

3 種類の換気閾値決定法の比較

柳 川 和 優
田 中 啓 之

Analysis of three kinds of Methods of Determinating Ventilatory Threshold

Kazumasa YANAGAWA, Keishi TANAKA

Abstract

The purpose of this study is to compare three kinds of methods of determinating ventilatory threshold (VT) which is based on the model analysis criterion for determinating ventilatory threshold.

Forty-four young male athletes (of Shorinji Kempo, Swimming, Skiing, Triathlon, and middle and long distance run) performed an incremental load exercise test on a bicycle ergometer to measure VT and maximal oxygen uptake ($\dot{V}_{O_2\max}$). In order to detect the VT objectively, the data during the transit phase with the onset of exercise and above the respiratory compensation of metabolic acidosis was analyzed. The segmented regression analysis was applied to $\dot{V}_{O_2}-\dot{V}_E$ and $\dot{V}_{O_2}-\dot{V}_{CO_2}$ relationships determining the VT. Moreover, the multiple regression analysis was applied to the \dot{V}_{O_2} and \dot{V}_E/\dot{V}_{O_2} relationships, and the model's order according to Akaike's information criterion (AIC) was selected. The lowest value of the fitting model was determinated as

VT. The results of the mean values (S.D.) of VT of $\dot{V}_{O_2}-\dot{V}_E$, $\dot{V}_{O_2}-\dot{V}_{CO_2}$ and $\dot{V}_{O_2}-\dot{V}_E / \dot{V}_{O_2}$ relationships were 62.2 (± 11.3), 54.4 (± 10.0) and 55.0 (± 9.8)% in terms of % of \dot{V}_{O_2max} , respectively. As a result of the Scheffe's multiple comparison test, VT determined by $\dot{V}_{O_2}-\dot{V}_E$ was significantly higher than that by $\dot{V}_{O_2}-\dot{V}_{CO_2}$, $\dot{V}_{O_2}-\dot{V}_E / \dot{V}_{O_2}$ ($P < 0.01$). Furthermore, there was no significant difference between the VT of $\dot{V}_{O_2}-\dot{V}_{CO_2}$ and $\dot{V}_{O_2}-\dot{V}_E / \dot{V}_{O_2}$.

In conclusion, when determining VT using the model analysis, the use of the method for determining the segmented regression analysis of $\dot{V}_{O_2}-\dot{V}_{CO_2}$ relationship is desirable.

I. 緒 言

血中乳酸濃度が継続的に上昇することなく遂行し得る最高の運動強度、すなわち無酸素性作業閾値 (anaerobic threshold: AT) が存在する¹³⁾¹⁵⁾¹⁷⁾¹⁸⁾ことが知られている。一方、血中乳酸濃度はある運動強度から急激に上昇するのではなく、指数関数的に上昇し、閾値は存在しないとする報告¹⁹⁾¹⁰⁾もみられる。これに対して、Beaver ら (1985)²⁾ は、両対数軸上に血中乳酸濃度と酸素摂取量をプロットするとある時点を境に2線分で近似でき、閾値は存在することを報告した。しかしながら、AT に関しては、その出現の機序、決定方法、名称の問題等、未だに議論されているところである。

AT を決定する代表的な手法として、漸増負荷運動中に血中乳酸値が安静時レベルより急激に上昇し始めるポイントから AT を決定する乳酸閾値 (lactate threshold: LT) と、漸増負荷運動中におけるガス交換パラメータの特徴的変移点を判定基準として AT を決定する換気閾値 (ventilatory threshold: VT) が存在する。Wasserman ら (1964)¹⁵⁾ が AT を提唱して以来、この LT と VT は一致すると報告⁵⁾²⁰⁾⁸⁾されてきたが、近年、両者は一致しないので因果関係はないとする報告⁹⁾⁴⁾⁶⁾¹²⁾が多くみら

