

Investigation of Estimating Energy Expenditure during Daily Activities by Heart Rate Monitoring Method

Kayoko KANEKO, Ruiko SUGETA and Katsura OMORI

横浜国立大学教育人間科学部紀要 I (教育科学) No.10 別刷

Reprinted from
THE EDUCATIONAL SCIENCES
Journal of the Faculty of Education and Human Sciences
Yokohama National University
No.10, FEBRUARY, 2008

心拍数測定による日常生活の身体活動量推定法の検討

金子佳代子(家政教育講座)、菅田瑠依子(家政教育講座)、
大森 桂(山形大学地域教育文化学部)

Investigation of Estimating Energy Expenditure during Daily Activities by Heart Rate Monitoring Method

Kayoko Kaneko, Ruiko Sugeta and Katsura Omori

1 緒言

現代の日本人の生活では、交通手段の発達や、機械化、省力化等による労働環境・生活環境の変化により身体活動量が著しく減少している。身体活動量の減少は体力や生理的機能の低下をもたらす生活習慣病の誘因となる¹⁾。弊害は成人だけではなく、青少年においても心身の健康状態に影響を及ぼしている¹⁾。例えば体位は向上しているが体力や耐性が低下している、自律神経系の不調和により活動と休養のリズムがはっきりしないなどの問題に深く関わっていると考えられる。

厚生労働省は、健康と運動・身体活動の関わりについて研究された論文のシステムティックレビューに基づいて「健康づくりのための運動基準2006—身体活動・運動・体力—」²⁾ および「健康づくりのための運動指針2006『エクササイズガイド2006』」³⁾ を策定し、健康を維持増進するために運動・身体活動を増すことが必要であると勧告している。この「運動基準2006」「エクササイズガイド2006」では、休日等に運動するだけではなく、日常生活の中で通勤時の歩行・子供の世話・掃除・重い物の持ち運びなどの身体活動を積極的に行うことを勧めている。これを実行するためには、個々人の日常生活における身体活動量の現状を的確に把握し、どのように生活行動を変えたらよいかを自ら考え、行動化を図っていくことが必要である。

これまで、日常生活における個々人の身体活動量を把握するためにタイムスタディ法や万歩計が用いられているが、前者では正確な記録をとることが難しい等、後者では歩行による活動量だけしか把握できない等の難点があり、より簡便で精度のよい方法が求められている。身体活動量を比較的簡便に精度よく推定する方法として、心拍数の連続測定よりエネルギー消費量を推定する方法が検討されている⁴⁻⁹⁾。この方法は、心拍数の増加とエネルギー消費量に一定の相関がみられることに着目し、簡単な心拍計を装着して連続測定した心拍数から消費エネルギー量を推定するものであり、日常の生活活動を拘束することなく、煩わしい記録をとる必要もないため、日々の生活行動と身体活動量(エネルギー消費量)を的確に把握することが可能であると期待されている。

福原ら⁸⁾は、酸素消費量の連続測定が可能な無線式エネルギー代謝計測システムを用いて、大学生男女を被験者として実験室における一定の条件下で数種の家事労働を行い、酸素消費量および心拍数を測定した。あらかじめ踏み台昇降による漸増負荷運動テストを行い、この時の酸素消費量と心拍数との一次回帰式を作成しておき、これに各種家事労働時の心拍数を代入して、その酸素消費量推定値を求め、無線式エネルギー代謝計測システムによる実測値と比較した。その結果、推定値

が実測値を上回る傾向がみられ、家事活動時には心拍数が高くても酸素消費量（エネルギー消費量）は小さい場合が多いのではないかと推察している。また、雑巾による壁ふきや床のモップがけでは、力を入れて行った場合と力を入れずに軽く行った場合を比較しており、力を入れて行った場合の方が推定値と実測値の差が小さかったと報告している。

