

正弦波運動負荷に対する心拍数の動特性と 身体活動量との関連

熊本県立大学 福岡 義之
(共同研究者) 同 重松 三和子
神戸芸術工科大学 古賀 俊策
広島大学 福場 良之
横浜市立大学 塩尻 智之

Daily Physical Activity Related to Heart Rate Kinetics during Sinusoidal Exercise

by

Yoshiyuki Fukuoka, Miwako Shigematsu

Prefectural University of Kumamoto

Shunsaku Koga

Kobe Design University

Yoshiyuki Fukuba

Research Institute of Nuclear Medicine and Biology

Tomoyuki Shioziri

Yokohama City University

ABSTRACT

The purpose was to demonstrate whether daily physical activity influence the heart rate (HR) kinetics following the sinusoidal exercise in 50 healthy 18 to 69 yrs old men and women. They completed sinusoidal exercise tests varied from 20% HR reserve to 60% HR reserve work rates in HR measured beat by beat. The periods of sinusoidal work rate were 1, 3, 6, 9, and 12 min. The HR kinetics could be approximately described by a

first-order model with time delay. Mean response time (MRT, time constants pulse time delay) of the first-order model on response of HR was gradually increased with age. We found a significantly partial correlation between the MRT of HR kinetics and daily physical activity ($r = -0.47$, $P < 0.01$) and age ($r = 0.36$, $P < 0.05$). Physical work capacity at 170 bpm (PWC_{170}) modified by body mass was measured in the incremental exercise. PWC_{170} was not related to both daily physical activity and age.

These results suggest that the HR kinetics was more reflected by daily physical activity than age, and PWC_{170} proved to be inadequate to estimate the delicate situation of daily physical activity.

要 旨

本研究では、正弦波運動負荷に対する心拍応答について20歳代から60歳代までの50名を対象に、身体活動量との関連について検討した。身体活動量は7日間の平均歩行数とした。正弦波運動負荷は、最大値を60% $HR_{reserve}$ 、最小値を20% $HR_{reserve}$ としてこの範囲を正弦波状に変動させ、負荷の周期を1, 3, 6, 9, および12分の5種類とした。一次遅れ系の伝達関数モデルによって近似させた心拍数の平均応答時間 (HR_{MRT}) は、加齢とともに増加傾向にあった。また、 HR_{MRT} 、身体活動量、および年齢間との偏相関係数から、 HR_{MRT} と身体活動量との間の密接な関連が認められた。 PWC_{170} は身体活動量および年齢の両因子とも有意な関連がみられなかった。

以上のことから結論として、正弦波運動中の心拍数の動特性 (HR_{MRT}) は、年齢よりも日頃の身体活動状況との関連が強く、 PWC_{170} よりも身体活動状況 (あるいはトレーニング状況) を適切に評価できる指標であると考えられる。

緒 言

心拍数 (HR) は簡便に測定でき、ステップ・テストや PWC_{170} テスト (Physical Work Capacity at 170 bpm : 170拍/分時の身体作業能力) によ

て持久性能力が評価されている。 PWC_{170} は身体作業能の代表的な指標である最大酸素摂取量 ($\dot{V}_{O_{2max}}$)^{1, 8, 10} と同様、加齢とともに低下する傾向にある¹⁷。また、身体活動量の低下によって PWC_{170} は低くなり、 PWC_{170} は加齢と身体活動量の両因子に左右されるものと考えられる。しかし、この両方の因子が PWC_{170} にどのように関わり合っているのか明らかでない。

ガス交換系の応答性についても近年研究され始め、Paterson ら¹³ は22歳~84歳の97名を対象に、種々の運動負荷 (ランプ、ステップ、および正弦波負荷) に対する酸素摂取量 (\dot{V}_{O_2}) の平均応答時間 (MRT : 時定数と無駄時間の和) が、老年者では若年者より有意に大きく、 \dot{V}_{O_2} の応答速度は加齢によって顕著に遅延することを示唆した。その他の報告からも、 \dot{V}_{O_2} の時定数は10年間で7~9秒増加し、 \dot{V}_{O_2} システムとしての応答性が劣化するようである^{2, 4, 13}。しかし、循環動態の指標である心拍数 (HR) の応答動態には一致した見解が得られていない。Cunningham らは、正弦波運動に対する心拍応答は高齢者の方が遅れることを報告している⁷。これに対して Babcock らは^{3, 4}、ステップ負荷に対する HR の時定数は年齢の影響を受けないこと、さらに高齢者が身体トレーニングを行っても、HR の時定数は有意な変化を示さなかったと報告している。したがって、

