

運動開始時の心拍数が、最大下運動負荷法による 持久的運動能力評価値に及ぼす影響

Effects of the initial level of heart rate on the endurance
capacity estimated by the submaximal exercise test

杵 子 耕 一* 都 竹 茂 樹*
岡 川 暁** 矢 部 京之助*

Koichi MOKUSHI*, Sigeki TSUZUKU*
Satoru OKAGAWA**, Kyonosuke YABE *

The purpose of this study was to investigate the effects of the initial level of the heart rate on the endurance capacity estimated by the submaximal exercise test. The subjects were ten healthy male university students. They performed two exercise tests of the bicycle ergometer to their exhaustion both starting at the resting level (R) and starting after the light exercise (E). The work loads were incremented at a rate of 30 W min⁻¹. During the exercise tests the heart rates were measured continuously. The linear regression lines were obtained by the relationships of the work rates and the heart rates in the range of the submaximal work loads. The maximal work rates, PWC170, and PWC75%HRmax were estimated by the linear regression lines of R and E. The maximum work rates and heart rates at their maximum efforts of R and E were not different significantly. There were significant differences between the coefficients of the linear regression lines of R and E ($P < 0.05$). The estimated maximal work rates, PWC170, and PWC75%HRmax were not different significantly. The error rates of R and E were 11.4% and 15.1% in the estimated maximal work rates, 5.4% and 14.4% in PWC170, and 4.4% and 11.1% in PWC75%HRmax. It was suggested that in the submaximal exercise test increased heart rates at the starting point effected the estimated endurance capacity by over 10%.

【 緒 言 】

持久的運動能力の評価は、運動選手の体力評価のためだけではなく、一般人の場合にも運動処方プログラムづくりのための資料として必要となってきた。一般に、持久的運動能力の測定は、漸増的運動負荷を疲労困憊に至るまで実施させ、その時の生体応答を測定することによって行われるが、運動負荷を最大努力まで課さずに、最大下での負荷に対する生体応答から推定する方法（最大下負荷法）も用いられている。特に、心拍数測定による最大下負荷法は、その安全性や簡便性のためにPWC170や推定最大酸素摂取量といった評価値としてよく使われ

ている¹⁾。また、PWC75%HRmaxという新たな評価値も提案されている^{2,3,4)}。これらの心拍数測定による最大下負荷法では、運動負荷と心拍数応答の直線関係に基づいて持久的最大運動能力が推定される。すなわち、最大下負荷における負荷と心拍数の関係を直線回帰して、被検者の性別、年齢から定まる最高心拍数における負荷値を推定したり、あるいは所定の心拍数における負荷値を算出することにより評価が行われる。しかしながら、この方法では、運動時の精神的興奮などによる心拍数の一時的増加や、運動開始前および開始時の心拍数が安定しないことなどにより、運動時の負荷と心拍数の関係に外乱を受けることがある。特に、運動に習熟

* 名古屋大学総合保健体育科学センター

** 日本福祉大学人間科学研究室

* Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University

** Laboratory for Human Sciences, Nihon Fukushi University

していない一般人の場合には、後者の影響が頻繁にみられる。運動開始時に心拍数が高まった状態で漸増負荷運動を開始すると、運動負荷に対する心拍数の応答にバイアス成分が加わり、最大下負荷法による推定に影響を与えることが考えられる。このような運動開始時の心拍数上昇によるバイアス成分が、最大下負荷法の推定値にどの程度影響を与えるのか、あるいは実際の持久的最大運動能力にどのような影響を与えるかは明らかではない。そこで、本研究では、安静時状態からランプ負荷運動を開始した場合と、安静時状態の心拍数より30拍/分程度上昇した状態からランプ負荷運動を開始した場合の心拍数応答を比較し、心拍数測定による最大下負荷法の評価値への影響を検討することを目的とした。