さらに、Fukuhara et al.⁹⁾は、無線式エネルギー代謝計測システムを用いて、大学生を対象として家事活動を含む日常生活活動（8時間）時の酸素消費量および心拍数を測定し、酸素消費量と心拍数の関係について詳しく検討を行った。その結果、踏み台昇降による漸増負荷運動テストを行った場合の酸素消費量と心拍数との一次回帰式に比べて日常生活活動時の回帰式の傾きは小さかったことから、日常の生活活動では心拍数が高くても酸素消費量は小さい場合が多いことが明らかになった。すなわち、心拍数から日常生活活動時の酸素消費量（エネルギー消費量）を精度よく推定するためには踏み台昇降のような漸増負荷運動テストによる酸素消費量と心拍数との回帰式をそのまま適用することはできず、新たな推定式を考案する必要性が示唆された。

そこで本研究では、心拍数から日常生活活動時の酸素消費量（エネルギー消費量）をより精度よく推定するための方法について検討することを目的として、踏み台昇降による漸増負荷運動テストに加え、日常生活活動の中でも特に、足の動きが少なく、腕を大きく動かしたり、身体全体を上下に大きく動かす活動を取り上げ、以下のように実験を行った。

- (1) 洗濯・掃除・炊事の家事活動を行った場合の酸素消費量と心拍数の測定
- (2) しゃがんだり立ち上がったたりする動作（立ち上がり運動）を行った場合の酸素消費量と心拍数の測定
- (3) ダンベル体操（手にダンベルを持ち負荷をかけ、足は動かさない運動）を行った場合の酸素消費量と心拍数の測定
- (4) ラジオ体操を行った場合の酸素消費量と心拍数の測定

2 研究方法

被験者は大学生男女のべ56名であり、年齢、身長、体重は表1のとおりである。

酸素消費量の連続測定には無線式エネルギー代謝計測システム（コスメダ社K2、イタリア）を用いた。心拍数は胸部バンド式の心拍計（ポラル社S801i、フィンランド）により連続測定を行った。酸素消費量および心拍数の測定方法は前報（福原ら⁸⁾、Fukuhara et al.⁹⁾と同じである。本研究では、身体活動量を酸素消費量（ml/kg/min）として示したが、エネルギー消費量への換算は、以下のようにRQを0.85と仮定して計算することができる。

$$\text{エネルギー消費量(kcal/min)} = \text{酸素消費量(L/min)} \times 4.862$$

また、心拍数は、個人内変動・個人間変動があることを考慮して、安静時心拍数を1とした心拍数増加率（運動時心拍数/座位安静時心拍数）で示した。

(1)～(4)の実験条件を以下に示す。いずれの実験においても、被験者は家事または運動等実施時の測定に先だって、踏み台昇降による漸増負荷運動テストを実施して酸素消費量および心拍数を測定した。

(1) 家事活動

男子大学生4名、女大学生5名を被験者として、洗濯・掃除・炊事の家事活動を約1時間30分間連続して行い、酸素消費量および心拍数を連続測定した。

- ・ 炊事：炊飯、2人分の食事づくり（ハンバーグ、生野菜、みそ汁）、後片付け
 - ・ 掃除：雑巾がけ、掃除機かけ、ごみ集め、本をまとめて縛る
 - ・ 洗濯：手洗い、洗濯器洗い、洗濯物干し、洗濯物を取り込み、たたむ
- (2) 立ち上がり運動
男女大学生各6名を被験者として、床においた物やピンをしゃがんで取り、そのまま立ち上がり、棚の上に腕を伸ばして置き、また、それを持ってしゃがんで床に置くという動作を10分間行い、酸素消費量および心拍数を連続測定した。
- (3) ダンベル体操
男子大学生13名、女子大学生12名を被験者として、両手に1.5kgのダンベルを持ち、ダンベル体操¹⁰⁾のトレーニングメニューを10分間行い、酸素消費量および心拍数を連続測定した。
- (4) ラジオ体操
男女大学生各5名を被験者として、ラジオ体操を約3分間行い、酸素消費量および心拍数を連続測定した。

