

## 心筋梗塞運動療法における 嫌気性閾値処方への検討

## The merit of prescribed exercise using anaerobic threshold for myocardial infarction

岩崎 達弥	Tatsuya IWASAKI
田辺 一彦*	Kazuhiko TANABE*
村山 正博*	Masahiro MURAYAMA*
須階 二朗*	Jiro SUGAI*
山田 純生**	Sumio YAMADA**
渡辺 敏**	Satoshi WATANABE**
山崎 裕司**	Yuhji YAMAZAKI**
前田 秀博**	Hidehiro MAEDA**
山村 行夫	Yukio YAMAMURA

### Summary

The merit of using anaerobic threshold (AT) for prescribed exercise was evaluated in 55 out-patients with old myocardial infarction (OMI) one to 3 months after the attacks. Comparisons of optimum exercise intensities using 2 methods; either heart rate at AT (ATHR) or heart rate by Karvonen's method (KHR), were conducted. Treadmill stress test was performed in all subjects. ATHR was determined by ramp protocol and KHR by Bruce's protocol. Items measured were AT, peak oxygen consumption (peak  $\dot{V}O_2$ ), ATHR and KHR. The results were as follows:

1. Mean peak  $\dot{V}O_2$  and AT in patients with OMI were  $25.8 \pm 4.3$  ml/min/kg and  $16.5 \pm 2.1$  ml/min/kg, respectively. Mean heart rates were  $117.2 \pm 11.0$  beats/min at AT and  $121.9 \pm 13.0$  beats/min by Karvonen's method, respectively.

2. A positive correlation ( $r=0.85$ ) was noted between AT and the peak  $\dot{V}O_2$ .

3. A positive correlation ( $r=0.61$ ) was also noted between the peak  $\dot{V}O_2$  and ATHR.

4. Correlations of KHR with peak  $\dot{V}O_2$  and with ATHR were insignificant.

5. There were 6 patients with  $ATHR \geq KHR$  and 15 with  $ATHR < KHR$ . There was no significant difference between their clinical backgrounds of 2 groups. It has been thought that with KHR, about 70% of the patients with OMI are overloaded due to excessive exercise intensity.

We concluded that exercise training using AT is better and more useful in view of training efficiency and safety.

聖マリアンナ医科大学 公衆衛生  
\* 同 第二内科  
\*\* 同 リハビリテーション部  
川崎市宮前区菅生 2-16-1 (〒213)

Department of Public Health, \*The Second Department of Internal Medicine and \*\*Department of Rehabilitation, St. Marianna University School of Medicine, Sugao 2-16-1, Miyamae-ku, Kawasaki 213

Received for publication June 7, 1990; accepted December 21, 1990 (Ref. No. 37-PS138)

**Key words**

Anaerobic threshold

Karvonen's method

Myocardial infarction

はじめに

心疾患, 特に心筋梗塞患者における運動療法の主たる目的は, 急性期には長期臥床に伴う条件づけ喪失 (deconditioning) の改善であり, 慢性期には患者の運動機能を高め, 社会復帰に導き, 生活の質 (quality of life) を高めることにある<sup>1)</sup>.

実際に運動処方をする際には, 運動強度, 運動様式, 運動頻度などを設定しなければならないが, その中でも特に運動強度の設定が重要である. 運動強度は通常, 最大酸素摂取量に対する割合 (%  $\dot{V}O_2$  max) もしくは心拍数で表現され, 従来は経験的に最大心拍数の 50~80%, 最大酸素摂取量の 70% 前後が至適運動強度とされてきた<sup>2,3)</sup>.

近年では, 運動強度の一指標として, 運動負荷試験中の呼気ガス分析より求める嫌気性閾値 (anaerobic threshold: AT)<sup>4-7)</sup> の応用が注目されている.

今回我々は AT による運動療法設定心拍数 (以下 ATHR) と, 従来から用いられてきた Karvonen 法<sup>8)</sup>による設定心拍数 (以下 KHR) を比較し, ATHR を設定心拍数として用いた運動療法の有用性について検討した.

対象および方法

1. 対象

急性心筋梗塞症のため当病院に入院した患者のうち, その後 1988 年 12 月から 1989 年 5 月までの 6 ヶ月間に外来通院した発症後 1~3 ヶ月の慢性期心筋梗塞患者 55 例 (男性 46, 女性 9, 平均年齢 47.8 歳) を対象とした.