【方 法】

被検者は運動習慣のある健常な男子大学生10名であった（ただし、内3名は予備実験のみに参加）。運動負荷には、Isopower型の電気抵抗式自転車エルゴメータ（ergo-metrics 800S, ergo-line）を用い、負荷制御はパーソナルコンピュータ（PC-9801VX, NEC）にD/A変換ボード（PCN-3098, ネオローク電子）を装着して、予めプログラムすることにより行った。被検者に、疲労困憊に至るまでのランプ負荷による自転車エルゴメータ運動を、安静時状態（R）から開始した場合と、安静時心拍数から30拍/分程度心拍数が高まった状態（E）から開始した場合の2条件で行わせた。RとEの順序は、全ての被検者でRを先に行い、十分な休息の後にEを行うこととした。ランプ負荷の傾斜は、30W/分（10秒間隔に5Wずつ増加）であった。Eの試行は、被検者にランプ負荷運動開始前に自転車エルゴメータによる軽運動を行わせ、目標心拍数を維持するように検者が負荷値を手動で制御することにより行った。心拍数測定は、胸部3極誘導による心電図信号を心電計（Life Scope 6, 日本光電）で取得し、心電計からr波のTTL出力をパーソナルコンピュータ（PC-9801VX, NEC）

にA/D変換ボード（PCN-2198, ネオローク電子）を介して取り込み、連続的にr-r間隔を算出することにより行った。本実験に先立ち、RとEの試行間の間隔を決定するために、3名の被検者で予備実験を行った結果、心拍数、主観的疲労度の点から1時間程度の休息で十分であることがわかった。RとEの比較は、最大作業負荷値、疲労困憊による運動終了時の最大心拍数、および最大下負荷での心拍数応答を直線回帰することにより行った。負荷と心拍数の関係の直線回帰の対象範囲は、自転車エルゴメータの負荷値の直線性が確保されると考えられる60W（ランプ負荷運動開始2分後）から、心拍数が150拍/分に達するまでとした。得られた回帰直線により最大作業能力（R試行で実測された最大心拍数における作業負荷値）、PWC170, PWC75% HRmax（最大心拍数は、R試行で実測された心拍数を使用）を推定した。これらの推定評価値と、R試行での心拍数応答からそれぞれ実測された評価値との比較を行った。その際、推定値と実測値の差の絶対値と実測値の比率を誤差率として評価した。

【結 果】

試行Eでランプ負荷運動開始時の心拍数を安静時状態から30拍/分程度上昇させるために行った軽運動の負荷値は、被検者による個人差があったが80~100W程度であった。Fig.1にランプ負荷運動開始前から運動終了時までのRとEの心拍数応答の一例、Fig.2にEの心拍数からRの心拍数を引いた差の時間的变化の一例を示す。自転車エルゴメータの負荷値を手動制御した3分間の軽運動により、運動開始前のEの心拍数はRに比べて30拍/分程度上昇した心拍数に制御されていた。また、同一のランプ負荷運動開始後、時間経過につれて両者の差は縮小していった。このRとEの心拍数応答の差は、最大作業負荷値の $54 \pm 14\%$ で5拍/分以内になる傾向がみられた。

