

精度があがるものと思われる。しかしながら、基準値を多段階にわけるとは表現が複雑化するため、その特質から考えて望ましくないかもしれない。

体重の増加に伴って減少する体重あたりの BMR と体重との関係を線形で近似する推定式では、すべての性別、年代においてその精度が向上した。しかし、この推定法も推定式が 2 次式となり表現がやや複雑化するという問題がある。

BMR を年代別に分割して評価するのではなく、体重とともに年齢を説明変数に入れて推定式を導出する方法では、男性で SEE9.8%、女性で、SEE12.3%という現行の年代別に体重あたりの基準値を定める方法よりもやや高い精度が得られた。体組成の違いを考慮するために、ここでの説明変数として BMI を使用したが、重回帰分析の結果、不採用となった。体組成の影響は体重にも反映されていること、BMI が体脂肪率の完全な指標にはならないことなどが理由と考えられる。ここでの推定式は年齢と体重による 2 元 1 次式として表現された。この推定式は年代別の区別がなく、推定式もそれほど複雑ではない。推定の精度にも優れた有効な推定法といえそうである。

以上のように体重あたりの BMR の変化を考慮した BMR の新しい推定法には表現の複雑化という問題があるが、精度の上がる方法ということでは可能。新たな推定式として検討する価値があるといえる。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

表1 基礎代謝基準値と実測値との差

性別	年齢(歳)	基礎代謝基準値 (kcal/kg体重/日)	基礎代謝実測値 (kcal/kg体重/日)	基準値との差	測定人数
男性	18-29	24.0	23.3 ± 2.1	-0.7	100
	30-49	22.3	21.4 ± 2.1	-0.9	149
	50-69	21.5	20.8 ± 3.2	-0.7	58
	70-	21.5	22.8 ± 2.8	1.3	23
女性	18-29	23.6	22.1 ± 2.7	-1.5	106
	30-49	21.7	21.6 ± 2.3	-0.1	146
	50-69	20.7	20.3 ± 2.9	-0.4	158
	70-	20.7	21.1 ± 2.9	0.4	32

表2 体重、BMIによって2段階に分類した場合の体重あたりの基礎代謝量

	年齢 (歳)	体重あたりの基礎代謝量を一律とした場合			基準体重を境界として2段階に分類した場合				BMI22を境界として2段階に分類した場合			
		基礎代謝実測値 (kcal/kg体重/日)	%SEE	測定人数	体重 (kg)	基礎代謝実測値 (kcal/kg体重/日)	%SEE	測定人数	BMI (kg/m ²)	基礎代謝実測値 (kcal/kg体重/日)	%SEE	測定人数
男性	18-29	23.3 ± 2.1	9.0	100	63.5未満	24.4 ± 1.6	6.7	43	22未満	24.0 ± 1.8	7.6	58
					63.5以上	22.6 ± 2.1	9.2	57	22以上	22.4 ± 2.1	9.2	42
	30-49	21.4 ± 2.1	10.0	149	68未満	22.6 ± 2.0	8.9	56	22未満	22.8 ± 1.9	8.2	31
					68以上	20.7 ± 1.9	9.2	93	22以上	21.0 ± 2.1	9.8	118
50-69	20.8 ± 3.2	15.4	58	64未満	22.1 ± 3.4	15.3	22	22未満	24.0 ± 3.6	14.9	9	
				64以上	20.0 ± 2.9	14.3	36	22以上	20.2 ± 2.8	13.8	49	
70-	22.8 ± 2.8	12.2	23	57.2未満	23.9 ± 1.6	6.6	7	22未満	24.5 ± 1.6	6.7	7	
				57.2以上	22.2 ± 3.1	13.8	16	22以上	22.0 ± 2.9	13.0	16	
女性	18-29	22.1 ± 2.7	12.2	106	50未満	22.6 ± 2.9	12.8	28	22未満	22.4 ± 2.6	11.8	81
					50以上	21.9 ± 2.6	11.9	78	22以上	21.1 ± 2.7	12.7	25
	30-49	21.6 ± 2.3	10.6	146	52.7未満	22.4 ± 2.2	9.8	78	22未満	22.2 ± 2.2	9.8	97
					52.7以上	20.6 ± 2.0	9.5	68	22以上	20.2 ± 1.9	9.2	49
50-69	20.3 ± 2.9	14.5	158	53.2未満	21.5 ± 2.7	12.5	75	22未満	21.5 ± 2.7	12.7	74	
				53.2以上	19.1 ± 2.7	14.0	83	22以上	19.2 ± 2.7	14.0	84	
70-	21.1 ± 2.9	13.7	32	49.7未満	21.6 ± 3.1	14.4	18	22未満	22.2 ± 3.2	14.4	13	
				49.7以上	20.4 ± 2.5	12.2	14	22以上	20.2 ± 2.4	11.8	19	

表3 体重により線形近似した場合と二次近似した場合の基礎代謝算定式の比較

性別	年齢(歳)	測定人数	体重で線形近似した場合の基			体重で二次近似(切片0)した場合の基礎代謝算定式					
			A(1次の項の係数)	%SEE		A(1次の項の係数)	B(2次の項の係数)	%SEE	線形近似との%SEEの差		
男性	18-29	100	23.3	× 体重 (kg)	9.0	30.9	× 体重 (kg)	× 体重 ² (kg)	-0.11	7.6	-1.4
	30-49	149	21.4		10.0	24.8			-0.05	9.6	-0.4
	50-69	58	20.8		15.4	27.8			-0.10	12.4	-3.0
	70-	23	22.8		12.2	31.0			-0.14	11.5	-0.7
女性	18-29	106	22.1	× 体重 (kg)	12.2	28.7	× 体重 (kg)	× 体重 ² (kg)	-0.12	11.1	-1.1
	30-49	155	21.6		10.6	30.0			-0.15	9.2	-1.4
	50-69	158	20.3		14.5	26.0			-0.10	12.9	-1.6
	70-	32	21.1		13.7	33.5			-0.26	10.4	-3.3

