

嫌気性代謝閾値を指標とする
急性心筋梗塞回復期の在宅
運動療法の試み

The clinical role of
anaerobic threshold in
physical training of pa-
tients with recent myo-
cardial infarction

辻 正純
斎藤 颯
安藤 輝彦
森内 正人
田村 裕男
谷川 直
小沢友紀雄
波多野道信
堀江 孝至*
大川 信夫**

Masazumi TSUJI
Satoshi SAITO
Teruhiko ANDO
Masahito MORIUCHI
Yasuo TAMURA
Naoshi TANIGAWA
Yukio OZAWA
Michinobu HATANO
Takashi HORIE*
Nobuo OOKAWA**

Summary

Twenty-seven patients with recent myocardial infarction were studied to evaluate the clinical usefulness of the anaerobic threshold (AT) in physical training as cardiac rehabilitation at home. The 27 patients were divided into trained and control groups.

Symptom-limited treadmill exercise tests were conducted before and six weeks after the prescribed aerobic training. Heart rate (HR), systolic blood pressure and respiratory gases ($\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ and $\dot{V}E$) were noninvasively measured throughout the exercise periods. AT was defined as systemic increase in the ventilatory equivalent O_2 ($\dot{V}E/\dot{V}O_2$) without an increase in the ventilatory CO_2 ($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$) during the increasing work load. The patients in the trained group were obliged to perform aerobic walking training requiring 90~100% HR of the AT level for 30 min, four to six days per week.

1. In the trained group, exercise time, peak $\dot{V}O_2$, and AT on treadmill performance were significantly increased compared with those of the pre-training values. However, in the control group, these parameters were not significantly changed. A significant reduction in double products was observed during submaximal workload in the trained group.

2. Factors related to the training effects: The training effect expressed by Δ peak $\dot{V}O_2$ correlated significantly with the initial peak $\dot{V}O_2$ (pre-training peak $\dot{V}O_2$) ($y=35.4-1.29x$, $r=0.70$), but there was no correlation between left ventricular function and Δ peak $\dot{V}O_2$.

日本大学医学部 第二内科

*同 第一内科

**同 体育学教室

東京都板橋区大谷口上町 30-1 (〒173)

The Second Department and *The First Department
of Internal Medicine and **Department of Gym-
nastics, Nihon University School of Medicine, Ooya-
guchikamimachi 30-1, Itabashiku, Tokyo 173

Received for publication February, 6 1989; accepted July 29, 1989 (Ref. No. 36-425)

These results indicated that aerobic exercise at home guided by the AT level is safe and beneficial for patients with recent myocardial infarction.

Key words

Myocardial infarction Physical training Anaerobic threshold

はじめに

運動療法は心筋梗塞患者において高い quality of life を保たせるために重要である。しかし、我が国ではこのための施設が不十分で、一部の施設を除き、ほとんど行われていないのが現状である。一方、Wasserman ら¹⁾によって報告された嫌気性代謝閾値 (anaerobic threshold: AT) は、最近では心疾患患者の運動耐容能評価などにも応用されるようになった。今回我々は AT を指標として在宅運動療法を行い、運動処方における AT の意義と、心筋梗塞回復期患者に対する運動療法の効果を検討した。

対象および方法

対象: 肺機能に異常のない心筋梗塞回復期患者 27 例を対象とした。これを運動療法を施行した 17 例 (運動療法群) と運動療法を施行しなかった対照 10 例 (対照群) に分けた。なお 70 歳以上の高齢者、心不全、重症狭心症を持つ症例は対象から除外した。Patient profile は Table 1 に示した通りで、運動療法群と対照群の両群間に有意差はなかった。

方法: 全例に Bruce 法により symptom-limited の多段階 treadmill 負荷試験を施行し、左上腕より血圧を 1 分ごとに記録するとともに、マルケット製 CASEII による心電図記録を行った。終点は年齢別最大予測心拍数の 90% もしくは中程度の胸痛、2 mm 以上の ST 低下、呼吸困難、下肢の強い疲労、重篤な不整脈の発生、10 mmHg 以上の収縮期血圧の低下とした。

