

図7. 二重標識水法と各測定方法間の相関 (1日のエネルギー消費量)

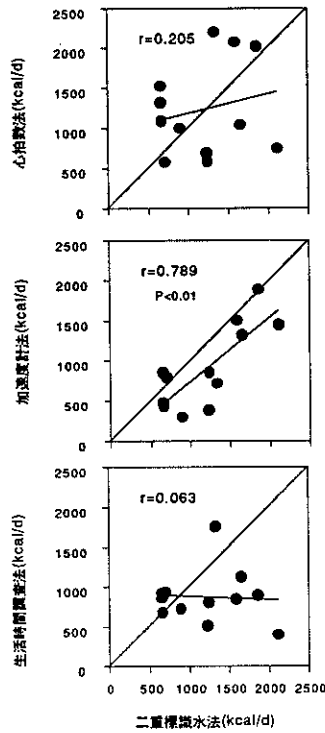


図8. 二重標識水法と各測定方法間の相関 (活動代謝量)

2日と最小値2日)をそれぞれ示したものである。最大値2日による1日の総エネルギー消費量は $3,746 \pm 663$ kcal、最小値2日によるそれは $2,437 \pm 479$ kcalであり、14日間の測定値との間にそれぞれ0.1%以下の有意な差が認められた。

図7は、DLW-EEと各測定方法によるエネルギー消費量の関係をグラフに示したもので

ある。加速度計法によるエネルギー消費量にのみ、 $r=0.762$ とDLWの値と有意な相関が認められた ($p<0.01$)。

図8は、活動代謝量におけるDLW-EEと各測定方法との関係を示したものである。DLW-EEとAcc-EEとの間には $r=0.789$ の有意な正の相関関係が認められた。

図9は、DLW-EEと各測定方法の一致度をBland & Altmanの方法に基づいてプロットしたものである。実線は2方法間の差の平均値を、破線は方法間の差の2標準偏差である一致限界を示している。poly-EEはDLW-EEとの差が

一番小さく+3%と算出されたが、差の一致限界は51%から-45%と広く算出された(差の平均値25kcal、 $\pm 2SD: 1424 \sim -1373$ kcal)。逆にAcc-EEとDLW-EEは、差は-10%と大きかったが、一致限界は12%から-32%までと、最も狭く算出された(差の平均値-301kcal、 $\pm 2SD: 364$ から-967kcal)。生活時間調査法は方法間の平均測定値と差の間に負の関係がみられた。

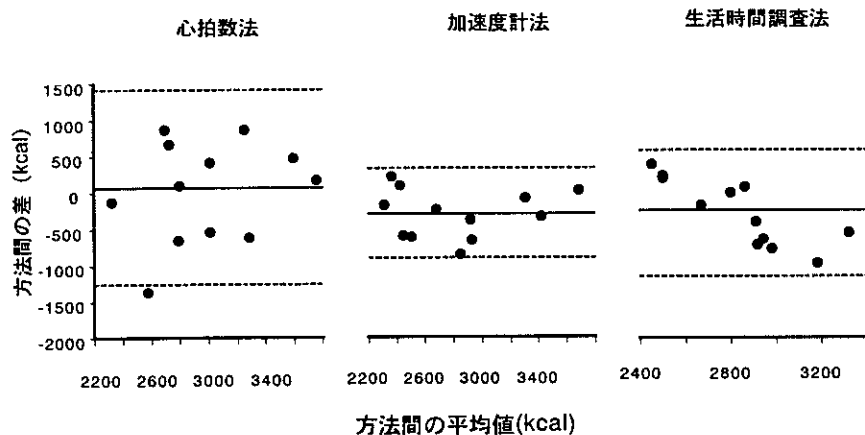


図9. 二重標識水法と各測定方法間の差

D. 考察

1. 心拍数法

心拍数法による日常生活活動時の1日の総エネルギー消費量の推定精度は二重標識水法との比較されることが多い。一般人を対象とした場合には、二重標識水法による1日の総エネルギー消費量の測定には10~14日を要し、その間の総エネルギー消費量の平均値で1日の総エネルギー消費量は表される。しかし、これまでの心拍数法による1日の総エネルギー消費量の推定精度を検討した研究では、二重標識水法による1日の総エネルギー消費量の測定期間中に心拍数は1週間に2、3日記録され、その結果をもとに推定された1日の総エネルギー消費量が平均値とされる場合が多い(表3)。図5にも示されているように、心拍数法による日常生活活動時の1日の総エネルギー消費量は一定でなく、変動がみられることから、1週間に2、3日の測定結果と二重標識水法との比較による推定精度の検討は不十分であると考えられる。

図10は、これまでに青年男子を対象に行わ

れた二重標識水法により測定された1日の総エネルギー消費量と心拍数法により推定された1日の総エネルギー消費との差を示したものがある。これらの先行研究では、両者の差は-12%から+20%の範囲であった。

本研究においては、心拍数法による1日の総エネルギー消費量の推定値は図5に示されているように、日々の変化がみられたが、14日間の平均値は二重標識水法に比べて約3%高く(+25±700kcal/日)推定された。このことから、本研究の心拍数法による1日の総エネルギー消費量の推定精度はこれまでの報告の中でも高いほうに分類されるものと考えられる。

また本研究では、従来の研究のように心拍数法によるエネルギー消費量を1週間に2日間測定し、その平均値を1週間の代表値として二重標識水法による測定値と比較した場合、心拍数法と二重標識水法との差は大きくなることが認められた(図6)。このことから、これまでの心拍数法による1日の総エネルギー消費量の推定精度は心拍