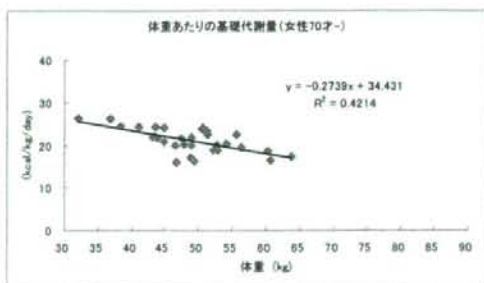
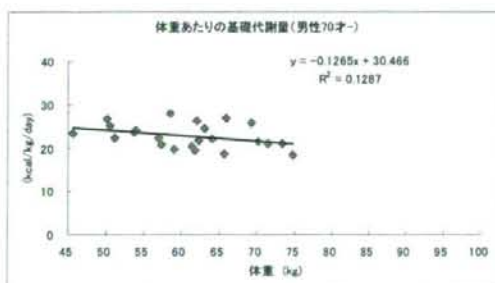
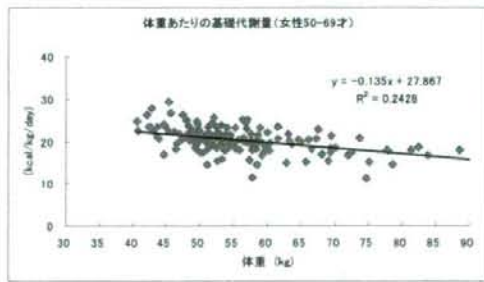
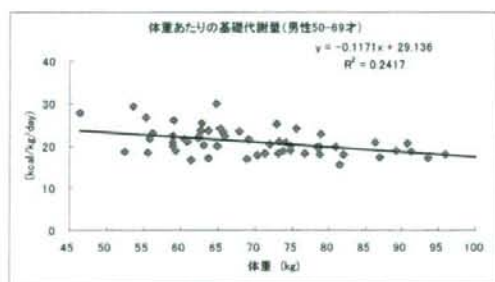
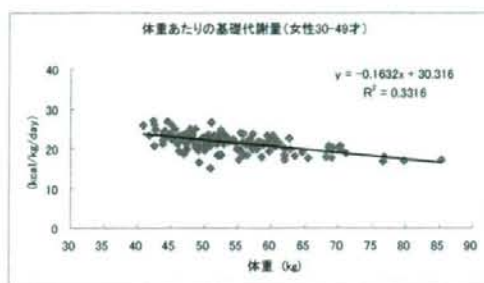
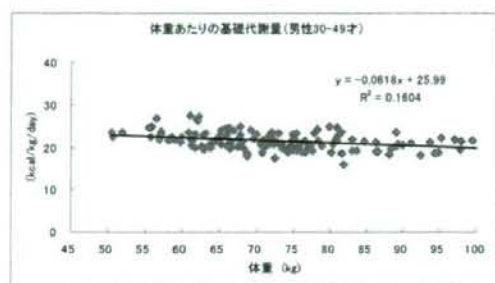
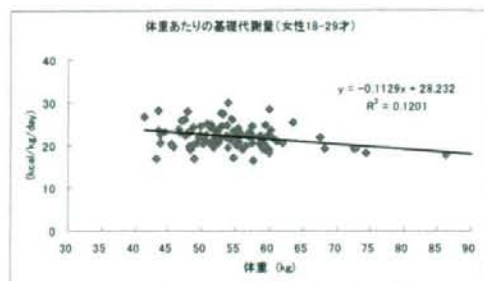
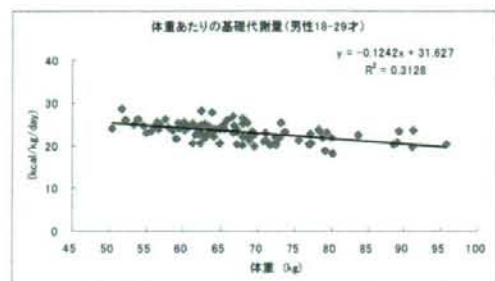


図1. 各年代の体重当たりのBMRと体重との関係

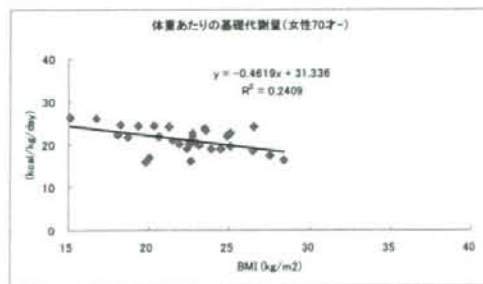
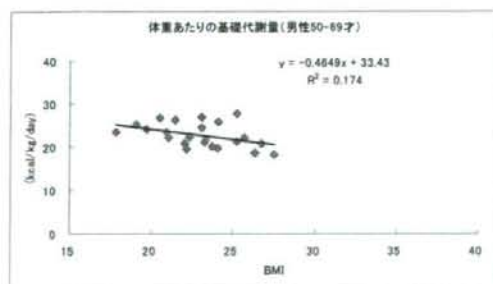
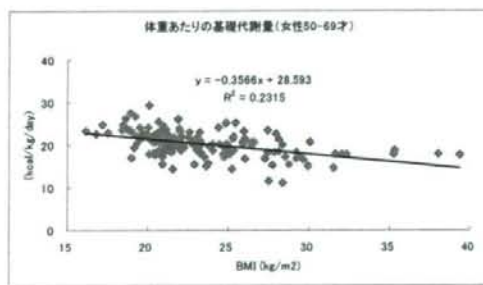
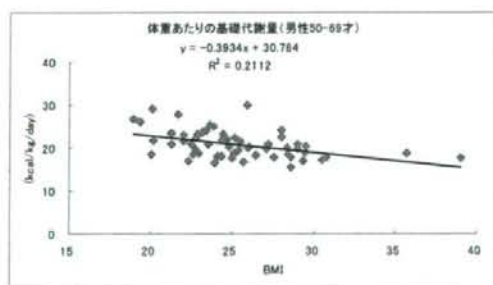
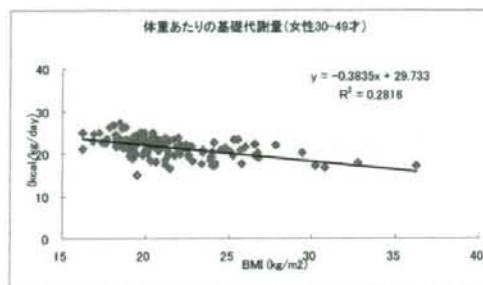
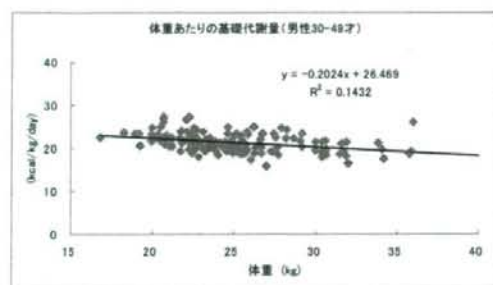
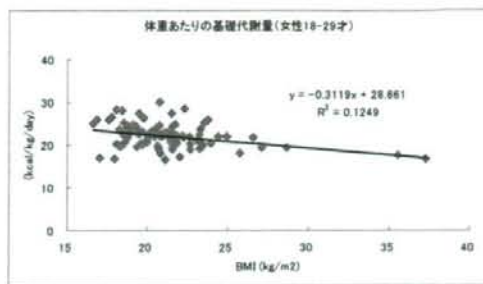
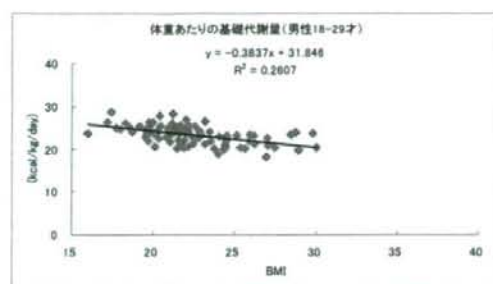