また同時にチェスト製運動負荷システム AY-500T により呼気ガス分析を行い、15 秒ごとに酸素消費量 ($\dot{V}O_2$)、分時換気量 ($\dot{V}E$)、酸素当量

($\dot{V}O_2/\dot{V}E$) を測定した。AT は Wasserman らの方法に従い^{1,2)}、 $\dot{V}O_2/\dot{V}E$ の変曲点を参考に、複数の医師により決定した。また運動療法終了後には開始前と同様な負荷試験を行い、運動効果を判定した。運動負荷試験の施行は、運動療法開始前で平均発作後 4.6 ± 0.4 週、終了時が 11.3 ± 1.1 週 (mean \pm SEM) であった。なお peak $\dot{V}O_2$ を $\dot{V}O_2$ max として表わした。

運動処方、1 日 2~3 km の歩行を週 5 日以上で 1~2 ヶ月間、運動中の心拍数が AT レベルの心拍数の 80~100%、AT が同定出来なかった症例では最大心拍数の 70% になるように歩行速度を調節させ施行した。一部の患者では携帯型脈拍計を用い運動中の脈拍を、またホルター心電図を行い、心拍数や ST 変化、不整脈を観察した。

全例に Judkins 法にて心カテーテル検査を施行し、冠動脈病変と左室機能 (駆出率: EF) を計測した。

なお投薬は、期間中同一処方で行うことを原則とし、 β 遮断薬やジギタリス製剤を使用した症例は除外した。

統計処理は Student's t-test を用い、 $p < 0.05$ を有意とした。

成 績

1. Treadmill 負荷試験から見た運動療法効果

運動時間は運動療法群では 504 ± 39 秒から 590 ± 31 秒へと有意 ($p < 0.01$) に延長したのに対し、対照群では 478 ± 24 秒から 492 ± 36 秒へと僅かながら延長したが、有意な変化は見られなかった (Fig. 1)。

AT は 27 症例中、21 例 (70.4%) で同定出来た。AT レベルの心拍数は運動療法群では 118.2 ± 4.0 から 124.1 ± 2.8 bpm へと有意 ($p < 0.01$) に増加

Table 1. Patients' profiles

| | No. of pts. (M : F) | Age (yrs.) | MI location (Ant. : Post.) | No. of diseased vessels | LV function (EF : %) | PTCR or PTCA |
|----------------------------|------------------------|---------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------|
| Group 1 (Trained group) | 17 (16 : 1) | 52.0±2.2 | 10 : 7 | 1.6±0.2 | 52.7±2.8 | 7/17 |
| Group 2 (Control group) | 10 (6 : 4) | 55.2±2.9 | 7 : 3 | 1.6±0.3 | 59.4±2.5 | 3/10 |

(mean±SEM)

MI=myocardial infarction; PTCR=percutaneous transluminal coronary recanalization; PTCA=percutaneous transluminal coronary angioplasty.

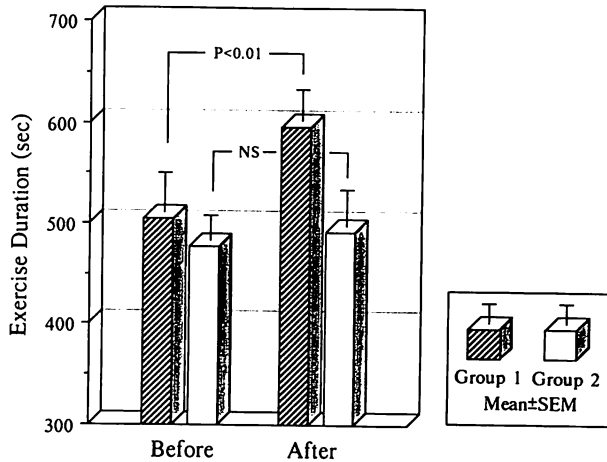


Fig. 1. Changes in exercise duration.

Exercise time increases significantly in the trained group (Group 1) as compared with that of the control group (Group 2).

