

## 5分漸増負荷法に基づく相対心拍数/仕事率係数による 心肺持久力の評価

吉岡隆之\*, 白石龍生<sup>2\*</sup>, 藤田弘子<sup>3\*</sup>

\*神戸市看護大学健康科学・行動科学系, <sup>2\*</sup>大阪教育大学保健学教室, <sup>3\*</sup>三菱化学B.C.L.

### Assessment of Cardiorespiratory Endurance by Slope of Relative Heart Rate on Work Rate Based on 5 Min. Incremental Loading

Takayuki YOSHIOKA\*, Tatsuo SHIRAISHI<sup>2\*</sup> and Hiroko FUJITA<sup>3\*</sup>

\*Department of Health and Behavioral Science, Kobe City College of Nursing

<sup>2\*</sup>Department of Health Science, Osaka Kyoiku University

<sup>3\*</sup>Bio-Clinical Laboratory, Mitsubishi Chemical Cooperation

#### Abstract

A new assessment tool of cardiorespiratory endurance has been developed for non-athletes from the viewpoint of the advantages of prediction and simplicity of measurement while using a cost-effective approach. The simple index used in this assessment tool is the slope of the modified relative heart rate (%HR) on work rate (WR) during 1 min. incremental exercise on a cycle ergometer ( $\Delta\%HR/\Delta WR$ ). The same slope corrected for body mass ( $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ ) has also been developed. These indices have already been validated. The  $\Delta\%HR/\Delta WR$  is based on 1 min. incremental loading not including steady-state values of heart rate (HR)-WR response. The  $\Delta\%HR/\Delta WR$  based on 1 min. incremental loading does not express an optimal incremental rate of the modified %HR versus WR. In this study, the  $\Delta\%HR/\Delta WR$  based on 5 min. incremental loading including the optimal steady-state values of HR-WR response ( $5 \text{ min } \Delta\%HR/\Delta WR$ ) and the  $5 \text{ min } \Delta\%HR/\Delta WR$  corrected for body mass ( $5 \text{ min } \Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ ) were validated by examining the correlations between the  $5 \text{ min } \Delta\%HR/\Delta WR$  and maximum oxygen uptake ( $\dot{V}O_{2\max}$ ) and between the  $5 \text{ min } \Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$  and the  $\dot{V}O_{2\max}$  corrected for body mass ( $\dot{V}O_{2\max}/BM$ ), respectively, in 14 healthy female students. Consequently, both the  $5 \text{ min } \Delta\%HR/\Delta WR$  and the  $5 \text{ min } \Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$  showed highly significant negative correlations with the  $\dot{V}O_{2\max}$  ( $r = -0.92$ ;  $p < 0.001$ ) and the  $\dot{V}O_{2\max}/BM$  ( $r = -0.90$ ;  $p < 0.001$ ), respectively.

**Key words :** Endurance (持久力), Assessment (評価), Relative heart rate (相対心拍数),

5 min. incremental loading (5分漸増負荷法), Cycle ergometer (自転車エルゴメーター)

#### 緒 言

健康と最も関係深い体力の一つである心肺持久力の評価法については、最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}$ ) を基にしたものが主流である<sup>1~3)</sup>が、この測定には高価な装置が必要で、測定方法も複雑で、しかも測定時に被験者の最大努力を要する<sup>4)</sup>ため、日常定期的に身体トレーニングを行っていない非競技者にとっては適当な方法とはいえない。現在のところ、健康づくりの目的で、非競技者に広く用いられている心肺持久力の評

価法は、簡便性、安全性及び安価に行えるという点で、最大下運動時の心拍数 (HR) と負荷量の応答を最大運動時の酸素摂取量とHR及び負荷量の標準的な応答に当てはめて $\dot{V}O_{2\max}$ を推定する方法<sup>5~8)</sup>である。しかし、これらの方法では、HRと負荷量の応答の個人差が大きいに、その応答を実際には測定していない $\dot{V}O_{2\max}$ の標準的な応答に当てはめているため、いくつかの誤差が重なり妥当性という点で不十分である。