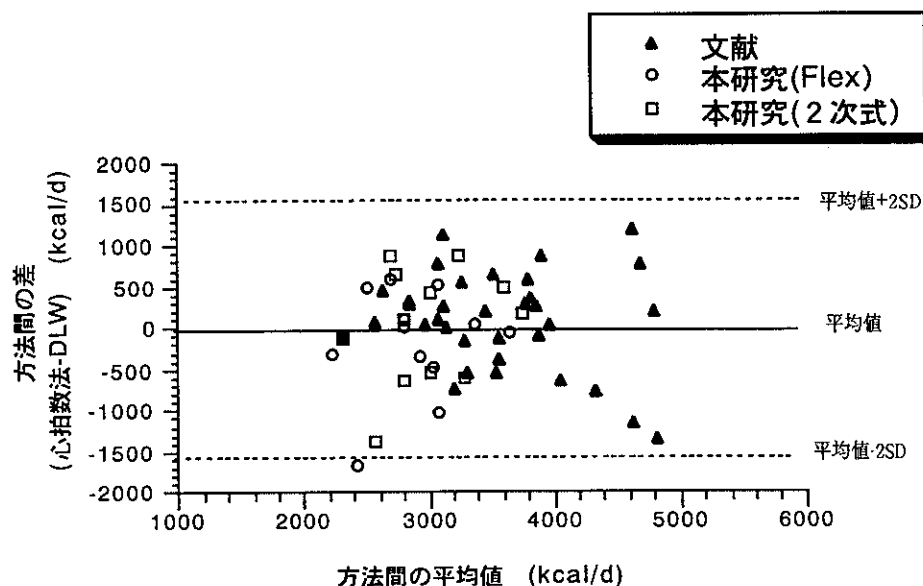


図10. 心拍数法と二重標識水法によるエネルギー消費量の関係

表3. 二重標識水法（またはチャンバー）と心拍数法による1日のエネルギー消費量を比較した研究

文献 No.	著者名	発表年度	人数	年齢範囲 (平均±標準偏差)	参照方法	期間	参照値測定期間	回帰式	運動負荷方法	平均値	標準偏差	範囲 最大値	最小値
10	Spurr	1988	16M+6F	18-66	Calorimeter	22h	22h	Flex	C	2.7		-15.0	22.0
5	Ceesay	1989	11M+9F	17-36	Calorimeter	21h	21h	Flex	S, C	-1.2	6.2	-11.4	10.6
11	Schulz	1989	4M+2F	20-30	DLW	2d	14d	Liner	C	9.8	20.3	-21.0	48.0
						2d	14d	2nd Order	C	15.3	6.1	-15.0	51.0
						2d	14d	Two line	C	17.2	17.5	-21.0	48.0
12	Livingstone	1990	9M+5F	17-46	DLW	2d	14d	Log	C	-12.2	11.0	-29.0	8.0
						2-4d	14-15d	Flex	S, C	2.0	17.9	-22.0	52.0
13	Heini	1991	7F	22-32	DLW	1-4d	12-15d	Flex	T	9.4	18.2	-16.0	31.0
						1-4d	12-14d	Flex	T	9.0	4.1	-25.0	39.0
14	Lovelady	1993	25F(pregnant) 9F(lactating)	(31.3±5.0)	DLW	8d	8d	Two line	T,C	-5.8	13.0	-27.0	18.0
15	Emos	1992	9M	7-11	DLW	1d	14d	Linear	T	16.0			
						1d	14d	Two lines	T	24.0			
16	Maffei	1995	3M+4F 4M+2F (Obese)	(9.3±0.6) (9.1±1.5)	DLW	1d	1d	Linear	T	6.0			
						5-6d	8d	Flex	T	0.2	3.2	-4.0	12.0
17	Racette	1995	14F	21-47	DLW	1d	14d	Two lines	T	28.0			
						5-6d	8d	Flex	T	6.2	1.8	-3.0	9.0
18	Heine	1996	8M	20-33	DLW	3d	14d	Two lines(3METS)	T	0.9	14.1	-24.0	25.6
19	Davidson	1997	9M	25-54	DLW	2-3d	12d	Flex	T	3.2	22.9	-24.4	43.9
						9d	9d	2nd Order	W,S,T,C	6.0	4.2	-16.5	27.9
20	Morio	1997	6M	(70±3)	DLW	4d	17d	The best fitted	W,,T,C	11.6	7.6	4.6	24.6
						4d	17d	relationship	W,,T,C	7.6	4.2	3.9	13.6
21	Kashiwazaki	1999	5M+5F	18-65	DLW	2d	14d	Linear	S	19.7	38.1	-25.0	83.0
						2d	14d	Log	S	-3.1	24.8	-35.1	36.6
						2d	14d	Two lines	S	7.5	36.7	-34.3	73.5
						2d	14d	Two lines	S	5.3	35.4	36.2	71.6