RとEの最大作業負荷値は、それぞれ 285 ± 33 , 286 ± 33 Wであり、運動終了時の最大心拍数は

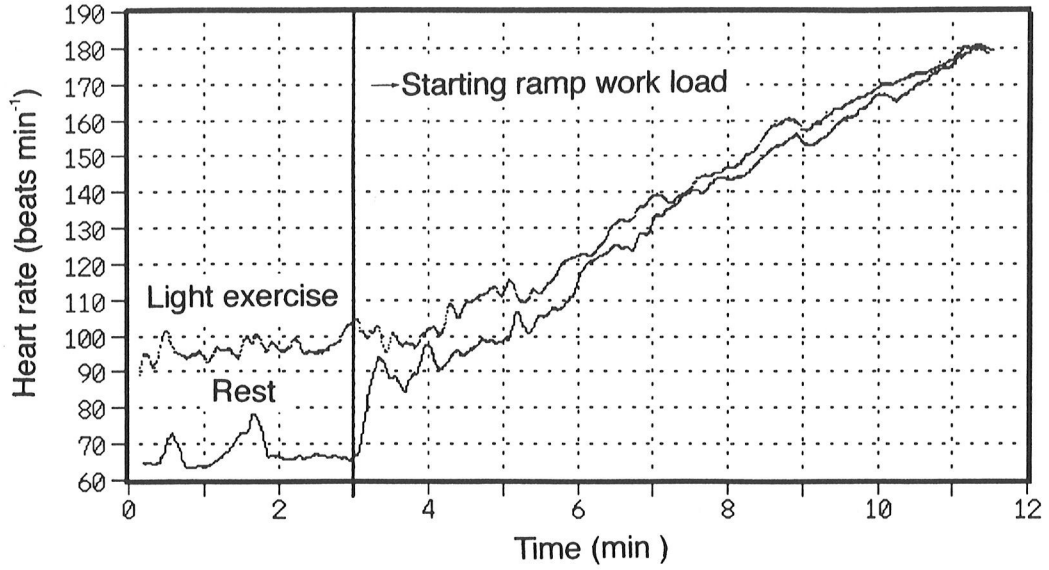


Fig.1 The heart rate responses for the ramp work loads of the different initial conditions

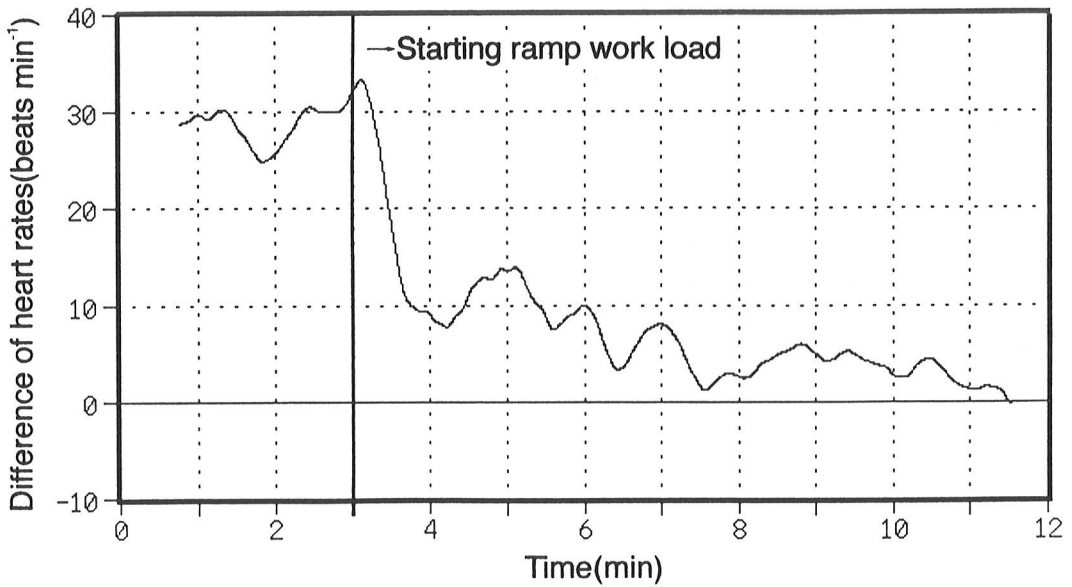


Fig.2 The difference between the heart rate responses of E (starting after the light exercise) and R (starting at the resting level)