吉岡ら<sup>9)</sup>は、HRと負荷量の応答の個人差を補うために、運動強度の指標として非競技者に広く用いられ

ている相対心拍数 (%HR)<sup>10-13)</sup> を応用し, しかも  $\dot{V}O_2$  max と関連させるのではなく, 漸増負荷運動中の仕事率 (WR) と %HR の応答そのものを指標とし, 予測値の誤差が最小限になるような心肺持久力の新しい評価法を考案した。一般的に %HR のベースライン (0%) は安静時 HR であるが, 多くの場合安静時 HR は漸増負荷運動における WR と HR の直線関係<sup>1, 10)</sup> に当てはまらない。吉岡らの指標では, 漸増負荷運動中の %HR のベースラインに安静時 HR を用いることは整合性を欠くと考えられ, 漸増負荷運動中の WR に関する HR の回帰直線の切片 (HRbase) をベースラインに用いることによって %HR が補正された。具体的な評価法は, HRbase と最大心拍数 (HRmax) の較差の百分率で表す %HR を利用し, 自転車エルゴメーターを用いた 1 分漸増負荷運動中の WR に対する %HR の増加率 (相対心拍数/仕事率係数) を指標として評価する方法である。この相対心拍数/仕事率係数 ( $\Delta$  %HR /  $\Delta$  WR) の実測値と予測値は HRmax の実測値を用いるか年齢による予測最大心拍数 (ageHRmax) を用いるかの違いだけなので, 誤差は ageHRmax の誤差だけとなる。

ところで, この  $\Delta$  %HR /  $\Delta$  WR は 1 分漸増負荷法に基づくため, その基になる WR と HR の応答 (WR-HR 応答) には定常状態がみられない。そのため,  $\Delta$  %HR /  $\Delta$  WR は 1 分漸増負荷法における限られた WR に対する %HR の増加率を表すもので, 漸増間隔が異なる他の負荷法には適用できない。そこで本研究では, ほぼ定常的な WR-HR 応答<sup>14)</sup> を呈し, 定常状態を有する他の漸増負荷法にも適用できると考えられる 5 分漸増負荷法を用いて  $\Delta$  %HR /  $\Delta$  WR を求め, 1 分漸増負荷法と同様に,  $\dot{V}O_2$  max との相関から心肺持久力の評価指標としての妥当性を検討した。

## 方 法

### 1. 被験者

20名の健康な女子学生 (非競技者12名, 競技者8名) がボランティアとして本実験の被験者となった。彼女たちは本実験手順について十分な説明を受け, あらゆる質問の機会を得た後, 被験者になることを承諾した。結果的に, 20名の被験者のうち後述する基準を満たした14名 (非競技者8名, 競技者6名) のデータを採用した。採用した14名の被験者の年齢は19~23歳で, 身

長及び体重の平均値±標準偏差 (SD) はそれぞれ 158.6±4.4cm 及び 50.9±4.7kg であった。なお, 競技者の所属クラブはバスケットボール部及び陸上競技部 (長距離) であった。

### 2. 実験手順

負荷テストは, 30分間の座位安静の後, 電気抵抗式の自転車エルゴメーター (Mijnhardt社製 KEM-2, オランダ) を用いて行われた。自転車駆動は, 1分間に60回転が保たれたまま, 無負荷, 40W, 80W 及び 100 または 120W の各段階で 5 分間行われた後, 1分毎に 15 または 20W の漸増で, 被験者が疲労困憊を訴えるか, 験者がテストの終了を判断するまで続けられた。5 分漸増の最終段階の負荷 (100 または 120W) 及びその後の 1 分漸増の負荷 (15 または 20W) の選択は, 被験者によってあらかじめ自己申告された心肺持久力の優劣により験者が判断した。負荷テスト中の各被験者の HR 及び酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ ) は, よく調整された心拍テレメーター (フクダ産業社製 LW-610, 日本) 及び心肺機能測定装置 (Mijnhardt社製 Oxycon-4, オランダ) を用いて, 30秒毎に連続測定され, 30秒間の平均値として記録された。