運動負荷方法 C: 自転車エルゴメータ T: トレッドミル S: 階段昇降 W: 室内歩行

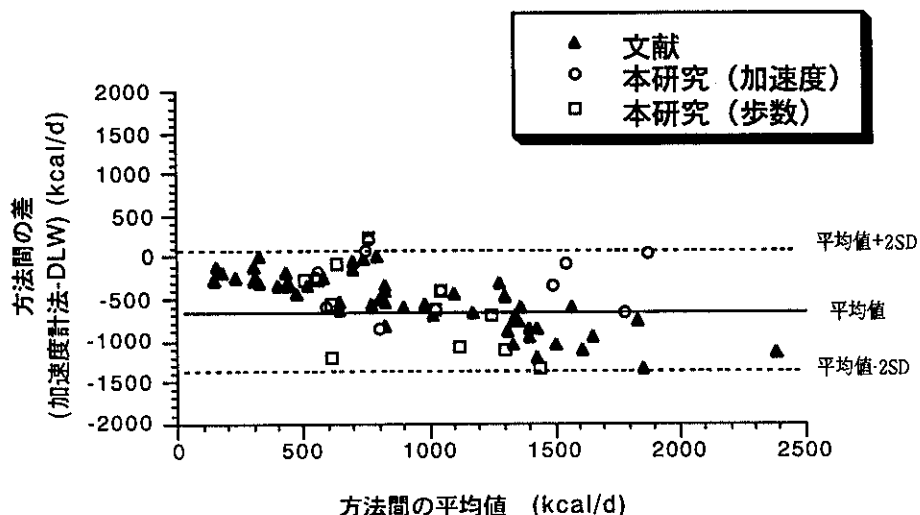


図11. 加速度計法と二重標識水法によるエネルギー消費量の関係

数の測定期間によっても異なる可能性があることが示唆された。

2. 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り、日常生活の身体活動量を測定する機器（器具）としての加速度計の有用性が高まってきている。

加速度計は垂直方向（1次元）または3次元の加速度の変化や積分値などから身体活動量の測定やエネルギー消費量の推定が試みられている。特に、加速度計によりエネルギー消費量を推定する場合、エネルギー消費量推定のアルゴリズムが問題なる。本研究では、トレッドミル負荷試験を実施し、酸素摂取量と加速度の関係式を個人毎に作成し、エネルギー消費量を推定した。その結果、二重標識水法に比べて、加速度計法は約10%低く（ -301 ± 333 kcal/日）推定された。本研究結果は、これまでの報告に比べて二重標識水法との差は少ない傾向にあった（表4および図11）。また、加速度計法は二重標識水法と有

意な正の相関関係が認められた。このことから、個人の1日の総エネルギー消費量の推定法として加速度計法は有用と考えられる。

今後、加速度計法によるエネルギー消費量の推定精度を高めるためには、日常生活における微小運動の検出精度を高めることや3次元の加速度センサーを内蔵した加速度計の改良などが必要と考えられる。

3. 生活時間調査法

わが国において、生活時間調査法はエネルギー消費量の推定法としてもっとも多く用いられている。本研究においては、二重標識水法に比べて生活時間調査法は約7%低く推定（ -265 ± 455 kcal/日）される傾向にあった。このような推定精度が得られた背景には、本研究の生活時間調査では、行動を1分単位で記録記録するようにしたことや起床時間と就寝時間をできるだけ正確に記入するようにしたことなどが考えられる。

一方、諸外国における二重標識水法と日記法、質問紙票法などとの比較では両者の差は -12.1% から $+0.5\%$ の範囲と報告されてい

表 4. 二重標識水法 (またはチャンバー) と加速度計法による 1 日のエネルギー消費量を比較した研究

文献 No.	著者名	発表年度	人数	年齢範囲	参照方法	期間	参照値の 測定期間		平均値	標準偏差	範囲	
							最大値	最小値				
22	Bray	1994	40F	10-16	Calorimeter	24h	24h	24h	-13.3	8.6	-36	4.8
23	Gardner	1998	20M+2F	53-88	DLW	2d	10d		30.9			
24	Starling	1999	32M+35F	45-84	DLW	9d	10d	+50-55				

表 5. 二重標識水法 (またはチャンバー) と生活時間調査法による 1 日のエネルギー消費量を比較した研究

文献 No.	著者名	発表年度	人数	年齢範囲	参照方法	参照値の測定		測定単 位 (分)	平均値	標準偏差	範囲 最大値	備考
						期間	期間					
11	Schulz	1989	4M+2F	20-30	DLW	14d	12d	15	-4.2	14.2	-20.5	21.3
25	Riumallo	1989	6M	20-32	DLW	7d	7d	15	-7.3	13	-25.3	22 (RMR基準)
19	Davidson	1997	9M	25-54	DLW	9d	9d	1	-5.6	9.9	-14.6	12.3
20	Mario	1997	6M 6F	70±3	DLW	14d	17d	1	-1.1	3.5	-5.6	3 (摂取量増加)
					DLW	14d	18	5	-12.1	4	-28.5	5.2
					DLW	14d	18	5	-0.6	4.8	-5.8	7.4
									0.5	2.8	-3.3	4.5

る。しかし、本研究で用いた生活時間調査法は個々の動作毎のRMRを代入し、エネルギー消費量を推定するわが国独自の方法であることから、諸外国の結果と直接比較することはできないと考えられる。

E. 結論

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 ($+3 \pm 24\%$) では高く、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。

【引用文献】

- 1) Montoye, H. J., Kemper, H. C. G., Saris, W. H. M & Washburn, R.A. (1996) .Measuring physical activity and energy expenditure. Human Kinetics, Champaign, IL, USA.
- 2) Jones, P. J & Leitch, C. A. (1993) .Validation of doubly labeled water for measurement of caloric expenditure in collegiate swimmers. Journal of Applied Physiology 74, 2909-2914.
- 3) Wong, W.W. (1996) .Total energy expenditure of free-living humans can be estimated with the doubly labeled water method. Adv. Food Nutr. Res. 40, 171-180.
- 4) Weir, J. B. D. V. (1949) . New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. Journal of Physiology 109, 1-9.
- 5) Ceesay, S.M., Prentice, A. M., Day, K. C., Murgatroyd, P. R., Goldbeg, G. R. & Scott, W. (1989) . The use of heart rate monitoring in the estimation of energy expenditure : a validation study using

