

エネルギー消費量概算のためのMicrocomputer利用について

宅島, 章
八代工業高等専門学校

大柿, 哲朗
九州大学健康科学センター

赤崎, 房生
株式会社トーヨーフィジカル

<https://doi.org/10.15017/460>

出版情報 : 健康科学. 8, pp.85-93, 1986-03. Institute of Health Science, Kyushu University
バージョン :
権利関係 :

研究資料

エネルギー消費量概算のための
Microcomputer 利用について

宅島 章* 大柿 哲朗** 赤崎 房生***

The Use of Microcomputer for Estimating Energy Consumption.

Akira TAKUSHIMA*, Tetsuro OGAKI** and Fusao AKASAKI***

(Journal of Health Science, Kyushu University, 8; 85-93, 1986)

緒 言

このほど厚生省は、昭和60年以降5年間の栄養指導の基礎となる第三次改定日本人の栄養所要量⁹⁾の答申を行った。それによると、今回はじめて、個々人に適用できる栄養所要量及び生活活動、付加運動量の目安が示された。このことは、個人の摂取するエネルギー量と消費するエネルギー量のバランスを考慮したもので、栄養指導のためには極めて重要なことであろうと思われる。それゆえ、より正確なエネルギー消費量の推定方法の開発が望まれている。

エネルギー消費量を推定する方法として、一般には、エネルギー代謝率(RMR)を用いた生活時間調査法が汎用されている。しかしその方法は、記録の仕方が専門的なうえ、面倒であり、大変な労力と時間を要する。最近では、心拍数が運動強度の指標¹⁾⁶⁾¹⁰⁾¹⁴⁾となることや、エレクトロニクス利用による簡便化に着目し、長時間心拍数記憶装置や携帯用心電計を使用して、酸素摂取量と心拍数の関係($\dot{V}O_2$ -HR方式)からエネルギー消費量を推定しようとする方法³⁾⁴⁾⁸⁾¹²⁾¹⁵⁾¹⁶⁾が検討されている。

最新の技術にかけられたデータは、結果が短時間にデジタル・アナログ・グラフィックなどに簡単に表示でき、便利である。その反面、結果を過信しがち

である。ところが、実際には、測定時に発見できない電極部分や測定器などのトラブルによって、データミスが生じることもある。それゆえ、データのチェックは不可欠なことである。

そこで今回、 $\dot{V}O_2$ -HR方式によるエネルギー消費量の推定と新たな答申にもとづく生活処方の資料を得ることを目的に、マイクロコンピュータを用いて、ミスデータを除去するチェック方法を取り入れ、正確で活用しやすいプログラムの開発を試みた。

測定および解析システム

生体は、日常生活の諸条件や日内周期などによって絶えず変化している。心拍数を正しく記録するためには、被験者の生体電位の変化を正確に捉える必要がある。それで、心拍数の記録は、心電図電位レベルを自動的に調節できるように改造した図1の携帯用心拍数記憶装置(Vine社製:VHMI-012)を用いて行った。記録されたデータは、図2に示すシステムによって、データの収録・解析・表示がなされる。

A) データ入力について

マイクロコンピュータを利用して、データ入力から解析および表示まで行う場合、図2に示した図式に従ってプログラムを組み立てるとデータ整理やフィードバックに便利である。そこで、図2の図式をもとに

* Yatsushiro National College of Technology. Yatsushiro 866, Japan

** Institute of Health Science, Kyushu University 11. Kasuga 816, Japan

*** Toyo Physical Co Ltd. Fukuoka 810, Japan

図3に示したフローチャートを作成した。

A-1 データ登録

携帯用心拍数記憶装置によって記録されたデータは、解析およびデータ整理などの利便さを考慮して、ファイル名の後に、被験者のプロフィールや測定条件など必要項目を一緒に登録する。

