

# 二重標識水法による簡易エネルギー消費量推定法の評価： 日本人中高齢者について

筑波大学体育科学系 齊 藤 慎 一

## 要 約

我々はこれまでに、日本人青年男子を用いて日常生活時の総エネルギー消費量 (TEE) を二重標識水 (DLW) 法で測定し、同時に行動記録法 (AR)、心拍数法 (HR)、加速度計法 (AC) の簡易エネルギー消費量測定法により TEE を推定し、それらの比較から AR と HR に比べて、AC が優れていることを明らかにした (海老根ら、2002)。本研究では、日本人中高齢者を用いた場合でも、上述の結果が得られるかについて検討した。すなわち、日本人中高齢男性 24 名 (48±10 歳) を被験者とし、通常生活中の 14 日間について DLW 法で TEE を測定した。その間の始め 3 日間は AR と HR と AC の測定を行い、AC は 3 日間終了後 (3dAC) 引き続き 14 日目まで測定を継続した (14dAC)。その結果、TEE の値は、AR、HR、3dAC、14dAC のそれぞれで、1750-3447、1691-5286、1716-2765、1700-2855 kcal/d の範囲にあった。TEE の平均値を比較すると、HR の値は DLW 法とほぼ同じであったが (HR-DLW: 57±603 kcal/d; 2%)、AR、3dAC、14dAC では有意に低い値であった (AR-DLW: -335±289; -12%、3dAC-DLW: -542±249; -19%、14dAC-DLW: -566±223 kcal/d; -20%)。DLW 法と AR、HR、3dAC、14dAC の相関係数は、それぞれ 0.76、0.67、0.78、0.83 であった。一方、HR の個人変動 (CV: 15±11%) は他の推定法に比べて有意に大きかった (AR、3dAC、14dAC: 7±4%、7±5%、8±3%)。また、Bland and Altman プロットを用いて、DLW 法に対するグループ毎の変動を考慮した場合にも、HR の変動は他の推定法に比べて大きかった。おもしろいことには、3dAC と 14dAC には高い相関が認められ ( $r=0.97$ )、それらの平均値の差はわずか 24 kcal/d にしかすぎなかった。これらの結果から、日本人青年男子を用いた以前の研究と同様に、中高齢者を用いた場合でも、簡易エネルギー消費量測定法としての AC は集団でも個人のレベルでも HR に比べ優れていることが明らかになった。なお、AC はエネルギー消費量を低く見積もりがちであるが、DLW 法との較正式を用いることにより修正可能である。

キーワード：運動習慣、二重標識水法、簡易エネルギー消費量測定器

## 緒 言

近年、日常生活状況での総エネルギー消費量 (TEE) の測定に注目が集まっている (1-5)。これまでの研究では、様々な年齢や性別で健康人 (6,7) や慢性的な疾病を持っている病人 (8,9) のエネルギー消費量が測定されている。また、成人における TEE と罹病率や死亡率との関係はすでに十分確立されている (10,11)。

ところで、これまで行動記録法 (12,13)、生理学的なマーカー (14)、ヒューマンカロリメーター (15) などを使用して、日常生活状況でのTEEが測定されきた。しかし、これらの方法は正確性あるいは利便性についての問題があると示唆されている。行動記録法 (AR) を用いて正確なデータを得るためには、被験者の協力はぜひとも必要である (16)。心拍計 (HR) は情緒的な因子、例えば、精神的なプレッシャー、また温度や湿度などの環境の変化 (17) に影響されることから、この方法にはまだ問題が残っている (18)。

一方、これらの方法は不十分さがあるにもかかわらず、これまで広く用いられてきた。海老根らは若い日本人男性 ( $24 \pm 1.8$ 歳) を対象として、14日間にわたり二重標識水法 (DLW) を妥当基準として、ARとHRと加速度計法 (AC) によるTEEを比較検討し、ACが一番優れた方法としている。しかし、この場合の対象は若年者であり、慢性的な疾病を予防するための身体活動に関する検討が必要なグループではない。また、用いた評価期間の長さは、一般に日常生活において被験者が忍耐できるとされる3~7日間より長かった (19-21)。加えて、DLWとACは非侵襲的で応用が簡単な方法であるが、ARとHRは様々な制限があるため、被験者の日常生活に介入する恐れがある (17)。これらのことから、本研究ではTEE評価の妥当基準であるDLW法と三つのフィールド測定方法 (AR、HRとAC) に関する海老根らの結果が、日常活動状況での30歳~69歳の日本人男性にもあてはまるか否かを検証することを目的とした。