図2. 各年代の体重当たりの BMR と BMI との関係

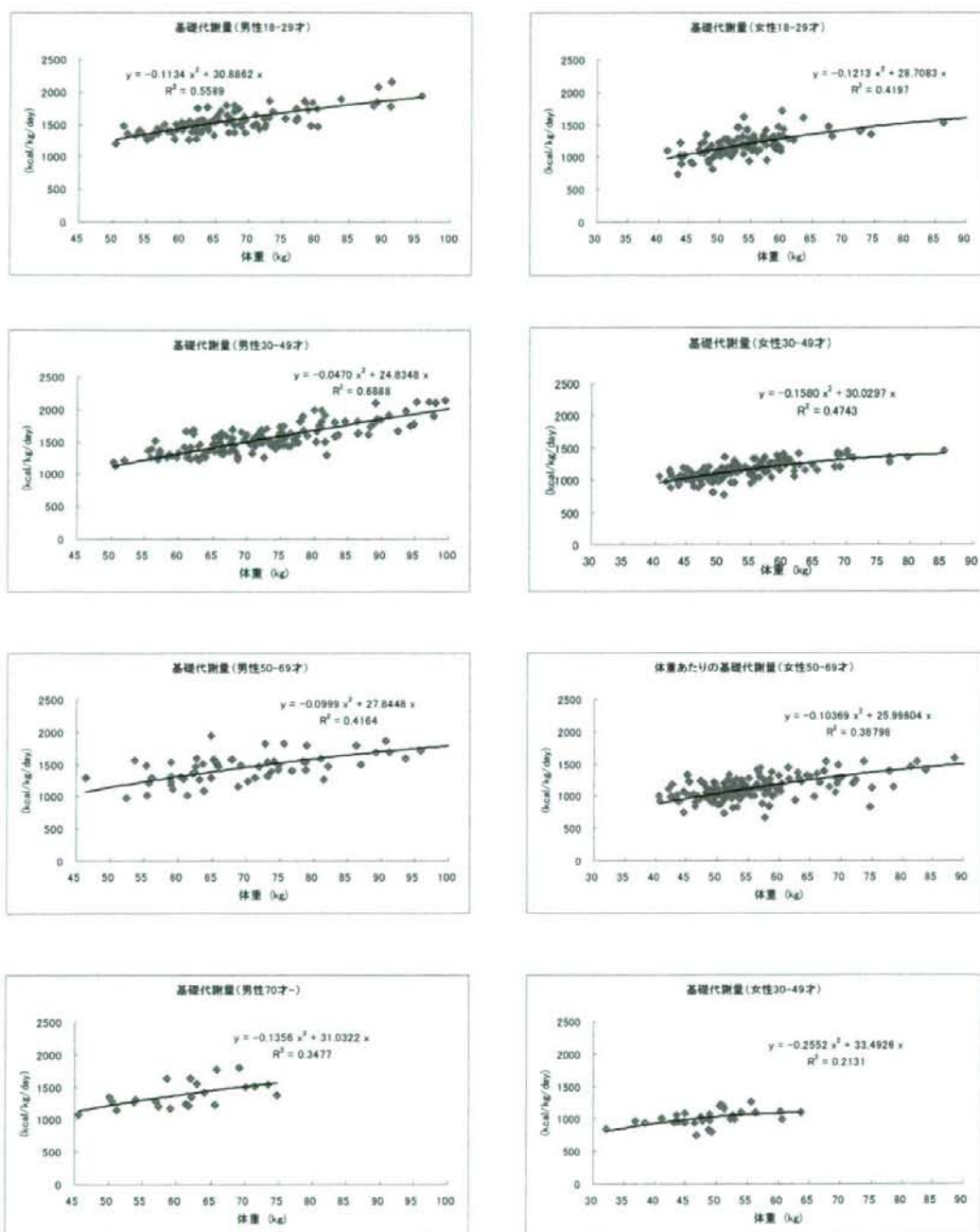


図3. 各年代のBMRと体重との関係を体重の二次式(切片0)で近似した場合

加速度計を用いた日常生活活動と歩行活動の活動強度の評価精度

研究代表者	田中 茂穂	(独) 国立健康・栄養研究所	健康増進プログラム エネルギー代謝プロジェクトリーダー
研究協力者	高田 和子	//	上級研究員
	引原 有輝	//	特別研究員
	大河原 一憲	//	流動研究員

本研究では、日常生活にみられる様々な身体活動について、エネルギー消費量の測定により身体活動強度を評価するとともに加速度計をあわせて装着し、既存の加速度計による身体活動強度の推定精度について検討することを目的とした。

健康な成人男女 65 名を対象に、1 次元（鉛直方向）加速度計（Lifecorder : LC）、3 次元（前後、上下、左右）加速度計（ActivTracer : AT、activity monitor : ME）を装着させた上で、基礎代謝量（BMR）および計 12 種類の身体活動中のエネルギー消費量を測定した。

LC では、実測値と推定値の差異が、歩行活動と比べて日常生活活動で大きく過小評価された。一方、AT と ME では歩行活動だけでなく、日常生活活動においても良好な推定精度で評価できることが明らかになった。ただし、日常生活活動の内容によって、それぞれ過小評価と過大評価されることもわかった。また、AT は ME と比較してすべての日常生活活動において実測値との差異が小さい傾向にあった。このことから、日常生活活動と歩行活動をそれぞれの推定式から評価することが推定精度の改善に有用であることが示唆された。

我々が別途開発した新規の加速度計（オムロン・ヘルスケア（株）、Active style Pro）は、3 次元合成加速度のフィルタ処理（重力加速度の除去）前後の比を用いることで、日常生活活動と歩行活動に判別でき、日常生活活動時における活動強度の推定精度が更に改善されている。以上のように、歩行だけを評価の対象とした加速度計では日常生活活動は十分に評価できないが、アルゴリズム等の工夫によって日常生活活動も評価できることが明らかとなった。

A. 研究目的

1 日の総エネルギー消費量（Total energy expenditure : TEE）の構成要素のうち、最も大きな割合（平均して約 60%）を占めるの

は、基礎代謝量（Basal metabolic rate : BMR）である。これは、体格から推定することが可能である（Ganpule et al., 2007）。また、食事誘発性体熱産生は、エネルギー消費量の

約 10%で、比較的一定していると考えられている。これら 2 つを除く「身体活動に伴うエネルギー消費量」には、比較的大きな個人間変動がみられる。そのため、TEE を推定するためには、体格とともに、身体活動量を正確に把握することが重要である (田中, 2007)。

近年、加速度計による身体活動量の評価に関心が高まっており、本邦においても 1 次元加速度計 (LC: Lifecorder, SUZUKEN Co Ltd., Nagoya, Japan) が広く普及している。この加速度計は、これまで論文に公表されている結果によると、TEE を過小評価する傾向にある (田中, 2006)。この理由としては、主に上下方向の加速度の大きさと頻度から歩数や活動強度を推定するためのアルゴリズムが用いられているため、歩行以外の日常生活活動を正確に評価できていないことが考えられる。

一方、1 次元加速度計より 3 次元加速度計の方が、比較的強度の活動を定量化することが可能であると考えられており (Westertep, 1999)、Midorikawa et al. (2007) は、3 次元加速度の情報から歩行活動と日常生活活動を判別し、それぞれの回帰式から活動強度を推定している。このように、加速度計は軸が 1 次元か 3 次元という違いだけでなく、推定式によっても活動時のエネルギー消費量や活動強度の評価精度に違いが生じる可能性が考えられる。今後、TEE の評価精度を高めるためには、異なるアルゴリズムを有する加速度計毎に、種々の活動時におけるエネルギー消費量や活動強度の評価精度について把握しておくことが重要である。