したのに対し、対照群のコントロール群では 120.8±3.5 から 123.6±5.1 bpm へと増加傾向を示したが、有意な変化は見られなかった (Fig. 2).

最大酸素消費量 ($\dot{V}O_2$ max) の変化は、運動療法群では 28.2±1.4 から 33.5±1.2 ml/kg/min へと有意 ($p<0.01$) に増加したのに対し、対照群では 30.2±1.5 から 30.5±1.5 ml/kg/min と、有意な変化は見られなかった (Fig. 3).

AT レベルの $\dot{V}O_2$ の変化は運動療法群では 21.4±1.1 から 25.4±1.5 ml/kg/min へと有意に増加したのに対し、対照群では 23.1±0.9 から 24.3±2.1 ml/kg/min となり、有意な変化は見ら

れなかった (Fig. 4).

運動療法群における運動療法前後の心筋酸素消費量を示す pressure-rate product (PRP) は、安静時には差がないものの、運動療法後では前値に比べ、最大下レベルにおいて有意に増加が抑制された (Fig. 5). 一方、対照群では前後の PRP に有意な変化は認められなかった.

2. AT の相対的運動強度

AT 測定が可能であった両群の運動療法前後において、AT レベルの % peak $\dot{V}O_2$ と % 心拍数を Table 2 に示す. 各群とも運動療法前後の peak $\dot{V}O_2$ と % 心拍数に有意差はなかった. AT

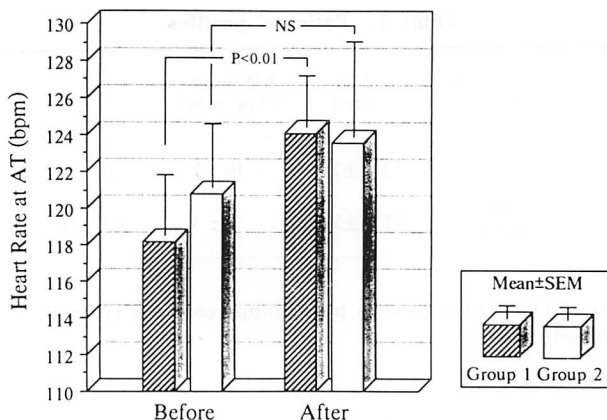


Fig. 2. Changes of heart rate at anaerobic threshold (AT).

Heart rate at the AT level significantly increases in the trained group as compared with that of the control group.

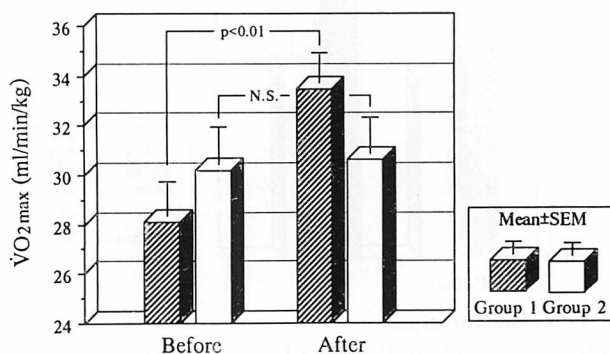


Fig. 3. Changes in $\dot{V}O_2$ max.

$\dot{V}O_2$ max (peak $\dot{V}O_2$) increases significantly in the trained group as compared with that of the control group.

レベルの % 心拍数は 78.7~86.4% であった。

3. 運動療法効果に及ぼす因子の検討

運動療法群において運動療法効果に及ぼす因子について検討した。 $\dot{V}O_2$ max の改善度, すなわち $\Delta\dot{V}O_2$ max は, 運動療法開始前の $\dot{V}O_2$ max すなわち initial $\dot{V}O_2$ max に $r=0.70$ と良好な負の相関を示し (Fig. 6), 身体適性の低い患者ほど運動能力の改善が大であった。一方, $\Delta\dot{V}O_2$ max と運動療法開始前の左室機能 (LVEF) との相関は低かった ($r=0.15$) (Fig. 7)。