## 方 法

### 被験者

被験者には30~69歳の健康な日本人男性24名を用いた。これらの被験者は、実験の目的と内容についての詳細な説明を受け、同意書に署名を得た上で、実験に参加した。被験者は福岡大学及び周辺の地域社会から応募した。被験者の身体的特性を表1に示した。すべての被験者の甲状腺機能 (血中T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>及びTSH) が正常値範囲内であることを確認した。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」の承認を受け実施した。

### 実験方法

実験日程を図1に示した。DLW法によるTEEの測定期間は連続14日間とした。ACによるTEEの測定期間は3日間 (3dAC) とし、AR、HR及び食事記録も同一期間とした。なお、ACは期間を延長して、DLW法によるTEE測定期間中も行なった (14dAC)。TEEの測定前の二日間にわたり、被験者を実験中に使用する様々な方法に慣れさせた。そして、ベースラインとなる尿サンプル (第-1日目) を採取した。次の日 (第0日目) に、被験者の身体特性、体組成及び基礎代謝率 (BMR) などの測定を行ない、調整したDLW (<sup>2</sup>H<sub>2</sub><sup>18</sup>O) を経口投与した。体水分量測定のために、DLW投与3時間後と4時間後に尿サンプルを採取した。同位体の<sup>2</sup>Hと<sup>18</sup>Oの排出率を求めるためのサンプルとして、投与24時間後

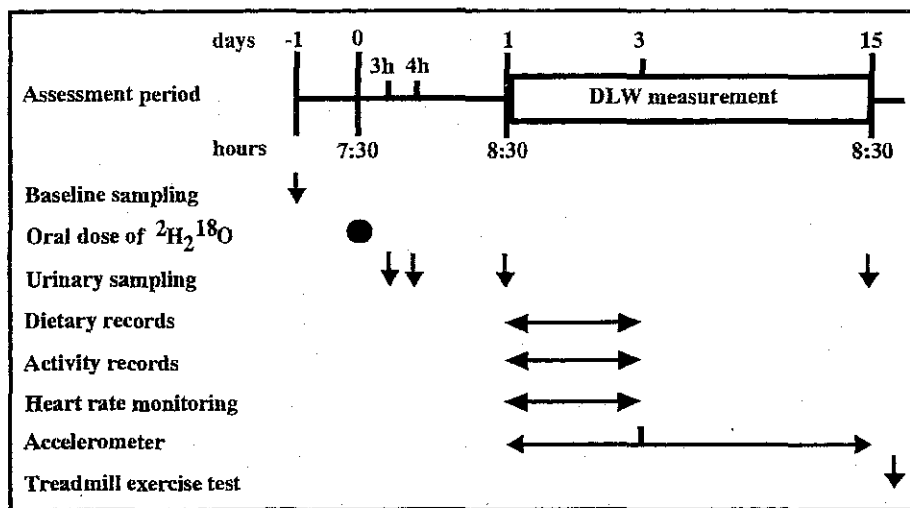


Fig 1. A schematic representation of the experimental design.

の翌日（第1日目）と14日間の最後の日（第15日目）に尿を採取した。HRとVO<sub>2</sub>との間の関係を測定するため、最後の尿サンプルを採取した後、被験者にトレッドミルによる運動を负荷した。被験者には、14日間の測定期間中、普段と変わらぬ生活の活動パターンと食事習慣を守るように指示した。

## 測定方法

### 身体計測と組成

体格指数（BMI）は体重を身長<sup>2</sup>で割って求めた（kg/m<sup>2</sup>）。体組成はBrozekら（22）の方法による水中体重秤量法で測定した（表1）。

Table 1. Physical characteristics and body composition of subjects (n = 24).

		Mean ± SD	Range
Age	(y)	48 ± 10	30 - 69
Body weight	(kg)	65.5 ± 10.9	49.3 - 89.6
Height	(cm)	167.8 ± 7.2	155.0 - 189.0
BMI	(kg/m <sup>2</sup> )	23.1 ± 2.7	19.6 - 29.5
Body fat	(%)	18.7 ± 4.8	10.6 - 28.3
Fat-free mass	(kg)	53.0 ± 8.7	37.6 - 73.2
Fat mass	(kg)	12.3 ± 4.0	6.1 - 19.3

BMI: body mass index.