れる。そこで、本研究では、LT と VT とは一致しないという立場から VT に注目し、VT 決定法の問題点を考察していく。

従来、VT 決定のための判定基準は、1) 換気量 (\dot{V}_E) の非直線的増加開始点、2) 二酸化炭素排出量 (\dot{V}_{CO_2}) の非直線的増加開始点、3) 対応した CO_2 の換気当量 (\dot{V}_E/\dot{V}_{CO_2}) の増加を伴わない O_2 の換気当量 (\dot{V}_E/\dot{V}_{O_2}) の増加開始点、等¹⁷⁾¹⁴⁾が用いられてきており、それらを総合的に判断して VT を決定してきている。しかし、これらの判定基準から主観的に VT が決定されることが多く、熟練した判定者の間においても判定結果に変動が生ずる場合がある。そこで、Orr ら (1982)¹¹⁾ は、 \dot{V}_{O_2} に対する \dot{V}_E の変化に折れ線回帰分析を適用し、客観的に VT を決定できると報告した (判定基準 1 のモデル解析)。また、福場ら (1984)⁷⁾ は、Orr らの考え方を発展させた折れ線回帰分析を \dot{V}_{O_2} と \dot{V}_E の関係に適用し、20前後の小数データに関しても VT を決定できることを報告した。一方、Beaver ら (1986)³⁾ は、 \dot{V}_{O_2} に対して \dot{V}_{CO_2} をプロットするとある結節点を持つ 2 線分で回帰することができ、その結節点から VT を決定する V_{slope} 法を提唱した (判定基準 2 のモデル解析)。他方、福場ら (1986)⁸⁾ は、 \dot{V}_{O_2} に対する \dot{V}_E/\dot{V}_{O_2} の変化を n 次の多項式で曲線近似し、その曲線が最小値を示す点から VT を決定する方法〔多項式の次数は AIC (Akaike's information criterion)¹⁾ に基づいて決定〕を推奨した (判定基準 3 のモデル解析)。

そこで、本研究では VT 決定のための判定基準 1, 2, 3 をモデル解析することにより、3 種類の換気閾値決定法の関連性を検討することを目的とした。

II. 方 法

1. 被検者

被検者は、少林寺拳法、水泳、陸上競技 (中、長距離)、スキー、トリアスロンの現役選手、男子 44 名である。被検者の身体的特性を表 1 に示

表1 被検者の身体的特性

競技種目	n	年齢 (years)	体重 (kg)	体脂肪率*1 (%)	最大酸素摂取量 (l/min)	換気閾値*2 (\dot{V}_E) (ml/kg·min)	換気閾値*3 (\dot{V}_{CO_2}) (% \dot{V}_{O_2max})	換気閾値*4 (\dot{V}_E/\dot{V}_{O_2}) (% \dot{V}_{O_2max})
少林寺拳法	15	20.5 (± 3.7)	62.9 (± 8.8)	15.1 (± 6.7)	3.21 (± 0.73)	51.3 (± 11.3)	60.3 (± 11.5)	54.0 (± 9.5)
水泳	12	19.8 (± 1.1)	63.9 (± 4.6)	12.2 (± 1.7)	3.28 (± 0.55)	51.4 (± 9.2)	64.6 (± 8.9)	55.1 (± 10.1)
陸上(中, 長距離)	13	19.3 (± 0.9)	58.9 (± 3.6)	10.7 (± 2.4)	3.52 (± 0.64)	59.8 (± 10.5)	60.4 (± 12.8)	52.5 (± 10.3)
スキー	2	19.0	66.3	10.7	2.67	40.3	75.7	67.7
トライアスロン	2	20.0	63.3	12.4	3.33	52.6	60.9	52.2
Total mean		19.8 (± 2.3)	62.2 (± 6.4)	12.7 (± 4.5)	3.30 (± 0.64)	53.4 (± 10.8)	62.2 (± 11.3)	54.4 (± 10.0)

