式の作成：心拍数-酸素摂取量の関係式はトレッドミルを用いた運動負荷試験にて作成した(図2)。座位安静および立位安静時の酸素摂取量をそれぞれ5分間の測定後、運動負荷試験を実施した。運動負荷は、40m/分、60m/分、80m/分、100m/分、120m/分の歩行と160m/分の走行を全員に実施し、体力的に余裕のある者に対しては、さらに走行速度を上げ強い負荷を与えた。各負荷の運動時間は4分とした。呼気ガスの採集は各負荷の最後の2分間とした。呼気ガス分析は自動呼気ガス分析装置(ミナト社製 Medical Gas Analyzer MG-360)で行った。

心拍数と酸素摂取量の関係式は、Ceesay et al.⁵⁾によるFlex HR法と二次回帰式の2方法を採用し、それぞれの方法に日常生活活動時の心拍数を代入し、エネルギー消費量を算出した。なお、エネルギー消費量は、酸素1リットルあたり4.9kcalで換算した。

日常生活活動時の心拍数の記録：日常生活活動中の心拍数はアキュレックスプラス(Polar Elector, Kemple, Finland)を用い、14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。そのため、睡眠時間中の心拍数がほとんど測定できなかった例も生じた。

日常生活活動時における心拍数記録の欠損処理については、Flex HR法および二次回帰式の両測定法とも、心拍数が記録されていない時間帯はその前後の平均心拍数を代入して、それぞれの式にあてはめてはめた。

(4) 加速度計法

加速度記録装置：本装置は体幹の垂直方向の重心移動に伴う加速度の変化を1分単位の移動平均の累積で算出する装置である。加速度記録装置はホルター心電計(重さ145g、100×70×255mm)に加速度計(重さ32g、50×31×11mm)を接続したものである。

本装置は加速度と歩行率が同時に連続的に計測できるようになっている。本装置による歩行率の計測においては、4秒間に3歩以上計測された場合を歩行とみなした。本装置による歩行率の測定精度については、トレッドミル歩行により検討し、酸素摂取量との間に $r=0.966$ と有意な高い相関が確認されている⁶⁾。さらに、日常生活活動中においても、エネルギー消費量との間に $r=0.890$ 以上の有意な正の相関関係を得ている⁷⁾。

加速度-酸素摂取量の関係式の作成：加速度計-酸素摂取量の関係式の作成は、トレッドミル運動負荷試験にて作成した。

加速度計法によるエネルギー消費量は、日常生活活動時の加速度を関係式に代入し、推定した。なお、歩数が0の時は安静時代謝を、微少運動の時は安静時代謝の2倍値を、40m/分以上の歩行率を超えた時点では歩数-酸素摂取量の関係式から得た値を代入した。

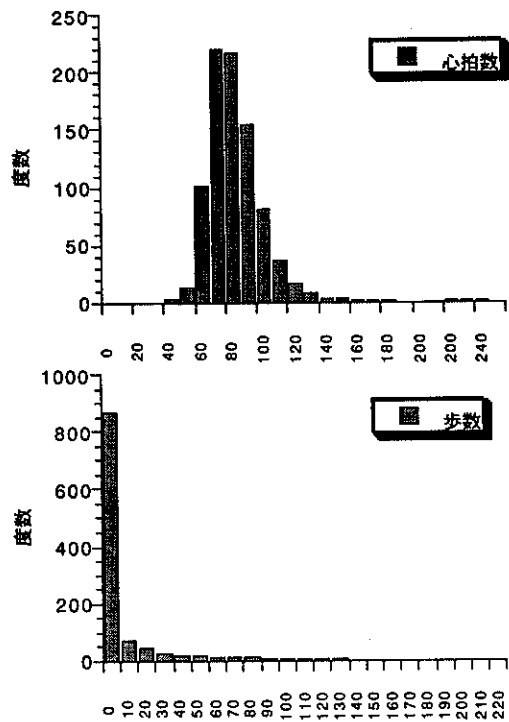


図3. 12名の測定期間中における心拍数と歩数の分布

日常生活活動時の加速度は14日間の全期間にわたり記録した。加速度計の向きが加速度の計測に影響するため、加速度記録装置は被験者の腰部ベルト位置に装着させた。起床時から装着し、就寝時にとりはずした。