### 3. 最大運動の評価基準

負荷テストにおいて, 各被験者が最大運動 (最大努力) に達していたか否かは, 以下の基準<sup>15, 16)</sup> により決定した。(1)  $\dot{V}O_2$  の最高値付近にプラトー現象が発現, (2) 呼吸商の最高値が 1.10 以上, または (3) HR の最高値が ageHRmax (220-年齢) の ±15 拍/分以内。20名の被験者のうち 6 名は上記 (1)~(3) のいずれの基準も満たしていなかったため, 本研究の分析には残りの 14 名 (非競技者 8 名, 競技者 6 名) のデータを採用した。

### 4. 漸増負荷運動中の %HR の補正

図 1 には, ほぼ定常的な WR-HR 応答<sup>14)</sup> を呈する 5 分漸増の各負荷段階の 4~5 分目の 2 分間の平均 HR (拍/分) とその段階の WR (W) の直線関係 (被験者 A の場合) を示した。図に示したように, WR に関する HR の回帰直線の切片 (HRbase) を %HR を求める際のベースライン (0%) として採用した。HRbase によって補正した漸増負荷運動中の %HR は以下の式により被験者毎に求めた。

$$\%HR (\%) = \frac{[\text{各負荷段階の HR} - \text{HRbase}]}{[\text{HRmax} - \text{HRbase}] \cdot 100}$$

※HR, HRbase 及び HRmax の単位は拍/分

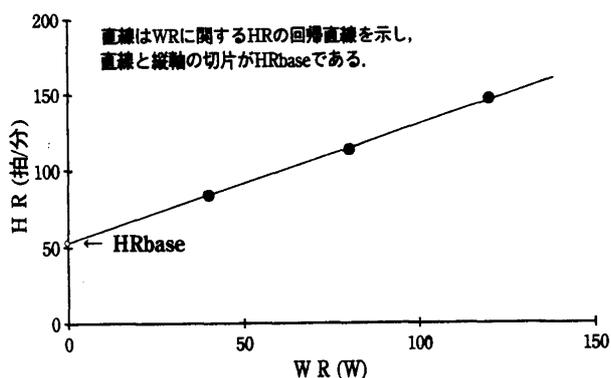


図1. 被験者AのHRとWRの直線関係とHRbase

5. 相対心拍数/仕事率係数 ( $\Delta\%HR/\Delta WR$ ) の計算

図2には、5分漸増の各負荷段階の4~5分目の2分間の平均 $\%HR$  (%)とその段階のWR (W) の直線関係 (被験者Aの場合) を示した。図に示したように、WRに関する $\%HR$ の回帰直線の傾き ( $\Delta\%HR/\Delta WR$ ) を心肺持久力の評価指標として被験者毎に求めた。 $\Delta\%HR/\Delta WR$ はWRに対する $\%HR$ の増加率を示す。また、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ の体重補正值として体重 (BM) あたりのWRに関する $\%HR$ の回帰直線の傾き ( $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ ) も被験者毎に求めた。ここで、5分漸増の第1段階 (40W) のHRbaseに基づく $\%HR$ の14名の平均値 $\pm SD$ は $29.3 \pm 4.9\%$ 、第3段階 (100または120W) では $82.6 \pm 10.5\%$ であった。

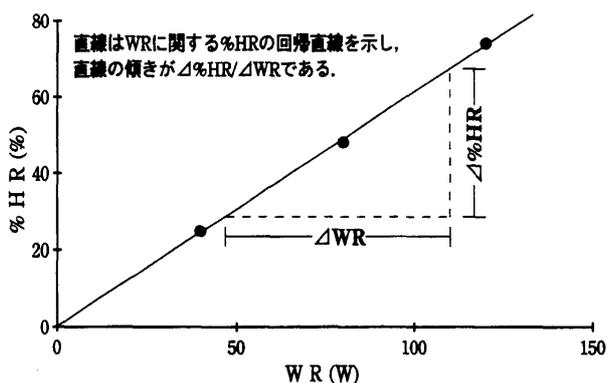


図2. 被験者Aの $\%HR$ とWRの直線関係と $\Delta\%HR/\Delta WR$

6.  $\Delta\%HR/\Delta WR$ と $\dot{V}O_{2max}$ の関係

$\Delta\%HR/\Delta WR$  ( $\%/W$ ) の心肺持久力の評価指標としての妥当性を $\dot{V}O_{2max}$  (1/min) との相関から検討した。また、体重補正值である $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$  ( $\%/W \cdot kg$ ) の妥当性については体重補正した $\dot{V}O_{2max}$  ( $\dot{V}O_{2max}/BM$ ) (ml/kg/min) との相関から検討した。