そこで本研究は、既存の 2 種類の加速度計による、日常生活にみられる代表的な活動時

の活動強度の推定精度について、それぞれの加速度計が持ち備えたアルゴリズムと関連付けながら検討した。また、我々が最近開発した 3 次元加速度計の推定精度と比較した。

B. 研究方法

1. 被験者

被験者は、健康な成人男性 33 名 (年齢 41.8 ± 14.0 歳、身長 169.6 ± 6.2 cm、体重 67.3 ± 14.1 kg) および女性 32 名 (年齢 43.1 ± 12.8 歳、身長 158.0 ± 5.2 cm、体重 55.6 ± 9.6 kg) であった (Table 1)。

2. 測定手順

前日は、午後 9 時までに夕食終え、その後の飲食を禁止した。当日の朝は、水以外の飲食を控えさせ、午前 8 時頃に実験室に入室するように依頼した。その際、できる限り静かにゆっくりとした歩行で入室するように指示した。実験室に到着後に、本実験の主旨を説明し、実験への協力に関する同意を得た上で実験を開始した。まず初めに、被験者の身体計測を行い、その後、1 次元 (鉛直方向) 加速度計、3 次元 (前後、上下、左右) 加速度計を装着させた上で基礎代謝量 (BMR) および計 12 種類の日常生活活動中のエネルギー消費量を測定した。

3. 加速度計

a. Lifecorder EX (LC)

この加速度計 (LC) は、1 次元加速度計であり、主に歩行や走行活動をより正確に評価することをねらいとしている。この機

器は、4 秒ごとに記録される上下方向の加速度の出現頻度と大きさから「運動強度(任意の単位)」を 11 段階に分類することが可能である。そこで、「運動強度」と METs (Metabolic equivalents) との関係について報告した先行研究 (Kumahara, 2004) の推定式に基づいて METs を算出した。

$$\text{MET} = 0.043x^2 + 0.379x + 1.361$$

x : 運動強度

b. *ActivTracer (AT)*

AT (AC-210, GMS Co. Ltd., Tokyo, Japan) は、3 次元加速度計である。4 秒ごとに記録される上下方向と水平方向の加速度との比から日常生活活動と歩行活動に判別し、それぞれの推定式に外挿することで PAR (Physical activity ratio : PAR) を推定した (Midorikawa et al., 2007)。さらに、得られた PAR を 1.1 で除して METs に換算した。

Ratio : <0.750 (Housework)

Housework : METs = 0.0123 X (mG) + 1.7208 / 1.10

Ratio : >0.751 (Walk)

Walk : METs = 0.00081 X (mG) + 0.9234 / 1.10

X : 3 軸合成加速度

c. *Activity monitor (ME)*

ME (Matsushita Electric Works, Ltd., Osaka, Japan) は、12 秒ごとの加速度を記録することが可能な 3 次元加速度計である。METs への換算式は以下の通りである。

EE(kcal/min) = ax × BMR (kcal/day) + REE (kcal/min)

METs = kcal (min) / REE (kcal/min)

EE : energy expenditure

a : coefficient

x : 加速度計のカウント数

BMR : 体表面積あたりの基礎代謝基準値

REE : BMR × 1.2

4. 基礎代謝量 (BMR)

被験者に仰臥位での安静状態を 30 分間保持させた後、ダグラスバッグを用いて 10 分間の呼気を 2 回採取した。採取した呼気の酸素濃度および二酸化炭素濃度を質量分析計 (ARCO-1000, Arco System Inc., Chiba, Japan) により測定した。また、呼気量を乾式ガスメータ (DC-5, SHINAGAWA Co., Ltd., Tokyo, Japan) により測定した。測定値は 2 回の平均値とし、Weir (1949) の式を用いて BMR を算出した。

5. 身体活動時のエネルギー消費量

日常生活活動として座位安静、パソコン作業、掃除機かけ、洗濯物干し、皿洗い、歩行活動として階段降り、階段昇り、ゆっくり歩行 (55m/min)、普通歩行 (70m/min)、速歩 (100m/min)、物 (3kg のかばん) を持って歩行 (70m/min) およびジョギング (原則として 140m/min) を対象者に行ってもらい、各身体活動中の呼気を採取して、エネルギー消費量を求めた。それを座位安静時エネルギー消費量で除して、METs を算出した。

6. 倫理面への配慮

本研究は、独立行政法人 国立健康・栄養研究所「研究倫理審査委員会(ヒトゲノム・遺伝子解析を除く研究に関する部会)」の許可を得て実施した。測定にあたって、対象者に測定の目的、利益、不利益、危険性、データの管理や公表について説明を

行い、書面にて同意を得た。データは厳重に管理し、外部に流出することがないようにした。測定に伴う危険性はない。

C. 研究結果

LCでは、「運動強度」とMETsとの関係が日常生活活動と歩行活動で大きく異なることが明らかになった。一方、ATとAMでは合成加速度とMETsとの関係において日常生活活動と歩行活動が1本の直線式に収束する傾向にあった(Figure 1)。ただし、ATにおいては日常生活活動と歩行活動の関係性に違いが認められた。Midorikawa et al. (2007)の判別閾値に基づいた日常生活活動と歩行活動の判別率は、日常生活活動で23%~85%の感度を、歩行活動で97%以上の感度を有した(Table 2)。

LCにおける実測値と推定値を比較すると、歩行活動と比べて日常生活活動で過小評価された(Figure 2)。また、LCにより評価された歩数は、歩行活動時と比較して日常生活活動時で極端に少なかった(Table 3)。

一方、ATとAMでは歩行活動だけでなく、日常生活活動においても良好な推定精度で評価できることが明らかになった。ただし、日常生活活動の内容によって、それぞれ過小評価あるいは過大評価されることが明らかになった(Figure 2)。また、ATはAMと比較して、すべての日常生活活動において実測値との差異が小さい傾向にあった。

D. 考察

本研究は、1次元または3次元という加速度計の軸の相違だけでなく、特徴的なアルゴリズムを備えた3種類の加速度計による活動強度の評価精度について検討した。LCにより歩行と認識されるためには、初回の加速度信号が検出された後、1.5秒以内に2回目の信号が検出されることおよび加速度が規定の閾値に達することが条件付けられている。そして、その歩数と上下方向の加速度の大きさから「運動強度」が決定される(Mcclain et al. 2007)。また、歩行時において、LCの「運動強度」とMETsとの間には有意な関係がみられることが報告されている(Kumahara et al. 2004)。しかしながら、LCにより評価されたTEEは、二重標識水法により評価されたTEEと比較して有意に過小評価されることが複数の研究により明らかにされている(田中, 2006)。