HRの応答性が加齢や身体活動量の影響を受けないのか、さらに検討の余地がある。

そこで本研究では、PWC₁₇₀ および心拍応答と加齢や身体活動量との相互関連について明らかにすることを目的とした。

1. 方法

1.1 被験者

被験者は安静時の心電図に異常のない者とし、20歳代から60歳代の50名であった。表1に各年齢層の人数と身体特性について示した。被験者の日頃のトレーニング状況や喫煙状況は、とくに考慮しなかった。

1.2 身体活動量の測定

被験者は、歩行数を重心の上下動で計測できるデジタル万歩計（松下電工社製）を用いて7日間記録し、7日間の平均歩行数を被験者の身体活動量とした。万歩計の記録は朝起きてから就寝するまでとした。

1.3 PWC₁₇₀の測定

PWC₁₇₀の測定は、自転車エルゴメータ（コンビ社製、RS-232C）を用いて行った。運動のプロ

トコールは3分間の安静後、3段階の漸増負荷を各ステージ3分間、計9分間行った。各ステージの終了前15秒間の平均心拍数を、ハートレートモニター（ポーラエレクトロ社製、バンテージXL）を用いて算出した。運動量とHRとの一次回帰式からPWC₁₇₀を求めた。PWC₁₇₀の絶対値は体重補正（watts/kg）を行った。

1.4 正弦波運動負荷プロトコール

正弦波運動負荷には、コンピュータで制御可能な自転車エルゴメータ（コンビ社製、RS-232C）を用いて、運動強度の最大値を60%HR_{reserve}、最小値を20%HR_{reserve}として、この範囲を正弦波状に変化させた。負荷の周期を1, 3, 6, 9および12分の5種類とし、2, 3種類の周期を継続して行った。60%HR_{reserve}と20%HR_{reserve}の算出は、漸増負荷で得られた一次回帰式と最大心拍数（HR_{max}）から算出した。HR_{max}は今回実測せず、以下の式から推定した。

$$HR_{max} = 210 - 0.8 \cdot \text{年齢}$$

1.5 心拍数のデータ・サンプル

V₅誘導による心電図を生体アンプ（日本光電社製、AB-621G）でいったん電圧を増幅させ、A

表1 年齢別の身体特性および1週間の平均の歩行数

	性別	20歳代	30歳代	40歳代	50歳代	60歳代
被験者数	男性	6	4	3	1	6
	女性	9	4	5	9	3
	計	15	8	8	10	9
年齢 (years)	男性	20.2 ± 2.9	35.0 ± 1.7	40.7 ± 0.6	53.0 ± 0.0	64.7 ± 3.7
	女性	19.6 ± 2.5	35.0 ± 2.6	47.4 ± 1.9	52.9 ± 2.9	61.3 ± 2.3
身長 (cm)	男性	167.0 ± 6.50	173.4 ± 0.96	169.3 ± 1.60	161.0 ± 0.00	160.2 ± 3.41
	女性	157.3 ± 5.61	162.3 ± 4.67	157.6 ± 5.93	153.9 ± 5.40	152.2 ± 3.67
体重 (kg)	男性	63.6 ± 8.42	62.7 ± 7.68	61.5 ± 4.95	61.0 ± 0.00	58.2 ± 5.07
	女性	48.3 ± 6.93	57.2 ± 5.08	57.3 ± 3.37	54.2 ± 7.66	57.3 ± 7.33
平均歩行数 (歩/日)	男性	9339	7530	8150	10097	9312
		± 3000	± 2380	± 1945	± 0	± 1907
	女性	9225	10763	13207	9639	11415
		± 2703	± 925	± 4037	± 4012	± 5452

値は平均値±標準偏差で表した

/D変換器 (CANOPUS 社製, ADJ-98) を介してオンラインでコンピュータ (NEC社製, PC 9801-RA) に転送し, ハードディスクに保存した. 後日, 心電図の RR 間隔をコンピュータで自動計測し, beat-by-beatの心拍データを作成し, さらに beat-by-beat の心拍データから 1 秒間隔値の心拍データを算出した. 本研究ではこの 1 秒間隔値の心拍データを用いて, 心拍数の動特性を評価した.