7. 統計処理

回帰直線を求める際には最小2乗法、相関係数を求める際にはピアソンの積率相関係数を用いた。相関に関する有意性の検定については無相関の検定、独立な2つの相関係数の差の検定及び非独立な2つの相関係数の差の検定<sup>17)</sup>、独立な2つの分散の均一性については等分散の検定をそれぞれ行った。有意水準は $p < 0.05$ を有意と考えた。

結果

表1には、14名の被験者の $\Delta\%HR/\Delta WR$ 、 $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ 、 $\dot{V}O_{2max}$ 、 $\dot{V}O_{2max}/BM$ 、HRbase及びHRmaxの平均値 $\pm SD$ を示した。

表1. 5分漸増負荷法による相対心拍数/仕事率係数及び最大酸素摂取量の平均値 $\pm SD$

$\Delta\%HR/\Delta WR$ (%/W)	$\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ (%/W·kg)	$\dot{V}O_{2max}$ (l/min)	$\dot{V}O_{2max}/BM$ (ml/kg/min)	HRbase (拍/分)	HRmax (拍/分)
$0.746 \pm 0.122$	$37.6 \pm 5.0$	$2.24 \pm 0.40$	$44.0 \pm 7.0$	$76.9 \pm 16.5$	$186.7 \pm 9.2$

図3には、14名の被験者の $\Delta\%HR/\Delta WR$ と $\dot{V}O_{2max}$ の関係を示した。 $\Delta\%HR/\Delta WR$ と $\dot{V}O_{2max}$ の間には有意に高い負の相関 ( $r = -0.92$ ;  $p < 0.001$ ;  $\Delta\%HR/\Delta WR$ に関する $\dot{V}O_{2max}$ の標準誤差 (SEE) =  $0.16$  l/min) が認められた。ここで、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ の値が小さい者ほど、 $\dot{V}O_{2max}$ の値は高く、心肺持久力が高いことになる。

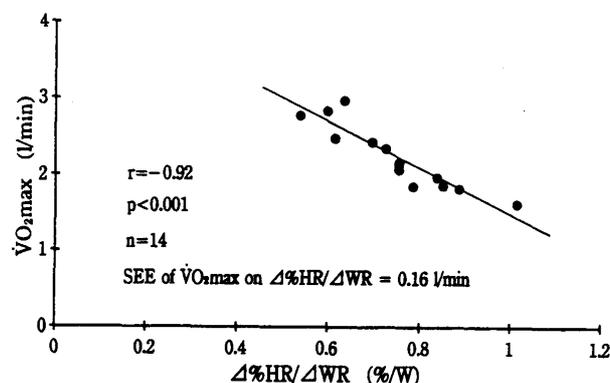


図3.  $\Delta\%HR/\Delta WR$ と $\dot{V}O_{2max}$ の関係

図4には、体重補正值である $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$

と $\dot{V}O_2\max/BM$ の関係を示した。 $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ と $\dot{V}O_2\max/BM$ の間には有意に高い負の相関 ( $r = -0.90$ ;  $p < 0.001$ ;  $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ に関する $\dot{V}O_2\max/BM$ の $SEE = 3.1 \text{ ml/kg/min}$ ) が認められた。

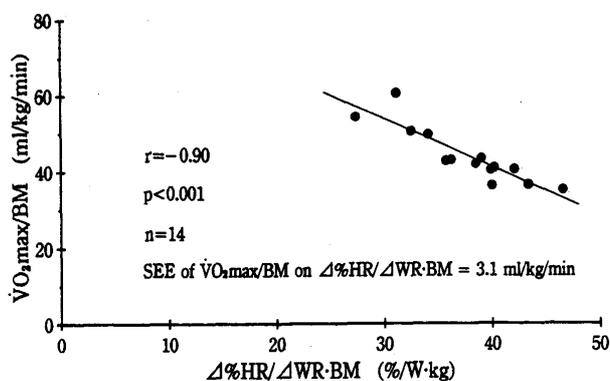


図4.  $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ と $\dot{V}O_2\max/BM$ の関係

