

自覚的最大の運動における最大酸素消費量と嫌気性代謝閾値との関係

Relation between anaerobic threshold and maximal oxygen consumption during graded treadmill exercise

佐藤 功
松村 尚哉
西島 宏隆
安田 寿一

Isao SATO
Naoya MATSUMURA
Hirotaka NISHIJIMA
Hisakazu YASUDA

Summary

The ratio of anaerobic threshold (AT) to maximal oxygen consumption ($\text{Max } \dot{V}O_2$), which is referred to as relative AT, was evaluated in six athletic students (S), 12 normal male subjects (N) and 39 patients with chronic heart disease (C). Group C was categorized in three subgroups according to the New York Heart Association functional class (CI: 10, CII: 16 and CIII: 13 patients). The symptomatic-maximal graded treadmill exercise test was performed and respiratory parameters were measured by R1500S Autoaerobics. AT was determined as the oxygen consumption ($\dot{V}O_2$) at which a linear relationship between pulmonary ventilation and $\dot{V}O_2$ was lost during progressive exercise. All subjects performed maximal exertion until they were limited by either shortness of breath or leg fatigue.

AT (ml/min/kg) was 36.4 ± 6.0 , 25.9 ± 5.7 , 21.4 ± 4.5 , 16.3 ± 4.0 and 11.1 ± 2.6 , and MaxVO_2 (ml/min/kg) was 77.3 ± 6.5 , 47.6 ± 10.2 , 29.5 ± 6.1 , 22.5 ± 5.8 and 15.5 ± 3.1 , respectively, in group S, N, CI, CII and CIII ($p < 0.01$ between each group). Relative AT(%) was 46.8 ± 4.4 , 54.9 ± 7.2 , 72.1 ± 6.4 , 73.0 ± 8.6 and 72.6 ± 8.7 , respectively, in groups S, N, CI, CII and CIII ($p < 0.01$ between S and N, between N and CI-CIII, between S and CI-CIII). The anaerobic threshold appeared at mid-point in the graded symptomatic maximal exercise test. However, the appearance of AT relative to the maximal oxygen consumption varied from 47 to 73% in the study groups tested. AT appeared relatively early in normal subjects compared to cardiac subjects.

Key words

Anaerobic threshold

Maximal oxygen consumption

Symptomatic maximal exercise

はじめに

嫌気性代謝閾値 (anaerobic threshold : AT) は

好氣的運動耐容能の指標として心機能評価に臨床応用されている¹⁾。しかし AT の最大酸素消費量 ($\text{maximal } \dot{V}O_2$: $\text{Max } \dot{V}O_2$) に対する比率は約 40

北海道大学医学部 循環器内科
札幌市北区北 15 条西 7 丁目 (〒060)

Department of Cardiovascular Medicine, Hokkaido University School of Medicine, Nishi 7, Kita 15, Kita-ku, Sapporo 060

Received for publication February 24, 1988; accepted May 2, 1988 (Ref. No. 35-PS50)

~70% と, 報告によりその幅が大である. また, この比率が思春期における加齢現象で変動すること²⁾, 中年男子において持久的トレーニングの効果で変動するとの報告³⁾がある. 本研究の目的は, この指標が健常者, 体育学部学生および心疾患患者の間で異なるか否かを比較検討すること, また心疾患の重症度の違いで異なるか否かを明らかにし, それぞれの群における平均的な数値を決定することである. 加えてその臨床的意義についても検討する.

方 法

対象

体育学部学生 (S 群) 6 例 (年齢 22 ± 2 歳, mean \pm SD, 男 6 例), 健常者 (N 群) 12 例 (年齢 24 ± 2 歳, 男 12 例), 心疾患患者 39 例, 計 57 例を対象とした. また心疾患患者は NYHA 分類により 3 群に分け, NYHA I 度 (C I 群) 10 例 (年齢 44 ± 11 歳, 男 7 例, 女 3 例), NYHA II 度 (C II 群) 16

例 (年齢 48 ± 11 歳, 男 13 例, 女 3 例), NYHA III 度 (C III 群) 13 例 (年齢 47 ± 11 歳, 男 7 例, 女 6 例) である. 心疾患患者の原疾患の内訳は, 弁膜症 24 例, 心筋症 8 例, 陳旧性心筋梗塞 4 例, 心房中隔欠損症 3 例であった.