1.6 心拍応答の解析法と伝達関数による応答時間の算出

繰り返しの正弦波負荷に対する心拍数のデータを加算平均して, 平滑化処理をまず行った. この加算平均した心拍データを用いて周波数分析を行い, 負荷周期と同じ応答成分 (基本周波数成分) を抽出した. これ以上の高周波数成分はホワイト・ノイズとして扱った. 周波数分析した基本周波数成分は実数部と虚数部からなり, 以下の式から応答の振幅値および位相差を求めた.

$$\text{実数部 (Re)} = 2T \sum_{t=0}^T \cdot y(t) \cos(\omega t) \quad (1)$$

$$\text{虚数部 (Im)} = 2T \sum_{t=0}^T \cdot y(t) \sin(\omega t) \quad (2)$$

$$\text{振 幅 (Amp.)} = (\text{Re}^2 + \text{Im}^2)^{0.5} \quad (3)$$

$$\text{位相差 } (\phi) = \arctan (\text{Re}/\text{Im}) \quad (4)$$

各周期の心拍の応答成分 (Re と Im) を用いて, 無駄時間を含む 1 次遅れ系の伝達関数モデル^{5, 6, 12, 14~16)} の近似を非線形最小二乗法 (Gauss-Newton 法) を用いて行った. HR システムの時定数と無駄時間が算出され, 本研究では時定数と無駄時間の和である平均応答時間 (HR_{MRT}; Mean Response Time of HR) によって HR の動特性を評価した.

1.7 HR_{MRT}, PWC₁₇₀ と年齢, 身体活動量と相互関連

年齢や身体活動量と HR_{MRT}, PWC₁₇₀ との関連についてピアソン相関係数を求め, 年齢を考慮した HR_{MRT} と身体活動量との関連, および PWC₁₇₀ と身体活動量との関連性について偏相関係数

を用いて評価した.

1.8 統計処理

年齢別の平均値の差の検定には一元配置分散分析を用い, F 値に有意差が認められたときには多重比較検定を行った. 有意水準はすべて 5% 以下とした.