A-2 データ読み込み

携帯用心拍数記憶装置の計測間隔は、10秒、30秒、

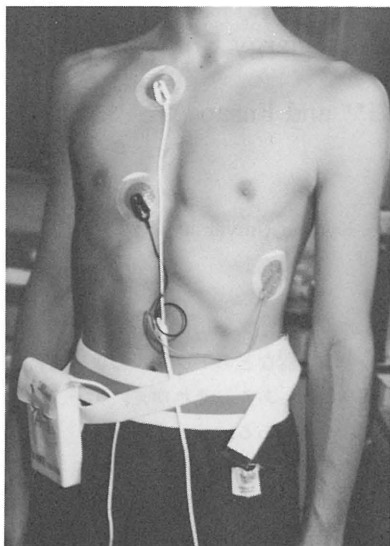


Fig. 1 心拍数の記録風景

60秒と3通りがあり、研究用途に応じて選択し、計測を行う。計測された心拍数は、マイクロコンピュータに接続されたインターフェース（トヨーフィジカル社製：TP-S288）によって読み込まれ、計測値と1分間値に換算された値からデータを選択する。そして、データリストとしてメモリー番地が表示される。この時、後述する理論値外のデータは欠損値として赤字で印字され、データチェックが行われる。

A-3 データ収録

従来の心電図および心拍数の記録は、記録紙によるデータ保存がほとんどであった。この方法は、保管と整理が不便である。また、再度データとして使用する場合、前回と同じ行程で作業をすることになり、面倒で、大変な労力を要する。しかし、マイクロコンピュータに接続したディスク・ユニット（PC-8031-2）を用いると、保管や整理がコンパクトにでき、しかも、必要に応じてデータを何回も呼び出し、使用できる便利さがある。