### 基礎代謝率

基礎代謝率（BMR）の測定はVentilated hood法で被験者の呼気ガスを採気することによって行なった。即ち、被験者に前日の夕食後から約10時間絶食後の第0日目の早朝に来研させ、その後約20分間にわたって安静状態で測定した。呼気ガスはARCO-1000呼気ガス用質量分析計（ARCO System Inc., Japan）で酸素（VO<sub>2</sub>）と二酸化酸素（VCO<sub>2</sub>）を分析し、安静時のエネルギー消費量はWeirの式（23）によって計算した。

## エネルギー摂取量

被験者に三日間にわたって食事記録を行なわせた。また同時に、インスタントカメラ（富士 NexiaF100 color-APS film）で食事の写真を撮らせた。エネルギー摂取量は熟練した管理栄養士を用いて、第5訂日本食物成分基準表に基づいて、パソコンソフト（Basic-4 Version 2.0; Kagawa Nutrition University）を使って評価した（24）。また、食物商も計算した。

## 心拍数と酸素摂取量の関係（トレッドミル運動）

HRと $VO_2$ との間の関係を求めるために、被験者にトレッドミルによる運動を負荷した。トレッドミル運動を始める前に、被験者を約20分間安静にさせた。その後、被験者は横たわった状態、座った状態、立った状態でのHRと $VO_2$ との関係を順に測定した。続いて、運動強度を漸増的に増加した場合の、即ち歩行、ジョギング、ランニング時の、HRと $VO_2$ との関係を測定した。トレッドミルのスピードは4分毎に20m/分ずつ増加し、トレッドミルの斜度は0%に保った。4分毎の測定では、平衡時間を2分間とし、残りの2分間でHRや $VO_2$ の測定を行なった。運動中、ノーズクリップとマウスピースを被験者に装着させて採気し、 $VO_2$ の測定を行なった。

## 総エネルギー消費量

二重標識水（DLW）法：方法に関する詳しい説明は我々の先の論文（25）に記述してある。DLW法によるTEEの値は $CO_2$ の産生率、即ち、 $rCO_2$  (mol/d)、と食事記録から得た食物商（26）をWeirの式（23）を用いて計算した。第0日目に、ベースラインとなる尿サンプルを採取後、被験者の総体水分量（eTBW）を体重の60%と仮定して（27）、重水素（ $^2H$ ）（99.8 atom %）を $0.12g\ ^2H_2O/kg$  eTBWの割合で、酸素18（ $^{18}O$ ）（10.0 atom %）を $2.5g\ H_2^{18}O/kg$  eTBWの割合で経口投与した。DLW投与後は、4時間の平衡時間（3時間と4時間後に尿サンプルを採取）中、被験者には飲食を禁止した。そして、同位体の排出率を分析するために、第1日目と第15日目の朝にも尿サンプルの採取を行なった。サンプル中の $^2H$ の同位体比の分析は、国際原子力機関から提供される国際的な標準物質（Vienna Standard Mean Ocean Water : V-SMOW など）をスタンダードとし、903D dual-inlet isotope ratio mass spectrometer (IRMS, VG Isogas, Cheshire, UK) を用いた。一方、 $^{18}O$ の同位体比の分析はSIRA 12 (VG Isogas, Cheshire, UK) で行なった。なお、安定同位体の分析精度については、すべてのサンプルと標準物質を3回分析し、それぞれの標準偏差を用いた場合の平均値は $^2H$ で1.22%、 $^{18}O$ で0.20%であった。DLW法によるTEEは14日間にわたる測定期間の平均値である。

行動記録（AR）法：DLW法測定期間中、AR法によるTEEを評価するために、三日間の日常生活活動を記録した。日常生活に影響を与えないようにしながら、被験者は一分単位の行動を所定の記録用紙に記入した。被験者には日常生活での行動が変わる際とその行動が終了した時に記録用紙に記録するように指示した。すべての行動の内容とその活動に含まれる横臥時間、座位時間、立位時間、及び／あるいは歩行時間の割合のパーセントも記入するように指導した。被験者が記録を始める前に、記録方法の詳しい説明を行ない、記録例を提示した。三日間の行動記録後、記録用紙はすぐに回収さ

れ、過小記録があるかどうかを確認した。そして、記録された全ての活動のエネルギー消費量を算出するため、活動の種類と強度別に身体活動表から (28)、記録データをMETs (1 MET=1 kcal/kg/h) に換算した。24時間のエネルギー消費量は一日中における全ての活動のエネルギー消費量の総和として求めた。ARによるTEEは三日間にわたる測定値の平均値である。

心拍数 (HR) 法: HRによるTEEを評価するために、DLW法測定期間中、心拍計"Accurex plus" (Polar electro, kempele, Finland) を使用して、三日間にわたり、起床から就寝までの心拍数を記録した。この心拍計は胸部の送信器と手腕部のマイコン受信器により、心拍数を一分毎に24時間記録し、記録したデータをインターフィースユニット経由で印刷することができる。被験者にトレッドミル運動を行なわせ、求めたHRとVO<sub>2</sub>との間の関係から、FLEX-HR値を確認し、校正曲線を求め、TEEを算出した。なお、FLEX-HR値は負荷した運動時の最小心拍数と安静時時の最大心拍数の平均値とした (15)。本研究で採用した手順はCeasayら (29) の研究に詳しく説明されている。TEE は心拍数の観測から得られたエネルギー消費量予測値の合計と睡眠時のエネルギー消費量によって計算した。睡眠時のエネルギー消費量は基礎代謝量と同じと仮定した (30)。HRによるTEEは3日にわたる測定値の平均値である。