2. 結 果

2.1 正弦波運動時の心拍応答

正弦波運動負荷に対する心拍数の応答動態を周

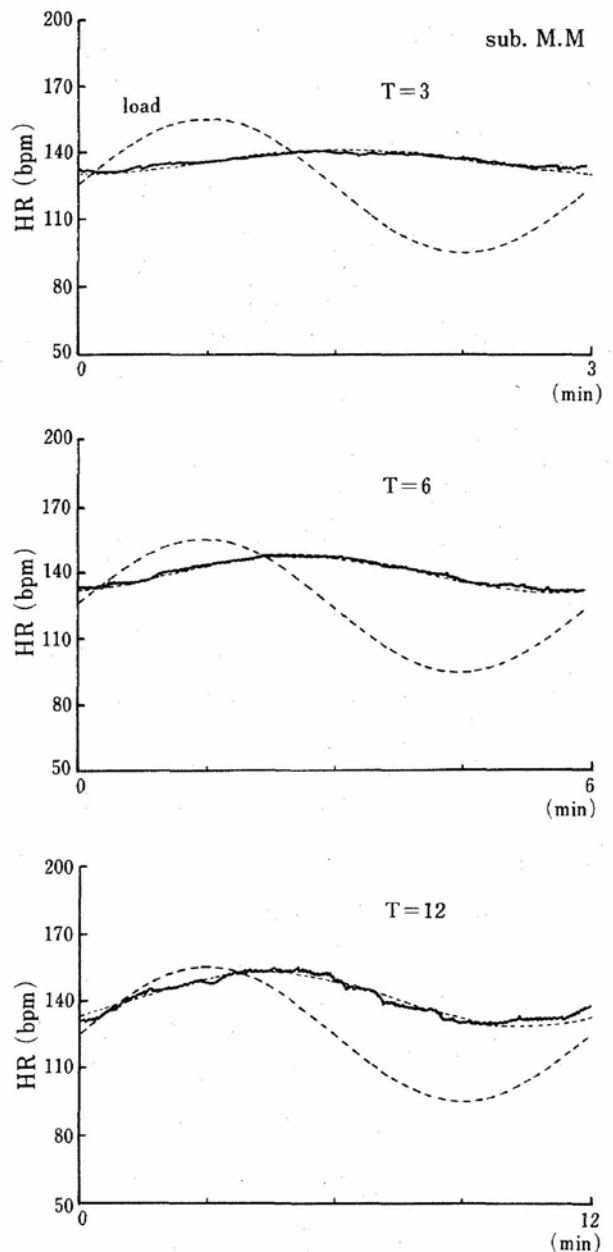


図1 3, 6 および12分周期における加算平均処理した心拍応答と基本周波数成分

表2 正弦波運動中の周期別の心拍数の振幅と位相差

周期 (min)	12		9		6		3		1	
	振幅 (%)	位相差 (deg)	振幅 (%)	位相差 (deg)	振幅 (%)	位相差 (deg)	振幅 (%)	位相差 (deg)	振幅 (%)	位相差 (deg)
20歳代	37.2 ± 4.59	-32.2 ± 7.05	36.5 ± 6.42	-37.8 ± 6.31	31.8 ± 5.10	-51.1 ± 6.86	24.7 ± 4.57	-68.5 ± 8.14	17.5 ± 3.45	-91.1 ± 8.72
30歳代	36.4 ± 6.01	-42.9 ± 2.13	34.3 ± 8.16	-49.5 ± 7.21	31.0 ± 3.64	-62.1 ± 9.95	24.5 ± 7.26	-78.3 ± 13.72	17.1 ± 3.16	-91.3 ± 6.46
40歳代	31.2 ± 4.13	-38.3 ± 2.88	30.6 ± 6.52	-42.0 ± 8.57	26.1 ± 5.69	-59.0 ± 9.63	20.6 ± 5.28	-78.3 ± 10.50	16.9 ± 3.21	-87.0 ± 8.87
50歳代	31.0 ± 9.36	-38.0 ± 6.94	32.1 ± 6.15	-45.2 ± 12.53	27.4 ± 5.71	-56.7 ± 4.84	21.4 ± 3.52	-77.6 ± 8.78	18.9 ± 3.92	-87.8 ± 11.14
60歳代	36.3 ± 8.65	-37.5 ± 6.98	35.4 ± 5.85	-43.8 ± 7.81	33.2 ± 5.45	-60.0 ± 5.97	26.2 ± 3.32	-71.9 ± 7.22	21.2 ± 2.51	-84.5 ± 5.45

振幅 (%) ; $HR_{amp} / \Delta HR \cdot 100$ とした HR_{amp} ; 正弦波運動時の心拍数の振幅値 (拍/分)
 ΔHR ; 漸増負荷運動時の20~60% $HR_{reserve}$ の心拍数の変化量 (拍/分)
 値は平均値±標準偏差で表した

期別に図1に示した。心拍数の応答動態は周期に一致した応答を示し、短い周期では応答の振幅が小さく、位相差は大きい、周期が長くなると振幅は大きく、位相差が小さくなった(表2)。

2.2 正弦波運動時の応答時間

出力である心拍数の振幅および位相差と負荷周期の入力の情報から、HRシステムの一次遅れ系

モデルの時定数、無駄時間および HR_{MRT} を算出すると表3になる。20歳代と30, 40, および50歳代との間に、時定数と HR_{MRT} に有意な差が認められた。

2.3 HR_{MRT} と年齢および平均歩行数との関連

本研究では HR_{MRT} を心拍数の動特性の指標と

表3 年齢別の PWC_{170} と1次遅れ系伝達関数の応答時間 HR_{MRT}

	PWC_{170} (watts/kg)	時定数 (sec)	無駄時間 (sec)	MRT (sec)
20歳代	2.5 ± 0.30	62.5 ± 15.14	2.5 ± 3.21	65.0 ± 14.49
30歳代	3.13* ± 0.76	86.0* ± 13.61	3.0 ± 2.42	88.9* ± 13.25
40歳代	2.26** ± 0.37	88.3** ± 23.82	1.2 ± 2.17	89.5** ± 23.33
50歳代	2.23** ± 0.61	87.8** ± 33.30	1.8 ± 2.69	89.6** ± 32.12
60歳代	2.8** ± 0.80	72.0 ± 16.87	2.7 ± 1.97	74.7 ± 16.24

*, ** ; 20歳代と1%, 5%水準で有意差がみられた
 ** ; 30歳代と1%水準で有意差がみられた
 ** ; 40歳代と1%水準で有意差がみられた
 値は平均値±標準偏差で表した

し、これと年齢および平均歩行数との関連について検討を加えた。表3からも明らかではあるが、加齢に伴ってHR_{MRT}は増大する傾向はややみられるが、両者のピアソン相関係数は有意ではなかった(図2: $r=0.26$, $P=0.06$)。図2の一次回帰式からみて、HR_{MRT}の増加率は $0.36 \text{ sec} \cdot \text{year}^{-1}$ であり、10年間で約4秒増大することになる。また、平均歩行数とHR_{MRT}との関連から、両者には有意な負の相関が認められた(図3: $r=-0.41$, $P<0.01$)。

2.4 PWC₁₇₀と年齢および平均歩行数との関連

PWC₁₇₀の年齢別の平均値を表3に、またPWC₁₇₀と年齢および平均歩行数との相関図を図4に示した。年齢とPWC₁₇₀、平均歩行数とPWC₁₇₀の間にはいずれも有意な相関がみられなかった(年齢; $r=0.03$, 平均歩行数; $r=0.1$)。