B) 解析プログラムについて

収録されたデータは、データリスト・トレンドグラフ・ヒストグラムおよびエネルギー消費量概算などの必要プログラムを選択し、実行することができる。

B-1 データリスト

収録されたデータは、実測値と1分間値に換算した値のうちのどちらかを選択し、図4に示すように心拍

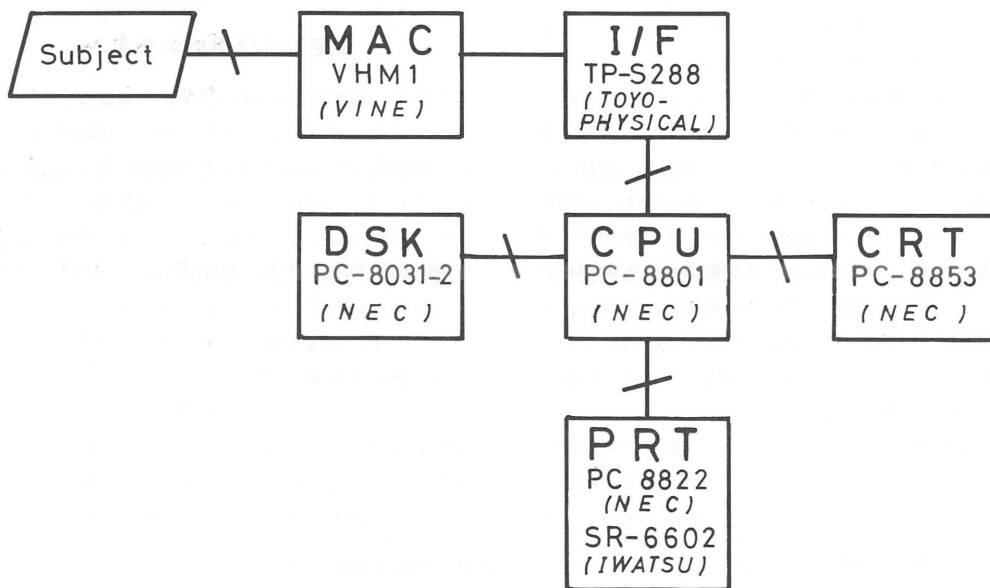


Fig. 2 データ解析システム

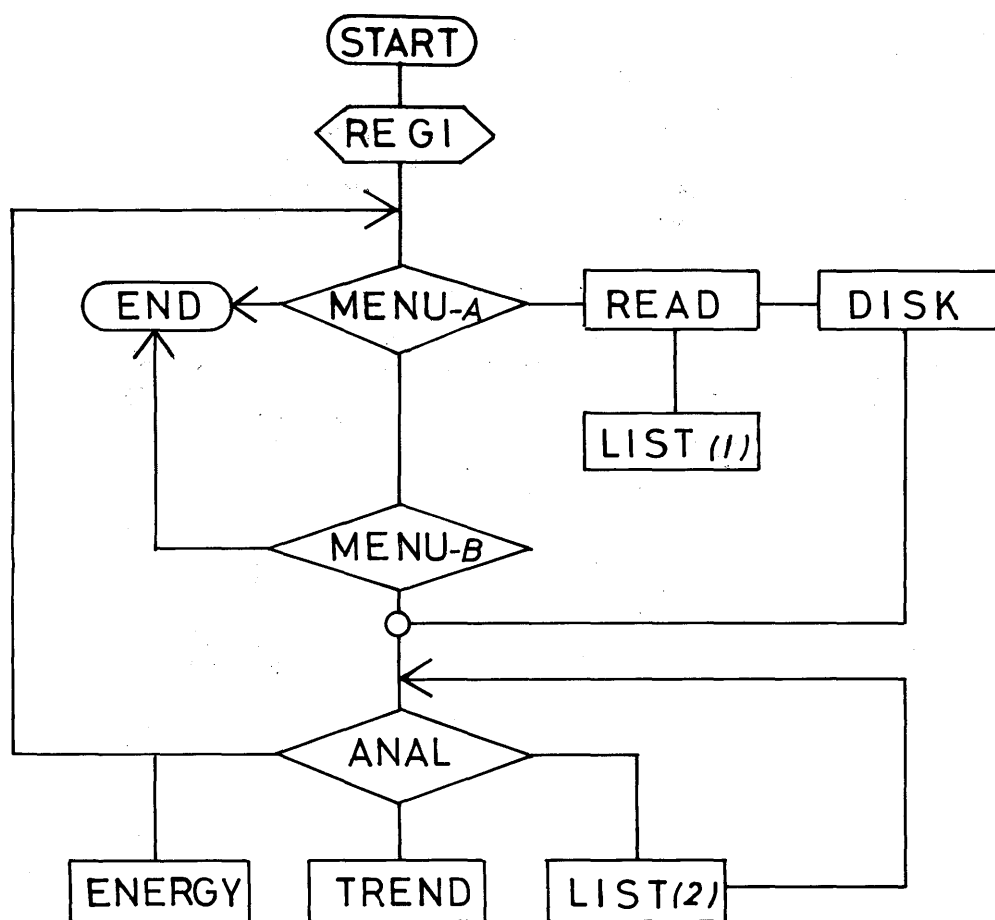


Fig. 3 データ入力から解析表示までのフローチャート

数が測定時刻ごとに表示される。それで、時間経過と心拍数を照合するのに非常に便利である。なお、欠損データは、赤字で印字される。

B-2 トレンドグラフ

日常生活での生活活動レベルを把握するには、心拍数をデジタルによる数字表示とするよりも、図5に示すようにアナログで表示した方がわかやすい。また、表示されたデータを他と比較しようとする場合、心拍数が同一であっても生理的負荷は、年齢によって違ってくる。それで、年齢差にみられる最高心拍数の相違を消去した相対心拍(%HRmax)を用いる方がよいと考えられる。また、生活処方の資料としても便利であろう。そこで、測定時刻と心拍数を一緒に表示するとともに、活動レベルの目安として、%HRmaxのラインと任意の心拍数ラインの2種類を同

一画面に数本引くことができるようにした。また、測定時間帯の必要箇所をピックアップし、拡大して表示することもできる。

B-3 ヒストグラムとエネルギー消費量の

概算方法

収録されたデータは、図6に示すように、40拍/分からその被験者の年齢から予測される最高心拍数²⁾までを5拍きざみに区分し、各区分ごとの心拍数出現率を棒グラフで表わし、その区分内のエネルギー消費量とその値の全エネルギー消費量に対する割合をデジタル印字する。欠損値として判定された心拍数は、各区分のヒストグラムおよびエネルギー消費量の概算からは除去され、欠損率は別区分として赤字で表示される。また、エネルギー消費量は、全測定時間と必要とする時間帯をピックアップして概算することもでき

1) 登録番号	TAC-100	7) %FAT	20.0%
2) 氏名	×××× ××××	8) 計測間隔	60秒
3) 性別	M	9) 測定日	昭和60年5月27日～5月28日
4) 年齢	40才	10) 測定時間	20時5分～20時5分
5) 身長	165.0 cm	11) コメント	日常生活中のH/R (24時間)
6) 体重	65.0 kg		雨一散歩