表1. 被験者の身体的特徴

実験内容	性別	人数	年齢(歳)		身長(cm)		体重(kg)	
			平均値	S D	平均値	S D	平均値	S D
家事労働	男	4	21.8	1.0	173.5	5.8	57.1	4.9
	女	5	22.2	0.8	156.2	9.4	51.1	8.3
立ち上がり運動	男	6	22.5	0.8	172.4	5.0	62.3	6.9
	女	6	22.0	1.5	159.4	8.5	49.1	8.5
ダンベル体操	男	13	22.2	1.0	171.9	4.4	64.8	6.5
	女	12	22.4	1.3	160.2	6.2	51.4	7.7
ラジオ体操	男	5	21.6	0.9	173.0	5.1	58.2	5.0
	女	5	22.2	0.8	156.2	9.4	51.1	8.3

3 結果および考察

(1) 家事活動

図1-1に、踏み台昇降による漸増負荷運動テストおよび安静(座位、立位)時の酸素消費量(体重kg当り)および心拍数増加率の関係を示した。座位および立位安静時における体重1kg当りの酸素消費量と心拍数増加率に男女差はみられなかった。心拍数増加率と酸素消費量の間には正の相関が認められた。回帰式は男子 $Y=22.54X-15.45$ 、女子 $Y=18.84X-14.26$ であり、男子の方が回帰式の傾きが大きい傾向がみられた。

図1-2に、家事活動時の酸素消費量および心拍数増加率の関係を示した。本研究では洗濯・掃除・炊事を主とした家事活動を行ったところ、心拍数増加率はおよそ1.0~2.0、酸素消費量はおおよそ5~30 ml/kg/minの範囲内であった。心拍数増加率と酸素消費量の間には男女ともに正の相関が認められた。回帰式は男子 $Y=7.97X+0.77$ 、女子 $Y=4.92X+3.48$ であり、回帰式の傾きは漸増負荷運動テスト時に比べて小さかった。この結果は、Fukuhara et al.⁹⁾が報告している女子大学生5名における日常の生活活動時(多様な家事活動を含む)の測定結果と同様であり、日常の家事活動においては男女ともに、心拍数が高くても酸素消費量(エネルギー消費量)は小さい場合が多いことを確認できた。