この点について、本研究では、TEEが過小評価される要因の1つとして、日常生活活動を適切に評価しきれていないことを明らかにした(Figure 2)。おそらく、LCのアルゴリズムに従えば、日常生活活動のような加速度が断続的に出現する活動では、歩行としての認識がなされていないことが考えられる。実際に、1分間当たりの歩数を日常生活活動と歩行活動とで比較すると、歩行活動において極端に歩数が少ない(Table 3)。このことが、日常生活活動時の活動強度が低く見積られる結果につながっているものと予想される。

また、歩行活動では階段昇りが過小評価されていた。ただし、1日の中で行う階段昇りの合計時間を考えた場合、エネルギー消費量としてはさほど問題にならないの

かもしれない。これらのことから、日常生活の中で、今回の日常生活活動の比重が大きいほど、先に述べた TEE の過小評価が説明できると考えられる。

一方、3次元加速度計の場合は、階段昇りを除くと、実測値と推定値との差異において日常生活活動と歩行活動との間に大きな相違は認められていない。特に、AT では Midorikawa et al. (2007) の判別方法を適用したことが、より良好な精度を保持することにつながったと考えられる。日常生活活動の中でも荷物運びは、歩行活動と動作様式が類似しているため判別が難しく (Table 3)、そのことが比較的大きな誤差を引き起こしたものと考えられる (Figure 2)。また、掃除機および皿洗いについても判別率が 70%程度に留まっており、判別の精度を高められれば推定精度の改善できるはずである。

ただし、日常生活の中で、日常生活活動と歩行活動や活動のタイプがどのような割合で観察されるか、現時点ではわからない。したがって、本研究での AT と ME の差異が TEE にもそのまま反映されるとは限らない。この点について、Leenders (2006) は歩行時の加速度とエネルギー消費量との関係から得られた推定式はいずれも、TEE を約 10%かそれ以上過小評価する傾向がみられたが、日常生活活動と歩行活動を含めた推定式では、必ずしもそのような傾向がみられないことを示唆している。

一方、我々は、オムロン・ヘルスケア (株) と共同で、新規の 3次元加速度計を開発し、検知された加速度とそこから重力加速度を除去した加速度との比を用いてしており、日常生活活動と歩行活動を 100%に近

い確率で判別することを可能にした。

Figure 3 は、本研究と同様の身体活動を実施した際の推定誤差を示している。本研究では、既存の加速度計についてはこれらの身体活動の推定精度を評価したのに対し、Figure 3 は、これらの身体活動から推定法を開発し、その交差妥当性の検討結果である。その点では、既存の加速度計の推定精度と単純に比較できないが、日常生活活動、歩行活動ともに良好な結果が得られた。特に、日常生活活動に改善が認められたが、新たなアルゴリズムによる判別率の向上がその大きな要因ではないかと考えられる。

ただし、今回の評価精度の改善は、ある特定の活動によって得られた結果である。今後は、既存の加速度計も含め、活動の種類をさらに増やして検討することや、様々な対象者の日常生活における TEE の評価精度についても検討を進める予定である。

E. 結論

LC では、日常生活活動時の活動強度を評価することは難しいことが明らかになった。一方、AT と AM では歩行活動だけでなく、日常生活活動においても良好な推定精度で評価できたが、日常生活活動と歩行活動を独自の推定式から評価する AT では、AM と比較して大半の活動で推定精度が良好であった。

また、新規の加速度計でも、日常生活活動と歩行活動の判別により、特に日常生活活動時の活動強度の評価に改善が認められている。以上のように、歩行だけを評価の対象とした加速度計では日常生活活動

は十分に評価できないが、アルゴリズム等の工夫によって日常生活活動もある程度評価できることが明らかとなった。

F. 研究発表

1. 学術論文

Midorikawa T, Tanaka S, Kaneko K, Koizumi K, Ishikawa-Takata K, Futami J, Tabata I. Evaluation of low-intensity physical activity by triaxial accelerometry. *Obesity*. 15: 3031-8, 2007.

Tanaka C, Tanaka S, Kawahara J, Midorikawa T. Triaxial accelerometry for assessment of physical activity in young children. *Obesity*. 15: 1233-1241, 2007.

田中千晶, 田中茂穂, 河原純子, 緑川泰史. 一軸加速度計を用いた幼児の身体活動量の評価精度. *体力科学* 56: 489-500, 2007.

2. 学会発表

引原有輝, 田中茂穂, 大河原一憲, 高田和子, 三宅理江子, 田栗恵美子, 田畑泉. 加速度計を用いた身体活動強度の評価の妥当性. 日本体力医学会, 2007, 秋田大会.

大河原一憲, 田中茂穂, 引原有輝, 高田和子, 大島秀武, 川口加織, 土井龍介, 田畑泉. 1次元および3次元合成加速度を用い

た歩行と日常生活活動強度の推定. 日本体力医学会, 2007, 秋田大会.

Ohkawara K, Tanaka S, Hikihara Y, Ishikawa-Takata K, Oshima Y, Kawaguchi K, Doi R and Tabata I. Validity of triaxial accelerometry for assessing the intensity of various physical activities during daily living. The North American Association for the Study of Obesity, 2007, Louisiana, New Orleans.

Oshima Y, Kawaguchi K, Doi R, Ohkawara K, Hikihara Y, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Ebine N, Aoki K, Misumi J and Tabata I. Contribution of Sedentary, Locomotive and Lifestyle Activity in Daily Life Assessed by a Triaxial Accelerometer. Recent Advances and Controversies in the Measurement of Metablism, 2007, Colorado, Denver.

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

Table 1 対象者の身体的特徴

	Male (n=33)	Female (n=32)
Age (yrs)	41.8 ± 14.0	43.1 ± 12.8
Height (cm)	169.6 ± 6.2	158.0 ± 5.2
Weight (kg)	67.3 ± 14.1	55.6 ± 9.6
BMR (kcal)	1482 ± 172	1189 ± 107

BMR, basal metabolic rate

Table 2 日常生活活動と歩行活動との判別率

classification	kind of physical activity	lifestyle activity (%)	locomotive activity (%)
lifestyle activity	desk work	100%	0%
	vacuum	72%	28%
	laundry	69%	31%
	wash dishes	85%	15%
	carry a baggage	23%	77%
locomotive activity	climbing down stair	2%	98%
	climbing up stair	2%	98%
	slow walk (55m / min)	3%	97%
	normal walk (70m / min)	2%	98%
	brisk walk (100m / min)	2%	98%
	jogging (140m / min)	0%	100%

判別方法は、Midorikawa et al.(2007)の判別閾値に基づいて行った。

(AT を用いた場合)

Table 3 各活動中の1分間あたりの歩数

	rate of steps
desk work	0.0 ± 0.0
vacuum	6.8 ± 8.0
laundry	1.6 ± 2.6
wash dishes	0.3 ± 1.6
carry a baggage	44.4 ± 9.4
climbing down stair	104.1 ± 14.6
climbing up stair	90.9 ± 13.9
slow walk	100.0 ± 6.8
normal walk	111.1 ± 6.2
brisk walk	121.0 ± 6.8
walk with a baggage	115.5 ± 6.0
jogging	161.0 ± 25.5