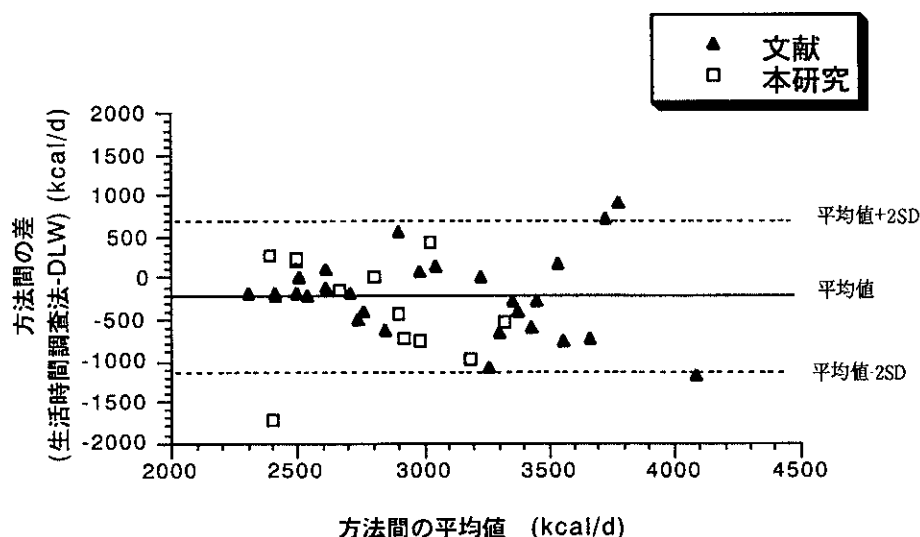


図12. 生活時間調査法と二重標識水法によるエネルギー消費量の関係

- indirect whole-body calorimetry. *British Journal of Nutrition* 61, 175-186.
- 6) 吉武 裕 他.平成8年度長寿科学報告書
 - 7) 吉武 裕 他.平成9年度長寿科学報告書
 - 8) 沼尻幸吉. (1979) 活動のエネルギー代謝. 労働科学研究所.
 - 9) Bland, J. M. & Altman. D.G. (1986) . Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* I .307-310.
 - 10) Spurr, G. B., Prentice, A. M., Murgatroyd, P. R., Goldberg, G. R., Reina, J. C. & Christman, N. T. (1998) . Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording : comparison with indirect calorimetry. *American Journal of Clinical Nutrition* 48,552-559
 - 11) Schulz,S., Westerterp, K. R. & Bruck, K. (1989) .Comparison of energy expenditure by the doubly labelled water technique with energy intake, heart rate, and activity recording in man. *American Journal of Clinical Nutrition* 49,1146-1154.
 - 12) Livingstone, M. B. E., Prentice, A. M. Coward, W. A., Ceesay,S.M., , Strain, J. J., McKenna, P. G., Nevin,G. B., Barker, M. E., & Hickey, R. J. (1990) .Simultaneous measurement of free-living energy expenditure by the doubly labelled water method and heart rate monitoring. *American Journal of Clinical Nutrition* 52,59-65.
 - 13) Heini, A., Schutz, Y., Daiz, E., Prentice, A.M., Whitehead., R. G. & Jequier, E. (1991) .Free-living energy expenditure measured by two independent techniques in pregnant and non-pregnant Gambian women. *American Journal of Physiology* 261,E9-E17.
 - 14) Lovelady C.A., Meredith, C. N., McCroy M. A., Nommsen,L. A., Joseph, L. J. & Dewey, K. G. (1993) . Energy expenditure in lactating women : a comparison of doubly-labelled water and heart-rate monitoring methods. *American Journal of Clinical Nutrition* 57,512-518.
 - 15) Emos, J. J., Groenenboom, D. C., Westerterp, K. R. & Saris, W. H. (1992) . Comparison of heart rate monitoring combined with indirect calorimetry and doubly labelled water (2H218O) method for the measurement of energy expenditure in children. *European Journal of Applied Physiology* 65, 99-103.
 - 16) Maffeis, C., Pinelli,L., Zaffanello, M., Schena, F., Iacumin,P. & Schulz, Y. (1995) .Daily energy expenditure in free-living condition in obese and non-obese children : comparison with doubly-labelled water (2H₂¹⁸O) method and heart-rate monitoring. *International Journal of Obesity* 19,671-677.
 - 17) Racette,S.B., Schoeller,D.A. &Kushner, R.F. (1995) .Comparison of heart rate and physical activity recall with doubly labeled water in obese women. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 27,126-133.
 - 18) Heine,A.F.,Minghelli,G.,Prentice,A.M.& Shutz,Y. (1995) .Free-living energy expenditure assessed by two different methods in rural Gambian men. *European Journal of Clinical Nutrition* 50,284-289.
 - 19) Davidson,L., McNeill, G., Haggarty, P., Smith, J. S. & Franklin,M.F. (1997) .Free-living energy expenditure of adult men assessed by continuous heart-rate monitoring and doubly labeled water. *British Journal of Nutrition* 78,695-708.
 - 20) Morio,B.,Ritz.P.,Verdier,E.,

Montaurier,C.Beaufreere,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. British Journal of Nutrition 78,709-722.