方法

運動負荷はトレッドミルによる 3 分漸増法にて自覚的最大の運動を行ったが, S および N 群のすべてと C I 群 8 例および C II 群 2 例は Bruce 法を, その他の心疾患患者 29 例はよりゆるやかな Bruce 変法⁴⁾を用いた. 心電図は CM 5 で連続モニターし, 1 分ごとの記録から心拍数を求めた. また血圧はカフ法により 1 分ごとに測定した.

呼気ガス分析はアニマ製 R1500S を用いた. 呼気ガス酸素濃度はポーラログラフ方式により, また二酸化炭素濃度は熱伝導センサーにより測定し, 分時換気量 ($\dot{V}E$) は Fleish 式ニューモタコによって測定し STPD ($0^\circ C$, 1 気圧乾燥状態;

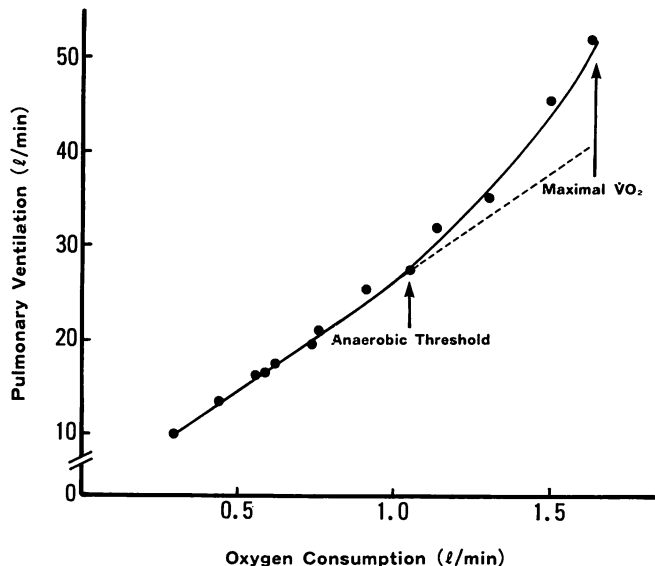


Fig. 1. An example of determining anaerobic threshold by respiratory measurements.

Anaerobic threshold is determined as the oxygen consumption at which a linear relationship between pulmonary ventilation and oxygen consumption is lost during exercise. The ratio of anaerobic threshold to maximal oxygen consumption is referred to as the relative anaerobic threshold (relative AT).

standard temperature & pressure dry) で表示した。AT の決定は (Fig. 1), 段階的運動時の呼気ガス指標から、縦軸に $\dot{V}E$, 横軸に $\dot{V}O_2$ を記録し、 $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}E$ の相関をマイクロコンピュータで描画し、両者の直線関係が失われて $\dot{V}E$ が $\dot{V}O_2$ に比し急峻な上昇を開始する変曲点での $\dot{V}O_2$ 値をもって表す間接法⁵⁾によって求めた。AT の Max $\dot{V}O_2$ に対する百分比を relative AT と定義し、次式により算出した。

$$\text{relative AT} = \text{AT} / \text{Max } \dot{V}O_2 \times 100 (\%)$$

統計による検定は ANOVA 法を用い各群間の比較は Duncan's new multiple range test により行い、 $p < 0.05$ をもって有意とした。数値は mean \pm SD で表示した。

結 果

1. 運動負荷所見：対象者の体重は各群間には有意差はなかった (Table 1)。

心房細動例は C I 群, C II 群, C III 群にそれぞれ 1, 10, 5 例を認めた。以下、心拍数の検計は心房細動例を除いて行った。

安静時心拍数 (Table 2) は各群間で有意差を認めなかった。C II および C III 群の AT 時心拍数は N 群の心拍数に対し有意に小であった ($p < 0.01$)。最大運動時心拍数は S 群と N 群の間には有意差を認めなかったが、C I 群, C II 群および C III 群の最大運動時心拍数は N および S 群に対し有意に小であった ($p < 0.01$)。また C III 群のそれは C I 群に対し有意に小であった ($p < 0.01$)。収縮期血圧 (Table 1) は安静時では各群間に有意差を認めなかった。S 群の最大運動時収縮期血圧は N 群, C I 群, C II 群および C III 群に比し有意に大であった ($p < 0.01$)。また C II 群および C III 群の最大運動時収縮期血圧は N 群および C I 群のそれに比し有意に小であった ($p < 0.01$)。運動中止理由は S 群 6 例とも息切れ, N 群では 7 例は息切れ, 5 例は下肢疲労, C I 群では 8 例は息切れ, 2 例は下肢疲労, C II 群では 12 例は息切れ, 4 例は下肢疲労, C III 群では 11