TIME	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20: 0						89	86	83	92	82
20:10	69	82	75	79	95	70	78	74	78	91
20:20	85	71	71	79	74	76	74	71	71	73
20:30	72	68	78	76	74	71	77	83	81	75
20:40	72	76	71	76	79	77	74	72	70	70
20:50	73	71	69	74	72	90	78	75	68	71
21: 0	72	75	79	76	75	71	72	68	70	74
21:10	68	73	101	87	74	84	91	98	84	76
21:20	72	78	81	70	72	69	70	72	77	73
21:30	68	65	59	58	59	60	59	61	63	60
21:40	63	64	60	66	68	70	66	68	65	68
21:50	67	67	65	64	64	67	67	68	64	62
22: 0	63	67	64	64	63	63	67	65	70	70
22:10	72	66	70	66	62	65	63	63	66	64
22:20	65	64	69	65	71	71	64	64	63	67
22:30	73	66	65	61	61	60	62	61	59	60
22:40	58	59	60	58	59	58	59	59	59	58
22:50	58	59	58	59	58	59	62	61	58	58
23: 0	59	57	58	58	58	57	55	56	56	56
23:10	56	59	57	56	56	57	57	57	57	59
23:20	58	58	58	66	60	62	57	60	62	59
23:30	62	58	63	60	63	58	61	58	62	59
23:40	57	58	59	60	58	58	63	62	65	64
23:50	60	59	61	56	59	57	58	58	60	60
0: 0	58	58	57	70	57	56	55	57	58	57
0:10	57	57	57	56	57	56	58	56	58	57
0:20	57	58	57	56	56	57	57	57	57	57
0:30	58	57	57	65	64	57	56	56	59	61
0:40	59	62	57	60	58	57	59	59	59	59
0:50	66	58	62	56	55	55	67	58	56	55
1: 0	57	56	58	57	56	60	66	55	56	56
1:10	57	57	57	57	58	58	61	55	55	55
1:20	56	57	56	57	57	56	58	57	71	67
1:30	64	79	69	60	53	60	59	56	66	54
1:40	54	56	53	58	56	55	54	55	54	57
1:50	55	55	53	54	66	53	52	54	54	53

Fig. 4 心拍数データリスト

200 - H/R TRENDGRAPH - FILE:TAC-100 [80年 5月27日20時 5分 - 5月28日 8時 5分]

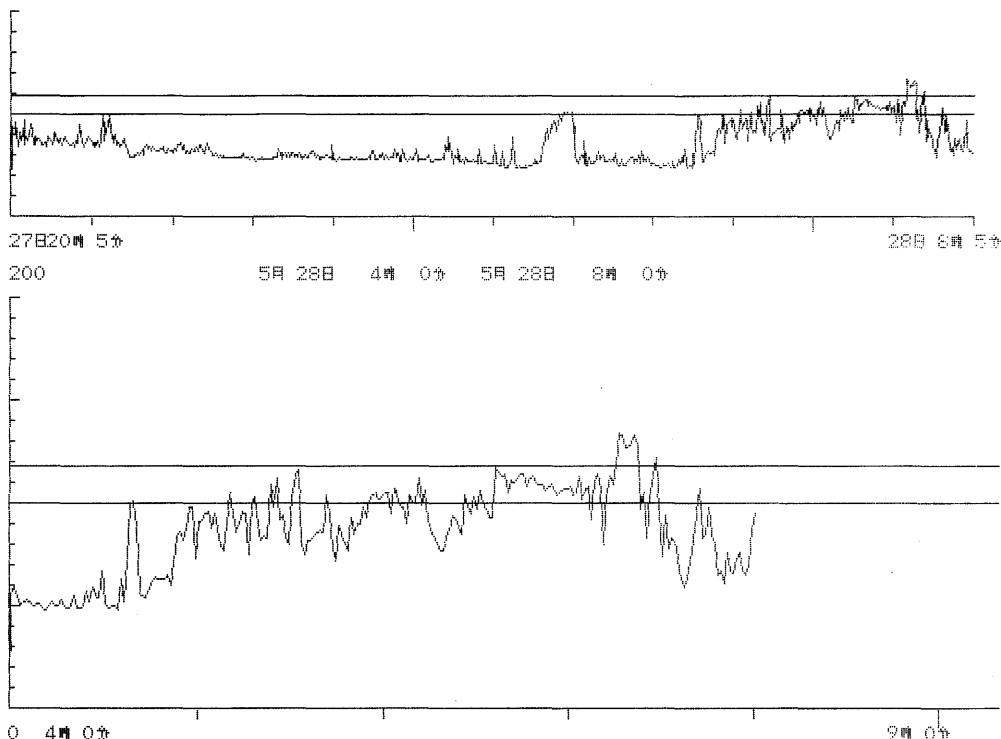


Fig. 5 心拍数トレンドグラフ

る。

なお、エネルギー消費量概算のために使用する推定式は、現在、各研究者によって検討されている $\dot{V}O_2$ -HR 方式、すなわち、一本の直線回帰式¹³⁾、二本の直線回帰式⁹⁾、一本の指数回帰式¹¹⁾ から選択するようにしてある。推定法に代入する回帰係数値は、前もって実験室において求めた個人または性・年齢・体力別の数値を用いる。