- 21) Kashiwazaki,H. (1999) .Heart rate monitoring as a field method for estimating energy expenditure as evaluated by the doubly labeled water method. Journal Nutrition Science Vitaminol 45.79-94.
- 22) Bray,M.S.,Womg, W.W.,Morrow, J.R., Butte, N.F. & Pivarnik, J. M. (1994) . Caltrac versus calorimeter determination of 24-h energy expenditure in female children and adolescents. Medicine and Science in Sports and Exercise 26,1524-1530.
- 23) Gardner,A.W.& Poehlman,E.T. (1998) . Assessment of free-living daily physical activity in older claudicants : validation against the doubly labeled water technique. Journal of Gerontology : Medical Sciences 53A, M275-M280.
- 24) Starling, R. D., Matthews, D.E.,Ades,P.A.& Poehlman, E.T. (1999) .Assessment of physical activity in older individuals : a doubly water study. The American Physiological Society 86,2090-2096.
- 25) Riumallo,J A. ,Schoeller, D., Barrera,G., Gattas, V. &Uauy, R. (1989) .Energy expenditure in underweight free-living adults : impact of energy supplementation as determined by doubly labeled water and indirect calorimetry. American Society for clinical Nutrition 49,239-246.

なし

2. 学会発表

- 1) 島田美恵子、吉武裕、西牟田守、田中宏暁、海老根直之、齋藤慎一：エネルギー消費量推定法の検討－二重標識水法との比較－. 第54回日本・栄養食糧学会大会発表予定

F. 研究発表

1. 論文発表

簡易なエネルギー消費量推定法の開発 —歩行動作および微小運動時の簡易エネルギー推定法の検討—

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 進藤宗洋,吉岡真由美,結城直哉（同）

熊原秀晃,国武和弘（同 体育学研究科）

22から80才までの歩行運動を行うに支障のない健常な男女計49名を対象に、日常動作で最も多く、かつ運動処方利用されている歩行動作時の簡易エネルギー消費量推定法として、1)Margaria法、2)加速度センサー法の有用性の検討を行った。その結果、1)2.4km/h～4.3km/hまでは0.55kcal/kg・kmでMargariaの0.5kcal/kg・kmに近似していた。しかし、それを越えると速度が増すにつれて高くなった。2)加速度センサーから推定したエネルギー消費量（EE）と実測EEには中高齢者でも高い相関関係が認められた（ $r=0.90$ ）。次に、24から58才までの健常な男女計10名を対象に、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の検討を行った。その結果、加速度センサーの強度レベルとメタボリックチャンパーによって測定されたEEとの間に高い相関関係が認められた（ $r=0.83$ ）。以上のことから、歩行運動にはMargaria法および加速度センサー法が、微小運動には加速度センサー法がそれぞれ有用であることがわかった。

A.目的

日常生活での1日のエネルギー消費量（EE）のうち、基礎代謝および食餌誘発性体熱産生を除く部分のほとんどは歩行や微小運動によるものである。近年Levineら¹⁾は、被検者に8週間にわたり1日あたり1000kcal余分にエネルギーを摂取させ、エネルギーバランスを測定し、過食による体脂肪の増加と非運動活動熱産生（一日のEEのから、安静時代謝、食餌誘発性体熱産生および自発的運動によるEEを除いたもの）との間に高い負の相関関係が認められたことを報告している。したがって、生活習慣病の予防・治療の運動処方に頻繁に用いられている歩行運動のEEを簡易に推定すること勿論のこと、微小運動のEEを簡易に推定することは、生活習慣病の予防・治療の観点からすると重要な課題である。

歩行速度に対するEEとの関係についての報告は少なくとも²⁻⁵⁾、中でもMargaria⁵⁾は、歩行中のEEを体重1kgあたりおよび歩行距離1kmあたりに換算することによって、歩行速度が時速2km/hから

5km/hまでは0.5kcal（0.5kcal/kg・km）であることを示しており（Margaria法）、極めて実用的である。しかし、彼が用いた被検者は体格の大きな西洋人男性で、しかもわずか4名の少数例で導かれた結論であり、日本人にあてはまるか否かを検証してみる必要性が残されている。

筆者らは、青年者を対象に、歩行動作中の実測EEと加速度センサーを用いた推定EE（加速度センサー法）との間に高い相関性があることを報告している⁶⁾。しかし、生活習慣病の予防・治療を特に必要としている中高齢者においても、青年者と同様の結果を得ることができるか確認する必要がある。また、加速度センサー法は、日常生活の微小運動も記録することが可能なので、加速度センサー法で記録された日常生活の微小運動と実測EEとの間に相関性があるか否かを検討し、日常生活の微小運動を把握する上での加速度センサー法の有用性を検討する必要がある。

そこで本研究は、これら簡易EE推定法として利

便性の高いMargaria法と加速度センサー法について、幅広い年齢層への有効性を検討することを目的とした。

B.研究方法

1. 歩行運動時のエネルギー消費量推定

1)被検者

被検者は、22から80才までの歩行運動を行うに支障のない健常な男女計49名とした(表1)。

2)プロトコール

座位安静時の呼気ガスの採気を行い安静時代謝を測定した後、傾斜0%1周30mの屋内フロア楕円形コースで、初期負荷40m/min、上げ幅10m/min、1負荷4分間の間欠型多段階歩行負荷試験を100m/minまで施行した。歩行速度の設定は2m毎に設置され一定の周期で順次点滅する電球が誘導するペースメーカー(㈱ヤガミ社製PL-100C)を用い、途中でペースメーカーについて歩けなくなった場合はその速度で負荷試験を終了した。なお、各負荷間には2分間の立位安静をとった。呼気ガスの採気はダグラスバッグ法で行い被検者の歩行を制限しないように検者がバッグを持って被検者の横を歩き、設定速度70m/minまでは換気量が少量のため運動終了直前の2分間、80m/min以降の速度では1分間の採気を行なった。また、スズケン社製1次元加速度計カロリーカウンターセレクト2を試験中常時携帯し加速度を計測した。