*1: Brožek et al. (1963), Nagamine and Suzuki (1964) の推定式に従って算出

mean(\pm SD)*2: $\dot{V}_{O_2} - \dot{V}_E$ 関係から求められた VT*3: $\dot{V}_{O_2} - \dot{V}_{CO_2}$ 関係から求められた VT*4: $\dot{V}_{O_2} - \dot{V}_E/\dot{V}_{O_2}$ 関係から求められた VT

した。

2. 換気閾値 (VT), 最大酸素摂取量 (\dot{V}_{O_2max}) の測定

VT, 及び \dot{V}_{O_2max} は, 自転車エルゴメータ (モナーク社製) を用いた漸増負荷法により測定した。負荷は, 0~1 分の間は 0 kp, 1~2 分の間は 1 kp, 2 分以降は 1 分毎に 0.5 kp ずつ増加し, 9~12 分間で exhaustion に導いた。なお, 自転車の回転数は, 被検者の体力に応じて 50 r/min, もしくは 60 r/min とした。呼気のサンプリングは, 呼気ガス自動分析装置 (日本電気三栄製: Aerobic Processor 391型) を用いて 10 秒毎に行った。また, HR を胸部双極誘導法により測定開始時から連続して記録した。

VT の算出は, 以下の 3 種類の換気閾値決定法に基づいて行った。

1) \dot{V}_{O_2} と \dot{V}_E の折れ線回帰分析により VT を算出⁷⁾。

2) \dot{V}_{O_2} と \dot{V}_{CO_2} の折れ線回帰分析により VT を算出⁷⁾。

3) \dot{V}_{O_2} に対する \dot{V}_E/\dot{V}_{O_2} の変化を n 次の多項式で曲線近似し、その曲線が最小値を示す点から VT を算出 (多項式の次数は AIC に基づいて決定) ⁸⁾。

3つのモデルに適用するデータの範囲は以下の通りとした。まず、運動開始後1分間のデータは過渡状態であるために除いた。次に、 \dot{V}_{CO_2} と \dot{V}_E の関係から推定される、代謝性アシドーシスに対する呼吸性代償作用開始点 (Respiratory Compensation for Metabolic Acidosis: RCMA) 以上に相当するデータを除いた。RCMA を決定することが不可能なデータに限り、例外的に \dot{V}_{O_2} に対する F_ECO_2 の変化を n 次の多項式で曲線近似し、その曲線が最大値を示す点を RCMA とみなし、それ以降のデータを除いた。多項式の次数は AIC に基づいて決定した。

なお、測定時の気温は20~24℃であった。

Ⅲ. 結 果

1. VT の算出

図1は、 \dot{V}_{CO_2} と \dot{V}_E の折れ線回帰分析により求められたRCMAの算出結果の一例 (被検者 TF) を示したものである。この方法により、 \dot{V}_{CO_2} と \dot{V}_E の関係から推定されるRCMAを算出し、それ以降に相当するデータを除いた。なお、この方法が適用できたものは44例中37例であった。

図2は、 F_ECO_2 最大値により求められたRCMAの算出結果の一例 (被検者 AK) を示したものである。図1の方法によりRCMAを決定することが不可能であった7例に、 \dot{V}_{O_2} に対する F_ECO_2 の変化を n 次の多項式で曲線近似し、その曲線が最大値を示す点を RCMA とみなし、以降のデータを除いた。

図3は、 \dot{V}_{O_2} に対する \dot{V}_E , F_EO_2 , F_ECO_2 の変化、及び、 \dot{V}_{O_2} と \dot{V}_E の折れ線回帰分析により求められた VT の一例 (被検者 KI) を示したものである。

