

AT レベル単一負荷における呼吸循環動態の検討

鮫島久紀*, 田辺一彦*, 大宮一人*, 山本明子*
 大矢美佐*, 関 敦*, 鈴木規之*, 横山泰廣*
 長田尚彦*, 村山正博*, 伊東春樹**

要 旨

心筋梗塞 (MI) 回復期の運動処方には anaerobic threshold (AT) レベルが広く用いられるようになった。しかし実際の AT レベル運動中の呼吸循環動態の変化については十分な検討がなされていない。そこで本研究では、AT レベル単一運動中の呼吸循環動態の変化につき検討した。急性期リハビリテーションを完了した発症後1ヶ月の患者10名 (MI 群: 平均57.3±10.9歳), 健常若年男性10名 (健常群: 平均24.8±3.6歳) に対しトレッドミル心肺運動負荷試験 (ramp 法) を行い、AT, 最高酸素摂取量 (peak $\dot{V}O_2$) を求めた。別の日に6分間の warm-up の後、運動時間が30分になるようにそれぞれの AT $\dot{V}O_2$ レベルの単一負荷を24分間施行し、健常群と MI 群の比較を行った。1) AT, peak $\dot{V}O_2$, AT 時心拍数はいずれも健常群で有意な高値を示した。2) AT レベル単一負荷時の $\dot{V}O_2$, ガス交換比, 酸素脈, 2重積には有意な変化を認めなかった。3) 単一負荷開始10分後の心拍数は ramp 負荷で求めた AT 時心拍数に近似したが、24分後の心拍数は両群共に有意に増加した。4) 単一負荷開始10分後と24分後の比較では、両群とも酸素摂取量に対する換気当量 ($\dot{V}E/\dot{V}O_2$), 呼吸数の平均値はいずれも増加し、一回換気量は減少したが、特に MI 群ではいずれも統計的に有意であった。以上より AT レベルの運動でも24分間連続して行うことで心拍数の増加や呼吸パターンの変化が認められた。これは健常

群, MI 群ともに、傾向としては同様であった。MI 回復期運動療法の際、心拍数や呼吸数などを監視し、運動時間や運動強度の調節をする必要がある。

はじめに

心筋梗塞症などの心疾患患者に運動療法を施行する際には、運動処方として運動強度、運動様式、頻度、1回の運動持続時間を設定する必要がある。特に運動療法を安全に施行するには、運動強度の設定が最も重要と考えられ、今日では AT レベルが広く用いられている¹⁻³⁾。AT レベルの運動は理論的には、組織疲労を生じる事なく長時間持続可能であり、過大な心負荷をかけないとされる^{4,5)}。また回復期心筋梗塞患者に対する AT レベルの運動療法により、AT, peak $\dot{V}O_2$, 運動時間等の運動耐容能が改善することはすでに報告されている^{1,2,6,7)}。

しかし、AT は漸増運動負荷試験により得られる指標であり、実際の運動療法で用いる AT レベルの運動強度を維持している間の呼吸、循環動態についての報告は少ない⁸⁾。

これまでの単一レベル運動負荷試験に関する報告は、自転車エルゴメータを用いたものが多く、また、運動時間も10分前後の短い運動中の経時変化を検討したものが大多数である⁸⁻¹⁰⁾。しかし実際に臨床で広く行われている運動療法は、経験的に30分前後行うことが一般的と考えられる。そこで本研究では実際の運動療法に準じて、また、より生理的な運動であるトレッドミルを用い、6分間の warm-up を含めて、合計30分間になるように24分間の AT レベル単一負荷試験を施行し、呼

* 聖マリアンナ医科大学第二内科

** 心臓血管研究所

吸循環動態を検討することを目的とした。また AT 値の高低で、AT レベル単一負荷時の呼吸循環動態に差があるか否かも検討するため、若年健康男性と心筋梗塞患者の 2 群を設定した。