今回の運動処方に用いた AT レベルの心拍数と, 従来の運動処方で用いられていた目標心拍数 (最大心拍数の 70% : 70% HR max) との相関を検討した (Fig. 8)。なお後者の算出には Karvonen の式³⁾, すなわち (最大心拍数-安静時心拍数) × 0.7 + 安静時心拍数を用いた。両者は $r=0.66$ の相関を有したが, AT レベルの心拍数が少ない症例ほど 70% HR max との差が大きく, 運動処方時には身体適性の低い患者ほど目標心拍数として AT レベルの心拍数を用いるほうが, より生理的

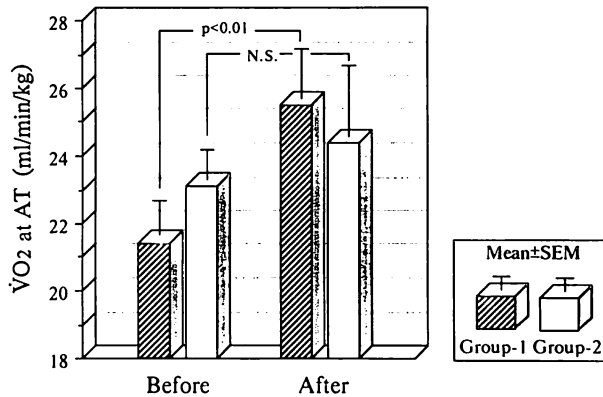


Fig. 4. Changes in $\dot{V}O_2$ at anaerobic threshold (AT).
AT increases significantly in the trained group as compared with that of the control group.

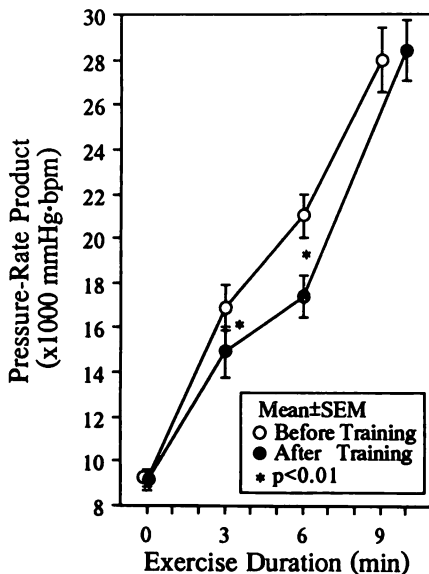


Fig. 5. Changes in pressure-rate products before and after physical training in the trained group (n=17).

Significant reduction in the pressure-rate products (PRP) during submaximal workload is detected after 6 weeks' training. However, there is no significant difference in the PRP before (open circles) and after training (closed circles).

であることが示された。

なお、運動療法に伴う重大な合併症は認められなかった。

この在宅運動療法に対しては、患者の積極的な協力と良好なコンプライアンスが得られ、運動力の改善のみならず、健康に対する自信がつくなどの精神的な効果も認められた。

考 按

運動負荷を漸増的に増加していくと、ある負荷量においてそれまでの好氣的エネルギー産生に加え、嫌氣的代謝が亢進してくる。この負荷量はATと呼ばれ、嫌氣的代謝亢進により血中乳酸濃度の増加を起こす一方、これが血中重炭酸により緩衝され、結果として炭酸ガス生成量が増加するため、換気量の増大が起こるものと説明されている⁴⁾。運動生理学上、ATは $\dot{V}O_2$ maxとともに運動耐容能の指標であるとともに、運動効果閾値の指標でもあり、運動療法による運動耐容能の効果的な改善を画するには、相対的運動強度をAT以上にする必要があるとされている⁵⁾。

一方、心筋梗塞回復期にリハビリテーションの目的で運動療法を行う場合、運動量の指標として、従来は%心拍数法を用いた目標心拍数が用いられてきたが、症例によっては%心拍数法で