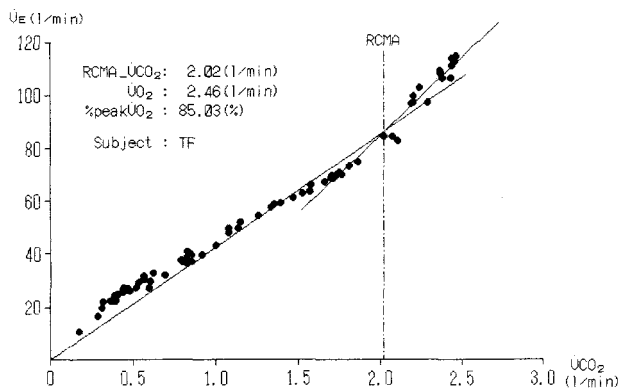
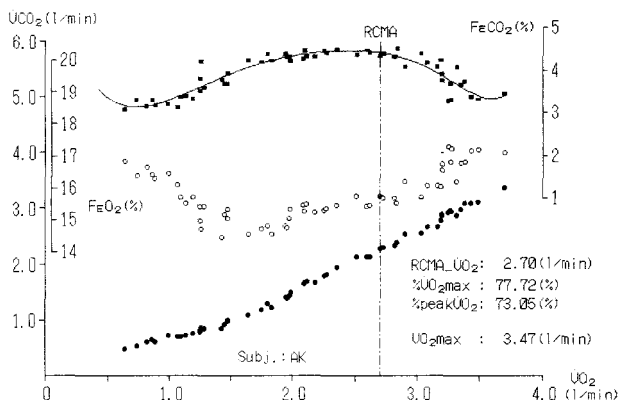
図1 $\dot{V}CO_2$ と \dot{V}_E の折れ線回帰分析による RCMA 決定の一例図2 $FeCO_2$ 最大値の算出に基づく RCMA 決定の一例

図4は、 $\dot{V}O_2$ に対する $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$, $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$ の変化、及び、 $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}CO_2$ の折れ線回帰分析により求められた VT の一例 (被検者 KI) を示したものである。

図5は、 $\dot{V}O_2$ に対する \dot{V}_E , $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$, $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$ の変化、及び、 $\dot{V}O_2$ に対する $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ の変化を n 次の多項式で曲線近似し、その曲線が最小値を示す点から求められた VT の一例 (被検者 KI) を示したものである。

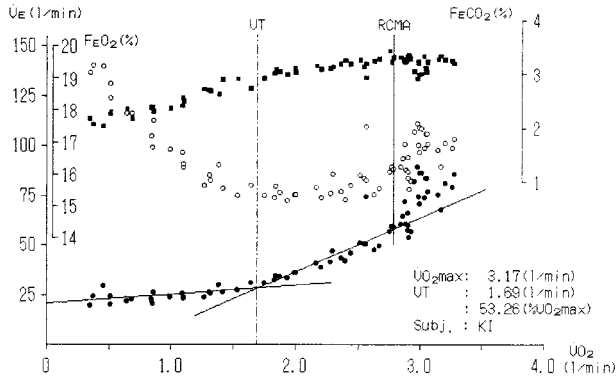
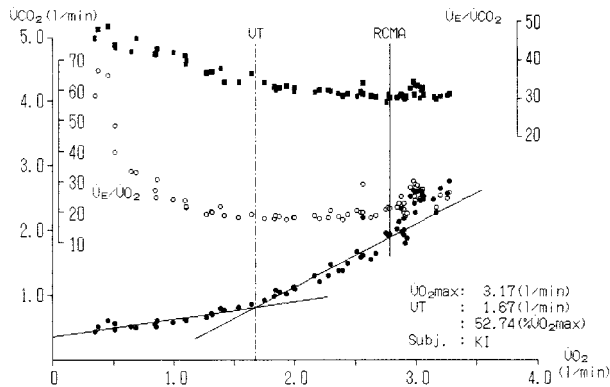
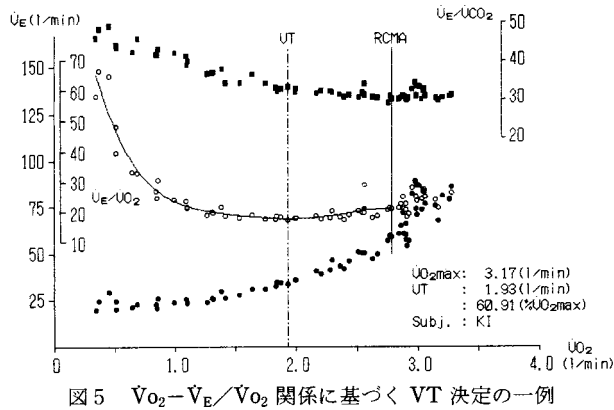
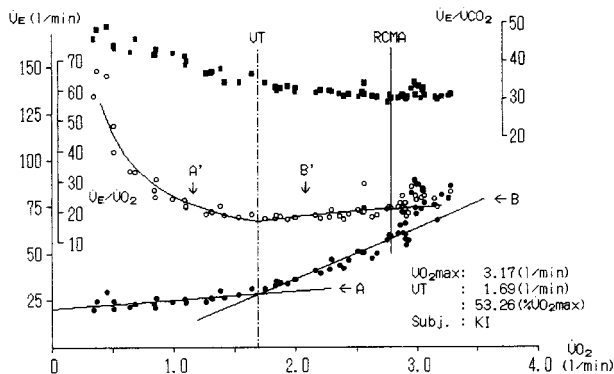
図3 $\dot{V}O_2$ — \dot{V}_E 関係に基づく VT 決定の一例図4 $\dot{V}O_2$ — \dot{V}_{CO_2} 関係に基づく VT 決定の一例