対象と方法

(1) 対象

対象は心疾患、呼吸器疾患、腎疾患、高血圧症、代謝疾患などの病歴がなく、問診および身体所見上明かな異常を認めない、健康男性 volunteer 10 名（健康群：平均24.8±3.6歳）。および、初回心筋梗塞（MI）発作のため聖マリアンナ医科大学ハートセンターに入院し、当院における 4 週間の急性期リハビリテーションプログラムを完了した、発症約 1 カ月の承諾の得られた連続症例である、男性患者 10 名（MI 群：平均57.3±10.9歳）である。なお、発症 1 ヶ月目の時点でコントロールされていない心筋虚血徴候を有する例や不整脈例、NYHA 心機能分類Ⅲ度以上の症例、また運動負荷試験の妨げとなる他疾患を有する例（重度の貧血、呼吸器疾患、整形外科的疾患など）は除外した。

Table 1 に MI 群の臨床背景を示す。心筋梗塞部位は前壁梗塞 5 例、下壁梗塞 3 例、側壁梗塞 2 例である。また健康群、MI 群の対象者全員に本研究の趣旨を説明し承諾を得た。

(2) 方法

初めに両群に対し、呼気ガス分析を併用したト

Table 1 Clinical characteristics of patient

Mean age (yr)	57.3±10.9	
Height (cm)	167.9± 6.7	
Weight (kg)	60.6± 9.8	
Location of MI		
Anterior		5
Lateral		3
Inferior		2
Risk factors		
Hypertension		5
Diabetes mellitus		3
Hyperlipidemia		1
Smoking		8
Forrester's subset on admission		
II		9
I		1
Number of patients with significant diameter stenosis (≥75%) of coronary artery		after PTCA
0	1	6
1	7	3
2	1	0
3	1	1
Medication during protocol		
Nitrates		10
Calcium channel antagonist		7
Nicorandil		2
Maximal level of CK-MB (IU/l)	244±179.3	

MI : myocardial infarction
PTCA : percutaneous transluminal coronary angioplasty
CK : creatine kinase

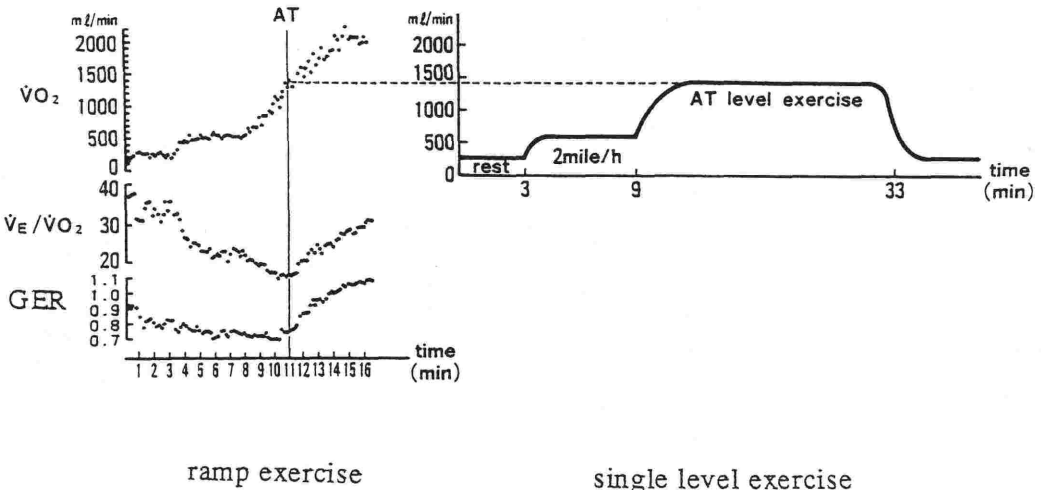


Fig. 1 Exercise protocol GER : gas exchange ratio

レッドミル心肺運動負荷試験を行い (ramp 法; Fig.1), AT, 最高酸素摂取量 (peak $\dot{V}O_2$), 最高ガス交換比を求めた. 次に ramp 負荷から1週以内の別の日に, トレッドミルによる単一負荷を施行した. 3分間の安静の後, 速度 2 mile/h, 傾斜 0% の warm-up を 6分間施行し, その後, 対象者個々の AT 時の $\dot{V}O_2$ レベルをマニュアル操作で維持する単一負荷試験を, 呼気ガス分析下にて, 24分間施行した. AT レベルの単一負荷開始後10分目と24分目に, 酸素摂取量, ガス交換比, 心拍数, 収縮期血圧, 二重積, 呼吸数, 1回換気量, 分時換気量, $\dot{V}O_2$ に対する換気当量の 9項目の測定値を比較した.