心拍数データチェックについて

$\dot{V}O_2$ -HR 方式を用いてエネルギー消費量を推定する場合、心拍数を推定式に代入して概算される。しかし、どのような推定式を用いても、求めようとする身体活動中の心拍数が正しく入力されなければ、その概算されたエネルギー消費量の値は、当然ながら誤差が大きくなる。心拍数は、日常の活動レベルを把握すると考えられるから日常のあらゆる身体活動を想定しなければならない。

そこで、著者らは、日常生活の中で起こりえないよ

うな極端な身体活動、すなわち安静状態から直ちに最大運動を行わせ、さらに直ちに休息した時の心拍数の変化を記録し、その増減率から正しいデータとしての許容範囲を定めた。許容範囲以外の心拍数は、測定時に発生したミス、すなわち、欠損値として扱い、解析データから除去することにした。

心拍数の許容範囲は、次のような実験に基づいて行っている。

1) 実験方法

被験者は、15歳~19歳(平均 17.2 ± 1.2 歳)の運動部男子9名であった。実験は、室温を 26°C に調節した実験室にて行った。まず、被験者に10分間の仰臥姿勢を保持させ、後半の3分間に安静心拍数の測定を行った。次に、モナーク社製自転車エルゴメータを用いて、負荷強度を 750 kpm に固定し、スピード持続目標を $50 \sim 60 \text{ km/h}$ となるように指示して、90秒間の最大ペダリングを行わせた。そしてその時の心拍数を測定した。さらに、最大負荷運動終了直後から直ちに仰臥位姿勢をとらせ回復時の心拍数を測定した。

-- H/R HISTOGRAM --

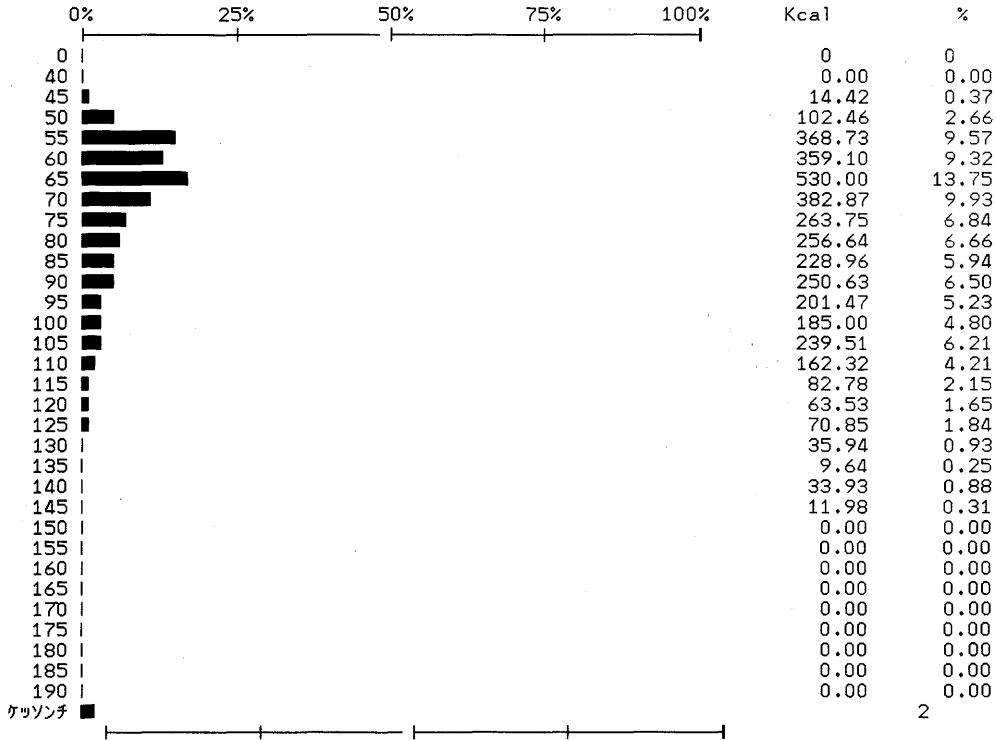
[20時 5分 - 20時 5分]