本研究では、漸増負荷運動中の $\%HR$ のベースライン(0%)としてHRbaseを用いたが、一般的に $\%HR$ のベースラインとして用いられるのは安静時HRである。そこで、HRbaseの代わりに負荷テスト前の座位安静5分間の平均HR(HRrest)を $\%HR$ のベースラインとして用いた $\Delta\%HR/\Delta WR$ と $\dot{V}O_2\max$ の相関を求めた。両者の間には有意な負の相関 ( $r = -0.82$ ;  $p < 0.001$ ;  $\Delta\%HR/\Delta WR$ に関する $\dot{V}O_2\max$ の $SEE = 0.23 \text{ l/min}$ ) が認められたが、HRbaseに基づく $\Delta\%HR/\Delta WR$ と $\dot{V}O_2\max$ の相関より有意に低かった。体重補正值についても同様に、HRrestに基づく $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ と $\dot{V}O_2\max/BM$ の相関を求めた。両者の間にも有意な負の相関 ( $r = -0.77$ ;  $p < 0.01$ ;  $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ に関する $\dot{V}O_2\max/BM$ の $SEE = 4.5 \text{ ml/kg/min}$ ) が認められたが、HRbaseに基づく $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ と $\dot{V}O_2\max/BM$ の相関より有意に低かった。

## 考 察

吉岡らによる先行研究<sup>9)</sup>における $\Delta\%HR/\Delta WR$ は連続的な1分漸増負荷法に基づいているため、その基になるWR-HR応答には定常状態がみられない。そのため $\Delta\%HR/\Delta WR$ は1分漸増負荷法における限られたWRに対する $\%HR$ の増加率を表すもので、漸増間隔が異なる他の負荷法には適用できない。本研究における $\Delta\%HR/\Delta WR$ は、連続的な漸増負荷法

ではあるものの漸増間隔が5分で、ほぼ定常的な状態がみられる漸増後4~5分目の2分間のWR-HR応答に基づいているため、定常的なWR-HR応答を有する他の漸増負荷法にも適用できると考えられる。この5分漸増負荷法に基づく $\Delta\%HR/\Delta WR$ (5分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR$ )は $\dot{V}O_2\max$ との間に有意に高い負の相関 ( $r = -0.92$ ;  $p < 0.001$ ) がみられた。この相関は、先行研究(男子学生25名, 女子学生13名, 計38名を対象)<sup>9)</sup>における1分漸増負荷法に基づく $\Delta\%HR/\Delta WR$ (1分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR$ )と $\dot{V}O_2\max$ の相関 ( $r = -0.91$ ;  $p < 0.001$ ) とほぼ同様で、有意な差はなかった。本研究の対象は女子学生に限られ、対象数が14名と少なかった割には、非競技者から競技者まで心肺持久力のレベルが幅広く、5分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\dot{V}O_2\max$ の分散はそれぞれ先行研究と有意な差はなかった(本研究の5分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\dot{V}O_2\max$ の平均値 $\pm SD$ はそれぞれ $0.746 \pm 0.122 \text{ \%}/W$ 及び $2.24 \pm 0.40 \text{ l/min}$ , 先行研究の1分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び $\dot{V}O_2\max$ の平均値 $\pm SD$ はそれぞれ $0.468 \pm 0.112 \text{ \%}/W$ 及び $3.02 \pm 0.62 \text{ l/min}$ )。また、 $\Delta\%HR/\Delta WR$ に関する $\dot{V}O_2\max$ の $SEE$ については、5分漸増負荷法では $0.16 \text{ l/min}$ であったのに対し1分漸増負荷法では $0.26 \text{ l/min}$ とやや大きかった。以上のことから、5分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR$ は、1分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR$ と同様に、心肺持久力の評価指標としての妥当性があると考えられる。