Table 1. Systolic blood pressure (SBP) at rest and peak exercise

		Body weight (kg)	SBP (mmHg)	
			Rest	Peak exercise
S	(n= 6)	60.0 \pm 4.7	121 \pm 9	200 \pm 12
N	(n=12)	62.5 \pm 4.7	118 \pm 16	179 \pm 12 ^A
CI	(n=10)	57.2 \pm 12.2	105 \pm 12	167 \pm 26 ^A
CII	(n=16)	57.3 \pm 7.2	116 \pm 17	147 \pm 22 ^{A,B,C}
CIII	(n=13)	56.5 \pm 9.2	111 \pm 20	142 \pm 20 ^{A,B,C}

^A $p < 0.01$ vs S, ^B $p < 0.01$ vs N, ^C $p < 0.01$. vs CI.

S=athletic students; N=normal males; C=patients with chronic heart disease; I, II and III=New York Heart Association functional class.

Table 2. Heart rate (HR) at rest, anaerobic threshold and peak exercise

HR/min		Rest	Anaerobic threshold	Peak exercise
S	(n= 6)	66 \pm 6	131 \pm 18	185 \pm 9
N	(n=12)	82 \pm 15	143 \pm 17	193 \pm 10
CI	(n= 9)	76 \pm 11	129 \pm 19	159 \pm 20 ^{A,B}
CII	(n= 6)	84 \pm 17	122 \pm 17 ^B	148 \pm 24 ^{A,B}
CIII	(n= 8)	75 \pm 18	113 \pm 24 ^B	136 \pm 28 ^{A,B,C}

^A $p < 0.01$ vs S, ^B $p < 0.01$ vs N, ^C $p < 0.01$ vs CI.

For other abbreviations: see Table 1.

例は息切れ, 2 名例下肢疲労であった。中止理由としては息切れが多く, 57 例中 44 例 (77%) であった。

2. 呼気ガス分析結果

1) AT (Fig. 2): AT は S, N, C I, C II, C III 群の順に低下し, 各群間に有意差を認めた ($p < 0.01$)。

2) Max $\dot{V}O_2$ (Fig. 2): Max $\dot{V}O_2$ は AT 同様 S, N, C I, C II, C III 群の順に低下し, 各群間に有意差を認めた ($p < 0.01$)。

3) Relative AT (%) (Fig. 3): relative AT (%) は S 群 46.8 \pm 4.4, N 群 54.8 \pm 7.2, C I 群 72.1 \pm 6.7, C II 群 73.0 \pm 8.6, C III 群 72.6 \pm 6.7% で, S 群は N 群および C I, C II, C III 群に対し有意に小で ($p < 0.01$), N 群は C I, C II, C III 群

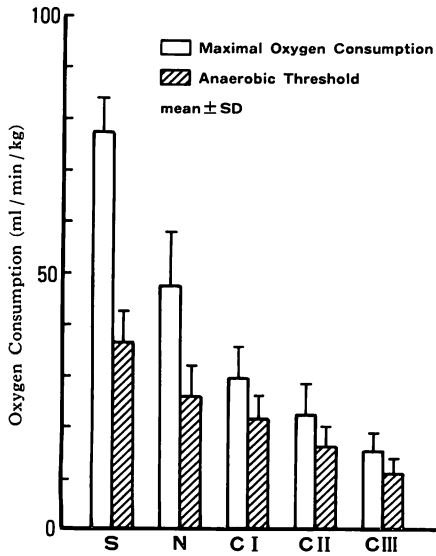


Fig. 2. Anaerobic threshold and maximal oxygen consumption.

Maximal oxygen consumption and anaerobic threshold decrease in cardiac patients.

Abbreviations: see Table 1.