加速度計 (AC) 法: ライフコーダー (Suzuken Co., Japan) は軽量マイコン (6.2 x 4.6 x 2.6 センチ; 重量=42g) を持った新開発の二次元加速度計であるが、これを腰の位置に装着することで、ステップを踏んだ回数と垂直方向に沿った加速度を観測し、それに基づいて、自動的にエネルギー消費量を評価するものである。DLW法測定期間中の14日にわたり、ACによるTEEを測定した。ACを装着する前に、被験者の年齢、性別、身長、体重を入力し、プログラムの調整から、適切なBMRを設定した。被験者には一日中、入浴以外は腰の正しい位置に装着するよう指導した。この加速度計でのTEEの予測方程式は以下の通りである。

$$TEE_{AC} = BMR + PA + (1/10) TEE$$

ここで、PAは身体活動に伴うエネルギー消費量 (kcal) である。

$$BMR \text{ (kcal)} = k_b \times BSA \times T \times 1/10000$$

ここで、 $k_b$ は日本男性の標準値 (kcal/m<sup>2</sup>/h) (31) であり、BSAとTはそれぞれ体表面積 (cm<sup>2</sup>) と時間 (h) である。

$$BSA \text{ (cm}^2\text{)} = \text{体重}0.444 \text{ (kg)} \times \text{身長}0.663 \text{ (cm)} \times 88.83$$

また、(1/10) TEEは食事誘発性熱産生 (kcal) である。

## 統計分析

データは平均値±標準偏差 (SD) で示した。三つのフィールド測定法で求めたTEEとDLW法で求めたTEEの平均値の差の検定には一元配置の分散分析を行い、有意な場合について、Tukey-Kramer post-hoc testを用いて検討した。ACで求めたTEE (3dACと14dAC) と14日にわたるDLW法で求めたTEEの平均値の差の検定には、Student paired t-testを用いた。AR、HR、ACとDLW法との間の対応関

係の検討には単回帰分析を行い、相関係数はPearsonの相関係数により検討した。なお、有意水準はいずれも5%とした。個人内のTEEデータの変動係数(CV)は個人の測定値の標準偏差を同じ測定期間に求めた個人の平均TEEで除して求めた。

DLW法と各々のフィールド測定法の一致度はBland and Altmanの方法に基づいて行なった(32)。すべての統計分析はStatView 5.01 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2000-2001)で行なった。

## 結 果

国際肥満学会 (International Association for the Study of Obesity, IASO) の基準によれば、本研究の被験者は非肥満に分類された(33)(表1)。また、測定期間中体重変化は殆どなく、実験前後の体重はそれぞれ $65.3 \pm 10.8\text{kg}$ と $65.6 \pm 11.0\text{kg}$ であった。

24名の全ての被験者が4種類のTEE評価法を実行できた。AR、HR、3dAC、14dACとDLW法によるTEEの平均値を表2に示した。HRによるTEEの値はDLW法と比較した場合、著しい差はなかった(両平均値の差は $57 \pm 603\text{kcal/d}$ )が、一方、AR、3dAC、14dACで求めたTEEの平均値の差はそれぞれ、 $335 \pm 289\text{kcal/d}$  ( $p < 0.001$ )、 $542 \pm 249\text{kcal/d}$  ( $p < 0.001$ )、 $566 \pm 22\text{kcal/d}$  ( $p < 0.001$ )であり、過小評価していた。DLW法との間にAR ( $r = 0.76$ ,  $p < 0.0001$ )と3dAC ( $r = 0.78$ ,  $p < 0.0001$ )は、HR ( $r = 0.67$ ,  $p < 0.001$ )より、高い相関関係があった。一方、14dACは、DLW法との間により強い相関関係があった( $r = 0.83$ ,  $p < 0.001$ )。個人内変動について、ARと3dACのCVsは $7 \pm 4\%$  ( $p < 0.001$ )と $7 \pm 5\%$  ( $p < 0.001$ )であった。しかし、HRのCVは $15 \pm 11\%$  ( $p < 0.001$ )であり、他に比べて大きいことが分か

Table 2. Mean total energy expenditure by activity record (AR), heart rate monitoring (HR), accelerometer applied over a 3 d period (3dAC) and 14 d period (14dAC), and doubly labeled water (DLW) methods with their respective range, correlation coefficient, and intra-individual coefficient of variation (CV); (n = 24).