2.5 偏相関係数からみた各変量間の関連

HR_{MRT}、平均歩行数、および年齢との相互関係において偏相関係数を算出したところ、HR_{MRT}と平均歩行数との間、およびHR_{MRT}と年齢との

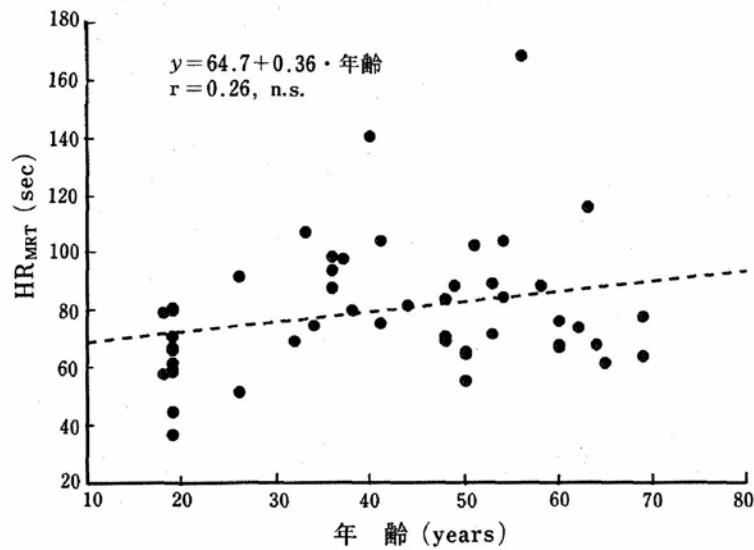


図2 HR_{MRT}と年齢との関係

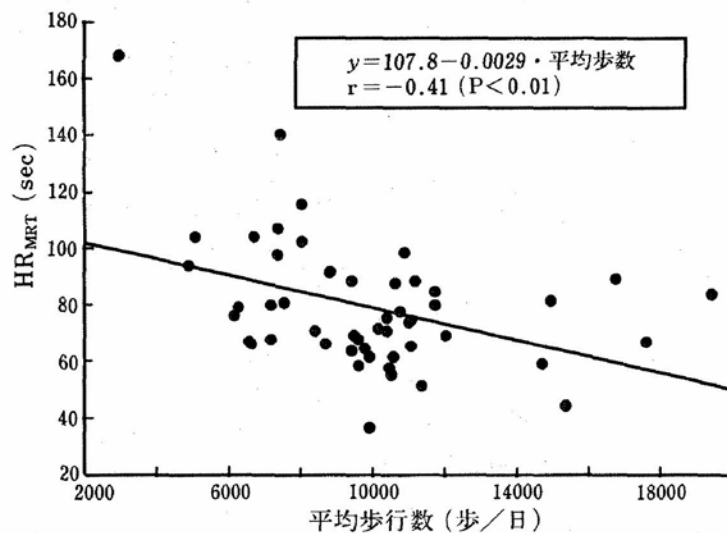


図3 HR_{MRT}と平均歩行数との関係

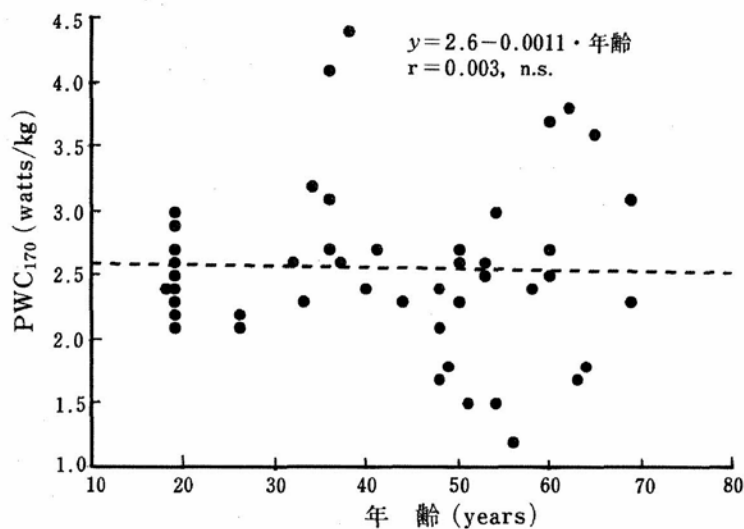
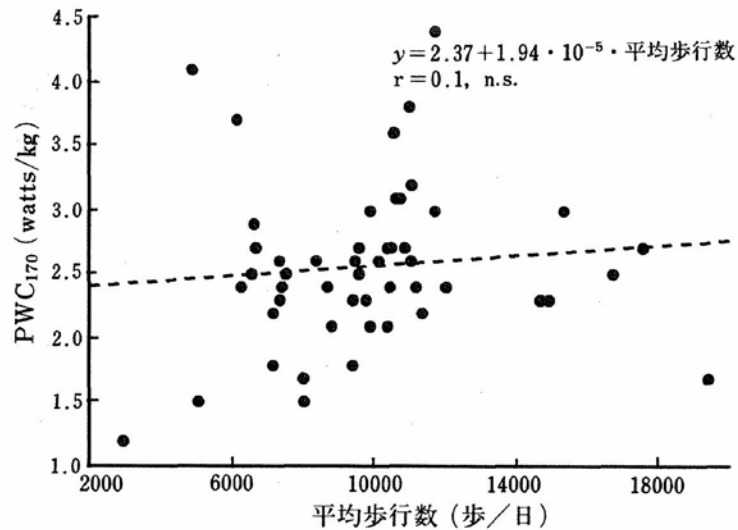