(3) 運動負荷試験 (ramp 法)

運動負荷試験はフクダ電子製 Stress Test System ML-5000および Treadmill MAT-2500を用い, 3分間の安静, 3分間の warm-up の後, 1分間に約 1 MET ずつ漸増する ramp プロトコールによって行った. 負荷試験中は心拍数, ST-T 変化および不整脈を連続的に監視し, 12誘導心電図を1分ごとに記録した. 血圧は COLIN 製運動負荷試験用血圧監視装置 STBP-780B を用いて1分ごとに測定した. 負荷終了はアメリカスポーツ医学会のトレッドミル負荷中止基準¹¹⁾を満たす兆候の出現, あるいは負荷の増加にも関わらず酸素摂取量 $\dot{V}O_2$ の増加を認めない, いわゆる $\dot{V}O_2$ leveling off の状態出現とした.

(4) 呼気ガス分析

呼気ガス分析はミナト医科学社製 Respiromonitor RM-300および Medical Gas Analyzer MG-360を用い, 得られた呼気ガスデータは NEC 製パーソナルコンピュータ PC9801でオンライン処理し8呼吸移動平均により平滑化処理した. 呼気ガスは breath by breath 法で測定し, $\dot{V}O_2$, CO_2 排出量 ($\dot{V}CO_2$), 分時換気量 ($\dot{V}E$), $\dot{V}O_2$ に対する換気当量 ($\dot{V}E/\dot{V}O_2$), $\dot{V}CO_2$ に対する換気当量 ($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$), およびガス交換比 ($\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$) の各パラメーターをコンピュータ画面に表示し, 監視した. AT 決定には Beaver らが提唱した V-slope 法¹²⁾を用い最高酸素摂取量 (peak $\dot{V}O_2$) は負荷終了直前30秒間の平均値とした.

(5) 統計解析

運動開始10分目, 24分目の測定値は paired-t test を用いて検定した. 測定値はすべて平均±標

準偏差で表示し $p < 0.05$ をもって統計学的有意差の判定とした.

結 果

(1) トレッドミル心肺運動負荷試験

Peak $\dot{V}O_2$ は健常群 39.8 ± 4.3 ml/min/kg, MI 群で 24.4 ± 5.0 で, 健常群で有意に高値であった. AT も同様で, 健常群 22.7 ± 2.2 ml/min/kg, MI 群 16.4 ± 2.7 であり, AT 時心拍数はそれぞれ 121.1 ± 4.0 /min, 108.5 ± 10.5 でいずれも健常群で有意に高い値であった.

(2) AT レベル単一負荷試験結果

AT レベル単一負荷開始後10分, 24分目の酸素摂取量とガス交換比を Fig. 2 に示す. 10分および24分目の $\dot{V}O_2$ は健常群, MI 群の両群において, 設定した運動負荷プロトコール通り, ramp 負荷時の AT 時 $\dot{V}O_2$ と有意差なく, また10分, 24分目の $\dot{V}O_2$ はプロトコール通り, いずれの群も不変であった. ガス交換比の推移でも, 10分, 24分後の比較では, 両群共に経時的変化を認めなかった.

同様に心拍数, 収縮期血圧, 二重積の変化を Fig. 3 に示す. 心拍数の経時的変化では, 単一負荷開始10分後の心拍数は, 両群とも ramp 負荷で求めた AT 時心拍数に近似した. しかしその後は両群共に徐々に増加し, 24分後の心拍数は, 健常群 120.7 ± 7.6 /min から 125.2 ± 9.4 , MI 群で 104.3 ± 10.0 から 107.9 ± 11.3 とわずかながら両群とも有意に増加した ($p < 0.05$).