図6は、 $\dot{V}O_2$ に対する \dot{V}_E 、 $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ 、 \dot{V}_E/\dot{V}_{CO_2} の変化、 $\dot{V}O_2$ と \dot{V}_E の折れ線回帰分析により求められたVT、及び、VT時の2直線の回帰方程式より算出した $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ の一例（被検者KI）を示したものである。Aの方程式（ $Y = 4.52X + 20.5$ ）より算出した $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ をA'に、Bの方程式（ $Y = 27.25X - 17.9$ ）より算出した $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ をB'にプロットした。なお $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ 曲線は、VTまではA'で、VT以降はB'で示した。

図5 $\dot{V}O_2 - \dot{V}_E / \dot{V}O_2$ 関係に基づく VT 決定の一例図6 $\dot{V}O_2 - \dot{V}_E$ 関係に基づく VT, 及び VT 時の2直線の回帰方程式より算出した $\dot{V}_E / \dot{V}O_2$ A'は, Aの方程式 ($Y=4.52X+20.5$) より算出した $\dot{V}_E / \dot{V}O_2$.B'は, Bの方程式 ($Y=27.25X-17.9$) より算出した $\dot{V}_E / \dot{V}O_2$ を示す。

2. 3種類の換気閾値決定法による VT の比較

全被検者の3種類の換気閾値決定法による VT (% of $\dot{V}O_{2max}$ 表示) の比較を図7に示した。図7は, 全被検者の VT の平均値を棒グラフで示し, 標準偏差をプロットしたものである。 $\dot{V}O_2 - \dot{V}_E$, $\dot{V}O_2 - \dot{V}CO_2$, $\dot{V}O_2 -$

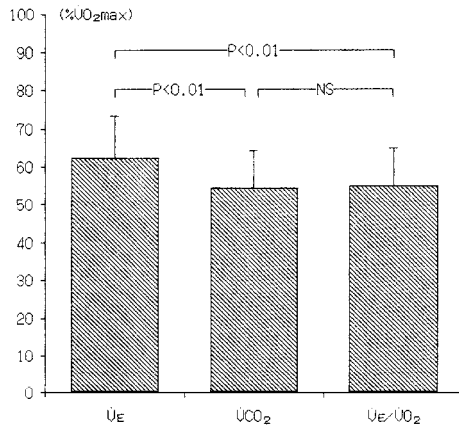


図7 3種類の換気閾値決定法によって求められたVTの比較

\dot{V}_E は $\dot{V}O_2 - \dot{V}_E$ 関係から求められたVT, $\dot{V}CO_2$ は $\dot{V}O_2 - \dot{V}CO_2$ 関係から求められたVT, $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ は $\dot{V}O_2 - \dot{V}_E/\dot{V}O_2$ 関係から求められたVTを示す。3者の統計的検定は多重比較 (Scheffe の検定) により, $\dot{V}_E - \dot{V}CO_2$ 間, $\dot{V}_E - \dot{V}_E/\dot{V}O_2$ 間においてそれぞれ $P < 0.01$ で有意差を認めた。