Table 2. Comparisons of variables in anaerobic threshold (AT) between the exercise test before and after training

| | | Peak $\dot{V}O_2$ (ml/kg/min) | % Peak $\dot{V}O_2$ (%) | HR (bpm) | % HRmax (%) |
|----------|------------------|----------------------------------|----------------------------|-------------|----------------|
| Group I | Before | 21.4±1.1 | 76.3±2.3 | 118.2±3.3 | 78.7±2.1 |
| | After | 25.4±1.5 | 74.8±3.3 | 124.1±2.8 | 80.2±1.8 |
| | Mean of Δ | 4.0±1.3 | 1.9±3.1 | 5.8±2.6 | 1.6±2.1 |
| | T-test | p<0.01 | NS | p<0.01 | NS |
| Group II | Before | 23.1±0.9 | 77.9±4.5 | 120.8±3.5 | 81.5±2.8 |
| | After | 24.3±2.1 | 79.3±4.3 | 123.6±5.1 | 86.4±3.4 |
| | Mean of Δ | 1.3±1.6 | 1.4±4.5 | 2.8±3.0 | 4.8±3.8 |
| | T-test | NS | NS | NS | NS |

(mean±SEM)

Mean of Δ =mean difference; % Peak $\dot{V}O_2$ =% Peak $\dot{V}O_2$ at AT; HR=heart rate at AT; % HRmax=% of maximal heart rate.

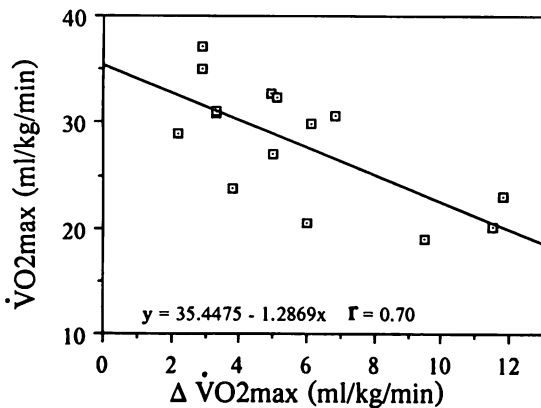


Fig. 6. Correlations between initial $\dot{V}O_2$ max (peak $\dot{V}O_2$) and $\Delta\dot{V}O_2$ max.

Training effect expressed as Δ peak $\dot{V}O_2$ correlates with initial peak $\dot{V}O_2$ (pre-training peak $\dot{V}O_2$).

運動強度を決定するとクリティカルレベルを越えたり⁷⁾, 逆に AT レベルにはるかに及ばない症例があることが指摘されている⁶⁾. 今回の我々の検討でも, 比較的運動能力の低い患者ほど, Karvonen の式から求めた 70% HR max の値が AT レベルの心拍数より大であった. このような症例では身体適性の低下から負荷検査時に十分な負荷を行えず, 心拍数が急増してしまった例が多いも

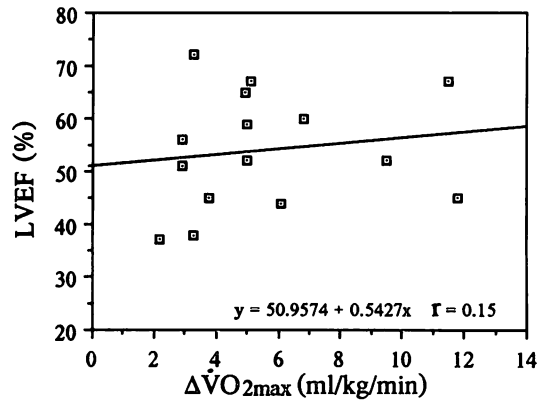


Fig. 7. Correlations between left ventricular ejection fraction (LVEF) and $\Delta\dot{V}O_2$ max.

No correlation is observed.