	Mean $\pm$ SD (kcal/d)	Range (kcal/d)	Correlation coefficient	Intra-individual CV (%)
AR	$2389 \pm 430^{**}$	1750 - 3447	0.76 <sup>**</sup>	$7 \pm 4$
HR	$2781 \pm 791$	1691 - 5286	0.67 <sup>*</sup>	$15 \pm 11^{**}$
3dAC	$2182 \pm 249^{**}$	1716 - 2765	0.78 <sup>**</sup>	$7 \pm 5$
14dAC	$2158 \pm 259^{**}$	1700 - 2855	0.83 <sup>****</sup>	$8 \pm 3$
DLW	$2724 \pm 396$	2045 - 3769		

<sup>\*\*</sup> $P < 0.0001$ , <sup>\*</sup> $P < 0.001$  significance compared to DLW method.

<sup>\*\*</sup> $P < 0.0001$  significance among AR, HR, and 3dAC.

<sup>++</sup> $P < 0.0001$  significance between 3dAC and 14dAC.

Intra-individual CV represents the average within-subject deviations using each alternative method, which is calculated by dividing individual standard deviations by the individual mean of TEE obtained over a respective assessment period.

った。面白いことに、TEEを評価する期間がより長い14dAC ( $8 \pm 3\%$ )のCVは3dACのCVとの間に差がなかった。このことは、妥当基準であるDLW法と各々の方法の平均差異をBland and Altmanの方法に基づいてプロットした一致度の結果からも明らかである (図2)。

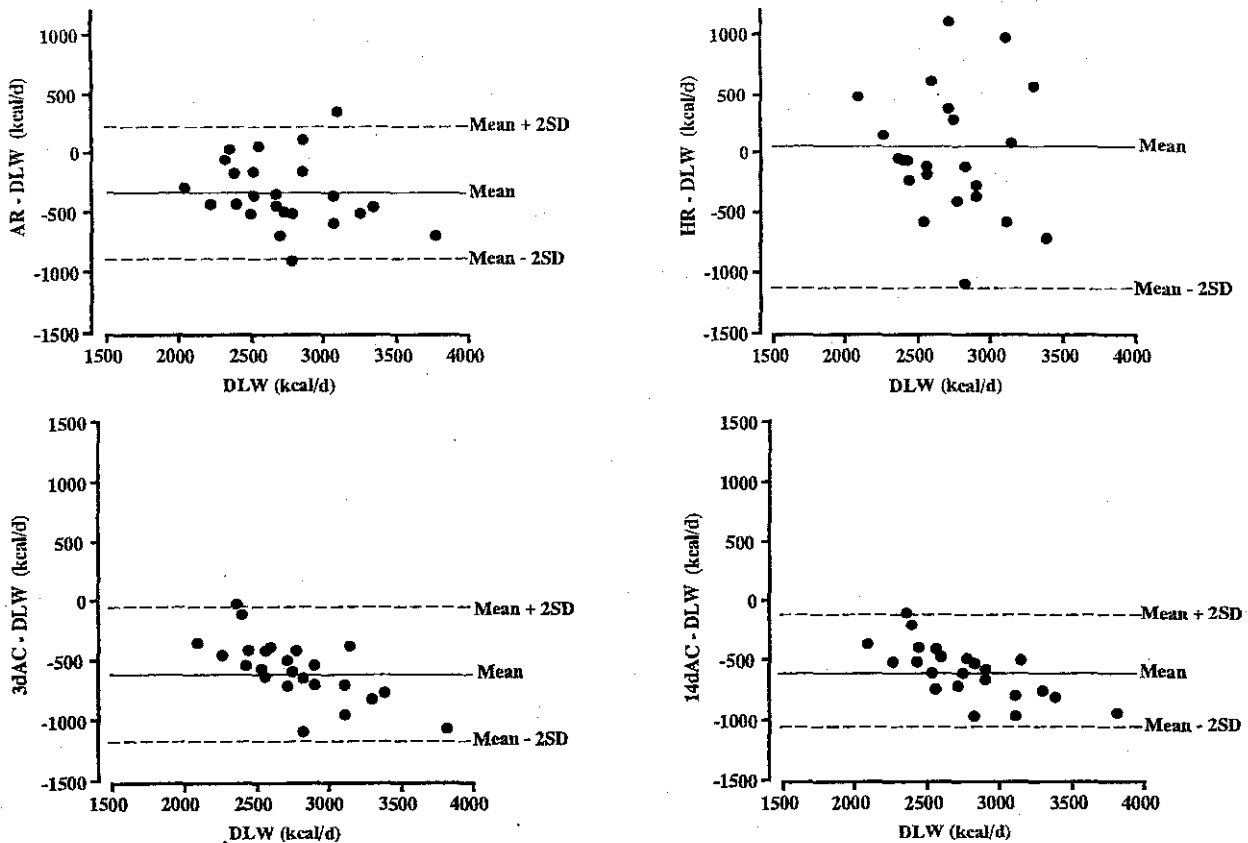


Fig 2. Bland and Altman plots showing agreements between mean differences of total energy expenditure estimated by activity records (AR), heart rate monitoring (HR), 3 d period applied accelerometer (3dAC), 14 d period applied accelerometer (14dAC) and doubly labeled water (DLW) methods (y axis) compared to the mean TEE obtained from DLW considered as the reference method (x axis).