2. 方法

1. 運動負荷試験

運動負荷試験には Marquett 製トレッドミル CASE 2 を用い, Bruce プロトコル<sup>9)</sup>により症候限界性負荷を行なって最大心拍数を求め, また

直線的負荷漸増法 (以下 ramp 法) により AT を測定した. 両試験を同一患者に対し, 最大 1 ヶ月以内に同一治療下で施行した. Ramp 法には座位 2 分, 立位 1 分の負荷前安静, 3 分間のウォーミングアップ後に, 1 分毎に 1 MET ずつ負荷が漸増する当院独自のプロトコルを用いた.

2. 呼気ガス分析

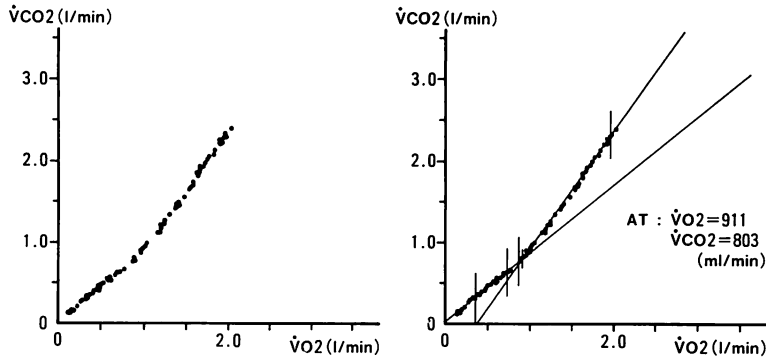
呼気ガス分析にはミナト医科学製 Respiromonitor RM-300 Medical およびガス分析器 MG-360 を用いた. 運動負荷試験中は心電図をモニターし, 心拍数, 血圧測定, 主観的運動強度 (Borg 指数) の聴取を 1 分毎に施行した. 呼気ガスデータは一呼吸毎 (breath-by-breath 法) に記録し, 酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ ), 換気量 ( $\dot{V}E$ ), 酸素摂取量に対する換気当量 ( $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ ), 二酸化炭素排出量に対する換気当量 ( $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ ), および呼吸商を, 10 秒毎の移動平均値としてコンピューターディスプレイ画面上に経時的に表示し, 運動負荷状態の指標とした.

AT 決定に際しては Beaver らにより提唱された V-slope 法<sup>10)</sup>を用い, また  $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$  の経時的変化も考慮した. 実際の呼気ガス分析方法は ramp 負荷中の  $\dot{V}O_2$  および  $\dot{V}CO_2$  を一呼吸毎に測定し, 10 秒毎の移動平均を求めた後, Fig. 1 のごとく,  $\dot{V}O_2$  と  $\dot{V}CO_2$  をそれぞれ X 軸および Y 軸上にプロットし, 両者間の関係が非直線的となる点 (変曲点) を求め, 変曲点の前後で直線回帰を行ない, その交点を AT とした.

3. 運動療法の設定心拍数の決定

1) KHR: Karvonen 法<sup>8)</sup>では目標心拍数 = (最大心拍数 - 安静時心拍数) × K + 安静時心拍数の式において, K 値を 0.5 から 0.7 とし随時に定めるが, 今回は K 値を最小の 0.5 とし, 設定心拍数を求めた.

2) 前述した ramp 法にて運動負荷試験, 呼気ガス分析を施行し, AT 到達時における心拍数



**Fig. 1. V-slope method to determine anaerobic threshold (AT).**

Left: The data were obtained from breath-by-breath measurements and were smoothed using moving average filter for 10 sec.

Right: An intersection of 2 lines was defined as AT.

を運動療法の設定心拍数とした。

**結 果**

対象者 55 例の運動負荷試験の終了徴候は、下肢疲労 22 例 (40.0%), 息切れ 8 例 (14.5%), 目標心拍数到達 11 例 (20.0%), 虚血徴候 7 例 (12.7%), 不整脈 4 例 (7.3%), 血圧異常変動 3 例 (5.5%) であった。また、AT を明確に判定できなかった者は 8 例 (14.5%) であった。

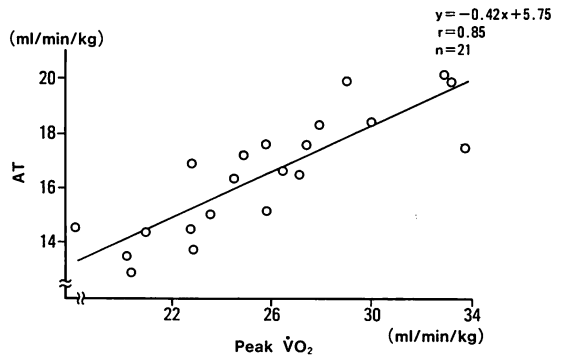
運動負荷試験の終了徴候が下肢疲労, 息切れ, 目標心拍数到達以外 (虚血徴候, 不整脈, 血圧変動) であった者,  $\beta$  遮断剤投与例, AT が明確に判定できなかった例を除外し, 残りの 21 例について下記の検討を行なった。