(5) 生活時間調査法

生活時間調査は14日間の全期間実施した。日常生活動作は1分単位で生活時間調査票に記録するよう指示した。特に、覚醒時刻と就寝時刻は正確に記録するよう指導した。生活行動記録に基づき、行動ごとに沼尻⁸⁾によってまとめられた動作別エネルギー代謝率(RMR)をあてはめ、エネルギー消費量を算出した。生活時間調査票は3~4日ごとにチェックした。

3. 統計処理

各群間の差の検定は対応のあるt-検定(Paired-test)を行った。また、二重標識水法と各推定法間の一致度はBland & Altmanの方

法⁹⁾により検討した。

C. 研究結果

表1は、被験者の身体的特性を示したものである。被験者No.11を除いて、実験前後で体重、体脂肪率に変動は見られなかった。覚醒時間は平均 954 ± 66 分(1057~786分)、睡眠時間は 483 ± 67 分(653~382分)であった。覚醒時間の長さがエネルギー消費量の大小に関係する傾向はみられなかった。

図3は、覚醒時における心拍数と歩数の度数分布を示したものである。心拍数は70拍代に、歩数は歩数計がカウントしない0の値にそれぞれピークがみられた。

図4は、心拍数法(2次回帰式)、加速度計法(加速度値)および生活時間調査法で推定された1日のエネルギー消費量の変化の代表例を示したものである。

図5は、全被験者の14日間にわたる1日の総エネルギー消費量の変化を示したものである。実線は二重標識水法による1日の総エネルギー消費量の平均値を示したものである。二重標識水法に対して、心拍数法は全体的に高めに、加速度計法と生活時間調査法はそれぞれ低めに推定された。また、14日間にわた

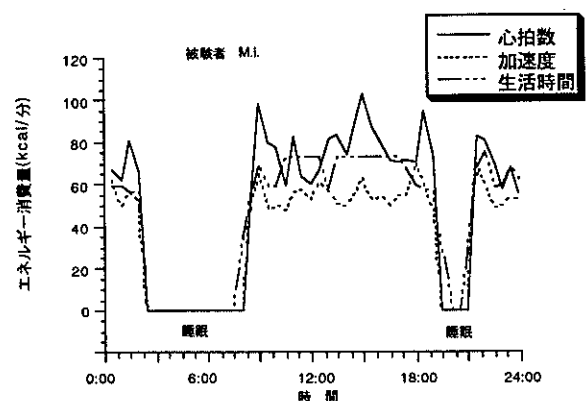


図4. 覚醒時間中の各測定法によるエネルギー消費量

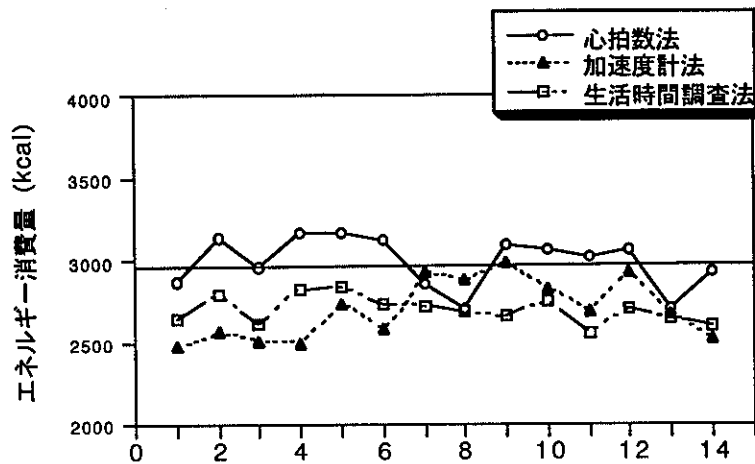


図5. 被験者全員の各測定方法14日間の変動

る各推定法のエネルギー消費量の変動係数は、心拍数法で16.0%、加速度計法で10.2%、生活時間調査法で9.3%であった。

表2は、覚醒時および1日のエネルギー消費量、また1日の総エネルギー消費量から基礎代謝を除いた活動代謝量を示したものである。1日の総エネルギー消費量は、二重標識水法（以下DLW-EE）では $2,971 \pm 478$ kcal、フレックスHR法（以下Flex-EE）では $2,792$

± 558 kcal、2次回帰式で求めた心拍数法によるエネルギー消費量（以下poly-EE）では $2,996 \pm 612$ kcal、歩数計法によるエネルギー消費量（以下Step-EE）は $2,352 \pm 290$ kcal、加速度計法によるエネルギー消費量（以下Acc-EE）は $2,669 \pm 488$ kcal、生活時間調査法によるエネルギー消費量