3)エネルギー消費量

EEは得られた酸素摂取量と呼吸商をZuntz-Schomburgらの非たんぱく呼吸商と発生熱量との関係式に代入して算出した。また、呼気ガス中のO₂

およびCO₂の濃度分析はPERKIN-ELMER社製質量分析器MGA-1100、換気量の計量はフクダ医理科研究所製レスピロメーターを使用した。

2. 微小運動時のエネルギー消費量推定

1)被検者

被検者は、日本食を摂取している24から58才までの健常な男女計10名とした(表2)。

2)プロトコール

スイス国ローザンヌ大学医学部生理学研究室のDr. Schutzの協力を得て、被検者にインダイレクトカロリーメトリックチャンパー(メタボリックチャンパー)内で1日通常の生活をしてもらい、1日のEEを測定すると同時に加速度センサー(スズケン社製多メモリー加速度計装置付歩数計Lifecorder)を用いて、メタボリックチャンパー内での被検者の活動(運動)強度レベルを2分毎に記録した。EEは15分毎に連続測定し、その時間に対応する加速度センサー平均運動強度を算出し、両者の関連性を調べた。被検者の1日生活のタイムスケジュールは以下の通りである。実験当日、被検者は08:15にチャンパーに入り、09:00から朝食を摂取した後、10:30より電動式トレッドミル上で歩行運動を30分間行った。12:00から昼食を摂取した後、15:00より再び電動式トレッドミル上で歩行運動を30分間行った。19:00に夕食を摂取し、23:00に就寝した。翌日の07:00に起床し、08:30に実験を終了し、チャンパーから出た。なお、EEのデータには、08:30から翌朝の08:30までの24時間分を用いた。

表1 対象者の特性

	性別	人数	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)
青年群	男性	7	26.6±5.4	170.1±3.6	68.2±4.3
	女性	12	25.6±7.0	159.6±5.4	51.4±7.8
中高年齢群	男性	7	59.6±6.3	170.0±8.3	72.1±8.5
	女性	23	61.7±6.4	153.8±4.7	54.0±7.0

C.結果

1) Margaria法

青年群男性の歩行時のEEは、およそ40~70m/minまでは0.5kcal/kg·kmであり、Margaria⁵⁾と同様の値が得られた(図1)。中高年齢群

および青年群女性でも40~70m/minまでは0.55kcal/kg·kmという値を示し、Margaria⁵⁾の0.5kcal/kg·kmに近似していた(図1,2)。しかし、それを越えると速度が増すにつれてEEは増加した(図1,2)。また、高速度において身長とEE

との間に負の相関関係が認められた。なお、40～70m/min間でのCVの平均と標準偏差は青年男子で14.8±2.9%、青年女子で10.8±1.7%、中高齢者で13.7±0.3%、全員で12.5±0.2%であった。

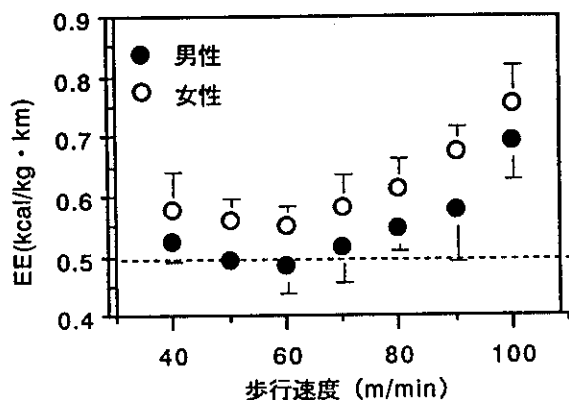


図1. Margaria法でのエネルギー消費量（青年）

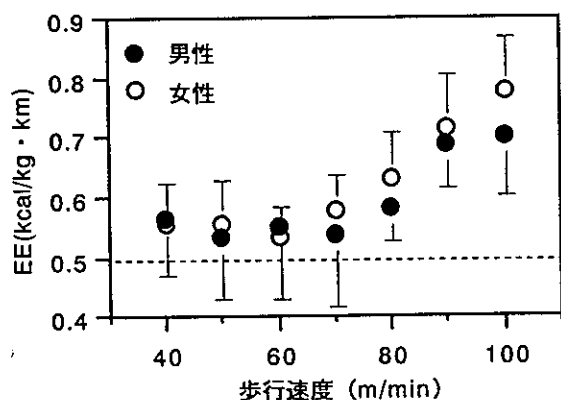


図2. Margaria法でのエネルギー消費量（中高齢）

2) 加速度センサー法

歩行時の加速度センサーから推定したEEと実測EEとの間には中高齢者でも高い相関関係が認められた（図3）。しかし、歩行速度と実測EEから推定EEを引いた値には速度90m/min以降に推定誤差が大きくなる傾向が認められた（図4）。加速度センサーから算出した運動強度レベルと実測の酸素摂取量から算出したMetsとの間にも高い相関関係が認められた（図5）。