収縮期血圧, 二重積は両群とも不変で, 統計学的に有意な経時的変化は認めなかった. Fig. 4 に

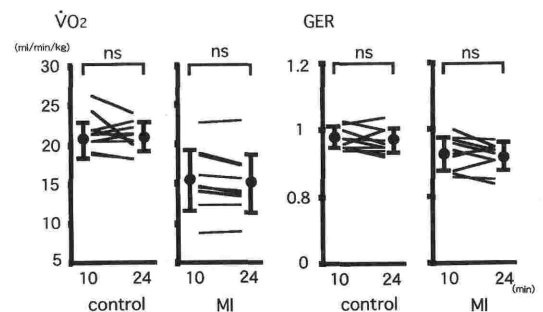


Fig. 2 Changes in $\dot{V}O_2$ and gas exchange ratio

Data are presented as mean \pm SD.

MI : myocardial infarction, $\dot{V}O_2$: oxygen up take,

GER : gas exchange ratio

呼吸動態の変化を示す。10分目と24分目の呼吸数の比較では、両群とも増加する傾向を示し、MI 群では $22.1 \pm 4.3/\text{min}$ から 24.0 ± 3.4 と有意に増加した。1 回換気量は、両群とも減少する傾向を示し、MI 群では $1.4 \pm 0.2\text{L}$ から 1.3 ± 0.2 へと有意に低下し ($p < 0.05$)、分時換気量は、有意差はないものの増加する傾向を示した。

Fig. 5 に \dot{V}_E/\dot{V}_{O_2} の変化を示す。10分後と24分後の比較では健常群では不変であり、MI 群では 33.5 ± 5.5 から 34.9 ± 5.2 と有意に増加した。

考 察

AT レベルの単一運動は、現在ではMI 回復期の運動療法の基本となっており、数多くの施設で

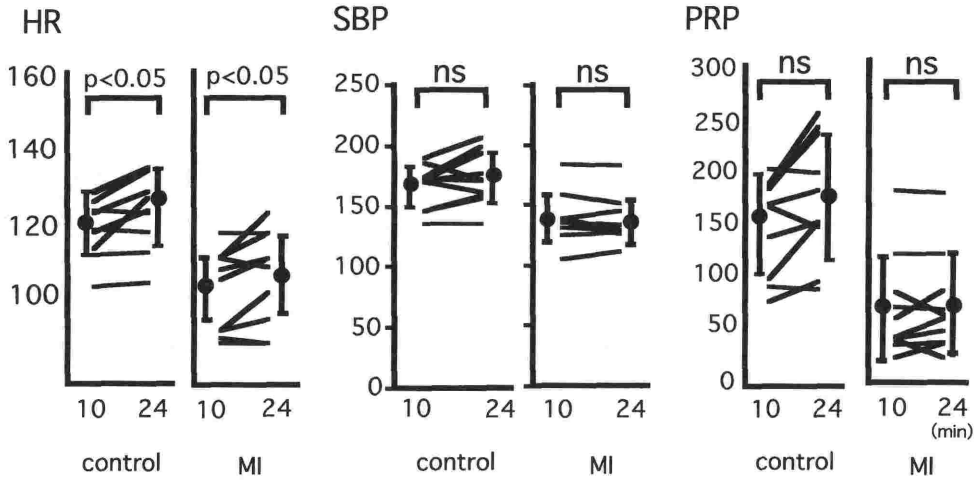


Fig. 3 Changes in HR, SBP and PRP
Data are presented as mean \pm SD. MI : myocardial infarction, HR : heart rate, SBP : systolic blood pressure, PRP : pressure rate product