図4 PWC₁₇₀ と年齢および平均歩行数との関連

間には有意な相関が認められたが、年齢と平均歩行数との間には有意な相関はなかった (図 5 a)。同様に PWC₁₇₀、平均歩行数、および年齢との相互関係では、いずれの変量間にも有意な相関がみられなかった (図 5 b)。

3. 考 察

心拍数の動的な応答性を示す HR_{MRT} と平均歩行数および年齢の間には有意な偏相関がみられた。これに対して PWC₁₇₀ は、平均歩行数、年齢

ともに有意な関連がみられなかった。これらの結果は、PWC₁₇₀ よりも正弦波運動中の心拍数の動特性 (HR_{MRT}) の方が、日頃の身体活動状況や年齢の影響を受けやすいことを示す結果であると考えられる。

3.1 PWC₁₇₀

PWC₁₇₀ と年齢および平均歩行数の間には有意な偏相関係数が得られなかった。PWC₁₇₀ は年齢の増大とともに低下することが報告されているが¹⁷⁾、このような PWC₁₇₀ の低下の説明として、

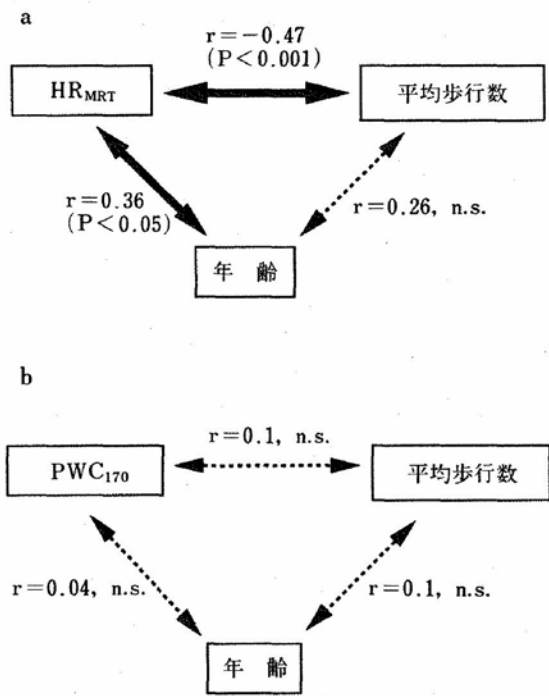


図5 各変量間の偏相関係数からみた相互関係

活動筋量の低下によって、同じ運動量でも相対負担度が増大することや、日常の活動量が加齢とともに低下することが挙げられる。

本研究の50歳代あるいは60歳代であっても、平均歩行数が9,300から11,400歩と10,000歩に近い身体活動状況であり、20歳代のそれとほぼ同程度であった(図6)。また、PWC₁₇₀は年齢間に差はみ

られたが、加齢に伴って低下する傾向はなかった(表3)。これらのことから、本研究の集団が身体活動量、PWC₁₇₀ともかなり狭い範囲に分布し、これが3変量間の関連を明確にしなかったものと考えられる。換言すれば、PWC₁₇₀は、年齢や活動量の微妙な相違を十分反映できない指標であると推察される。また、PWC₁₇₀は一回帰式による推定であるため、推定による誤差も含まれていて、このような結果(図5b)の一因としても挙げられる。