## 考 察

海老根らの先行研究によれば、ACはTEEを過小評価するが、DLW法との間には有意な相関関係があるので、グループを対象にした場合のTEEの評価には、HRと比べて、ACはより正確であると報告されている。本研究でもこれらの結果は再確認された。加えて、個人内変動はACでHRより小さく、ACは個人を対象にする場合においてもHRより優れた方法であることがわかった。

これまで、様々な行動記録計 (ACs)、例えば、Caltrac 加速度計 (34)、三軸加速度計 (35)、ヒューマンカロリーメーター (36) などがTEE測定に用いられてきた。しかし、日常生活状況中で中高年者のTEEを評価することに対して、DLWを妥当基準法として、新開発の単次元加速度ライフコーダーを用いたのは我々の知る限り、本研究が始めてである。より詳細に言えば、我々は、DLW法を妥当基準として、長期間 (14日) にわたって、同時に短い期間 (3日) にわたってもACの正確度を吟味した。

先行研究によれば、ACsとDLW法との間に、一致した結果か、または違いのある結果が示されている。これらの差異は、様々な行動記録計を使用した結果、日常生活状況での垂直方向の加速度を測定した時の敏感度の違いによるであろうとEkelundらは示唆している(7)。本研究で使用したACの製造メーカーが身体加速度をした際にどのようにTEEに変換しているかは分からないが、3dACのDLW法に対する過小評価は19%であり、95%の信頼区間(CI)は-437から-647kcal/dであり、そして二つの間には高い相関関係( $r=0.78, p<0.0001$ )があることが分かった。また、Bland and Altmanプロットによる信頼限界値を見てみると、範囲は-1039から-44kcal/dまでとかなり小さく、グループを対象にした場合において二つの方法に一致性があった(図2)。更に、3dACの個人内変動のパーセントは小さいので、個人を対象にする場合においても適した方法であると思われる(表2)。3dACの結果は14dACによって確認されたが、例えば、14dACのDLW法に対する過小評価は20%であり、95%のCIは-472から-660kcal/dであり、信頼限界値は3dACより狭く、-1012から-120kcal/dまでであった(32)。また、個人内変動も小さかった(表2)。面白いことに、より長い期間にわたってACの測定を行った場合に、 $r$ 値が0.83( $p<0.0001$ )に向上し、DLW法とより有意な相関関係があることが確認された。更に、3dACと14dACとの間の差は少なく(24kcal/d)、有意な正の相関関係があることが認められた( $r=0.97, p<0.0001$ )。しかし、本研究の結果から、ACによるTEEの過小評価することが明らかになったので、何らかの修正により、その差を減少する必要がある。ACによるTEEの過小評価は睡眠時間、また入浴中などでは応用できないことなどによって、一部を説明することができるかもしれない。今後、以下に示す他の因子について検討する必要がある。

ACのTEE過小評価は、身体活動が静止状態的な運動を含むような場合、静止状態でのエネルギーの増加につれて加速度計によるTEEの出力が正比例で増加することができない結果であるといわれている(37)。さらに、加速度計は階段を上る場合(38)、あるいは荷物を背負う運動(35)についても、エネルギー消費量の増加が比例的にはできない。これらの結果、加速度計によるTEE測定は過小評価する可能性がある。一方、他の研究では、Caltracは身体活動量と関連して、人が動けば動くほど、活動量は多く計算されるとされている(34)。これらの結果に反して、子供の身体活動量の測定には、加速度計は役立つとされている(34)。また、非運動トレーニング者における日常生活の活動量の測定にも優れていることが確認されている(36)。実際、本研究の結果でも、ACはTEEの予測に関して、若干の調整を加えることで、有用な方法ではないかと思われた。

DLW法を妥当基準としてのARの有用性に関して、本研究ではEbineら(5)の研究結果とは異なる傾向が得られた。彼らの結果ではARとDLW法との間に、有意差も相関関係もなかったとしている。しかし、本研究の結果によれば、グループを対象にする場合、ARで求めたTEEとDLW法で求めたTEEとの間には-12%の有意な差があり、95%のCIは-457から-213kcal/dまでであったが、一方高い相関関係( $r=0.76, p<0.0001$ )が認められた。また、Bland and Altmanプロットによれば、信頼限界値の範囲は-913から243kcal/dまでとより小さかった(図2)。さらに、個人内変動は小さく(表2)、ARは個人を対象にする場合にも、TEEの予測に役立つことも示唆された。しかし、先行研究によれば有職被