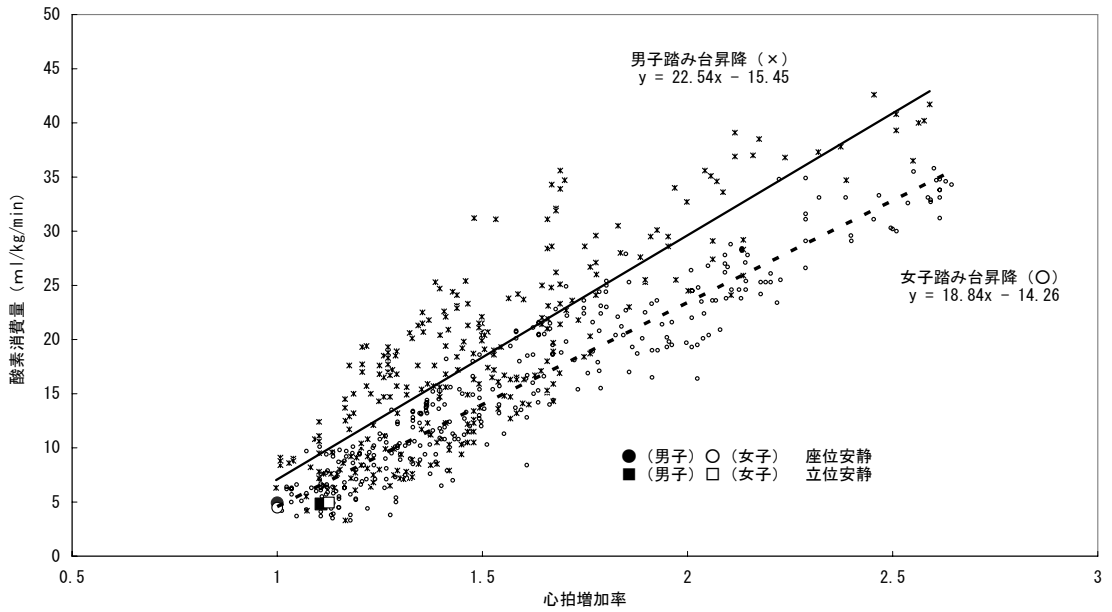


図 1 - 1 踏み台昇降時の酸素消費量と心拍数増加率

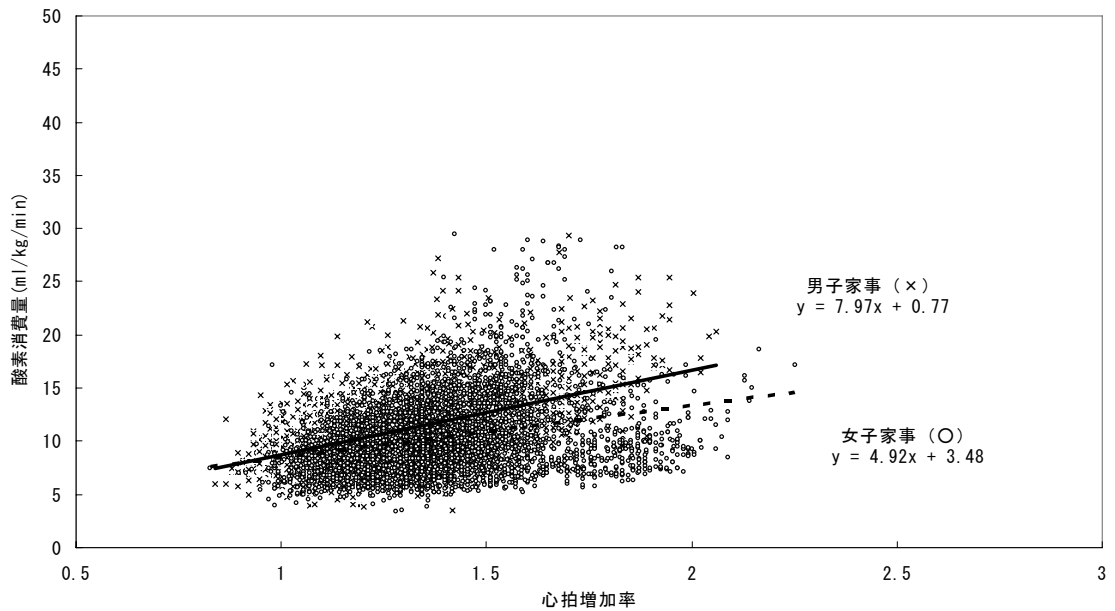


図 1 - 2 家事労働時の酸素消費量と心拍数増加率

そこで、漸増負荷運動テストの酸素消費量・心拍数の回帰式に、家事活動時の心拍数を代入して算出した酸素消費量推定値と実測値とを比べてみると、男子では推定値の方が実測値より $13.8 \pm 10.8\%$ 、女子では $23.8 \pm 20.7\%$ 大きくなり、Fukuhara et al.⁹⁾が報告している $17.1 \pm 17.1\%$ と近似した結果であった。

(2) 立ち上がり運動

男女12名における立ち上がり運動時の酸素消費量および心拍数の測定結果を表2にまとめた。酸素消費量は $18.7 \sim 31.5$ ml/kg/min、心拍数増加率は $1.7 \sim 2.6$ と個人差がみられ、平均値および標準偏差(SD)はそれぞれ 24.7 ± 4.2 ml/min/kg、 2.04 ± 0.27 であった。被験者ごとにあらかじめ測定した踏み台昇降による漸増負荷運動テストの酸素消費量・心拍数の回帰式に、立ち上がり運動時の心拍数を代入して算出した酸素消費量推定値と実測値とを比べると、推定値の方が実測値より $13.9 \pm 12.9\%$ 大きかった。

ところで、運動開始から終了までの経時的変化をみると、開始直後の酸素消費量の上昇は心拍数の変化に比べて急激であり、酸素消費量の推定値と実測値との差は運動開始後1分間程度で顕著に大きく、その後は小さくなるのがわかる(図2-1、図2-2)。