FILE : TAC-100

HR : max 146 -- min 48
HR total 104597 mean 74 SD 18

MEMO : 60年 5月27日 - 5月28日 60秒

TOTAL ENERGY 3854.530 Kcal A= 7.689 B= 1.022



ENERGY

5月28日 5時 0分 - 5月28日 6時 0分 (61) min 228.943 Kcal/KgBW

5月28日 7時 0分 - 5月28日 8時 0分 (61) min 263.761 Kcal/KgBW

Fig. 6 心拍数ヒストグラム

心拍数の測定には、心電図テレメータ（三栄測器：送信器 1422，受信器 2E18C）を用いた。無線搬送された心電図は、記録器（三栄測器：Rectigraph-8K）によって連続記録した。安静時の心拍数は、1分毎に求めた。運動中および回復期の心拍数は、10秒毎に心電図のR棘を数えて求めた。

2) 結 果

被験者 9名の各測定時における心拍数の平均値と標準偏差を図7に示した。また、表1に各測定時の個人記録より求めた心拍数の最大増減率と平均値の変化と相対心拍強度を示した。

(1) 心拍レベルの一番低い安静仰臥の状態から急に起き上がり、ベッドの横の自転車エルゴメータまで移

表1 各測定時における最大増減率と平均値の変化及び相対心拍強度

		最大増減率	平均値の差		%HR _{max}
仰臥位安静～移動	(10秒間)	38.5%	70.1～92 拍/分	20.9%	11.1%
座位安静～最大負荷運動	10秒後	53.5	109.6～137.6	25.5	42.8
” ～ ”	30秒後	81.4	109.6～167.0	52.3	63.2
” ～ ”	60秒後	93.7	109.6～178.7	63.0	71.3
最大負荷10秒～20秒	(10秒間)	25.0	137.6～156.7	13.9	56.0
最大負荷終了後～回復仰臥位	10秒後	10.0	187.7～175.1	6.7	68.8
” ～ ”	30秒後	18.2	187.7～160.4	14.5	58.6
” ～ ”	60秒後	26.7	187.7～147.6	21.4	49.7
最大負荷運動終了後1～2分	(1分間)	17.9	147.6～128.8	12.7	36.7
” 2～3分	(1分間)	12.5	128.8～120.4	6.5	30.8

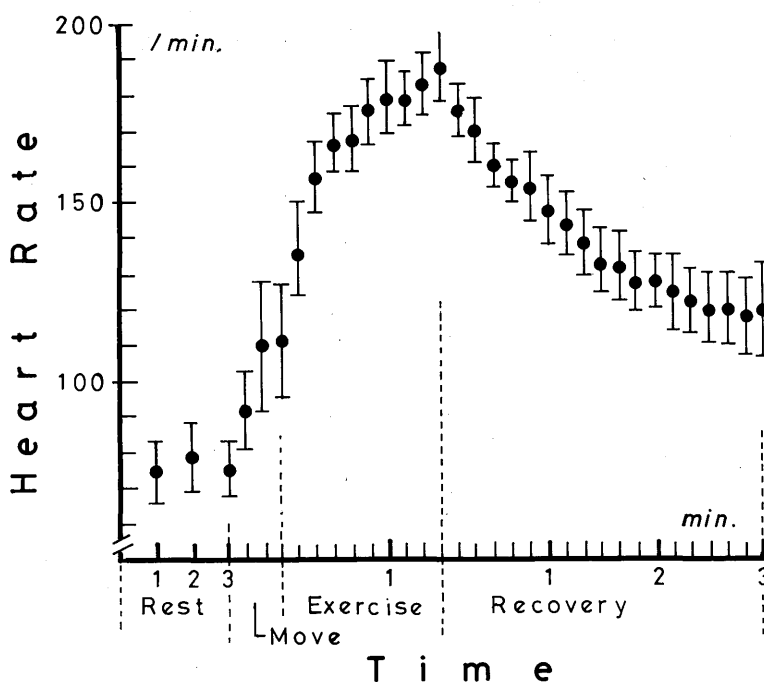


Fig. 7 各測定時における心拍数の平均値と標準偏差

動した時の心拍反応は、最大 38.5% (21.9±11.76%) の増加がみられ、この動作時の平均値における相対心拍数 (以下、%HR_{max} とする) の変化率は、11.1%であった。