（以下Dia-EE）は $2,705 \pm 149$ kcalであった。

DLW-EEとStep-EEおよびAcc-EEの間には、いずれも5%以下の有意な差が認められた。

図6は、表2を図示したものである。心拍数法による1日の総エネルギー消費量は、14日間の連続記録から算出された値と1週間に2日間測定し、それを代表値として用いたエネルギー消費量を算出した値（1週間の最大値

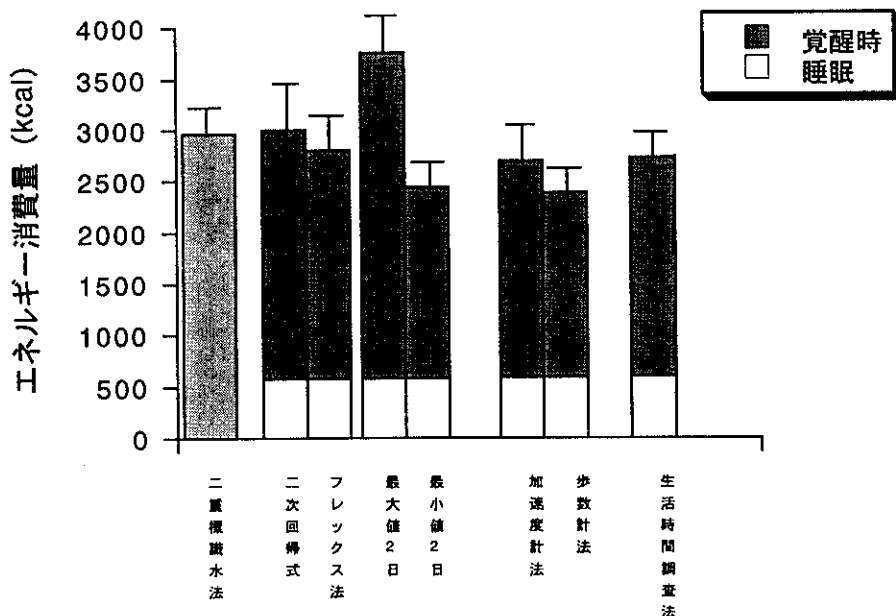


図6. 1日のエネルギー消費量

表2. 各測定方法による一日のエネルギー消費量と活動代謝量

	活動時のエネルギー消費量 (kcal/日)				一日のエネルギー消費量 (kcal/日)				二重標識水法 (kcal/日)			
	心拍数法		加速度計法		心拍数法		加速度計法		生活時間 調査法	活動代謝 一日		
	Flex	2次式	歩数	加速度	Flex	2次式	歩数	加速度				
	Flex	2次式	歩数	加速度	Flex	2次式	歩数	加速度	生活時間 調査法	活動代謝 一日		
No.1	750	695	4	380	516	2800	2745	2054	2430	2566	3276	1226
No.2	1013	1004	324	295	734	2869	2860	2180	2152	2590	2748	892
No.3	1251	1317	363	476	858	2995	3061	2107	2220	2602	2395	651
No.4	1633	2073	911	1504	844	3395	3834	2673	3266	2606	3355	1593
No.5	634	1045	586	1323	1127	2565	2975	2517	3253	3057	3589	1658
No.6	678	1092	590	433	682	2805	3219	2717	2560	2809	2796	669
No.7	1803	2032	753	1891	894	3613	3842	2563	3701	2704	3670	1860
No.8	881	596	854	854	846	2753	2469	2726	2726	2719	3113	1240
No.9	384	576	417	793	943	2059	2251	2092	2468	2618	2378	703
No.10	1852	2211	722	716	1431	3328	3687	2199	2193	2907	2816	1339
No.11	441	742	771	1453	1490	1583	1884	1913	2595	2632	3258	2116
No.12	1131	1523	876	865	1051	2737	3128	2481	2470	2656	2256	651
平均値	1038	1242	597	915	951	2792	2996	2352	2669	2705	2971	1217
標準偏差	508	593	274	514	287	558	612	290	488	149	478	512

※※ 二重標識水法との間に1%水準以下で有意差あり
 ※ 二重標識水法との間に5%水準以下で有意差あり