験者に対して、長期間にわたってARによるTEEの測定を行なう場合には、いくらか困難があるとされている (17)。

DLW法を妥当基準としてのHRの有用性に関して、Ebineら (5) の研究結果では、TEEとDLW法で求めたTEEとの間にはほとんど差がなく (3%)、本研究の結果とも一致 (2%) しており、95%のCIは-198から-312kcal/dまでであった。しかし、Bland and Altmanプロット (32) によれば、信頼限界の範囲は-1150から1264kcal/dまでとより広く (図2)、個人内変動も15±11%と、ARやACに比べて、大きかった。

結論として、我々の以前の研究結果と同じく、14日間のACによるTEEはDLW法で得られたTEEと高い相関関係が得られた。また、3日間のACあるいはARによっても同じような高い相関がDLW法との間で得られた。これらのことは、Bland and Altmanプロットや個人内変動からも確かめられた。HRは過小評価しないという特徴があるものの、その応用はグループレベルにとどめるべきである。これらのことから、中高齢者のエネルギー消費量測定の疫学的研究には、ACが優れていることが明らかになった。

## 参考文献

1. Schoeller DA, Ravussin E, Schutz Y, Acheson KJ, Baertschi P, Jequier E. 1986. Energy expenditure by doubly labeled water: validation in humans and proposed calculation. *Am. J. Clin. Nutr.* 250 (5 Pt 2):R823-830.
2. Livingstone MBE, Prentice AM, Coward WA, Ceesay SM, Strain JJ, McKenna PG, Nevin GB, Barker ME, Raymond J H. 1990. Simultaneous measurement of free-living energy expenditure by the doubly labeled water method and heart-rate monitoring. *Am. J. Clin. Nutr.* 52: 59-65.
3. Black AE, WA Coward, TJ Cole, AM Prentice. 1996. Human energy expenditure in affluent societies: an analysis of 574 doubly labeled water measurements. *Eur. J. Clin. Nutr.* 50: 72-92.
4. Starling RD, Matthews DE, Ades PA, Poehlman ET. 1999. Assessment of physical activity in older individuals: a doubly labeled water study. *J. Appl. Physiol.* 86 (6): 2090-2096.
5. Ebine N, Shimada M, Tanaka H, Nishimuta M, Yoshitake Y, Saitoh S, Jones PJH. 2002. Comparative study of total energy expenditure in Japanese men using doubly labeled water method against activity record, heart rate monitoring, and accelerometer methods. *Jpn. J. Phys. Fitness Sport Med.* 51: 151-164. (In Japanese with English abstract).
6. Roberts SB, Heyman MB, Evans WJ, Fuss P, Tsay R, Young VR. 1991. Dietary energy requirements of young adult men, determined by using the doubly labeled water method. *Am. J. Clin. Nutr.* 54: 499-505.
7. Ekelund U, Sjostrom M, Yngve A, Poortvliet, Nilsson A, Froberg K, Wedderkopp N, Westerterp K.

2001. Physical activity assessed by activity monitor and doubly labeled water in children. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33 (2): 275-281.
8. Maffei C, Pinelli L, Zaffanello M, Schena F, Lacumin P, Schutz Y. 1995. Daily energy expenditure in free-living conditions in obese and non-obese children: comparison of doubly labeled water (2H218O) method and heart-rate monitoring. *Int. J. Obes.* 19: 671-677.
  9. Meijer GAL, Westerterp KR, Van Hulsei AMP, Ten Hoor F. 1992. Physical activity and energy expenditure in lean and obese adult human subjects. *Eur. J. Appl. Physiol.* 65: 525-528.
  10. Blair SN, Kohl HW III, Paffenbarger RS Jr, Clark PG, Cooper KH and Gibbons. 1989. Physical fitness and all-cause mortality: A prospective study of healthy men and women. *JAMA.* 262: 2395-2401.
  11. Powell KE, Thompson PD, Caspersen CJ, Kendrick. 1987. Physical activity and the incidence of coronary heart disease. *Ann. Rev. Public Health.* 8: 253-387.
  12. Bassett DR, Jr., Ainsworth BE, Swartz AM, Strath SJ, O'Brien WL, King GA. 2000. Validity of four motion sensors in measuring moderate intensity physical activity. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32 (Suppl.9): S471-S480.
  13. Klein AD and Stone WJ. 2002. Stages of exercise behavior and caloric expenditure. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 42 (1): 95-102.
  14. Richards ML and Davies PSW. 2001. Energy cost of activity assessed by indirect calorimetry and a 13CO2 breath test. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33 (5): 834-838.
  15. Spurr GB, Prentice AM, Murgatroyd PR, Goldberg GR, Reina JC, Cristman NT. 1988. Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording: comparison with indirect calorimetry. *Am. J. Clin. Nutr.* 48: 552-559.
  16. Montoye HJ, Kemper CG, Saris WHM, Washburn RA. 1996. Measuring physical activity and energy expenditure. *Human kinetics, Champlain, IL.*
  17. Montoye HJ. 2000. Introduction: evaluation of some measurements of physical activity and energy expenditure. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32 (Suppl 9): S439-S440.
  18. Christensen CC, Frey HMM, Foensteli E, Aadland E, Refsum HE. 1983. A critical evaluation of energy expenditure estimates based on individual O2 consumption/heart rate curves and average daily heart-rate. *Am. J. Clin. Nutr.* 37: 468-472.
  19. Bouchard C, Tremblay A, Leblanc C, Lortie G, Savard R, Theriault G. 1983. A method to assess energy expenditure in children and adults. *Am. J. Clin. Nutr.* 37: 461-467.
  20. Morio B, Ritz P, Verdier E, Montaurier C, Beaufriere B, Vermorel M. 1997. Critical evaluation of the factorial and heart-rate recording methods for the determination of energy expenditure of free-living elderly people. *Br. J. Nutr.* 78: 709-722.
  21. Sirard JR, Melason EL, Li LI, Freedson PS. 2000. Field evaluation of the Computer Science and

