

短 報

健常若年者における心拍数定常制御による運動負荷試験と運動耐容能との関連について*

竹谷 晋二^{1) #} 山田 純生²⁾ 小林 亨³⁾ 大宮 一人³⁾

要旨

低リスクの運動耐容能評価方法として、運動負荷を制御し、一定の心拍数で運動させ仕事量を測定することで運動耐容能を評価する心拍定常運動負荷試験 (HRET) を作成し、この HRET が運動耐容能を反映するか検討した。同意の得られた健常男性 6 名、女性 6 名を対象とし、HRET および漸増負荷による症候限界性の運動負荷試験 (CPX) を施行した。HRET は 18 分間の運動を施行し、6 分時から 18 分時までの 12 分間の仕事量 (HRW) を測定した。CPX では、peak $\dot{V}O_2$ を測定した。HRW と peak $\dot{V}O_2$ との関連を検討するため、スピアマン順位相関係数を求めた。HRW と peak $\dot{V}O_2$ との間には $r = 0.80$ と高い相関関係が認められた。以上のことより、HRET が運動耐容能を反映し、低リスクで臨床応用可能な運動耐容能評価方法であると考えられた。

キーワード 心拍制御, 運動負荷試験, 運動耐容能

緒 言

運動耐容能評価の臨床的意義については、理学療法のトレーニング効果の指標として、また生命予後や QOL を決定する要因のひとつとして、そして健康関連指標との関連について呼吸・循環器疾患患者にとどまらず、脳血管障害患者などの運動障害を有する患者においても、疾患を問わず数多く検討されてきた¹⁻⁴⁾。

従来の運動耐容能評価は、仕事量を最大に近い強度まで漸増させ、その心拍数 (HR) や酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) の応答を評価する方法が一般的である。しかし、高齢者や内部疾患などを有する低体力者に対しては運動負荷に伴うリスクが高い。また、脳卒中片麻痺患者など運動障

害を有するものには、高強度の運動は施行不可能であるなど制約が多い方法であることは否めず、低強度かつ客観的な運動耐容能評価方法が望まれる。

そこで我々は従来の方法と異なり、生体の運動強度指標である HR を規定して定常状態での運動を行い、その際に得られる仕事量を測定する一連の運動耐容能評価システム (心拍定常運動負荷試験: HRET) を作成した。そして、HRET は HR の制御成績および得られる仕事量の再現性が良好であることを報告した⁵⁾。

しかし、HRET により得られた仕事量 (HRW) が運動耐容能を反映するか否か未検討であった。そこで本研究では、HRW と運動耐容能の指標である最大酸素摂取量 (peak $\dot{V}O_2$) などとの関連について検討した。

対 象

対象は、本測定への文章による同意が得られた、健常男性 6 名、女性 6 名とした。年齢、身長、体重は、それぞれ 27.0 ± 5.6 歳、 164.2 ± 7.8 cm、 57.3 ± 6.8 kg であった。

方 法

1. HRET⁵⁾

本測定では、①目標運動負荷量の測定、②HRET の順に測定を行った。各測定間には 1 日の間隔を置いた。いずれの測定においても、運動中の HR と目標 HR の差

* The Relationship between Exercise Capacity and the New Evaluation Method for Exercise Work by Controlling Pedaling Torque to a Constant Heart Rate Level during Exercise in Healthy Young Men and Women

1) 聖マリアンナ医科大学東横病院リハビリテーション部
(〒211-0063 神奈川県川崎市中原区小杉町3-435)
Shinji Takeya, RPT: Department of Rehabilitation, St. Marianna University School of Medicine Toyoko Hospital

2) 名古屋大学医学部保健学科
Sumio Yamada, PhD, RPT: Institute of Health Sciences, Faculty of Medicine, Nagoya University

3) 聖マリアンナ医科大学病院リハビリテーション部
Toru Kobayashi, RPT, Kazuto Ohmiya, MD: Department of Rehabilitation, St. Marianna University School of Medicine Hospital

E-mail: s-takeya@marianna-u.ac.jp
(受付日 2004年10月29日 受理日 2005年9月10日)

により運動負荷量を一秒ごとに制御し、HRを目標HRに収束させるプログラムを用いた。そしてこのプログラムと連動し負荷トルクを制御する半臥位型ペダル駆動式エルゴメータ (StrengthErgo240:三菱電機社製) を使用し、50回転/分のメトロノームに合わせて行った。そしてHRの計測は心電計 (Lifescope6:日本光電社製) を使い、12秒間移動平均を行い、一秒毎にサンプリングを行った。