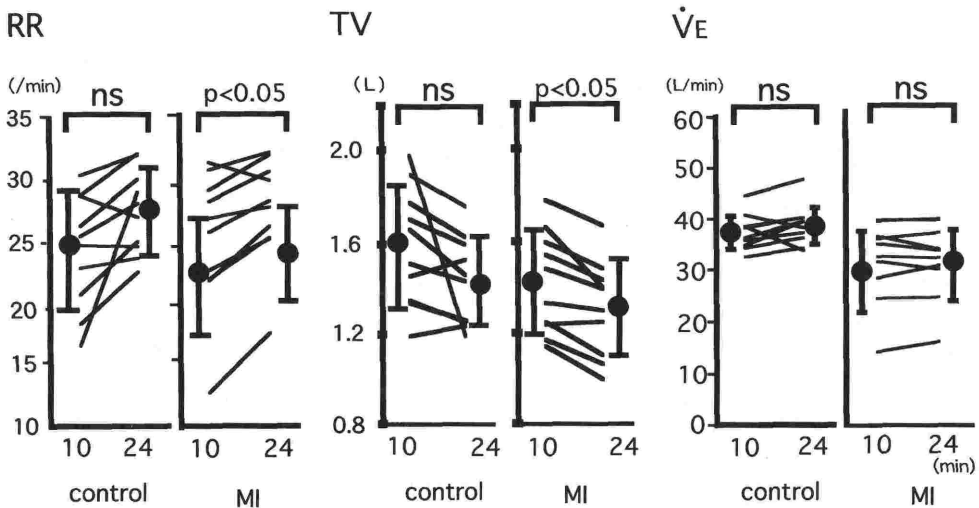


Fig. 4 Changes in RR, TV and \dot{V}_E
Data are presented as mean \pm SD. MI : myocardial infarction, RR : respiration rate, TV : tidal volume \dot{V}_E : minute ventilation

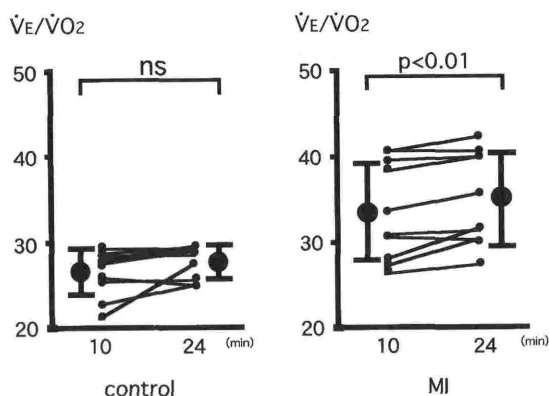


Fig. 5 Changes in \dot{V}_E/\dot{V}_{O_2}

Data are presented as mean \pm SD.

\dot{V}_E/\dot{V}_{O_2} : ventilatory equivalent for oxygen

取り入れられ、運動耐容能やADLに対する改善効果があることが証明されている。ATレベルの運動療法が普及をした理由の一つには、ATレベルが最大運動よりもかなり低いレベルであり、理論的には酸素摂取量、心拍数、血圧反応の定常状態が得られ、かつ長時間持続可能であり、交感神経系の過度の賦活がなく、血中乳酸の増加がないなどという理由であると考えられる。また、運動時左心機能に関して、Koikeら¹³⁾は、心疾患患者を対象として、^{99m}Tc標識赤血球を用いた核医学的手法により検討している。これによると、左室駆出分画、1回拍出量はAT付近でその最大値をとりAT以上の負荷強度では、それらは減少し始め、最高負荷時のそれらの値は安静時の値より低下するとしている。このように運動時左心機能の観点からもATは運動時左心機能の変化点、あるいは運動により誘発される左心機能低下を示し始める指標とも換言でき、運動療法の1指標とされる根拠である。しかしATは漸増運動負荷試験で得られる指標であり、実際のATレベル運動負荷中の呼吸循環動態に関する報告は少ない⁸⁾。現在まで報告されている単一レベル運動負荷中の心拍数動態については佐藤ら¹⁰⁾が、健常人を対象とし臥位自転車エルゴメータを用い、25 watts、50 watts、100 wattsの3種類の運動強度を用いた10分間の単一レベル運動負荷試験で検討している。これによると、25 watts、50 wattsの低強度あるいは中等度以下の運動強度では、心拍数は運動開始