また、メタボリックチャンバーで測定したEEと加速度センサーで算出した運動強度レベルとの間に、高い相関関係が認められた（図6）。さらに、メタボリックチャンバーで測定したEEのうち、電動式トレッドミル上で行った歩行運動を除いたEEと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の間にも高い相関関係が認められた（図7）。

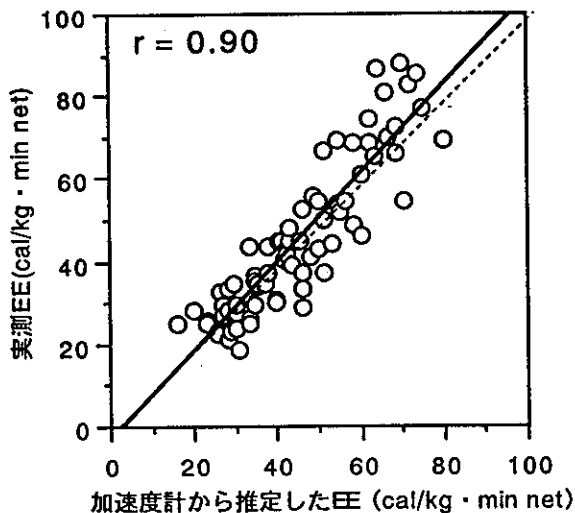


図3. 加速度センサー法による推定および実測エネルギー消費量

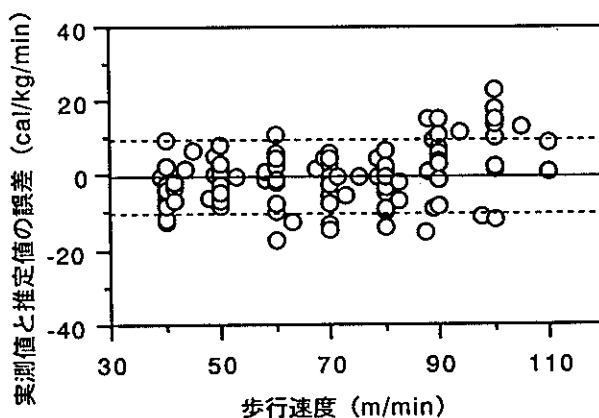


図4. 加速度計によるエネルギー消費量の推定値と実測値の差

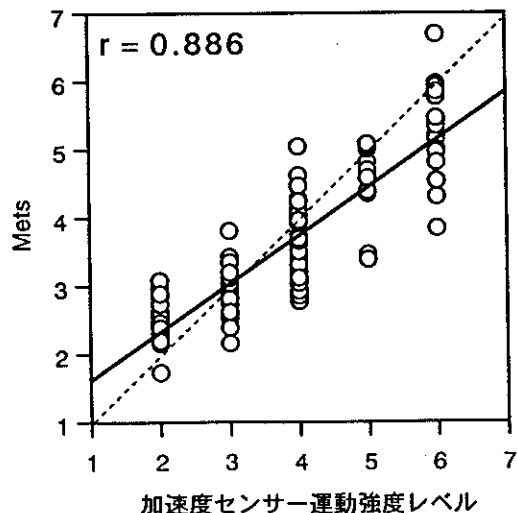


図5. 加速度センサー算出の運動強度レベルとMetsとの関係

表2 対象者の特性

被検者	性別	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)
M.Y.	女	32	160.0	65.0
H.K.	男	24	179.0	68.0
Y.Y.	男	46	168.0	70.5
H.T.	男	52	163.3	55.0
N.A.	女	31	155.5	50.8
T.N.	女	31	159.0	51.2
H.S.	男	57	170.0	59.0
Y.P.	女	58	155.0	51.3
A.O.	女	38	159.7	53.9
N.I.	女	30	157.4	47.0
平均		39.9	162.7	57.2
標準偏差		12.4	7.6	8.1