1) 目標運動負荷量の測定

HRETを施行する前に、運動中のHRが目標HRにて定常状態となる時の負荷量 (Watts) を求め、目標運動負荷量とした。この測定を行う理由は、この後に行うHRETにおいて目標HRに到達するまでの時間を各被験者とも同じ条件にすることと、目標HRが被験者にとって施行可能な運動強度であるかを確認するためである。なお目標HRはあらかじめ行ったランプ負荷法による運動負荷試験において算出された無酸素性作業閾値 (AT) 時のHRを下回るように115拍/分に設定した。

3分間の安静座位の後、運動開始から2分間負荷を直線的に漸増 (男性; 30 Watt/分, 女性; 20 Watt/分) させ、その後はHRを目標HRにてほぼ一定に保ち、HRの変動範囲が ± 3 (標準偏差) 拍/分となるよう負荷を調節した。そして、目標HRに達してから6分間の平均の運動負荷量を求め目標運動負荷量とした。

2) HRWの測定

HRETでは、運動開始から6分間で目標HRに達するよう、第1相から第3相の段階に分けて運動負荷を制御した (図1)。ここで6分間に設定したのは、目標HRがAT以下の運動強度であることを確認するためである。

第1相では、目標HRまでHRを上昇させるため、運動開始から2分間で目標負荷量まで直線的に負荷を漸増し、その後は30秒間目標負荷量を与えた。第2相では、HRのオーバーシュートを防ぐため、HRが目標HR -5 拍に達したか否かを判定し、達した場合には第3相に移行し、達しない場合にはさらに負荷を30秒間増加させた。第3相では、目標運動負荷量の測定時と同様に、HRを目標HRにてほぼ一定に保つよう負荷を調節した。

運動は18分間行い、HRが安定する運動開始6分~18分時の機械的仕事量の体重比 (kJ/kg) および、平均

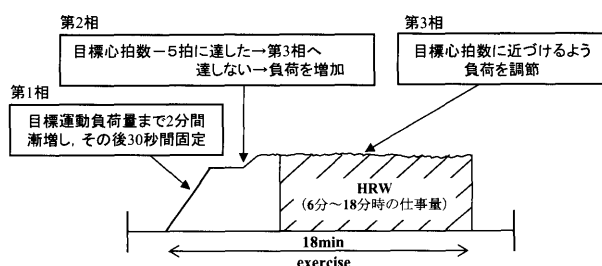


図1 HRW (kJ/kg) の測定プロトコール

$\dot{V}O_2$ を測定した。 $\dot{V}O_2$ の測定はミナト医科学社製AE300sを用い、breath-by-breath法にて測定し、加算平均した。

2. 運動負荷試験 (CPX)

CPXは、ランプ負荷法を用い、10分程度で疲労困憊に達するよう運動負荷を行った。測定には、HRETと同様にStrengthErgo240を使用し、ペダル駆動を行わせ、この際にAE300sを用いて $\dot{V}O_2$ 、HR、 $\dot{V}CO_2$ 測定を行った。得られた $\dot{V}O_2$ の最大値をpeak $\dot{V}O_2$ 、仕事率 (Watt) の最大値をpeak WATTとした。

3. 統計処理

HRETにより得られたHRWとpeak $\dot{V}O_2$ 、peak WATTとの関連、およびHRETでの平均 $\dot{V}O_2$ とpeak $\dot{V}O_2$ との関連を検討するため、スピアマン順位相関係数を求めた。尚、統計処理にはSPSS9.0Jを用い、値は平均 \pm 標準偏差の形で表し、有意水準は5%未満とした。

結 果

1. HRET結果

HRETで得られた、HRとトルクの推移の一例を (図2) に示す。この例の運動6分~18分時におけるHRは 115.4 ± 1.7 bpmであった。全例のHRは 115.1 ± 0.9 bpm、変動係数は 0.91 ± 0.48 であった。またHRWは、 3.0 ± 0.9 kJ/kgであった。

2. CPX結果

CPXにより得られたpeak $\dot{V}O_2$ は 42.3 ± 6.8 ml/min/kg、peak WATTは 3.2 ± 0.5 kJ/min/kgであった。なお、全例において回転数維持困難となり運動負荷を終了した。