1. 対象者の最高酸素摂取量 (peak  $\dot{V}O_2$ ), AT, ATHR および KHR (Table 1)

**Table 1. Peak  $\dot{V}O_2$  and anaerobic threshold in patients with old myocardial infarction**

Peak $\dot{V}O_2$ (ml/min/kg)	25.8 ± 4.3
AT (ml/min/kg)	16.5 ± 2.1
ATHR (beats/min)	117.2 ± 11.0
KHR (beats/min)	121.9 ± 13.0

AT=anaerobic threshold; ATHR=heart rate at AT; KHR=heart rate by Karvonen's method.



**Fig. 2. Relationship between AT and peak  $\dot{V}O_2$ .**

A positive correlation ( $r=0.85$ ) is observed between AT and peak  $\dot{V}O_2$ .

Abbreviations: see Table 1.

対象者 21 例の peak  $\dot{V}O_2$  および AT はそれぞれ平均 25.8 ± 4.3 ml/min/kg, 16.5 ± 2.1 ml/min/kg であった。ATHR と KHR はそれぞれ平均 117.2 ± 11.0 beats/min, 121.9 ± 13.0 beats/min であった。

2. Peak  $\dot{V}O_2$  と AT の関係 (Fig. 2)

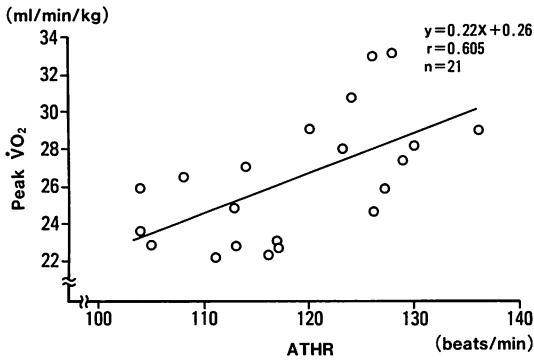
両者間に  $r=0.85$  の良好な正相関を認めた。

3. Peak  $\dot{V}O_2$  と ATHR の関係 (Fig. 3)

両者間にも  $r=0.605$  の有意な正相関を認めた。

4. Peak  $\dot{V}O_2$  と KHR の関係 (Fig. 4)

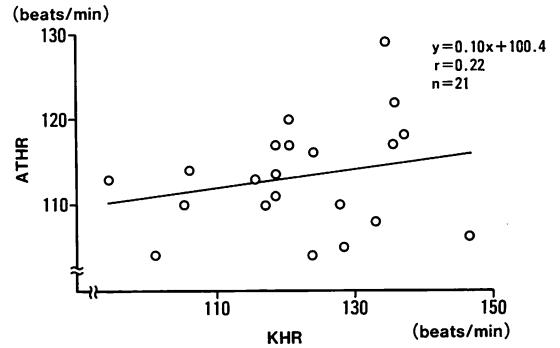
両者間には有意な相関は認めなかった。これは



**Fig. 3. Relationship between peak  $\dot{V}O_2$  and ATHR.**

A positive correlation ( $r=0.605$ ) is observed between peak  $\dot{V}O_2$  and ATHR.

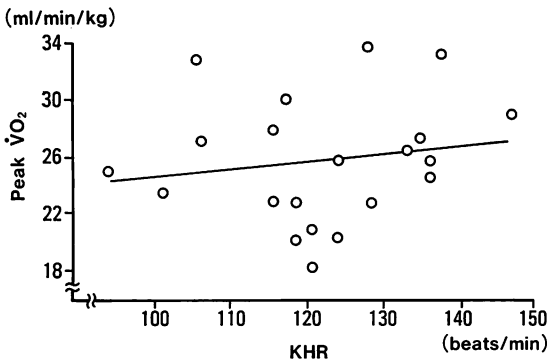
Abbreviations: see Table 1.



**Fig. 5. Relationship between ATHR and KHR.**

Correlation between ATHR and KHR is insignificant.

Abbreviations: see Table 1.



**Fig. 4. Relationship between peak  $\dot{V}O_2$  and KHR.**

Correlation between peak  $\dot{V}O_2$  and KHR is insignificant.

Abbreviations: see Table 1.