$\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ 関係に基づいて求められたVTの全被検者の平均値 (±標準偏差) は, % of $\dot{V}O_2\max$ 表示でそれぞれ62.2 (±11.3), 54.4 (±10.0), 55.0 (±9.8) %であった。多重比較 (Scheffe の検定) で3者のVTを比較した結果, $\dot{V}O_2 - \dot{V}_E$ 関係に基づいて求められたVTの方が, $\dot{V}O_2 - \dot{V}CO_2$ 関係に基づいて求められたVT, $\dot{V}O_2 - \dot{V}_E/\dot{V}O_2$ 関係に基づいて求められたVTよりもそれぞれ有意に高い値を示した ($P < 0.01$)。また, $\dot{V}O_2 - \dot{V}CO_2$ 関係に基づいて求められたVTと $\dot{V}O_2 - \dot{V}_E/\dot{V}O_2$ 関係に基づいて求められたVTの間には, 有意な差は認められなかった。

IV. 考 察

VT決定のための判定基準は, いずれの基準も $\dot{V}O_2$ もしくは運動負荷の直線の上昇に対する \dot{V}_E の非直線的増加開始点か, $\dot{V}CO_2$ の非直線的増加開始点のいずれかに基づいたものである。すなわち, 前者に従うものとし

て前述の判定基準1や3が、後者では判定基準2が相当する。この両者が一致するということには、いくらかの議論はあるにしても、何らかの成因で筋中・血中への乳酸出現 (appearance) が急増し、それに対する緩衝作用 (buffering) もまた急増する結果、余剰的に生じた CO_2 , H^+ が呼吸を刺激することによって \dot{V}_E , \dot{V}_{CO_2} の増大が同時におこると言われている¹⁶⁾。この背景から、VT 決定のための判定基準が確立した。

ここで、VT 決定のための判定基準1と3の関係を再考してみる。 \dot{V}_{O_2} に対する \dot{V}_E の変化は、その比率である $\dot{V}_E/\dot{V}_{\text{O}_2}$ の変化に直接反映する。したがって、 \dot{V}_{O_2} に対して \dot{V}_E が非直線的増加を開始する点 (判定基準1) は、理論的には \dot{V}_{O_2} に対して $\dot{V}_E/\dot{V}_{\text{O}_2}$ が増加を開始する点 (判定基準3) と対応するはずである。このことは、 $\dot{V}_{\text{O}_2}-\dot{V}_E$ 関係に基づいて求められた VT と $\dot{V}_{\text{O}_2}-\dot{V}_E/\dot{V}_{\text{O}_2}$ 関係に基づいて求められた VT は本来一致することを意味している。すなわち、図5の $\dot{V}_E/\dot{V}_{\text{O}_2}$ 曲線と図6の $\dot{V}_E/\dot{V}_{\text{O}_2}$ 曲線、及び、両曲線の最小値、VT は本来一致するということである。しかしながら、本研究の結果では両者は有意差を認めた ($P<0.01$)。この事は、以下二つの要因によるものと考えられる。まず、 \dot{V}_{O_2} に対する \dot{V}_E の変化は、結節点を持つ2線分的変化ではなく、直線的増加から過渡応答的に離れ、さらに加速的に増大してゆくと考えられる。従って、折れ線回帰分析によって結節点 (VT) を求める場合の方法論的限界が存在する。次に、 $\dot{V}_E/\dot{V}_{\text{O}_2}$ 曲線が最小値を示す点は、必ずしも明確に現れない場合がある。すなわち、漸増負荷運動開始後 $\dot{V}_E/\dot{V}_{\text{O}_2}$ は減少していくが、その後 $\dot{V}_E/\dot{V}_{\text{O}_2}$ 曲線の底は面状になり、必ずしも最小値を点として検出しにくい場合が存在する。これらの要因により、本研究から得られた、 $\dot{V}_{\text{O}_2}-\dot{V}_E$ 関係に基づいて求められた VT と $\dot{V}_{\text{O}_2}-\dot{V}_E/\dot{V}_{\text{O}_2}$ 関係に基づいて求められた VT とは一致しなかったものと思われる。