189±6, 190±7拍/分であった (Table 1)。最大作業負荷値, 最大心拍数ともに, 両試行間で有意な差はみられなかった。なお, Table 1には, 予備実験で行った3名のデータも加えた。最大下での負荷と心拍数の関係の回帰直線は, 傾き (R;13.0±1.8, E;10.7±1.5), y切片 (R;83.9±14.6, E;97.1±14.4) ともに, RとEで有意な (P<0.05) 差がみられた (Table 2)。しかし, 回帰直線から推定した最大作業能力 (R;247±29, E;262±33W), PWC170 (R;200±32, E;204±31W), PWC75%HRmax (R;144±31, E;137±31W) には, RとEで有意な差はみられなかった (Table 3)。回帰直線による推定値と実測値を比較した結果, RとEの誤差率は, 最大作業能力では11.4%, 15.1%, PWC170では5.4%, 14.4%, PWC75%HRmax では4.4%, 11.1%であった (Table 4)。

【考 察】

本研究では, 最大下運動負荷法による持久的

運動能力評価において, 運動開始前に心拍数が上昇して, 安静時心拍数が得られない場合の評価値への影響を検討した。一般に, 運動開始前に心拍数が上昇するのは, 精神的緊張による場合が多いと考えられるが, 本研究では軽運動を負荷することにより, 心拍数上昇のシミュレーションを行った。実際に課した軽運動の負荷は80~100W程度であり, 被検者の最大作業能力が平均285W前後であったことから, ランプ負荷運動開始前の軽運動は心拍数上昇への影響はあったが, その後のランプ負荷運動中の身体の代謝状態への影響は無視できると考えられる。また, この軽運動は時間的に3~4分程度であったため, いわゆるウォーミング・アップ運動とは異なるものと思われる。したがって, RとEで最大作業能力に差がみられなかったことは, 一般的にウォーミング・アップの効果を否定するものではない。しかしながら, 30W/分のランプ負荷運動のような漸増的運動負荷の場合には, 運動開始前に予めウォーミング・アップを行わなくても最大作業能力に影響はみられな

Table 1 The maximum work rates and heart rates of R (starting at the resting level) and E (starting after the light exercise)

(Mean ±S.D., n=10)

	Maximum work rates (Watts)	Maximum heart rates (beats min ⁻¹)
R	285±33	189±6
E	286±33	190±7

Table 2 The coefficients of the linear regression lines of R (starting at the resting level) and E (starting after the light exercise) in the range of the submaximal work rates

(Mean ±S.D., n=7)

	Intersection of Y-axis	Inclination
R	83.9±14.9★	13.0±1.8★★
E	97.1±14.4★	10.7±1.5★★

(★, ★★;P<0.05)

Table 3 The estimated values of endurance capacity of R (starting at the resting level) and E (starting after the light exercise) by means of the submaximal exercise tests

(Mean ±S.D., Watts, n=7)

	Maximal work rates	PWC170	PWC75%HRmax
R	247±29	200±32	144±31
E	262±33	204±31	137±31

Table 4 The error rates of the estimated values of R (starting at the resting level) and E (starting after the light exercise) by means of the submaximal exercise tests

(%, n=7)

	Maximal work rates	PWC170	PWC75%HRmax
R	11.4	5.4	4.4
E	15.1	14.4	11.1

かった。

最大下負荷における負荷と心拍数の関係の回帰直線には、RとEで傾き、y切片ともに有意な差がみられたが、その回帰直線を用いた推定評価値には有意な差がみられなかった。回帰直線の傾きとy切片が、RとEで異なっていたことは、ランプ負荷運動開始時の心拍数上昇がその後の心拍数応答に影響を及ぼしていたことを示している。これらのRとEの回帰直線は、その傾きが異なることから交点を持つことがわかる。この交点はRとEの心拍数応答の理論的一致点と考えることもできるが、その交点の前後でRとEの回帰直線の上下関係が逆転することになる。2直線の交点は個人により異なり、その交点とPWC170, PWC75%HRmax, 最大作業能力などの評価値の基準となる心拍数との位置関係により推定値の大小関係は逆転する。このため、RとEの間で推定値には有意な差がみられなかったものと思われる。