(2) 静止状態から、急激に 750 kpm 負荷の全速力ペダリングを 90 秒間行わせた時の心拍数をみると、最初の 10 秒間の最高増加率は 53.5% (25.8±

15.4%) で、%HR_{max} は 42.8%であった。また、運動負荷 30 秒経過時の最高増加率は 81.4% (55.0±19.5%) で、%HR_{max} は 63.2%であった。さらに、1 分経過時の最大増加率は 93.7% (65.7±21.45%)、%HR_{max} は 71.3%に達し、増加率および相対心拍強度において最高を示した。

運動中の心拍数の増加率を 10 秒間隔に求めてみる

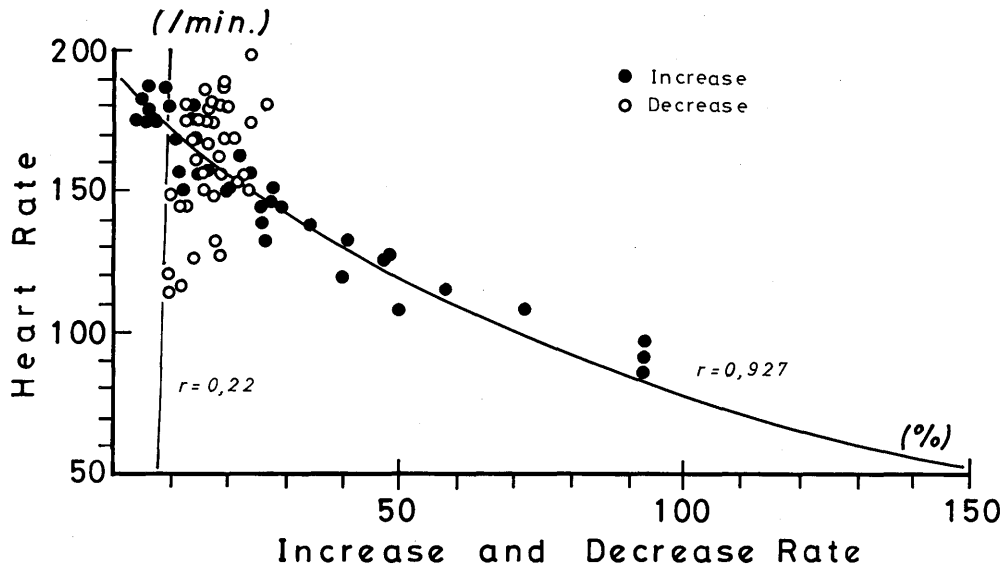


Fig. 8 心拍数とその心拍数1分間の増減率の相関図

と、運動開始10秒～20秒間において、26.3% ($14.4 \pm 7.95\%$) の最も高い増加率がみられた。なお、今実験における最高心拍数は、全被験者とも運動負荷開始後90秒時に得られた。そしてその値は、204～174拍/分 (187.7 ± 10.29 拍/分) であった。

(3) はげしい運動から直ちに運動を停止させ、安静時と同様、仰臥状態で回復時の心拍反応をみると、運動停止後10秒間の最大減少率は10.0% ($6.6 \pm 2.7\%$)、直後30秒間の最大減少率は18.2% ($14.4 \pm 2.7\%$)、さらに、直後1分間の最大減少率は26.7% ($21.4 \pm 3.4\%$) となり、回復期の心拍数は、直後から1分間の時間帯において最大減少率がみられた。なお、運動終了後3分経過時の平均心拍数は120拍/分であり、減少率は36.1%であった。

(4) 心拍数とその心拍数1分間の増減率との関係を図8に示した。これによると増加率は、曲線回帰(対数関数⁷⁾ ($y = A + B \log x$) の式を用いた時に、 $r = 0.927$ という最も高い相関関係が認められた。しかし、減少率の場合直線回帰、対数および指数関数の曲線回帰のどれを用いても、相関係数は $r = 0.220 \sim r = 0.181$ といずれも低く、心拍数と減少率との有意な関係が認められなかった。

(5) 考 察

ミスデータを除去するためには、細心の注意が必要である。本研究の場合は、日常生活では起こり得ない

ような極端な心拍数の変化を起こさせ、その時の心拍数の増加率および減少率を求め、許容できる心拍許容範囲を設定することによって、ミスデータのチェックを行おうと試みた。