3.2 HR_{MRT}

本研究のHR_{MRT}は65.0秒から89.6秒であり(表3)、従来の正弦波運動負荷に対するHRの時定数^{6, 12, 16)}と比較してかなり高値を示した。その原因として負荷強度の設定が挙げられる。本研究では、各被験者の相対強度が20% HR_{reserve} ~ 60% HR_{reserve}の範囲で、負荷を正弦波状に変化させた。図1にもあるように心拍数の最小値は約100 ~ 110 bpmであり、このような状態においては迷走神経活動がかなり減弱して、HRの変動は交感神経活動の増減によるものと推察される。また、ステップ運動負荷に対するHRの時定数は約30 ~ 40秒である⁴⁾。ステップ負荷では、主運動を始める前のベースラインとして軽い運動、あるいは

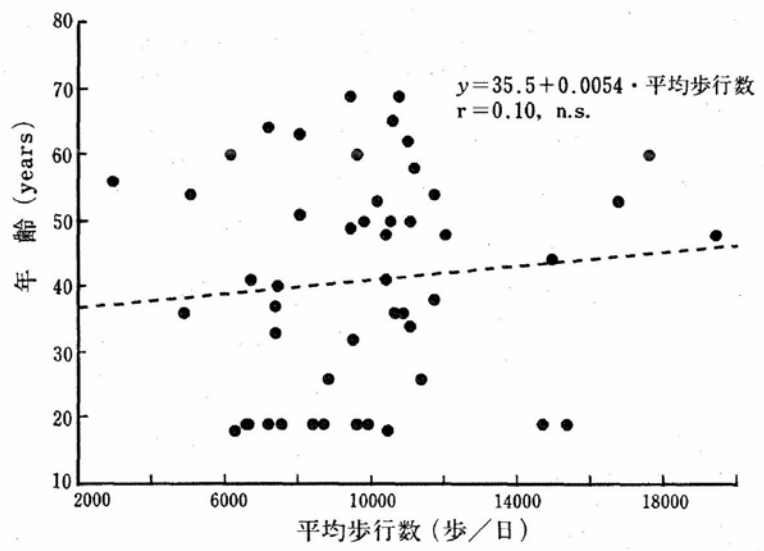


図6 年齢と平均歩行数との関係

は安静時から運動を開始する場合が多い。このことから、低いHRから運動を開始したときには、HRの速い応答（立ち上がり）には、迷走神経活動の急速な抑制がまず作用して、短い時定数となるものと考えられる。このように異なる負荷様式と比較しても、本研究のHR_{MRT}は高値を示した。

本研究のHR_{MRT}は、加齢とともに増大する傾向にあり、その増加率は10年間で約4秒であった。10年間で7～9秒増加するという \dot{V}_{O_2} の時定数^{2, 4, 13)}と比較して、その増加度は小さいようである。心機能においては、高齢者であっても若年者と同様、一回拍出量(SV)は運動開始後、急激に増大することから、Frank-Starlingの機能が有効に作用していることが示唆されている⁹⁾。本研究の加齢によるHR_{MRT}の増加が顕著でなかったのも、このことが一因しているであろう。またHR_{MRT}と年齢の間の偏相関係数は5%水準で有意であった。このことから、本研究では心拍応答に加齢の影響があるとするCunninghamらの結果⁷⁾を支持する結果が得られた。

一方、HR_{MRT}と平均歩行数との間には、年齢以上の高い偏相関係数が認められ、HR_{MRT}は身体活動状況を顕著に反映するものと考えられる。身体トレーニングによってガス交換の応答性は、高齢者でも若年者と同程度加速することが認められている³⁾。したがって、日常の活動状況あるいは日頃の身体トレーニング状況が、生体の応答性の優劣に大きく反映するものと考えられる。このような心拍応答は、身体トレーニングの効果を明らかにする新たな評価法として適しているものと考えられる。

PWC₁₇₀では年齢、身体活動状況ともに十分な関連が認められなかった。このことから、本研究のように被験者の対象を制限しない場合には、トレーニング効果を評価する指標としてあまり適さないものと推察される。しかし、PWC₁₇₀、HR_{MRT}ともに年齢との間に高い相関は得られなかった。

この原因として、被験者構成において70歳代、80歳代を考慮しなかったことが挙げられる。

生体の応答性を身体活動あるいはトレーニングの評価法として用いる場合、とくに老年者を対象にした場合には以下のようないくつかのメリットがある。

- 1) 最大下運動であるので老年者を対象にした場合には安全である。
- 2) 日常の身体活動およびスポーツは定常状態になることがあまりないので、このような負荷法はより実際に近い運動モデルと考えられる。
- 3) 身体組成や身体特性の補正が応答時間には必要ない。
- 4) 低い運動強度でも正確なデータが採取できる。