日常生活において立ち上がる運動というのは瞬時であり、実験で行ったように定常状態にまで達することはほとんどない。それは運動直後1分以内の推定値と実測値の差が顕著な時であり、日常生活の中でしゃがんだり、立ち上がったりの動作の度に推定誤差が大きくなるものと考えられる。したがって、このようなしゃがむ・立ち上がる動作を何らかの方法で判別し、補正をすることによって推定値の精度をあげることができるのではないかと考えられる。

表2 立ち上がり運動時の酸素消費量、心拍数、推定値と実測値の差

被験者	性別	酸素消費量 (ml/kg/min)	心拍数 (beats/min)	心拍数増加率	(推定値-実測値) / 実測値 × 100 (%)
1	女	27.45	184	2.57	5.42
2	女	19.30	132	2.21	19.50
3	女	19.58	144	1.75	5.27
4	女	26.00	169	2.11	-1.54
5	女	26.54	162	1.70	16.88
6	女	18.71	173	2.21	45.81
7	男	19.16	134	2.28	25.46
8	男	31.49	159	1.89	9.05
9	男	25.72	150	1.77	8.76
10	男	30.30	168	2.17	6.46
11	男	26.34	138	1.78	3.87
12	男	26.17	159	2.09	21.57
平均		24.73	156	2.04	13.88
SD		4.45	17	0.27	12.94
MAX		31.49	168	2.28	25.46
MIN		19.16	134	1.77	3.87

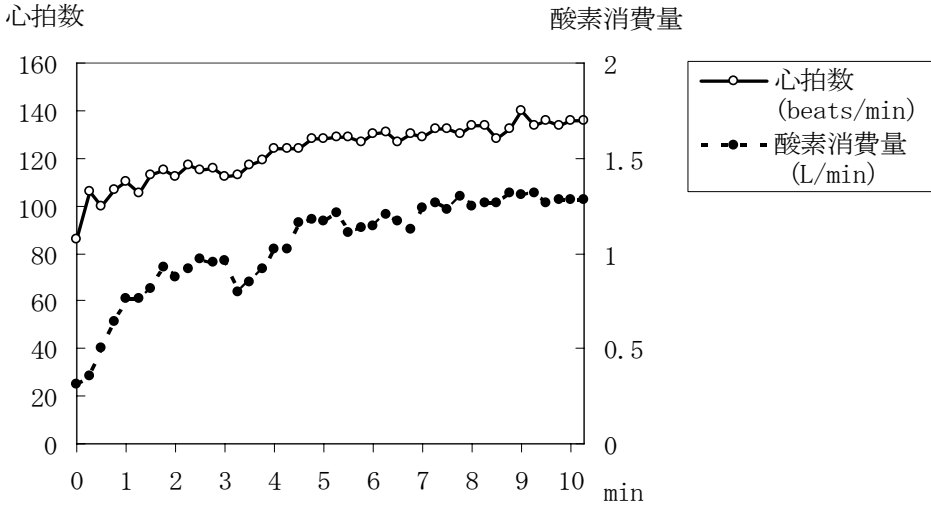


図2-1 立ち上がり運動による酸素消費量と心拍数の経時的変化 (例)

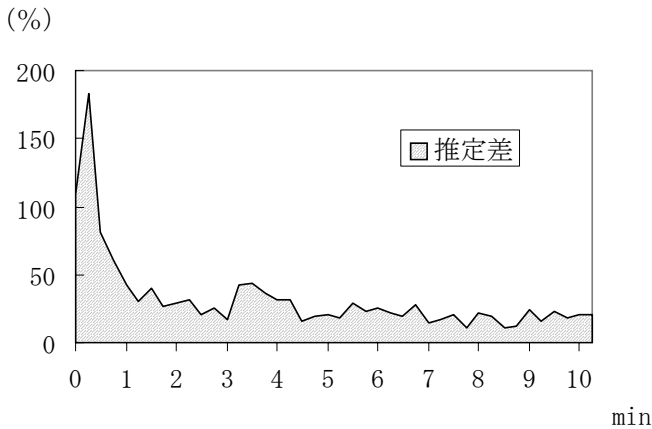


図2-2 立ち上がり運動による酸素消費量推定値と実測値の差 (例)