Hagberg ら (1982)⁹⁾ は、筋で乳酸が産生されない McArdle 症候群の患者を用いて漸増負荷運動を行った結果、運動中には血中乳酸が増加しないにもかかわらず \dot{V}_E が急激に増大する時点がみられることを報告し

た。また, Farrell ら (1987)⁶⁾ も, 健常者を用い, テスト前に激しい運動を行わせ代謝性アシドーシス状態にしておき, その後漸増負荷運動を行うと血中乳酸濃度はすでに増加したままなので LT は検出できないが, VT は決定できたことを報告した。これらの報告は, 運動中の換気高進は必ずしも乳酸増加に伴う緩衝作用の結果だけとは言えず, \dot{V}_E の非直線的増加開始点から VT を決定することは危険であることを示唆している。

以上のことをまとめてみると, \dot{V}_E の非直線的増加開始点に基づいた VT の判定基準 1, 3 のモデル解析から得られた両 VT は, 本来一致するはずであるが有意差を認めた ($P < 0.01$)。また, どちらのモデルが望ましいとも言いがたい。運動中の換気高進は, 必ずしも乳酸増加に伴う緩衝作用の結果だけとは言えず, \dot{V}_E の非直線的増加開始点に基づいた指標から VT を決定することは危険である。これらのことから, モデル解析を用いて VT を決定する場合, 判定基準 2 から導かれた \dot{V}_{O_2} と \dot{V}_{CO_2} の折れ線回帰分析によって決定する方法を採用することが望ましいと考えられる。

V. 総 括

少林寺拳法, 水泳, 陸上競技 (中, 長距離), スキー, トライアスロン の現役選手男子 44 名を被検者として, 自転車エルゴメータを用いた漸増負荷法により VT, 及び $\dot{V}_{O_2\max}$ を測定した。VT の算出は, $\dot{V}_{O_2} - \dot{V}_E$ 関係に対する折れ線回帰分析, $\dot{V}_{O_2} - \dot{V}_{CO_2}$ 関係に対する折れ線回帰分析, 及び, \dot{V}_{O_2} に対する $\dot{V}_E / \dot{V}_{O_2}$ の変化を n 次の多項式で曲線近似し, その曲線が最小値を示す点から求める方法によりそれぞれ行い, 3 者の関連性を検討した。その結果, 以下の結論を得た。

- 1) $\dot{V}_{O_2} - \dot{V}_E$, $\dot{V}_{O_2} - \dot{V}_{CO_2}$, $\dot{V}_{O_2} - \dot{V}_E / \dot{V}_{O_2}$ 関係に基づいて求められた VT の全被検者の平均値 (±標準偏差) は, % of $\dot{V}_{O_2\max}$ 表示でそれぞれ 62.2 (±11.3), 54.4 (±10.0), 55.0 (±9.8) % であった。

- 2) 多重比較 (Scheffe の検定) で3者の VT を比較した結果, $\dot{V}_{O_2} - \dot{V}_E$ 関係に基づいて求められた VT の方が, $\dot{V}_{O_2} - \dot{V}_{CO_2}$ 関係に基づいて求められた VT, $\dot{V}_{O_2} - \dot{V}_E / \dot{V}_{O_2}$ 関係に基づいて求められた VT よりもそれぞれ有意に高い値を示した ($P < 0.01$)。また, $\dot{V}_{O_2} - \dot{V}_{CO_2}$ 関係に基づいて求められた VT と $\dot{V}_{O_2} - \dot{V}_E / \dot{V}_{O_2}$ 関係に基づいて求められた VT の間には, 有意な差は認められなかった。
- 3) モデル解析を用いて VT を決定する場合, \dot{V}_{O_2} と \dot{V}_{CO_2} の折れ線回帰分析によって決定する方法を採用することが望ましいと考えられる。