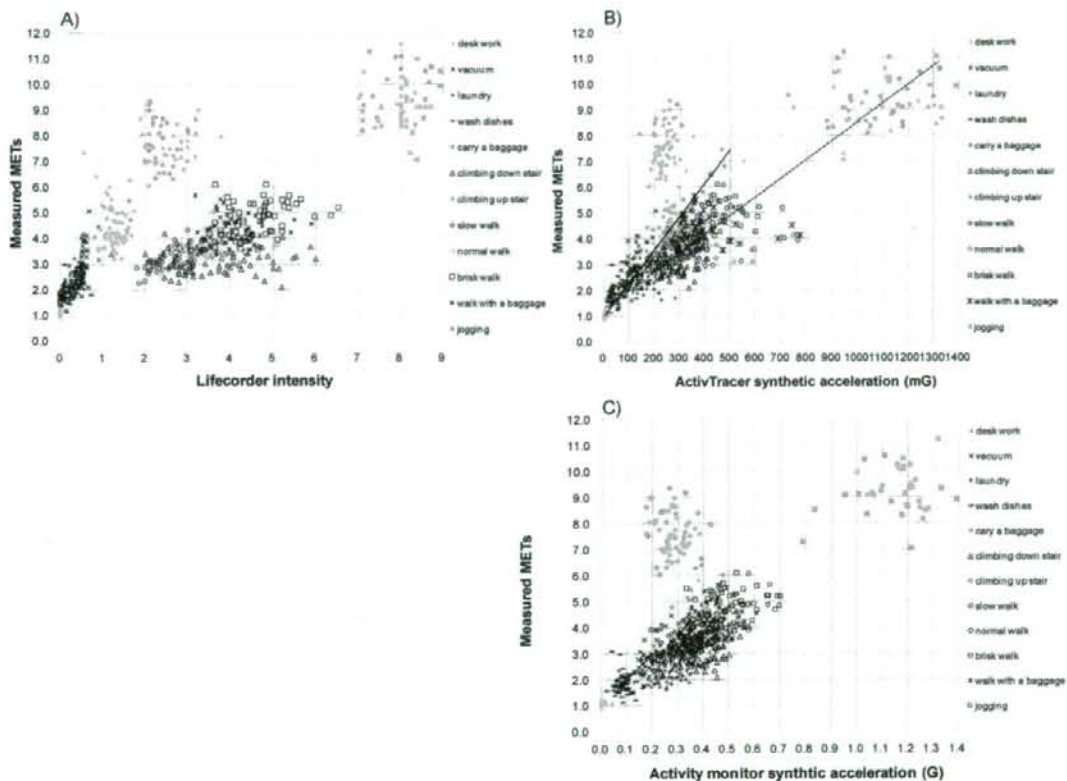


Figure 1 実測値と運動強度 (Lifecorder) および合成加速度 (ActivTracer、activity monitor) との関係 (A: Lifecorder、B: ActivTracer、C: activity monitor)

注) B (ActivTracer) の場合のみ、実線は日常生活活動の関係を、点線は歩行活動の関係を示す

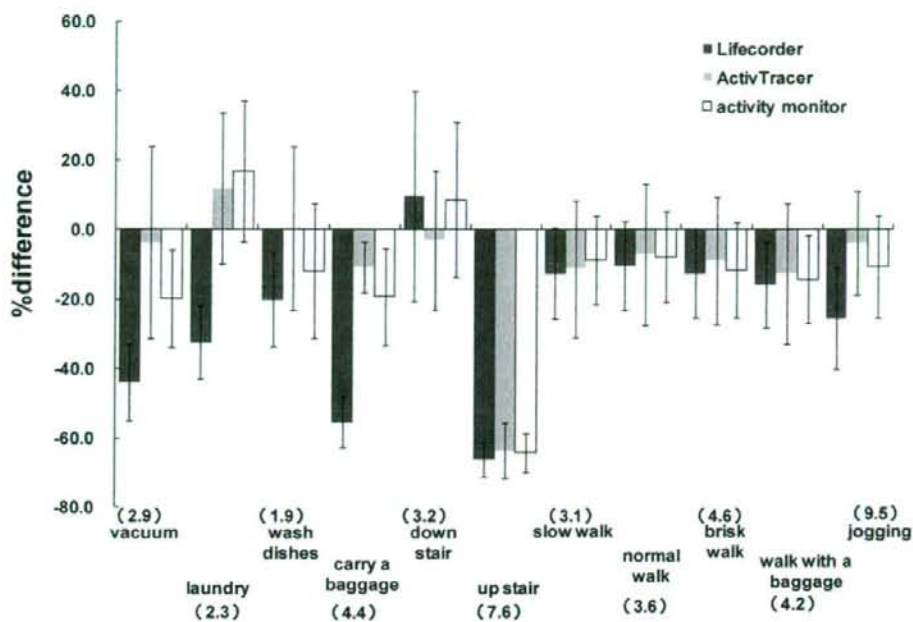


Figure 2 実測値 (METs) と各加速度計による推定値 (METs) との差異 (n=66)

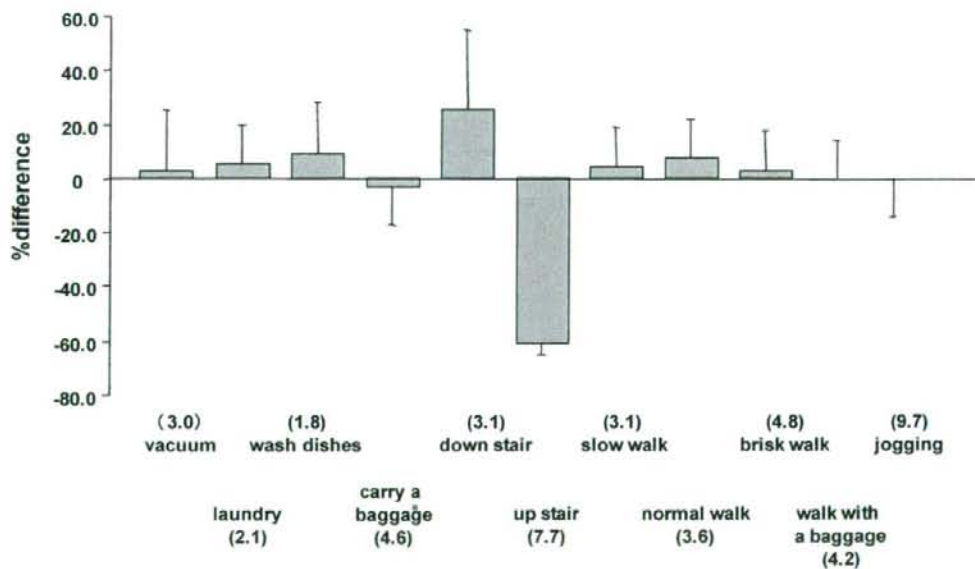


Figure 3 実測値 (METs) とOHによる推定値 (METs) との差異 (n=22)