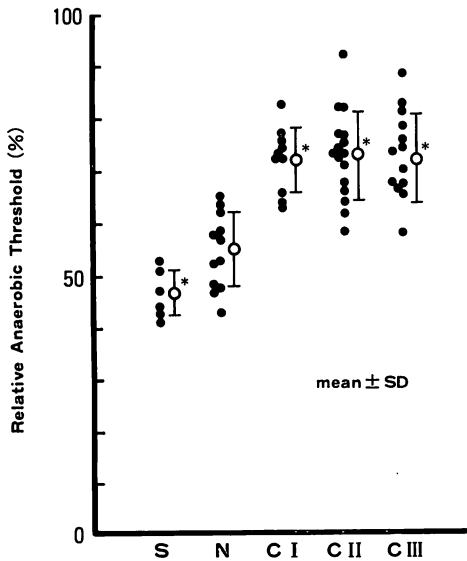


Fig. 3. Relative anaerobic threshold (%).

Relative anaerobic threshold (%) is lower in athletic and normal subjects than in cardiac patients.

Abbreviations: see Table 1.

*: $p < 0.01$ vs N.

に対し有意に小であった ($p < 0.01$). しかし C I, C II, C III の各群間の間には有意差なく, 約 70% と一定であった.

考 察

一般的に心機能や運動耐容能の評価に, Max $\dot{V}O_2$ や AT などの指標を用いた検討が多く見られる. しかし Max $\dot{V}O_2$ の決定法は, Åstrand ら⁶⁾ によれば $\dot{V}O_2$ plateau を直接測定するか, あるいは 8 mmol/L を越える動脈血の lactate 濃度にある. 心疾患患者ではこれらを証明することは困難で, それ以前に心臓にかかわる自覚症のために運動を中止していることが多い. また心疾患患者では Max $\dot{V}O_2$ を反復測定することは危険である. 以上より, 近年, 中等度の運動で出現する AT が新たな心機能評価の指標として注目されてきた. 特に AT は心疾患患者では好気的な運動耐容能を表す指標であり, Max $\dot{V}O_2$ に比し, より客観的なものと考えられている.

しかし, Max $\dot{V}O_2$ に対し, AT がどの時点で出現するのを示す指標である relative AT は, Matsumura ら¹⁾ の報告では, 心疾患患者および健常者とも 70% 前後に出現したと述べている. 一方, Davis ら³⁾ は, 健常者の relative AT は 40~50% で, トレーニングにより 50~60% に上昇したと報告している. また, Paterson ら²⁾ は, 思春期の男子運動家の relative AT は, 成長に従い, 平均 56% から 62% へと増加したと報告している. 今回我々の検討では, relative AT は, 1) 健常者では平均 55% であり, 心疾患患者はそれより増大し, 2) しかも心疾患患者では疾患の重症度と関係なく, 約 70% と一定であり, 3) 体育学部学生では健常者より小で, 平均 47% であった.

この relative AT が健常者に比し体育学部学生で小となる原因は, 一つには体育学部学生は AT を越える運動強度に順化しているためと考えられる. 今回の結果からも, 体育学部学生の Max $\dot{V}O_2$ は健常者に比し平均 60% 増なのに対し, AT の増加は平均 30% であった. したがって体育学部

学生では AT から Max $\dot{V}O_2$ に至る運動が延長し、relative AT が小となると考えられる。また体育学部学生で $\dot{V}O_2$ plateau を認めた例は 6 例中 4 例であるのに比し、健常者では 1 例も認めなかった。つまり体育学部学生は生理的 Max $\dot{V}O_2$ の達成率が高いのに比し、健常者では生理的 Max $\dot{V}O_2$ が達成されずに運動を中止しているため、relative AT は健常者に比し体育学部学生で小となると考えられた。更にこれは対象者間における運動に対する motivation の相違により発生する可能性が考えられる。

慢性心不全患者で relative AT が約 70% と健常者に比し大である理由は、低拍出量による運動筋への血流不足⁷⁾ や肺毛細管圧上昇による心症状で運動を中止するため、体育学部学生のような生理的 Max $\dot{V}O_2$ 達成が困難なためと思われる。また思春期の加齢により relative AT は増加する²⁾ と言われているが、中高年期における加齢でどのようになるかは不明な点も少なくない。今回の対象中、健常者および体育学部学生群に比し、心疾患患者群で年齢が高いことも、relative AT が大となる一因かもしれない。またこの値が心疾患の重症度と関係なく約 70% と一定である理由は、今回の検討からは不明であるが、心疾患の重症度と平行して、運動筋への血流や運動筋内 fast-glycolytic fiber の酵素活性に影響を与えているためと推測される。