(3) ダンベル体操

ダンベル体操は、足をほとんど動かさず、重量のあるダンベルを持ち、ゆっくりと息をはきながら持ち上げる、下げるといった筋力トレーニング運動である。図3にダンベル体操時の酸素消費量と心拍数の経時的変化の例を示した。

ダンベル体操時の酸素消費量と心拍数増加率を表3に示した。酸素消費量は7.4～18.5 ml/kg/min、心拍数増加率は0.96～2.0であり、立ち上がり運動と同様に個人差が大きく、それぞれの平均値は 10.28 ± 2.40 ml/min/kg、 1.30 ± 0.20 であった。

被験者ごとにあらかじめ測定した踏み台昇降による漸増負荷運動テストの酸素消費量・心拍数の回帰式に、立ち上がり運動時の心拍数を代入して求めた酸素消費量推定値と実測値とを比べると(表3)、25名のうち20名で推定値の方が実測値より大きく、5名はその逆という個人差がみられ、平均では 23.88 ± 39.06 %推定値の方が大きいという結果になった。このようにダンベル体操で個人差が大きかった理由としては、ダンベルの重量が一定(1.5kg)であったため、個々人の体力の違いにより相対的な負荷の大きさとして差ができたためではないかと考えられる。

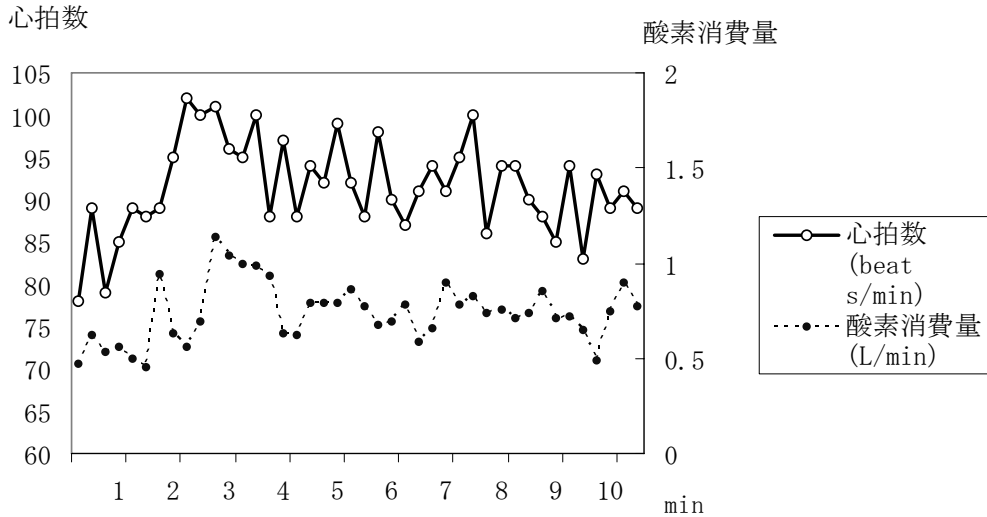


図3 ダンベル体操時の酸素消費量、心拍数の経時的変化 (例)