K 値を 0.6, 0.7 とした場合も同様であった。

#### 5. ATHR と KHR の関係 (Fig. 5)

両者間に有意な相関は認めなかった。K 値を 0.6, 0.7 とした場合も同様の結果であった。

#### 6. ATHR と KHR の関係より 2 群に区分した時の両群の背景因子の検討

ATHR と KHR を比較し,  $ATHR \geq KHR$  (I 群) の 6 例と  $ATHR < KHR$  (II 群) の 15 例の

2 群に区分し, Table 2 に示すように, 年齢, 梗塞部位, 有意狭窄数, 左室駆出分画の各項目につき検討したが, 両群間に有意差を認めなかった。この場合, K 値を 0.6, 0.7 とすると, 全例で  $ATHR < KHR$  となった。

#### 考 察

運動処方を行なう際には, 運動様式, 運動強度, 持続時間, 実施時間帯, 頻度, 期間などの設定が必要である。この中でも運動強度は最も重要な因子であり, 設定強度が低いと効果が少なく, また強すぎると心不全や不整脈などの危険性を伴う可能性がある。したがって特に心筋梗塞患者では慎重に行なわなければならない。

運動強度は通常,  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  もしくは最大心拍数に対する % で表わされ, 経験的に  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の 50~80% もしくは最大心拍数の 70% 前後が至適運動強度とされてきた<sup>2,3)</sup>。最大心拍数から至適運動強度を求める方法の一つとして Karvonen 法<sup>8)</sup>があるが, これは (最大心拍数 - 安静時心拍数) × K + 安静時心拍数の式において, K を 0.5~0.7 として求められる心拍数を至適運動心拍数とするものである。しかし, この方法も, 係数の選択など, 運動処方医の主観的および経験的要素が

**Table 2. Clinical backgrounds of patients in group I (ATHR $\geq$ KHR) and group II (ATHR < KHR)**

Parameter	Group I (ATHR $\geq$ KHR)	Group II (ATHR < KHR)	P
Number of patients	6	15	
Age (years)	48.6 $\pm$ 10.4	46.1 $\pm$ 12.2	NS
MI region			NS
Antero-septal	3	6	
Extensive anterior	2	4	
Inferior	1	3	
Others	0	2	
Diseased vessels			NS
Zero vessel	1	1	
One vessel	2	8	
Two vessels	2	6	
Three vessels	1	0	
LV ejection fraction (%)	46.5 $\pm$ 7.7	46.1 $\pm$ 12.2	NS

MI=myocardial infarction; LV=left ventricular.

Other abbreviations: see Table 1.

強いと考えられる。

本研究で示されたように、peak  $\dot{V}O_2$  と KHR, ATHR の関連性を検討した場合、ATHR では peak  $\dot{V}O_2$  と有意な相関関係を認めたが、KHR では個々の症例でのばらつきが大きく、相関は認められなかった。また、KHR と ATHR の関連では、K 値を最小の 0.5 とした場合でも KHR > ATHR となる症例が 21 例中 15 例を占め、K 値を 0.6 以上にした場合には全例において KHR > ATHR となり、AT 以上の強い運動強度が求められる結果、KHR を用いる運動療法では負荷過剰となり得る可能性が推察された。これに対して患者個々に AT を測定し、ATHR を運動設定心拍数とする場合、担当医の主観的要素が少ない運動強度の設定が可能である。また、AT は運動中に有気的代謝が無気的代謝が加わる運動強度と定義される<sup>11)</sup>ので、理論上は AT 以下のレベルで運動する限り、予備機能の低い心臓に無理な負荷がかからないと考えられる。

実際に AT を運動療法に応用する場合、まず患者に運動負荷試験において呼気ガス分析を施行

し、AT を求め、ATHR の 90% 前後の心拍数を至適運動強度としてリハビリテーションを進めることが妥当と考えられる。

運動処方是个々の症例において、運動療法の目的、病期などに応じ、適宜決定されなくてはならないが、心筋梗塞患者、特に発症後 1 ヶ月前後までは deconditioning の改善が主たる目的であり、高度な運動能力を求めるものではない。一方、発症後 1~3 ヶ月までの回復期運動療法の目的は、許容最大運動量を増大させ、質の高いレベルで社会復帰させることにある。高い効果を得るためには、患者個々に病期によって細かく運動強度設定を行なうことが必要であり、また、運動強度設定は心機能だけでなく、呼吸器系機能、末梢骨格筋能力などの因子を考慮することが重要である<sup>12,13)</sup>。これらの点からも ATHR を用いた運動療法の有用性が推察される。