最大作業能力の $54 \pm 14\%$ 程度の負荷値の時点から、RとEの心拍数応答の差は5拍/分以内になる傾向がみられた。RとEの心拍数が一致していく要因には、時間的経過による要因と、最大作業時にみられたような、その個人において負荷値と心拍数の関係が絶対的に決まる要因の2つの点が考えられる。本研究では、ランプ負荷を単一の30W/分に設定したため、RとEの一致傾向が前述の2要因のいずれかによるものなのかを評価することができない。この問題に関しては、ランプ負荷の傾斜を10, 20, 30, 40W/分のように数種類設定した実験を行う必要があると思われる。

心拍数測定により持久的運動能力を調べる方法は、PWC170, PWC75%HRmaxなどの評価値や、推定最大酸素摂取量などを利用して評価が行われる。また、運動処方において注目されている無酸素性作業閾値^{5,6)}を、心拍数測定から求める方法^{7,8,9)}も提案されている。本研究で検討したような心拍数測定による最大下負荷法では、持久的運動能力の間接的測定法であるため、その精度が問題となる。安静時状態から疲労困憊に至るまでの最大努力によるランプ負荷

運動を実際に行ったR試行の心拍数応答を基準として、Rにおける最大下負荷法による推定値の誤差率を算出した結果10%程度であった。また、Eの場合には10%以上の誤差率であった。一般人に対して最大努力の運動を課すことの危険性、測定の時間的制約などの要因を考慮すると、漸増運動負荷開始前に安静状態が確保されれば、心拍数測定による最大下負荷法の有用性は評価できるであろう。

【ま と め】

30W/分のランプ負荷運動をRとEの条件で行った結果、1)最大作業能力と最大心拍数に有意な差はみられず、2)回帰直線の傾き、y切片には有意な差がみられたが、最大下負荷法による推定値には有意な差がみられなかった。Eでの推定値は、実測値に比べて10%以上の誤差をもつ傾向がみられた。

【文 献】

- 1) 宮下充正編. 体力診断システム. ソニー企業, 1986.
- 2) 宮下充正, 武藤芳照, 吉岡伸彦, 定本朋子. 全身持久力の評価尺度としてのPWC75%HRmax. *Jpn. J. Sports Sci.*, 2: 912-916, 1983.
- 3) 宮下充正, 武井義明, 福田裕之. PWC75%HRmaxの全身持久性の評価尺度としての妥当性の検討. *Jpn. J. Sports Sci.*, 3: 559-562, 1984.
- 4) Miyashita, M., Y. Mutoh, N. Yoshioka and T. Sadamoto. PWC75%HRmax: A measure of aerobic work capacity. *Sports Med.*, 2: 159-164, 1985.
- 5) 田村真一, 山本義春, 篠原稔, 李子耕一, 川上泰雄, 安部幸雄, 武藤芳照, 宮下充正. 無酸素性作業閾値による長時間運動の処方トリアスロンにおける症例研究一. *臨床スポーツ医学*, 5: 462-468, 1988.
- 6) 山本義春, 浜本紘, 武藤芳照, 李子耕一, 田村真一, 川上泰雄. 虚血性心疾患患者の運動療法のための診断システムの開発. *体力研究*, 69: 134-147, 1988.
- 7) Conconi, F., M. Ferrari, P. G. Ziglio, P. Droghetti and L. Codeca. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 52: 869-873, 1982.
- 8) Yamamoto, Y., Y. Kawakami, Y. Nakamura, K. Mokushi, Y. Mutoh and M. Miyashita. A new met-

hod for detecting anaerobic threshold from heart rate recording. Proc. Ann. Conf. IEEE/EMBS, 10: 265-266, 1988.

9) 川上泰雄, 山本義春, 空子耕一, 中村好男, 武藤芳照, 宮下充正. 心拍数を利用した無酸素性作業閾値(AT)の決定法. 呼と循, 37: 179-183, 1989.

(1991年11月27日受付)