約90秒間でほぼ exhaustion に至るような急激な最大運動を行わせた時、心拍数の最大増加率は、運動開始後10秒間に得られた53.5%であった。一方、最大運動からの心拍数の回復率をみると、減少率が最も大きかった(最大減少率)のは、運動終了1分後であった。そしてその最大減少率は、26.7%であった。

ところで、本実験における心拍数の最大増加率と最大減少率とから一律に心拍許容範囲を設定することも可能であろう。しかし著者らは、増加率については心拍数のレベルに応じた許容範囲を設定することにした。なぜならば、増加率の場合、心拍数が低いレベルにあるときは増加率が大きく、逆に心拍数が高いレベルにあるときは小さくなる傾向が認められたからである(図8)。そして心拍数の増加時の心拍許容範囲は、著者らが別の実験¹¹⁾で得た基礎代謝時から最大運動時までの心拍数とその増加率との対数関数式： $y = 614.3 - 117.6 \log x$ の範囲内に設定することにした。

一方、心拍数の減少時の心拍許容範囲は、本実験の運動終了1分目の最大減少率が26.7%であったことから、30%の減少率を心拍許容範囲とすることにした。

このような心拍許容範囲を設定したプログラムを作成し、データのチェックを行うことによって、ある程度のミスデータを除去することが可能であろう。そしてエネルギー消費量の推定のための精度も向上すると思われる。ただこれだけで、心拍数の測定時に発生する測定ミス除去する対策としては、まだ不十分であると考えられる。

より正確で生活処方などに十分に活用できるプログラムにするためには、心拍（心電図）記録装置への入力時点で心拍をチェックできる装置の開発が望まれるとともに、

(1) 心電電位の個人差、性差および肥満者など形態差などを考慮した電極の装着部位の工夫・研究

(2) 性・年齢・体力の差などを考慮した心拍許容範囲の設定についての検討
などが必要であろうと思われる。

文 献

- 1) P.-O. オストランド, K. ラダール: 運動生理学 (朝比奈一男監訳), p. 254-278, 大修館, 1976.
- 2) Cooper, K. H., Purdy, J. G., White, S. R., Pollock, M. L. and Linnerud, A. C.: Age-fitness adjusted maximal heart rates, In *Medicine and Sports, The role of exercise in internal medicine*, Brunner, D. J. and Jokl E. eds. Basel, 1977, p. 78-88.
- 3) 橋本 勲, 青木純一郎, 進藤宗洋, 小林寛道, 佐藤 佑: 日本人の身体活動の低下状況とその改善手段に関する研究, 国立栄養研究所報告, 32; 53-66, 1983.
- 4) 橋本 勲: 運動量の測定と評価, 臨床スポーツ医学, 1; 650-655, 1984.
- 5) 加賀谷照彦, 加賀谷淳子: 運動処方, 杏林書院, 1983, p. 230-236.
- 6) 石河利寛: スポーツと循環, 1985, p. 91-115.
- 7) 岩原信九郎: 教育と心理のための推計学, 日本文化科学社, 1979, p. 387-397.
- 8) Kashiwazaki, H., Inaoka, T. and Suzuki, T.: Daily energy expenditure of middle-aged Japanese house wives measured by 24-hour heart rate and diary Nutrition Research, 5; 453-463, 1984.
- 9) 厚生省公衆衛生局栄養課編: 第三次改定日本人の栄養所要量, 第一出版, 1984, p. 184.
- 10) 小林寛道: 日本人のエアロビックパワー, 杏林書院, 1982, p. 215-249.
- 11) 宅島 章, 大柿哲朗, 小室史恵, 満園良一, 町田弘幸, 吉水 浩, 千綿俊機, 安永 誠, 増田卓二, 緒方道彦: エネルギー消費量のための基礎的研究, (未発表).
- 12) 緒方道彦: 個人のエネルギー消費量概算について, 健康科学, 6; 147-151, 1984.
- 13) Webster, A.: Heart rate and heat Production sheep. *F. Nutr.*, 21; 769-785, 1967.
- 14) 山地啓司: 運動処方のための心拍数の科学, 大修館書店, 1981, p. 37-68.
- 15) 山本高司, 加藤好信, 坪内伸司, 藤松博子: 24時間心拍数から1日の消費エネルギーを推定する方法の開発, 第36回日本体力医学会予稿集, 274, 1981.
- 16) 芳田哲也, 中井誠一, 森田恭光, 伊藤 孝: 心拍数からみた1日の消費熱量, 体力科学, 33; 280, 1984.