次に体重補正值について、本研究の5分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR$ の体重補正值(5分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ )と $\dot{V}O_2\max/BM$ の相関 ( $r = -0.90$ ;  $p < 0.001$ ) は、先行研究の1分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR$ の体重補正值(1分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ )と $\dot{V}O_2\max/BM$ の相関 ( $r = -0.84$ ;  $p < 0.001$ ) よりやや高かったが、有意な差は認められなかった。本研究の5分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ 及び $\dot{V}O_2\max/BM$ の分散はそれぞれ先行研究と有意な差はなかった(本研究の5分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ 及び $\dot{V}O_2\max/BM$ の平均値 $\pm SD$ はそれぞれ $37.6 \pm 5.0 \text{ \%}/W \cdot kg$ 及び $44.0 \pm 7.0 \text{ ml/kg/min}$ , 先行研究の1分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ 及び $\dot{V}O_2\max/BM$ の平均値 $\pm SD$ はそれぞれ $27.0 \pm 4.3 \text{ \%}/W \cdot kg$ 及び $50.9 \pm 7.2 \text{ ml/kg/min}$ )。また、 $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ に関する $\dot{V}O_2\max/BM$ の $SEE$ については、5分漸増負荷法では $3.1 \text{ ml/kg/min}$ であったのに対して1分漸増負荷法では $4.0 \text{ ml/kg/min}$ とやや大きかっ

た。すなわち、体重補正值である5分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ についても心肺持久力の評価指標としての妥当性があると考えられる。

本研究の5分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR$ についても、先行研究の1分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR$ と同様に、 $\%HR$ のベースラインとしてHRbaseを用いて $\%HR$ を補正したが、HRbaseの代わりに一般的に $\%HR$ のベースラインとして用いられるHRrestを用いた5分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR$ と $\dot{V}O_2\max$ の相関 ( $r=-0.82$ ;  $p<0.001$ ;  $\Delta\%HR/\Delta WR$ に関する $\dot{V}O_2\max$ のSEE=0.23 1/min)は、1分漸増負荷法と同様に、HRbaseを用いた5分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR$ と $\dot{V}O_2\max$ の相関 ( $r=-0.92$ ;  $p<0.001$ ;  $\Delta\%HR/\Delta WR$ に関する $\dot{V}O_2\max$ のSEE=0.16 1/min)に比べて有意に低かった。また、体重補正值についても、HRrestを用いた5分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ と $\dot{V}O_2\max/BM$ の相関 ( $r=-0.77$ ;  $p<0.01$ ;  $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ に関する $\dot{V}O_2\max/BM$ のSEE=4.5 ml/kg/min)は、1分漸増負荷法と同様に、HRbaseを用いた5分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ と $\dot{V}O_2\max/BM$ の相関 ( $r=-0.90$ ;  $p<0.001$ ;  $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ に関する $\dot{V}O_2\max/BM$ のSEE=3.1 ml/kg/min)に比べて有意に低かった。これらのことから、WR-HR応答の定常状態の有無に関わらず漸増負荷運動における $\%HR$ のベースラインとしては、HRrestよりもHRbaseを用いる方が妥当であると考えられる。

最後に、利便性という観点から、測定時間が短くしかも初回測定時の負荷設定(選定)が容易であるという点で、特に非競技者にとっては、5分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR$ よりも1分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR$ の方がより有用であると考えられる。また、近年考案されたランプ負荷法<sup>18, 19)</sup>に基づく $\Delta\%HR/\Delta WR$ (ランプ $\Delta\%HR/\Delta WR$ )についても1分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR$ と同様に有用であると考えられ、ランプ負荷法ではステップ漸増負荷法に比べて漸増によるWR-HR応答の振動が少なく、漸増時の下肢への負担が少ないという点から、特に高齢者や子どもにとっては、ランプ $\Delta\%HR/\Delta WR$ による評価はより有用であると考えられる。先述したように、1分漸増またはランプ $\Delta\%HR/\Delta WR$ は、1分漸増またはランプ負荷法における限られたWRに対する $\%HR$ の増加率を表すもので、漸増間隔が異なる他の負荷方法には適用できないということを留意しておかなければならない。