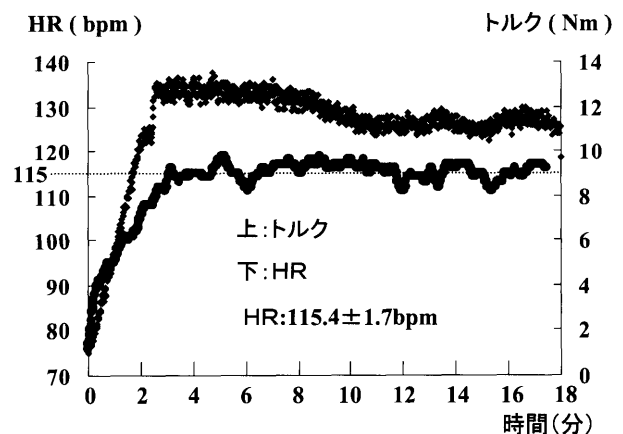


図2 HRETの結果 (一例)

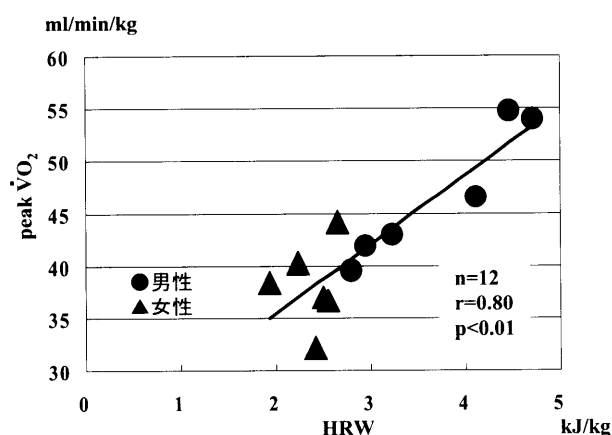
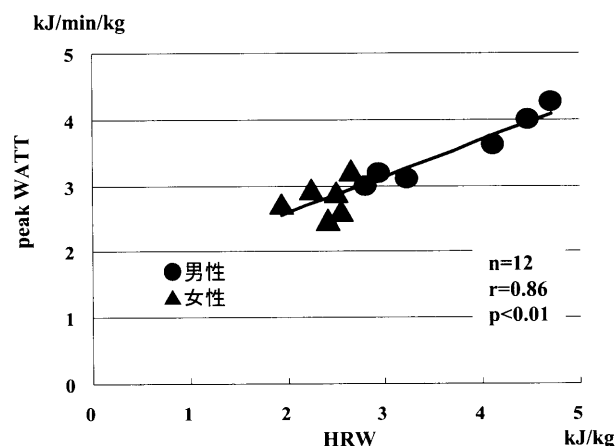
図3 HRWとpeak $\dot{V}O_2$ の相関

図4 HRWとpeakWATTとの相関

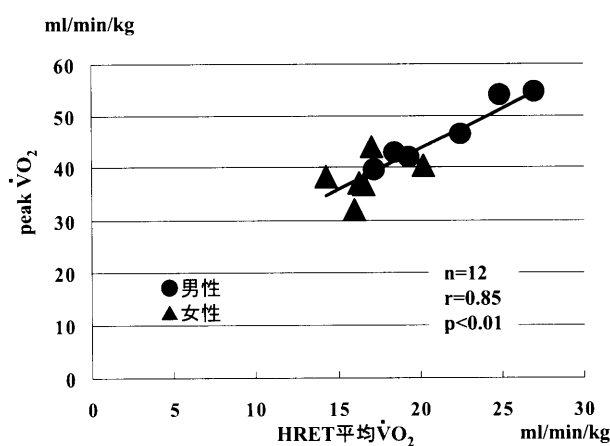
3. HRWとpeak $\dot{V}O_2$ との関連について

HRWとpeak $\dot{V}O_2$ の間には $r = 0.80$ ($p < 0.01$, 図3), peak WATTとの間には $r = 0.86$ ($p < 0.01$, 図4), と高い相関関係が認められた。また, HRET平均 $\dot{V}O_2$ とpeak $\dot{V}O_2$ の間には $r = 0.85$ ($p < 0.01$, 図5), と高い相関関係が認められた。