以上より、従来からの至適運動強度の設定方法に比し、AT を用いた運動療法には運動生理学的な裏付けがあるとともに、亜最大負荷で客観的に求められるという運動負荷法自体の安全性の利点

があり, 心筋梗塞患者の運動処方において有用であると考えられた。

## 結 論

AT と peak  $\dot{V}O_2$ , ATHR と peak  $\dot{V}O_2$  に有意な正相関を認めた。それに対して KHR と peak  $\dot{V}O_2$ , KHR と ATHR には有意な相関関係は認められなかった。対象症例 21 例中 15 例は  $KHR > ATHR$  であり, KHR による運動強度設定は過負荷となり得る可能性が示唆された。

## 要 約

運動処方に際し, 至適運動強度の設定における anaerobic threshold (AT) の有用性を, 従来から用いられている Karvonen 法と比較検討した。発症後 1~3 ヶ月の慢性期心筋梗塞患者 55 例を対象とした。トレッドミル運動負荷試験を施行し, Bruce プロトコルにより Karvonen 法による至適心拍数 (KHR) を算出, ramp プロトコルによる AT 到達時の心拍数 (ATHR) を測定し, AT と最高酸素摂取量 (peak  $\dot{V}O_2$ ) も合わせて比較検討した。

1) Peak  $\dot{V}O_2$ , AT はそれぞれ平均  $25.8 \pm 4.3$ ,  $16.5 \pm 2.1$  ml/min/kg, ATHR, KHR はそれぞれ平均  $117.2 \pm 11.0$ ,  $121.9 \pm 13.0$  beats/min であった。2) Peak  $\dot{V}O_2$  と AT の間に  $r=0.85$  の有意な正相関を認めた。3) Peak  $\dot{V}O_2$  と ATHR の間に  $r=0.605$  の有意な正相関を認めた。4) Peak  $\dot{V}O_2$  と KHR, ATHR と KHR の間には相関関係を認めなかった。5) 検討可能な 21 例について ATHR と KHR を比較すると,  $ATHR \geq KHR$  群が 6 例,  $ATHR < KHR$  群が 15 例で, 両群間の臨床的背景に有意差を認めなかった。

従来からの運動療法における運動強度設定は, Karvonen 法を含め, 経験的要素が強く, 設定者の主観的要素が大きい。それに比し AT を用いた運動強度設定は生理学的な根拠があり, 安全性の観点から従来の方法に勝るものと考えられた。心筋梗塞患者のリハビリテーションにおける運動

強度設定は, 個々の症例においてその運動機能を正確に判断し, また, 病期によって変更していく必要があるが, それらの点に対し, AT の応用による運動強度設定の有用性が示唆された。

## 文 献

- 1) 村山正博: 運動処方決定における運動負荷試験. 臨床医 15: 64-68, 1989
- 2) American Colloge of Sports Medicine: Principles of exercise prescription. in Guidelines for Graded Exercise Testing and Exercise Prescription (ed by Blair SN, et al). Lea & Febiger, Philadelphia, 1980, pp 37-57
- 3) Hellerstein HK, Franklin BA: Exercise testing and perscription. in Rehabilitation of the Coronary Patient. Wiley Medical, New York, 1984, pp 197-284
- 4) Wassreman K: Dyspnea on exertion: Is it the heart or the lungs? JAMA 248: 2039-2045, 1982
- 5) Wasserman K: The anaerobic threshold measurement to evaluate exercise performance. Am Rev Respir Dis 129: 35-40, 1984
- 6) Wasserman K, Whipp BJ: Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. J Appl Physiol 35: 236-243, 1973
- 7) Wasserman K: The anaerobic threshold measurement in exercise testing. Clin Chest Med 5: 77-88, 1984
- 8) Karvonen MJ: Problems of training the cardiovascular system. Ergonomics 2: 207-215, 1959
- 9) Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D: Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. Am Heart J 85: 546-562, 1973
- 10) Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ: A new method for detecting the anaerobic threshold by gas exchange. J Appl Physiol 60: 2020-2027, 1986
- 11) Wasserman K, Hansen JE: Application of the anaerobic threshold measurement. in Principles of Exercise Testing and Interpretation. Lea & Febiger, Philadelphia, 1987, pp 36-63
- 12) Clausen JP: Effect of physical training on cardiovascular adjustments to exercise in man. Physiol Rev 57: 779-782, 1977
- 13) Letac B, Cribier A, Desplanches JF: A study of left ventricular function in coronary patients before and after physical training. Circulation 56: 375-378, 1977