4. まとめ

本研究は20～60歳代の50名を対象に、正弦波運動負荷に対する心拍数の動特性と身体活動量との関係について検討した。その結果、心拍数の動的な応答性を示すHR_{MRT}と平均歩行数および年齢の間には有意な相関がみられた。とくに、HR_{MRT}と平均歩行数の間には密接な関係が認められた。これに対してPWC₁₇₀は、平均歩行数および年齢の両因子とも有意な関連がみられなかった。

以上のことから結論として、正弦波運動中の心拍数の動特性(HR_{MRT})は、年齢よりも日頃の身体活動状況の違いを適切に評価することができるものと考えられる。

謝 辞

熊本機能病院循環器内科 二口 稔先生には、心電図の診断に当たって多大なご協力、ご指導を賜りました。また、本学生活科学部食物栄養学科 4年 中川洋子さん、藤木あかねさん、桜田亜希さんには実験アシスタントとしてご協力いただきました。改めてここに感謝の意を表します。

文 献

- 1) Astrand, I. ; Aerobic work capacity in men and women with special reference to age, *Acta. Physiol. Scand.*, **169**, 1-92 (1960)
- 2) Babcock, M. A., Paterson, D. H., Cunningham, D. A. ; Influence of ageing on aerobic parameters determined from a ramp test, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **65**, 138-143 (1992)
- 3) Babcock, M. A., Paterson, D. H., Cunningham, D. A. ; Effects of aerobic endurance training on gas exchange kinetics of older men, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **26**, 447-452 (1994a)
- 4) Babcock, M. A., Paterson, D. H., Cunningham, D. A., Dickinson, J. R. ; Exercise on-transient gas exchange kinetics are slowed as a function of age, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **26**, 440-446 (1994b)
- 5) Bakker, H. K., Struikenkamp, R. S., DeVries, G. A. ; Dynamics of ventilation, heart rate, and gas exchange, sinusoidal and impulse work loads in man, *J. Appl. Physiol.*, **48**, 289-301 (1980)
- 6) Casaburi, R., Whipp, B. J., Wasserman, K., Beaver, W. L., Koyal, S. N. ; Ventilatory and exchange dynamics in response to sinusoidal work, *J. Appl. Physiol.*, **42**, 300-311 (1977)
- 7) Cunningham, D. A., Himann, J. E., Paterson, D. H., Dicknson, JR ; Gas exchange dynamics with sinusoidal work in young and elderly women. *Respir. Physiol.*, **91**, 43-56 (1992)
- 8) Dehn, M. M. Bruce, R. ; Longitudinal variations in maximal oxygen intake with age and activity, *J. Appl. Physiol.*, **33**, 805-807 (1972)
- 9) Gerstenblith, G., Renlund, J. G., Lakatta, E. G., Cardiovascular response to exercise in younger and older men, *Fed. Proc.*, **46**, 1834-1839 (1987)
- 10) Higginbotham, H. B., Morris, K. G., Williams, R. S., Coleman, R. E., Cobb, F. R. ; Physiologic basis for the age-related decline in aerobic work capacity, *Am. J. Cardiol.*, **57**, 1374-1379 (1986)
- 11) Julius, S., Amery, A., Whitlock, S., Conway, J. Influence of age on the hemodynamic response to exercise, *Circulation*, **36**, 222-230 (1967)
- 12) Miyamoto, Y., Nakazono, Y., Hiura, T., Abe, Y. ; Cardiorespiratory dynamics during sinusoidal and impulse exercise in man, *Jpn. J. Physiol.*, **33**, 971-986 (1983)
- 13) Paterson, D. H., Cunningham, D. A., Babcock, M. A. ; Oxygen kinetics in the elderly, In, *Respiratory Control*. Swanson GD (eds) Plenum Press, NY, 171-178 (1987)
- 14) Tiedt, N., Wohlgemuth, B., Wohlgemuth, P. ; Dynamic characteristics of heart rate responses to sine-function work load-patterns in man, *Pflügers Arch.*, **355**, 175-187 (1975)
- 15) Versteeg, P. G. A., Sampuron, S. B., Sipkema, P., Elzinga, G. ; Control of cardiac output in exercising dogs using different types work load, *Cardiovasc. Res.*, **15**, 151-158 (1981)
- 16) Wigertz, O. ; Dynamics of ventilation and heart rate in response to sinusoidal work load in man, *J. Appl. Physiol.*, **29**, 208-218 (1970)
- 17) 山地啓司 ; 心拍数の科学, 大修館 (1983)