後1-2分で定常状態に入り、運動中は一定となるが、100 wattsでは定常状態は得られず、時間とともに漸増するとしている。また田辺ら⁸⁾も自転車エルゴメータを用いATレベルの \dot{V}_{O_2} を指標とした10分間の単一レベル運動負荷試験を施行し心拍数変動を検討しているが、ATレベル運動中は一定の値を示したと報告している。これまでの単一レベル運動負荷試験は前述したように運動時間が10分前後の比較的短い運動中の循環動態の経時変化を検討したものが多く、しかし心筋梗塞患者に対する運動療法は経験的に30分前後行うことが一般的であり、また高脂血症や糖尿病患者に対するそれも肥満軽減や脂肪の燃焼がその目的となるため、やはり中等度以下の運動強度で長く続ける必要がある。そこで本研究では、広く汎用されているATレベル運動療法に準じた単一レベル運動負荷試験を呼気ガス分析下に施行した。本研究ではATレベルの \dot{V}_{O_2} を維持させるようマニュアル操作で \dot{V}_{O_2} を一定に設定したが、心拍数は増加度は小さいものの、統計学的に有意に増加し、逆に1回換気量は減少した。換言すると、呼吸の形態が浅く速くなる傾向を示した。これらの傾向は運動耐容能の異なる健常群、MI群の両群とも認められ、呼吸循環動態のAT値の高低による差は認められなかった。今回の検討で心拍数や呼吸数が増加する機序については明らかにはできないが、Saito¹⁴⁾らは40% \dot{V}_{O_2max} という低いレベルの30分間の自転車エルゴメータ負荷試験でも運動開始後15分頃から筋交感神経活性は亢進し心拍数、呼吸数が増加すると報告しており、本研究結果もこのような機序が働いた可能性が推察される。

本研究結果から運動処方する際の注意点としては、ATレベルの単一運動中であっても心拍数、呼吸数などのデータを監視する必要があると考えられる。また、1回の運動持続時間に関しては、今回の検討では、単一負荷開始20分後には、一部の症例で、いくつかのデータが変化を開始していることから、運動中にも心拍数などを監視し、運動時間を患者個々に変更するなどの工夫も必要と思われる。

結 語

ATレベルの運動でも、連続して長時間行うことで、心拍数の増加や呼吸パターンの変化が認め

られる。MI 回復期運動療法の際、AT レベルの運動強度であっても、心拍数や呼吸数などを監視し、持続時間や運動強度の調節をする必要がある。

文 献

- 1) 岩崎達弥, 田辺一彦, 村山正博ら: 心筋梗塞運動療法における嫌気性代謝閾値処方法の検討. *J Cardiol* 21: 589-594, 1991
- 2) 大宮一人: 心筋梗塞慢性期における運動療法による運動能力および心機能改善に関する検討. *日本臨床生理学学会雑誌* 22: 317-331, 1992
- 3) 下原篤司, 上嶋健治, 内本定彦ら: 急性心筋梗塞症患者の回復期在宅運動療法における運動処方法の検討: 嫌気性代謝閾値時の心拍数を用いた処方. *J Cardiol* 21: 309-315, 1991
- 4) Wasserman K, Whipp B, Koyal SN, et al: Anaerobic threshold an respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 35: 236-243, 1973
- 5) Wasserman K, Mellory MB: Detecting the threshold of anerobic metabolism. *Am J Cardiol* 14: 844-852, 1964
- 6) Tanabe K, Iwasaki T, Osada N, et al: Prediction of exercise tolerance in the chronic phase of myocardial infarction by using ventilatory gas analysis. *Jpn Circ J* 57: 189-196, 1993
- 7) Tanabe K, Suzuki N, Osada N, et al: Effect of cilazapril on exercise tolerance in the chronic phase of acute myocardial infarction. *Jpn Circ J* 60: 831-840, 1996
- 8) 田辺一彦, 長田尚彦, 野田聖一ら: 健常者における AT, 120% AT レベル単一負荷における循環動態とカテコラミン動態. *J Cardiol* 24: 61-69, 1994
- 9) Coplan NL, Gleim GW, Nicholas JA: Exercise-related changes in serum catecholamines and potassium: Effect of sustained exercise above and below lactate threshold. *Am heart J* 117: 1070-1075, 1989
- 10) 佐藤秀幸, 松山泰三, 尾崎 仁ら: 運動時の交感神経活動と心臓の反応. 心臓活動の神経性調節とその病態 (有田真, 入沢宏編), 九州大学出版会, 福岡, 1987, pp.217-228
- 11) American College of sports Medicine: Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 3rd ed. Lea & Febiger, Philadelphia, 1986
- 12) Beaver WL, Wasserman K, Whipp B: A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 60: 2020-2027, 1986
- 13) Koike A, Itoh H, Taniguchi K, et al: Detecting abnormalities in left ventricular function during exercise by respiratory measurement. *Circulation* 80: 1737-1746, 1989
- 14) Saito M, Nakamura Y: Cardiac autonomic control and muscle sympathetic nerve activity during dynamic exercise. *Jpn J Physiol* 45: 961-977, 1995