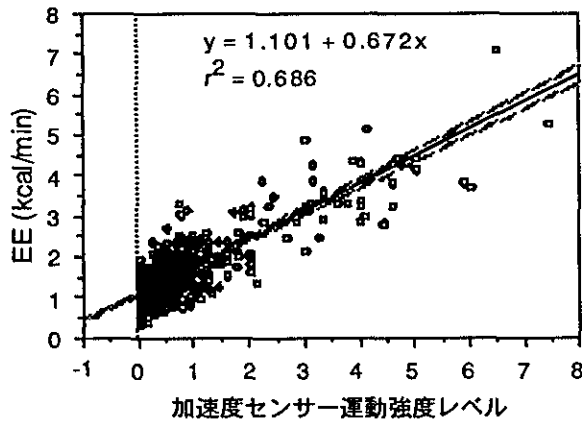


図6 メタボリックチャンバーで測定したエネルギー消費量

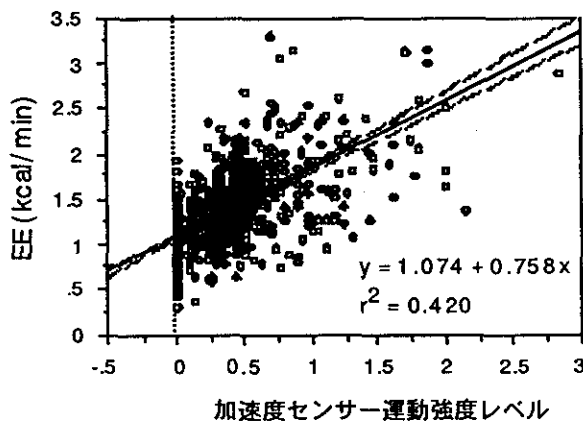


図7 メタボリックチャンバーで測定した微小運動のエネルギー消費量

D. 考察

1) Margaria法

青年群男性の歩行時のEEは、80m/minまではMargaria⁵⁾とほぼ同様の結果が得られたが、中高齢

者群および青年群女性では0.55kcal/kg・kmと若干高い結果が得られた。青年群男性がMargaria⁵⁾の結果に近似した理由として、被検者特性が他群に比べその体型や年齢など、Margaria⁵⁾の対象者に対し比較的近いことが要因の一つとして考えられる(表3)。中高齢者群・青年群女性と青年群男性との差は0.05kcal/kg・kmと非常に小さく、運動処方などへの影響は極小さいものと考えられる。また、これらの差が生じる一因として高速度での身長とEEとの相関など、ディメンションによる影響が示唆された。

表3 Margariaの被検者との比較

	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)
Margaria	26.0±6.2	178.3±7.0	72.3±4.3
本研究	26.6±5.4	170.1±3.6	68.2±4.3

2) 加速度センサー法

歩行時のEEを簡易に推定するにあたって、筆者らが若者において報告したように、高齢者でも加速度センサーから推定したEEと実測EEとの間に高い相関関係が認められ、幅広い年齢層への適用が可能であることが示唆された。しかし、歩行速度90m/min以降では測定誤差が大きくなる傾向にあり、使用限界を考慮する必要が考えられた。また、歩行時において、加速度計から算出される活動レベルとMetsの間には高い相関関係があり、運動強度を知るには有効な指標であることも確認された。

メタボリックチャンバー内での生活という極めて活動量が少ない状況においても、実測EEと加速度センサーで算出した運動強度レベルとの間に高い相関関係が認められ、加速度センサーで歩行および微小運動のEEを推定することが可能であることが示唆された。さらにその推定式は、エネルギー消費量=0.672加速度センサー強度レベル+1.101で表された。また、メタボリックチャンバー内の活動のうち、歩行運動のみを除いた微小運動による実測EEと加速度センサーで算出した運動強度レベルとの間にも高い相関関係が認められた。そして、その推定式は、エネルギー消費量=0.758加速度センサー強度レベル+1.074で表された。回帰直線の相関係数は、メタボリックチャンバー内の全ての活動値を用いた場合は0.83で、その値から歩行運動の値を除いた場合は0.65であった。しかし、回帰直線からの推定誤差は、メタボリックチャンバー内の全ての活動値

を用いた場合は0.139で、その値から歩行運動の値を除いた場合は0.117であった。これは、メタボリックチャンパー内の全ての活動値を用いて加速度センサー強度レベルからEEを推定した場合は、x軸およびy軸のスケールが大きいことによって、歩行運動を除いた場合に比べて、相関係数が高くなったと推察される。また、回帰誤差は、歩行運動を除いた場合の方が小さく、加速度センサー法は、微小運動のEEを歩行運動のEEよりも小さな誤差で推定できることを示唆している。

以上のことから、加速度センサーは、歩行運動のみならず微小運動のEEを推定することが可能であることが示唆された。しかし、被検者の数が10名と少ないため、今後さらに被検者数を増やし、より誤差の少ない推定式を作成する必要があると思われる。

E. 結論

本研究では健常な男女を対象に歩行運動および微小運動時のEEを測定し、それらに対する推定法の有効性について検討した。その結果、本研究に用いた歩行動作時の簡易エネルギー消費量推定法（Margaria法および加速度センサー法）はいずれも、使い方をわかまえば実用性の高い方法であると考えられた。また、微小運動時のEEを推定するにあたり、加速度センサー法は有用であると考えられた。

【参考文献】

- 1) Levine JA, Eberhardt NL, Jensen MD (1999) Role of nonexercise activity thermogenesis in resistance to fat gain in human. *Science* 283: 212-214.
- 2) Grimby G, Soderholm B (1962) Energy expenditure of men in different age groups during level walking and bicycle ergometry. *Scand J Clin Lab Invest* 14: 321-328.
- 3) Ralston HJ (1958) Energy-speed relation and optimal speed during level walking. *Int Z Angew Physiol* 17: 277-283.
- 4) Pearce ME, Cunningham DA, Donner AP, Reznitzer PA, Fullerton GM, Howard JH (1983) Energy cost of treadmill and Floor walking at self-selected paces. *Eur J Appl Physiol* 52: 115-119.
- 5) Margaria R (1938) Sulla fisiologia e specialmente sul consumo energetico della

marcia e della corsa a varia velocita ed inclinazione del terreno. *Atti Acc Naz Lincei* 7: 299-368.

6) 結城直哉, 国武和弘, 島田美恵子, 吉武裕, 清永明, 田中宏暁, 進藤宗洋 (1999) 歩行速度と消費エネルギー量との関係- R.Margariaの歩行消費エネルギー量推定法との比較-, *体力科学* 6: 937.

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

- 1) 結城直哉, 国武和弘, 島田美恵子, 吉武裕, 清永明, 田中宏暁, 進藤宗洋: 歩行速度と消費エネルギー量との関係- R.Margariaの歩行消費エネルギー量推定法との比較-, 日本体力医学会第54回大会, 1999, 9.
- 2) 田中宏暁, 進藤宗洋, 吉武裕: 簡便なエネルギー量推定法の開発 (第一報) -歩行時の簡易エネルギー推定法の検討-, 日本肥満学会第20回大会 (ミニシンポジウム), 1999, 10.

H. 知的所有権の所有状況

なし