のと考えられ, 負荷法の選択とともに % 心拍数法の問題点と考えられた. このような理由から, 最近ではより生理的かつ効果的な運動処方指標として, AT レベルの心拍数を用いた運動処方が行われるようになってきた. しかし, AT レベルの運動処方に際しては, まだ幾つかの問題点が残っている. すなわち, ① 狭心症患者の AT や $\dot{V}O_2$ max は全身酸素摂取量の低下だけでなく,

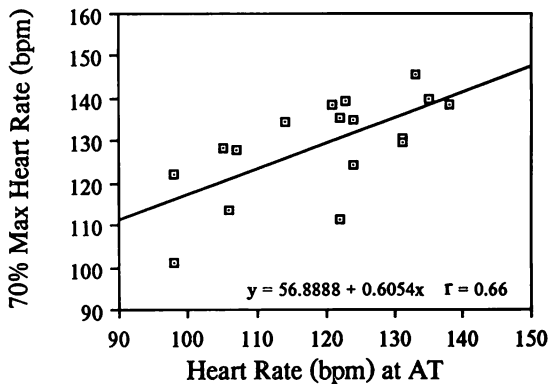


Fig. 8. Correlation between heart rate at AT and 70% maximal heart rate.

Heart rate at AT and 70% maximal heart rate by the Karvonen's method correlate significantly, though there are differences in the low physical fitness cases.

狭心症閾値や心電図上の虚血性 ST 低下などに示される心筋酸素摂取量の低下によっても制限される⁸⁾。② 負荷方法によっては $\dot{V}O_2$ の増加が直線的でなく、AT が同定しにくいことがある。今回の我々の検討では、AT が得られた症例は Bruce の protocol では 27 症例中 21 例 (70.4%) であった。③ AT レベルの運動処方の効果的な運動療法の実行のために有用であるが、運動効果の閾値ではない^{9,10)}。これらの事を考慮の上施行すれば、AT レベルの運動処方は、心筋梗塞回復期のリハビリテーションを目的としても、安全かつ効果的であると考えられた。

一般に非監視型のリハビリテーションである在宅運動療法は、監視型システムに比べ、安全性と確実性について問題点があるが、心筋梗塞回復期のリハビリテーション施設の不十分な我が国の現状でも容易に施行できる事が長所とされている¹¹⁾。しかし、我々の非監視型リハビリテーションプロトコールも特記すべき合併症を起こした症例はなく、安全に施行可能であり、peak $\dot{V}O_2$ が 19% 増加した。この結果、peak $\dot{V}O_2$ に 22~32% 増加が得られたとする^{12,13)} 従来の監視型運動療法にも劣らない運動効果が認められた。

Peak $\dot{V}O_2$ や AT 値は運動療法後には座業の健康人と同レベルまで改善したが、これは本研究における両群とも比較的若く、かつ PTCR (経皮的冠動脈再開通術) や PTCA (経皮的冠動脈形成術) などの冠動脈再建術を施行した症例が多く、重症な心不全や狭心症の合併した症例を除外したため、心機能も比較的良好な症例が多かったためと考えられた。我々はさらに安全性や確実性を高めるため、携帯型心電図電送記録装置を用いた方法を検討中である。

また、運動効果に関して、Davis ら¹⁴⁾ は、良好な効果をあげるには、① 運動療法前の fitness level が低いこと、② 運動療法と運動負荷試験の運動形態が同一であることが必要であるとしている。本研究でも運動療法前の treadmill 負荷試験で、身体適性の低い患者ほど運動適性の改善度が大きかった。また、一般に酸素摂取量 = 心拍出量 × 動静脈酸素含量差で表わされるように、 $\dot{V}O_2$ max は最大心拍出量と密接な関係があるが、運動効果は必ずしも左室機能と平行していないことも従来の報告¹¹⁾ と一致しており、運動効果の主体は訓練筋の生化学もしくは血行力学的改善による末梢効果にあることを示唆するものと考えた。

結 論

心筋梗塞の回復期患者に対して我々の行った在宅運動療法は、特別な設備を必要とせず、誰でも行える簡便な方法であり、また AT を用いた運動処方により、安全かつ効果的な運動療法が可能となった。

要 約

急性心筋梗塞回復期に、嫌気性代謝閾値 (AT) を指標とする歩行もしくは速歩による在宅運動療法を行い、その効果を検討した。心筋梗塞発症後 1 ヶ月の患者 27 例を運動療法群と対照群に分け、symptom-limited にて Bruce 法によるトレッドミル負荷試験を行った。また同時に呼気ガス分析を行い、この時得られた AT レベルの心拍数を

指標として1日 2~3 km の歩行を行う運動処方を与え, 在宅運動療法を1ヵ月施行した後, 同様の負荷試験によって運動療法の効果を判定した. なお, AT は $\dot{V}O_2/\dot{V}E$ の変曲点を参考に, 複数の医師により決定した.