表3 ダンベル体操時の酸素消費量、心拍数、推定値と実測値の差

被験者	性別	酸素消費量 (ml/kg/min)	心拍数 (beats/min)	心拍数増加率	(推定値-実測値) / 実測値 × 100 (%)
1	女	7.40	91	1.09	28.56
2	女	14.79	100	1.36	-13.71
3	女	8.58	96	1.38	47.96
4	女	12.50	78	0.96	-71.33
5	女	8.96	83	1.21	21.32
6	女	10.87	117	2.00	74.33
7	女	8.95	84	1.42	24.04
8	女	7.67	91	1.20	71.61
9	女	9.89	101	1.22	45.24
10	女	10.14	103	1.42	29.42
11	女	18.46	112	1.44	-19.38
12	女	10.51	96	1.21	6.16
13	男	9.01	84	1.17	14.91
14	男	9.29	97	1.39	56.43
15	男	10.65	93	0.99	-55.92
16	男	11.97	92	1.44	45.00
17	男	10.34	89	1.17	16.36
18	男	9.83	91	1.28	43.08
19	男	8.19	111	1.24	82.74
20	男	7.66	89	1.32	11.91
21	男	12.07	97	1.39	37.72
22	男	10.02	90	1.19	22.15
23	男	10.46	99	1.18	-35.73
24	男	8.46	100	1.32	49.97
25	男	10.36	119	1.42	64.16
平均		10.28	96	1.30	23.88
SD		2.40	10	0.20	39.06
MAX		18.46	119	2.00	82.74
MIN		7.40	78	0.96	-71.33

(4) ラジオ体操

図4にラジオ体操時の酸素消費量および心拍数の経時変化の例を示した。ラジオ体操の前半はゆったりとした運動であり、酸素消費量および心拍数ともにゆっくりと上昇し安定状態に至っている。その後、足を開き、かかとを上げながら腕を頭上に伸ばし、肩、大腿筋に下ろすと同時に足を閉じる動作では酸素消費量が増大し、さらにその後その場跳びになると酸素消費量、心拍数ともに大きく上昇した。

ラジオ体操時の酸素消費量および心拍数も多少の個人差(10.7~16.5 ml/min/kg、1.25~1.51)がみられ、平均値はそれぞれ 13.4 ± 1.6 ml/min/kg、 1.39 ± 0.08 であった(表4)。これらの値は立ち上がり運動に比べてやや低く、ダンベル体操に近似したものであった。被験者ごとにあらかじめ測定した踏み台昇降による漸増負荷運動テストの酸素消費量・心拍数の回帰式に、立ち上がり運動時の心拍数を代入して求めた酸素消費量推定値と実測値とを比べると(表4)、推定値の方が実測値より 28.2 ± 8.9 %大きかった。

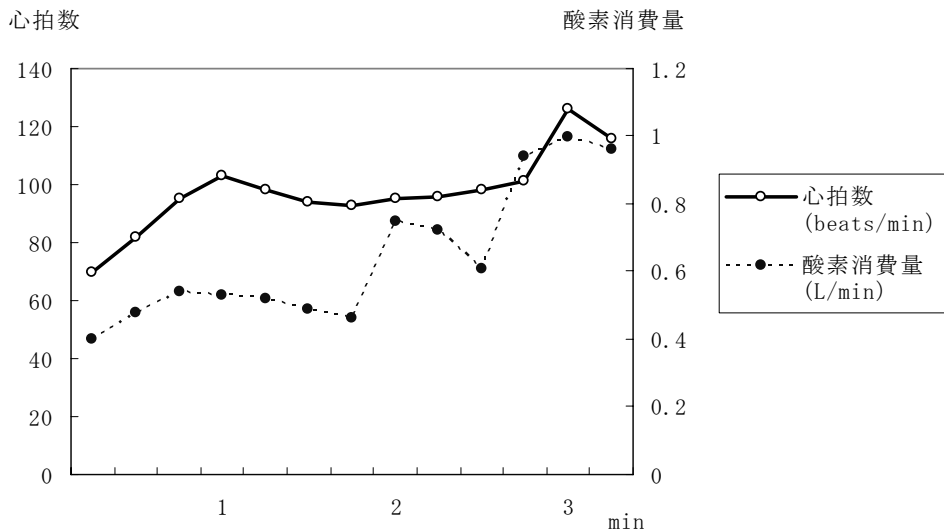


図4 ラジオ体操時の酸素消費量、心拍数の経時的変化(例)