加速度計を用いた総エネルギー消費量の評価の妥当性

研究分担者	高田 和子	(独) 国立健康・栄養研究所	健康増進プログラム	
			エネルギー代謝プロジェクト	上級研究員
研究協力者	田中 茂穂	〃	エネルギー代謝プロジェクト	リーダー
	引原 有輝	〃	エネルギー代謝プロジェクト	特別研究員
	大河原 一憲	〃	エネルギー代謝プロジェクト	流動研究員
	海老根 直之	大分大学医学部	人間環境・社会医学講座	助手
	佐々木 敏	東京大学大学院	医学系研究科 公共健康医学専攻	
			疫学保健学講座 社会予防疫学分野	教授

本研究は、特徴的なアルゴリズムを備えた1次元加速度計と3次元加速度計により推定した総エネルギー消費量(Total energy expenditure: TEE)の妥当性について、二重標識水法(Doubly labeled water: DLW)との比較により検討することを目的とした。

健康な成人男女について、基礎代謝量(Basal metabolic rate: BMR)を測定後、1次元(鉛直方向)加速度計(Lifecorder: LC)、3次元(前後、上下、左右)加速度計(Activity monitor: ME、Active style Pro: OH)を装着させた上で、およそ2週間にわたりTEEを測定した。今年度は、解析の終了している13名(男性6名、女性7名)について報告する。

LCにより推定されたTEEは、DLW法のそれと比較して有意に過小評価された。一方、MEおよびOHでは、有意差が認められなかった。OHでは、特に日常生活活動をより適切に評価することをねらいとした推定式が用いられており、これがLCの妥当性との差異が生じた要因と考えられる。今後は、対象特性による、歩行以外の日常生活活動の割合や各加速度計の妥当性の相違について検討する必要がある。

A. 研究目的

昨年度、厚生労働省より「健康づくりのための運動基準」が策定された。そこでは生活習慣病の予防策として、運動に限らず、3METs以上の身体活動を少なくとも60分間、毎日行うことが重要であるとしている。この3METs以上に相当する代表的な身体活

動は、歩行活動であるが、それ以外に掃除機かけ、庭仕事など日常生活活動中にも含まれていることが考えられる。そのため、歩行活動だけでなく日常生活活動を適切に評価することが望まれる。

近年、加速度計による身体活動の評価に関心が高まっており、本邦においても1次元加速

度計(Lifecorder, SUZUKEN Co Ltd., Nagoya, Japan)が広く普及している。この加速度計の特徴として、主にゆっくり歩行からジョギングまでの身体活動強度を評価することに優れているが(Kumahara et al., 2004)、機器の測定原理上、日常生活活動を評価しきれない可能性が指摘されている(引原ら、2007)。一方、3次元加速度計の方が、比較的低強度の活動を定量化することが可能であると考えられている(Westerterp, 1999)。更に、成人を対象とした場合、3方向の加速度情報からより正確にMETsやPARを推定できることが報告されている(Midorikawa et al., 2007)。Midorikawa et al.の提案している推定式の特徴は、上下方向と水平方向と加速度の比率を応用して、得られた加速度データを日常活動と歩行活動に分類し、それぞれの推定式からエネルギー消費量や活動強度を推定することで評価精度が高まる点である。このように、軸が1次元か3次元かという違いだけでなく、加速度計がもつ推定式によってもそれらの評価精度が異なることが認められている(Scott et al., 2005)。これまで、日常生活をいくつかの活動に細分化し、その活動中の消費エネルギー量やMETsの推定精度を検討した研究は比較的多いが、1日全体の総エネルギー消費量(Total energy expenditure: TEE)を評価項目として、複数の加速度計によるTEEの妥当性について検討した研究は少ない。

そこで、本研究は、特徴的なアルゴリズムを備えた1次元加速度計および3次元加速度計により推定したTEEの妥当性について二重標識水法(Doubly labeled water: DLW)との比較により検討することを目的とした。本研究は、日常生活活動中のエネルギー消費量をより適切に評価することにより、DLW法によるTEEとの

誤差が小さくなるという仮説に基づいている。

B. 研究方法

1. 被験者

男性6名(42.5±11.6歳)、女性7名(34.6±7.1歳)を対象とした(Table 1)。被験者の主な職業は医療事務職員、保健師、看護師であった。

2. 測定手順

測定初日に、早朝空腹条件下で基礎代謝量を測定した。その後、ベースラインとなる尿を20ml採取し、体重で規定された量のDLWを経口投与した。また、148-日間に8回、同時刻に採取するように指示した。さらに、DLW法によるTEEの測定期間において、3つ加速度計を腰部に装着させ、通常の日常生活条件下で2週間過ごすよう指示した。

3. 加速度計

1) Lifecorder EX

この加速度計(LC)は、1次元加速度計であり、主に歩行や走行活動をより正確に評価することをねらいとしている。この機器は、ヒトの活動を4秒間の加速度の出現頻度と大きさから運動強度を11段階に分類することが可能である。また、エネルギー消費量への換算については機器に内蔵された推定式(Kumahara et al., 2004)を用いて自動的に行われる。

$$\text{PAEE (kcal)} = \text{Ka} \times \text{Weight (kg)} \cdots \text{①}$$

$$\text{Inactive EE (kcal)} = \text{Kx} \times \text{BMR} \cdots \text{②}$$

$$\text{TEE (kcal)} = \text{BMR} + 0.1\text{TEE} + \text{PAEE} + \text{Inactive EE} \cdots \text{③}$$

PAEE: 活動時に付加されたエネルギー消費量

Ka, Kx: 係数

Inactive EE : “微小運動”時のエネルギー消費量

BMR : 基礎代謝量

2) Activity monitor (Matsushita Electric Works, Ltd., Osaka, Japan)

この加速度計 (ME) は、3次元加速度計であり、12秒ごとに3方向 (上下、前後、左右) の加速度の大きさを記録することが可能である。そして、3方向の合成加速度を1本の直線回帰式に外挿することでエネルギー消費量が算出される。

$$EE(\text{kcal}/\text{min})=ax \times \text{BMR}(\text{kcal}/\text{min})+REE(\text{kcal}/\text{min}) \cdots \textcircled{1}$$

$$TEE(\text{kcal})=EE \times 1440 \text{ min} \cdots \textcircled{2}$$

EE : 毎分のエネルギー消費量

a : 係数

x : 加速度計のカウント数

REE : 座位安静時代謝量

3) Active style Pro (Omron Healthcare Co., Ltd., Kyoto, Japan)

この加速度計 (OH) もまた、3次元加速度計である。特徴的な点は、フィルター処理前後の加速度の比から日常生活活動と歩行活動とに分類し、それぞれの直線回帰式から METs を推定することが可能な点である。また、消費エネルギー量は、Ganpule et al. (2007) の推定式から BMR (kcal/min) を算出し、それを1.1倍した上で、METs と活動時間を乗じて算出した。

$$\text{counts}/\text{min} : \leq A \text{ ならば、Sedentary formula} \\ \text{METs} = b + ax \cdots \textcircled{1}$$

$\text{counts}/\text{min} : > A$, and Ratio : $\leq B$ ならば、
lifestyle activity formula

$$\text{METs} = d + cx \cdots \textcircled{2-1}$$

Ratio : $> B$ ならば、locomotive activity formula
 $\text{METs} = f + ex \cdots \textcircled{2-2}$

$$\text{PAEE}(\text{kcal}) = \text{METs} \times 1.1 \text{BMR} \times \text{time}(\text{min}) - \text{BMR} \cdots \textcircled{3}$$

$$\text{TEE}(\text{kcal}) = \text{PAEE}_{\text{sed}} + \text{PAEE}_{\text{life}} + \text{PAEE}_{\text{locom}} + \text{DIT} + \text{BMR} \cdots \textcircled{4}$$