## 結 語

ほぼ定常的なWR-HR応答に基づき、定常状態を有する他の漸増負荷法による評価にも適用できると考えられる5分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及びその体重補正值である5分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ は、1分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR$ 及び1分漸増 $\Delta\%HR/\Delta WR \cdot BM$ と同様に、心肺持久力の評価指標としての妥当性を有しているといえる。また、本研究により、WR-HR応答の定常状態の有無に関わらず、漸増負荷運動における $\%HR$ のベースラインにHRbaseを用いることの妥当性が再確認された。

## 謝 辞

本稿を終えるにあたり、本研究に際し貴重なご指導ご助言を賜った大阪教育大学名誉教授上林久雄先生に深甚なる謝意を表します。また本研究の被験者を快く引き受けていただいた学生の皆様に心からお礼申し上げます。

## 文 献

- 1) Åstrand, P.O. and Rodahl, K.: Textbook of work physiology: Physiological bases of exercise, 3rd ed., pp.354-390, McGraw-Hill, New York, (1986).
- 2) Wasserman, K., Hansen, J.E., Sue, D.Y. et al.: Principles of exercise testing and interpretation, pp.27-46, Lea and Febiger, Philadelphia, (1987).
- 3) American College of Sports Medicine: Guidelines for exercise testing and prescription, 4th ed., pp.35-54, Lea and Febiger, Philadelphia, (1991).
- 4) Hawley, J.A. and Noakes, T.D.: Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists, Eur. J. Appl. Physiol., 65: 79-83 (1992).
- 5) Åstrand, P.O. and Rhyning, I.: A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal

- work, *J. Appl. Physiol.*, 7: 218-221 (1954).
- 6) Åstrand, I.: Aerobic work capacity in men and women with special reference to age, *Acta. Physiol. Scand.*, 49 Suppl. 169: 1-92 (1960).
- 7) Fox, E.L.: A simple, accurate technique for predicting maximal aerobic power, *J. Appl. Physiol.*, 35: 914-916 (1973).
- 8) Legge, B.J. and Bannister, E.W.: The Åstrand-Rhyming nomogram revisited, *J. Appl. Physiol.*, 61: 1203-1209 (1986).
- 9) Yoshioka, T. and Shiraishi, T.: Slope of relative heart rate on work rate: New assessment of cardiorespiratory endurance, *Health Promotion and Education "Bringing Health to Life": Proceedings of the XVth Conference of the International Union for Health Promotion and Education*, pp.255-258, Hoken-Dohjinsha, Tokyo, (1996).
- 10) Karvonen, M.J., Kentala, E. and Mustala, O.: The effects of training on heart rate: A longitudinal study, *Ann. Med. Exper. Biol. Fenn.*, 35: 307-315 (1957).
- 11) 前掲 3), pp.93-119.
- 12) Yoshioka, T. and Fujita, H.: Physiological effects on old people of physical activities in the contacts between old people and children, *Recent Advances in Aging Science: Proceedings of the XVth Congress of the International Association of Gerontology*, pp.2077-2080, Monduzzi Editore, Bologna, (1993).
- 13) 吉岡隆之, 石田睦, 白石龍生 他: ウォーキングにおける中高齢者の運動強度とその評価: 相対心拍レベルをもとに, *大阪教育大学紀要, 第三部門*, 43: 159-165 (1995).
- 14) Wilmore, J.H. and Costill, D.L.: *Physiology of sport and exercise*, pp.162-189, Human Kinetics, Champaign, (1994).
- 15) Widrick, J., Ward, A., Ebbeling, C. et al.: Treadmill validation of an over-ground walking test to predicted peak oxygen consumption, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 64: 304-308 (1992).
- 16) O'Connor, P.J., Crowley, M.A., Gardner, A.W. et al.: Influence of training on sleeping heart rate following daytime exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 67: 39-42 (1993).
- 17) 水野哲夫: *統計の基礎と実際*, pp.150-168, 光生館, 東京, (1970).
- 18) Whipp, B.J., Davis, J.A., Terres, F. et al.: A test to determine parameters of aerobic function during exercise, *J. Appl. Physiol.*, 50: 217-221 (1981).
- 19) Davis, J.A., Whipp, B.J., Lamarra, N. et al.: Effect of ramp slope on measurement of aerobic parameters from the ramp exercise test, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 14: 339-343 (1982).

(受理: 1997年3月5日)