(5) 日常生活の身体活動量をより精度よく推定する方法について

以上の実験結果をまとめると、洗濯・掃除・炊事を主とした家事活動時の酸素消費量・心拍数の回帰式は漸増負荷運動テストの回帰式に比べて傾きが小さく、日常の家事活動においては男女ともに、心拍数が高くても酸素消費量(エネルギー消費量)は少ないことが確認された。そこで、日常生活活動時の酸素消費量(エネルギー消費量)をより精度よく推定するための回帰式を求めするには踏み台昇降のような漸増負荷運動テストに加えて、足の動きが少なく、腕の大きな動作や立ち上がり運動等を含むテスト方法を工夫する必要があると考え、立ち上がり運動、ダンベル体操、ラジオ体操における酸素消費量と心拍数増加率の関係を測定した。その結果、立ち上がり運動、ラジオ体操ではほぼ全員、ダンベル体操では8割の被験者で、踏み台昇降による漸増負荷運動テストの回帰式より算出した推定値の方が実測値より大きく、家事活動の場合と同様の傾向を示すことが明らかになった。

表4 ラジオ体操時の酸素消費量、心拍数、推定値と実測値の差

被験者	性別	酸素消費量 (ml/kg/min)	心拍数 (beats/min)	心拍数増加率	(推定値-実測値) / 実測値 * 100 (%)
1	女	12.70	120	1.33	33.14
2	女	14.50	140	1.43	40.71
3	女	11.90	99	1.49	28.64
4	女	13.40	103	1.36	19.35
5	女	16.50	128	1.51	29.59
6	男	13.90	104	1.25	11.90
7	男	14.40	101	1.50	18.57
8	男	13.50	98	1.38	30.22
9	男	12.90	114	1.32	32.96
10	男	10.70	102	1.37	36.66
平均		13.44	111	1.39	28.17
SD		1.58	14	0.08	8.93
MAX		16.50	140	1.51	40.71
MIN		10.70	98	1.25	11.90

したがって、日常生活活動における酸素消費量（エネルギー消費量）を心拍数から推定するための回帰式を求める方法として、立ち上がり運動、ダンベル体操、ラジオ体操等を含めた運動テストが有用なのではないかと推察される。今後、このような新たな運動テストを工夫し、それを用いて日常生活活動時の身体活動量を推定する方法の精度を検証していくことが必要である。また、心拍数の連続測定に加え、身体動作状況についての情報を加味した推定式を検討するために、手・足・腰などの加速度を連続測定することも考えられる。

引用文献

- 1) J Fサリス、Nオーウエン (2000) 「身体活動と行動医学」 pp. 11-38, 北大路書房
- 2) 厚生労働省(2006) 「健康づくりのための運動基準2006—身体活動・運動・体力—」
- 3) 厚生労働省(2006) 「健康づくりのための運動指針2006『エクササイズガイド2006』」
- 4) 山田雅子、渡辺令子、今泉優子(1989) 「心拍数を用いる成人女子の消費エネルギー量の解析」 日本栄養・食糧学会誌、42、319-325
- 5) 柳堀朗子、青木和夫、鈴木洋児、郡司篤晃(1991) 「一日の日常生活活動量測定方法の検討」 日本公衆衛生学会誌、38、483-491
- 6) 柏崎浩(1986) 「心拍数の記録から算出した中高年主婦のエネルギー消費量と生活活動指数」 日本栄養・食糧学会誌、39、159-164
- 7) Hashimoto I., Aoki J., Shindo M., Kobayashi K., Sato T. and Kobayashi S. (1987) Prevention of Cardiovascular Disease: An Approach to Active Long Life, Elsevier Science Publishers BV, Amsterdam, 151-162

- 8) 福原桂、金子佳代子(1998)「家庭における家事活動のエネルギー消費量およびその簡易推定方法の検討」日本家政学会誌、49、775-781
- 9) Fukuhara K.,and Kaneko K. (1999) Estimation of Total Energy Expenditure during Low-intensity Daily Activity under Free-living Conditions, *J.Home Econ.Jpn.*,50, 735-744
- 10) ミセスのボディー改革ダンベル体操 (1995) 別冊NHKおしゃれ工房、日本放送出版協会