結果は以下の如くであった.

1. 運動療法効果: 対照群では運動時間, 最大酸素摂取量 (peak $\dot{V}O_2$), AT レベルの酸素摂取量に有意な変化を認めなかったのに対し, 運動療法群ではいずれの指標にも有意な増加が認められた. また, 最大下レベルでの同一負荷量に対する心拍数や double products は, 対照群に比べ, 運動療法群で有意に低下した.

2. 運動療法効果に関する因子の検討: 運動療法群での peak $\dot{V}O_2$ の改善度は, 運動療法前の peak $\dot{V}O_2$ と負の相関 ($y=35.4-1.29x$, $r=0.70$) を示したが, 運動療法前の左室機能とは相関が見られなかった. なお, 運動療法に伴う重大な合併症は認められなかった.

AT を指標とする在宅運動療法は簡便かつ安全に身体適性を向上させ, 有用であると結論した.

文 献

- 1) Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL: Anaerobic threshold and respiratory gas exchanges during exercise. *J Appl Physiol* **35**: 236-243, 1973
- 2) Caiozzo VJ, Davis JA, Ellis JF, Azus JF, Vandagriff R, Prietto CA, McMaster WC: A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *J Appl Physiol* **53**: 1184-1189, 1982
- 3) Karvonen MJ, Kenntala K, Mustala O: The effects of training heart rate: A longitudinal study. *Ann Med Exp Biol Fenn* **35**: 307-315, 1957
- 4) Wasserman K: New concepts in assessing cardiovascular function. *Circulation* **78**: 1060-1071, 1988
- 5) 張 光哲, 赤池 真, 露木和夫, 長谷弘記, 渡辺純郎, 海老根東雄: 冠動脈疾患患者における嫌気性代謝閾値以下の運動強度を用いた運動療法の検討. *Resp and Circ* **33**: 1347-1353, 1985
- 6) Katch V, Weltman A, Sady S, Freedson P: Validity of the relative percent concept for equating training intensity. *Eur J Appl Physiol* **39**: 219-227, 1978
- 7) 浜本 紘, 青山花子, 宍田智佳子, 白山正人: 急性心筋梗塞の心臓リハビリテーション. *Medical Practice* **6**: 919-922, 1988
- 8) 下原篤司, 斎藤宗靖, 上嶋健治, 飯田英隆, 佐藤文敏, 川口正雄, 宮島正之, 深見健一, 住吉徹哉, 土師一夫, 平盛勝彦: 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の検討. *Jpn Circ J* **52** (Suppl): 77, 1988
- 9) Franklin BA, Hellerstein HK, Gordon S, Timmis GC: Exercise prescription for myocardial infarction patients. *J Cardiopul Rehabil* **6**: 62-79, 1986
- 10) 木全心一, 道場信孝, 斎藤宗靖, 古荘陽三: 狭心症・心筋梗塞のリハビリテーション. 南江堂, 東京, 1984, pp. 161-167
- 11) Clausen JP: Circulatory adjustments to dynamic exercise and effect of physical training in normal subjects and in patients with coronary artery disease. *Prog Cardiovasc Dis* **18**: 459-495, 1976
- 12) Davis JA, Frank MH, Whipp BJ, Wasserman K: Anaerobic threshold alterations caused by endurance training. *J Appl Physiol* **46**: 1039-1046, 1979
- 13) Detry JR, Rousseau M, Kusumi F, Vandembroucke G, Brasseur LA, Bruce R: Increased arteriovenous oxygen difference after physical training in coronary heart disease. *Circulation* **44**: 109-118, 1979
- 14) Clausen JP, Trap-Jensen J: Effects of training on the distribution of cardiac output in patients with coronary heart disease. *Circulation* **42**: 611-624, 1970