Applications, Inc. physical activity monitor. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32: 695-700.

22. Brozek J, Grande F, Anderson JT, Keys A. 1963. Densitometry analysis of body composition: 9th Revision of some quantitative assumptions. *Ann. NY Acad. Sci.* 110: 113-140.
23. Weir JB. 1949. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J. Physiol.* 109: 1-9.
24. Kagaku Gijyutsuchou Shigen Chousa Kai. 2000. 5th revision of the standard tables of food composition in Japan. Okurashou insatsu kyouiku, (In Japanese).
25. Ebine N, Feng JY, Homma M, Saitoh S, Jones PJH. 2000. Total energy expenditure of elite synchronized swimmers measured by the doubly labeled water method. *Eur. J. Appl. Physiol.* 83: 1-6.
26. Black AE, Prentice AM, Coward WA. 1986. Use of food quotients to predict respiratory quotients for the doubly labeled water method of measuring energy expenditure. *Hum. Nutr. Clin. Nutr.* 40 C: 381-391.
27. Pulfrey SM and Jones PJH. 1996. Energy expenditure and requirement while climbing above 6,000 m. *J. Appl. Physiol.* 72: 23-28.
28. Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC, Irwin ML, Swartz AM, Strath SJ, O'Brien WL, Bassett DR Jr., Schmitz KH, Emplainscourt PO, Jacobs DR, Jr., Leon AS. 2000. Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32 (Suppl. 9): S498-S516.
29. Ceesay SM, Prentice AM, Day KC, Murgatroyd PR, Goldberg GR, Scott W, Spurr GB. 1989. 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.
30. Seale JL and Conway JM. 1999. Relationships between overnight energy expenditure and BMR measured in a room-sized calorimeter. *Eur. J. Clin. Nutr.* 53: 107-111.
31. Health Promotion and Nutrition Division, Health Service Bureau, Ministry of Health and Welfare. 1996. Recommended Dietary Allowances for the Japanese, 5th revision. Dai-ichi shuppan.
32. Bland JM and Altman DG. 1986. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet.* 1: 307-310.
33. IASO (International Association for the Study of Obesity). 2000. The Asia-Pacific perspective: Redefining obesity and its treatment. Health Communications Australia Pty Limited on behalf of the Steering Committee.
34. Bray MS, Wong WW, Morrow JR Jr., Butte NF, Pivarnik JM. 1994. Caltrac versus calorimetry determination of 24-h energy expenditure in female children and adolescents. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26 (12): 1524-1530.
35. Bouten CV, Westerterp KR, Verduin M, Janssen JD. 1994. Assessment of energy expenditure for physical activity using a triaxial accelerometer. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26: 1616-1523.

36. Yanagibori R, Aoki K, Suzuki Y, Gunji A. 1991. Evaluation of methods for measuring daily physical activity in terms of energy expenditure. *Jap. J. Public Health* 38: 483-491. (In Japanese with English abstract).
37. Leenders NYJM, Sherman WM, Nagaraja HN, Kien CL. 2001. Evaluation of methods to assess physical activity in free-living conditions. *Med. Sci. Sports exerc.* 33(7): 1233-1240.
38. Servais SB, Webster JG, Montoye HJ. 1984. Estimating human energy expenditure using an accelerometer device. *J. Clin. Eng.* 9: 159-170.