以上より、relative AT は、1) 健常者、体育学部学生、心疾患患者の間の運動に対する motivation の相違を反映した指標と考えられた。2) 心疾患患者では重症度と関係なく約 70% と一定であることから、心疾患の重症度を表わす指標とはならなかった。この理由については、今後の検討が必要である。

結 論

嫌気性代謝閾値は自覚的最大の運動においてその中間点付近で出現した。しかし最大酸素消費量に対する嫌気性代謝閾値の相対的比率は対象者間の

違いで 47~73% の幅を認めた。その比率は体育学部学生および健常者に比し心疾患患者で大きかったが、心疾患においては重症度と関係なく約 70% と一定であった。

要 約

本研究の目的は最大酸素消費量 (Max $\dot{V}O_2$) 対嫌気性代謝閾値 (AT) の比 (relative AT) を求め、体育学部学生 (S) 群、健常者 (N) 群、心疾患患者 (C) 群間での差異、および心疾患の重症度別で異なるか否かを検討することにより、この比の意義を明らかにすることである。対象は S 群 6 例、N 群 12 例、C 群 39 例計 57 例で、C 群は NYHA I, II, III がそれぞれ 10, 16, 13 例である。トレッドミルによる 3 分漸増法で自覚的最大の運動を行い、呼気ガス分析による $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ のプロットから AT, Max $\dot{V}O_2$ (ml / min / kg, STPD), relative AT (AT / Max $\dot{V}O_2$, %) を求めた。対象者すべての運動負荷中止理由は、息切れおよび下肢疲労のいずれかであった。

1. AT は S 群、N 群、C I 群、C II 群および C III 群の順に低下し、各群間にそれぞれ有意差を認めた ($p < 0.01$)。

2. Max $\dot{V}O_2$ も AT 同様、S 群、N 群、C I 群、C II 群および C III 群の順に低下し、各群間にそれぞれ有意差を認めた ($p < 0.01$)。

3. S 群、N 群、C I 群、C II 群および C III 群の relative AT は、それぞれ 46.8 ± 4.4 , 54.9 ± 7.2 , 72.1 ± 6.4 , 73.0 ± 8.6 , $72.6 \pm 8.7\%$ で、S 群は N 群に比し有意に小であった ($p < 0.01$)。しかしながら C I, C II および C III 群間には有意差なく約 70% とほぼ一定であったが、N 群に比しそれぞれ有意に大であった ($p < 0.01$)。体育学部学生の relative AT が健常者のそれより小であるのは、健常者に比し AT を越える運動強度に順化しているためと考えられた。また心疾患患者の relative AT は、心疾患の重症度と関係なく約 70% と一定であることから、心疾患では本指標は重症度を反映していなかった。

文 献

- 1) Matsumura N, Nishijima H, Kojima S, Hashimoto F, Minami M, Yasuda H: Determination of anaerobic threshold for assessment of functional state in patients with chronic heart failure. *Circulation* **68**: 360-367, 1983
- 2) Paterson DH, Mclellan TM, Stella RS, Cunningham DA: Longitudinal study of ventilation threshold and maximal O₂ uptake in athletic boys. *J Appl Physiol* **62**: 2051-2057 1987
- 3) Davis JA, Marianne HF, Whipp HF, Wasserman K: Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. *J Appl Physiol*: **46**: 1039-1046, 1979
- 4) 児島俊一, 南 勝, 西島宏隆, 橋本文教, 松村尚哉, 安田寿一: 心不全患者の運動耐容能を評価するためのトレッドミル負荷試験の検討. *心臓* **13**: 1239-1244, 1981
- 5) 松村尚哉, 児島俊一, 西島宏隆, 安田寿一: 心疾患患者の運動耐容能: オキシログによる検討 *最新医学* **37**: 186-189, 1982
- 6) Åstrand P-O, Rodahl K: Physiological bases of exercise. *in* Textbook of Work Physiology, 3rd ed, McGraw-Hill, 1986, p 332
- 7) Wilson JR, Martin JL, Schwartz D, Ferraro N: Exercise intolerance in patients with chronic heart failure: Role of impaired nutritive flow to skeletal muscle. *Circulation* **69**: 1079-1087 1984