考 察

従来の運動耐容能評価は, 高い負荷強度の運動を強いるため心肺系への負担が大きくリスクが高いため, 頻回に測定することは臨床に困難であった。また疲労を伴い精神的な負担も大きい。このようなことから低リスクかつ再現性の高い運動耐容能評価方法が臨まれる。われわれは先行研究においてHRETが, HR制御成績およびHRWや生理学的指標の再現性が良好であることを報告した⁵⁾。また本研究では, 運動耐容能との関連を検討するため, HRETで得られた仕事量とpeak $\dot{V}O_2$ などの関連を検討したところ, 高い相関関係が認められた。この理由は, 一般的に症候限界性の運動負荷試験では, HRと負荷量が高い相関関係にあり, 同一心拍数における負荷量(仕事量)が高いほど運動耐容能が高いため⁶⁾と考えられる。そしてこの結果から, HRETが運動耐容能を反映する測定方法であり, HRETより得られる仕事量の増減で運動耐容能の推移を評価することが可能であると考えられた。また, 今回われわれがHRETにおいて設定したHRは, ATの約80%に相当する中等度の運動強度であり, 比較的低リスクの低い測定であると考えられた。

以上のことから, HRETは低リスクかつ再現性の高い, また運動耐容能の推移を評価できる方法であることが示された。このことにより, 高齢者や低体力者, また脳卒中患者など運動器疾患を有するものに対して, 安全に運動耐容能評価を行うことが可能であり, その臨床応用の可能性が示唆されたと考えられた。しかし今回の対象は健常若年者であり, 男女同一に検討していることか

図5 HRET平均 $\dot{V}O_2$ とpeak $\dot{V}O_2$ の相関

ら, 今後性別による反応性の違いを考慮し, 比較検討する必要がある。また高齢者や脳卒中患者, そして循環器疾患などを合併したものは生体反応が異なることが予想され, 今後安全性や測定精度の面で更なる検討が必要と思われる。

文 献

- 1) Osada N, Chaitman BR, *et al.*: Cardiopulmonary exercise testing identifies low risk patients with heart failure and severely impaired exercise capacity considered for heart transplantation. *J Am Coll Cardiol* 31(3): 577-582. 1999.
- 2) 間嶋 満, 近藤 徹: 脳卒中患者における心・血管・呼吸系のフィットネスの廃用性変化に対するATレベルでの全身持久力訓練の効果. *総合リハ* 23(3): 205-209. 1995.
- 3) Stelken AM, Younis LT, *et al.*: Prognostic value of cardiopulmonary exercise testing using percent achieved of predicted peak oxygen uptake for patients with ischemic and dilated cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 27(2): 345-352. 1996.
- 4) Belardinelli R, Georgiou D, *et al.*: Randomized, controlled trial of long-term moderate exercise training in chronic heart failure: effects on functional capacity, quality of life, and clinical outcome. *Circulation* 99(9): 1173-1182. 1999.
- 5) 竹谷晋二, 山田純生・他: 一定心拍数に制御された運動負荷時の仕事量測定信頼性について. *理学療法学* 30(7): 402-406. 2003.

- 6) 中野昭一 (編) : スポーツ医科学. 杏林書院, 東京, 1999, pp 441-447.
- 7) 伊東春樹 : 運動療法における呼吸・循環器学的基礎. Current Therapy 9: 1336-1343, 1991.

〈Abstract〉

The Relationship between Exercise Capacity and the New Evaluation Method for Exercise Work by Controlling Pedaling Torque to a Constant Heart Rate Level during Exercise in Healthy Young Men and Women

Shinji TAKEYA, RPT

Department of Rehabilitation, St. Marianna University School of Medicine Toyoko Hospital

Sumio YAMADA, RPT, PhD

Institute of Health Sciences, Faculty of Medicine, Nagoya University

Toru KOBAYASHI, RPT, Kazuto OHMIYA, MD

Department of Rehabilitation, St. Marianna University School of Medicine Hospital

The purpose of this study was to investigate the relationship between exercise capacity and HRET (Constant heart rate exercise test) which was the new evaluation method for exercise work by controlling pedaling torque to a constant heart rate level during exercise.

Six healthy male and six female subjects who had no history of bone and joint injury underwent HRET and the symptom limited exercise test (CPX). They pedaled 18 minutes at 50 cadences per minute during HRET, and mechanical work was measured from 6 minute to 18 minute. Peak $\dot{V}O_2$ was measured during CPX. The analysis of Spearman correlation between HRW and peak $\dot{V}O_2$ indicated a significant correlation between HRW and peak $\dot{V}O_2$ ($r = 0.80$, $p < 0.01$).

The results suggest that HRET may reflect exercise tolerance and is clinically applicable to frequent assessment without any volitional fatigue.