Changes in Cardiopulmonary Parameters during Single-Level Exercise at the Anaerobic Threshold

*Hisanori Samejima, *Kazuhiko Tanabe, *Kazuto Omiya, *Akiko Yamamoto,
*Misa Oya, *Atsushi Seki, *Noriyuki Suzuki, *Yasuhiro Yokoyama, *Naohiko Osada,
*Masahiro Murayama, **Haruki Itoh

*The Second Department of Internal Medicine, St. Marianna University, School of Medicine,
and The Cardiovascular Institute, Kanagawa, Japan

**The Cardiovascular Institute, Tokyo, Japan

Recently, it has been recognized that anaerobic threshold (AT) could be an useful index for exercise prescription in patients with myocardial infarction (MI). Although there are numerous descriptions on effects of AT-level exercise training in patients with MI, reports documenting the effects of single-level exercise at the AT-level on cardiopulmonary function have been few.

Then, the present study was conducted with the purpose of investigating the effects of AT-level exercise upon oxygen uptake ($\dot{V}O_2$) kinetics and cardiopulmonary function in healthy volunteers and in patients with MI. The subjects consisted of 10 healthy male volunteers (mean age 24.8 ± 3.6 years) and 10 consecutive patients who had completed the routine 4-week cardiac rehabilitation program for the acute phase of MI (all were males; mean age 57.3 ± 10.9 years). Two kinds of treadmill exercise testing was performed. At first, symptom-limited exercise testing was performed by using a ramp treadmill protocol. After 3-min rest on the treadmill, exercise was started with 3-min warm-up (speed: 1.0 mile/h, grade: 0%) followed by an increase in load every 1 min. AT and peak $\dot{V}O_2$ was determined in this study. Secondly, single-level exercise testing at AT level was performed on the different day for measuring $\dot{V}O_2$, heart rate, pressure rate product, oxygen pulse, gas exchange

ratio, respiratory rate, tidal volume and the ventilatory equivalent for O_2 ($\dot{V}_E/\dot{V}O_2$). After 3-min rest on the treadmill, exercise was started with 6-min warming up (speed: 2 miles/h, grade: 0%). After 6-min warming up, 24-min single-level exercise at AT level was performed by the manual operation starting the prior stage of ramp protocol that AT was obtained. AT level of exercise intensity was given by $\dot{V}O_2$, determined by cardiopulmonary exercise test. Comparisons of the measurements were made at 10-min and 24-min after starting AT-level exercise. 1) Values of peak $\dot{V}O_2$, AT and heart rate at AT level were significantly lower in MI group. 2) $\dot{V}O_2$, gas exchange ratio, pressure rate product and O_2 pulse at 10-min and 24-min after AT-level exercise were not changed on both group during AT-level exercise. 3) With regard to the changes in heart rate, the heart rate at 10 min after starting AT-level exercise was similar to heart rate at AT determined by the ramp exercise test. However, heart rate at 24-min after starting AT-level exercise was significantly increased in both groups. 4) Comparisons of respiration rate and $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ at 10-min and 24-min revealed increase tendency. On the other hand, tidal volume revealed decrease tendency. These tendency in the MI group was significant. It was concluded that heart rate and respiratory pattern were changed by sustained AT-level exercise.

Key words : Single-level exercise test, Anaerobic threshold, Cardiopulmonary function

(Circ Cont 19 : 6 ~12, 1998)