文 献

- 1) Akaike, H. (1973): Information theory and an extension of the maximum likelihood principle, p. 267-281. In B. N. Petrov and F. Czaki (eds.), 2nd international symposium on information theory. Akademiai Kiado, Budapest.
- 2) Beaver, W. L., K. Wasserman, and B. J. Whipp (1985): Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. *J. Appl. Physiol.*, 59, 1936-1940.
- 3) Beaver, W. L., K. Wasserman, and B. J. Whipp (1986): A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J. Appl. Physiol.*, 60, 2020-2027.
- 4) Davis, H., and G. Gass (1981): The anaerobic threshold as determined before and during lactic acidosis. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 47, 141-149.
- 5) Davis, J. A., P. Vodack, et al (1976): Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J. Appl. Physiol.*, 41, 544-550.
- 6) Farrell, S. W., and J. L. Ivy (1987): Lactate acidosis and the increase in $\dot{V}_E / \dot{V}_{O_2}$ during incremental exercise. *J. Appl. Physiol.*, 62, 1551-1555.
- 7) 福場良之, 磨井祥夫, 菊地邦雄, 笹原英夫, (1984): 換気性 anaerobic threshold 決定方法開発の試み, *体力科学*, 33, 213-216.
- 8) 福場良之, 磨井祥夫, 笹原英夫, 三浦朗, 神谷幸宏 (1986): 簡易な lactate threshold 推定手法の開発, *Ann. Physiol. Anthropol.*, 5, 19-26.
- 9) Hagberg, J. et al. (1982): Exercise hyperventilation in patients with McArdle's disease. *J. Appl. Physiol.*, 52, 991-994.
- 10) Hughson, R. L., K. H. Weisiger, and G. D. Swanson (1987): Blood lactate

- concentration increase as a continuous function in progressive exercise. *J. Appl. Physiol.*, 62, 1975-1981.
- 11) Orr, G. W., H. J. Green, R. L. Hughson, and G. W. Bennett (1982): A computer linear regression model to determine ventilatory Anaerobic threshold. *J. Appl. Physiol.*, 52, 1349-1352.
 - 12) Powers, S. K., S. Dodd, and R. Garner (1984): Precision of ventilatory and gas exchange alterations as a predictor of the anaerobic threshold. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 52, 173-177.
 - 13) Skinner, J. S., and T. M. McClellan (1980): The Transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res. Quart.*, 51, 234-248.
 - 14) Wasserman, K. (1978): Breathing during exercise. *N. Engl. J. Med.*, 298, 780-785.
 - 15) Wasserman, K., and M. B. McIlroy (1964): Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac during exercise. *Am. J. Cardiol.*, 14, 844-852.
 - 16) Wasserman, K., A. L. Van Kessel, and G. G. Burton (1967): Interaction of physiological mechanisms during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 22, 71-85.
 - 17) Wasserman, K., B. J. Whipp, S. N. Koyal, and W. L. Beaver (1973): Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 35, 236-243.
 - 18) 山本義春, 宮下充正 (1989) : これまでの AT とこれからの AT, 体育の科学, 39, 348-363.
 - 19) Yeh, M. P., R. M. Gardner, T. D. Adams, F. G. Yanowitz, and R. O. Crapo (1983): "Anaerobic threshold": problems of determination and validation., *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 55, 1178-1186.
 - 20) Yoshida, T., A. Nagata, M. Muro, N. Takeuchi, and Y. Suda (1981): The validity of anaerobic threshold determination by a Douglas Bag method compared with arterial blood lactate concentration., *Eur. J. Appl. Physiol.*, 46, 423-430.

(本研究は、平成四年度広島経済大学特定個人研究費助成のもとに遂行された。)