A and B : thresholds

a-f : 係数

x : 加速度計のカウント数

PAEE_{sed}, PAEE_{life}, PAEE_{locom} : それぞれ、sedentary, lifestyle activity, locomotive activity により付加されたエネルギー消費量

DIT : diet induced thermogenesis

1. 倫理面への配慮

独立行政法人国立健康・栄養研究所「研究倫理審査委員会 (ヒトゲノム・遺伝子解析を除く研究に関する部会)」の承認を得て実施した。被験者には、研究の目的、利益、不利益、危険性およびデータの管理や公表について事前に説明を行い、同意を得た上で測定を開始した。また、データは個人情報保護法に基づき厳重に管理し、外部に流出することがないように細心の注意を払った。

C. 研究結果

被験者の平均歩数は 7018±3900 歩であった。また、DLW 法による TEE および PAL (Physical activity level = TEE/BMR) は、それぞれ 2252±421kcal、1.85±0.27 であった (Table 2)。LC による TEE は、DLW 法のそれと比較して有意に過小評価 (-13.5±11.0%) されたが、ME (-1.0±12.5%) および OH (-0.9±11.3%) では有意差が認められなかった (Figure 1)。一方、すべての

加速度計による TEE と DLW 法との間には有意な相関係数が得られた (LC : 0.79, ME : 0.79, OH : 0.83) (Figure 2)。

D. 考察

本研究は、特徴的なアルゴリズムを持ち備えた3つの加速度計から求めた TEE の妥当性について検討した。その結果、歩行、走行の評価をねらいとしている LC では、DLW 法の TEE と比較して有意に過小評価された。LC から出力される運動強度は、4秒間の歩数と加速度の大きさから決定され、METs との間に有意な関係を有することが報告されている (Kumahara et al., 2004)。特に、歩数として認識されるためには初期の加速度信号が検知された後、1.5 秒以内に2回目の信号が検知されることおよび加速度が既定の閾値に達することが必要である。したがって、日常生活活動 (掃除機かけ、洗濯物干しなど) は、歩行・走行活動のように持続的に信号が検出される場合とは異なり、加速度の出現は断続的であると考えられるため、歩数としての認識がなされていない可能性がある。このことから、日常生活活動の運動強度そのものが過小評価される結果となり (引原ら, 2007)、結果的にはエネルギー消費量も低く見積もられることにつながったものと予想される。

一方、2種類の3次元加速度計による TEE と DLW 法のそれとの間では、有意な差が認められなかった。我々の予想通り、2種類の3次元加速度計は、日常生活活動も評価することを目的としてつくられており、日常生活活動を適切に評価することが DLW 法による TEE との誤差を最小限に留める結

果につながったものと考えられる。しかし、日常生活活動と歩行活動をそれぞれの回帰式から推定する OH と1本の直線回帰式で推定している ME とともに、DLW 法の TEE に対して同程度の良好な結果が認められている。すなわち、3軸の加速度情報に基づいて日常生活活動であることを判別し、それ独自の回帰式を用いてエネルギー消費量を推定したとしても TEE に大きな差異をもたらさないということになる。

ただし、この結果については、被験者の活動特性 (職業柄) を考慮しておきたい。本研究の被験者は、主に看護師、保健師などに従事する医療関係者であった。彼らの歩数は標準的 (7018 ± 3900 歩) であるのに対して、PAL が 1.85 ± 0.27 であり、平均的な日本人の活動レベルとしてはやや大きい。したがって、歩行以外の活動に伴うエネルギー消費量も比較的多かったものと予想される。我々の未発表データ (本年度の別の分担研究報告書を参照) によると、ME を用いた場合、掃除機かけ、洗濯物干し、皿洗いの日常生活活動の推定式の延長線上に歩行活動の推定式が位置するが、日常生活活動の活動内容によっては、過大評価するものと過小評価するものが存在することも明らかになっている。それに対し、同様の活動における OH の推定誤差はかなり小さい。本研究の被験者の活動は、ME により過大評価される活動と過小評価される活動が同程度に存在し、TEE に大きな誤差を生じさせなかったことも考えられる。一方で、我々の行った妥当性の検討は限られた種類の活動で行っており、それらと異なるタイプの活動が寄与している可能性も否定はできない。

今後は、これらの特徴的なアルゴリズムを持ち備えた加速度計が被験者の職業（活動特性）、活動レベルなどに応じた評価精度の特徴を認識し、より適切な身体活動量の評価法を確立する必要がある。

E. 結論

LCにより推定されたTEEは、DLW法のそれと比較して有意に過小評価された。一方、MEおよびOHでは、有意差が認められなかった。これら2種類の3次元加速度計は、特に日常生活活動をより適切に評価することをねらいとした推定式が用いられており、LCの結果との差異が生じた要因と考えられる。今後は、対象特性による歩行以外の日常生活活動の割合や、各加速度計の妥当性の違いについて検討する必要がある。

F. 研究発表

1. 学術論文

Ishikawa-Takata K, Tabata I, Sasaki S, Rafamantanantsoa HH, Okazaki H, Okubo H, Tanaka S, Yamamoto S, Shiota T, Uchida K, Murata M. Physical activity level in healthy free-living Japanese estimated by doubly labelled water method and International Physical Activity Questionnaire. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 2007, Epub ahead of print.

2. 学会発表

引原有輝、田中茂穂、大河原一憲、高田和子、三宅理江子、田栗恵美子、田畑泉. 加速度計を用いた身体活動強度の評価の妥当性. 日本体力医学会、2007、秋田大会.
大河原一憲、田中茂穂、引原有輝、高田和

子、大島秀武、川口加織、土井龍介、田畑泉. 1次元および3次元合成加速度を用いた歩行と日常生活活動強度の推定. 日本体力医学会、2007、秋田大会.

Ohkawara K, Tanaka S, Hikihara Y, Ishikawa-Takata K, Oshima Y, Kawaguchi K, Doi R and Tabata I. Validity of triaxial accelerometry for assessing the intensity of various physical activities during daily living, The North American Association for the Study of Obesity, 2007, Louisiana, New Orleans.

Hikihara Y, Tanaka S, Ishikawa-Takata K, Ohkawara K, Ebine N, Aoki K, Misumi J and Tabata I. Comparison of three accelerometers for assessment of total energy expenditure against doubly Labeled water method under free-living conditions, Recent Advances and Controversies in the Measurement of Metablism, 2007, Colorado, Denver.

Oshima Y, Kawaguchi K, Doi R, Ohkawara K, Hikihara Y, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Ebine N, Aoki K, Misumi J and Tabata I. Contribution of Sedentary, Locomotive and Lifestyle Activity in Daily Life Assessed by a Triaxial Accelerometer, Recent Advances and Controversies in the Measurement of Metablism, 2007, Colorado, Denver.

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし