

〔原著論文〕

自転車エルゴメーターを用いたランプ負荷法による エアロビックパラメータ測定の方法と問題点

柳 川 和 優*

Methods and Problems of Measuring Aerobic Parameters by the Ramp Load Method Using a Bicycle Ergometer

Kazumasa YANAGAWA

(Department of Sports Business Administration, Faculty of Business Administration,
Hiroshima University of Economics)

Abstract

The purpose of this study was to provide reference values of aerobic parameters by ramp loading method and to clarify problems in measuring aerobic parameters. The subjects were 25 healthy males aged 19-22 years, including active athletes in track and field and other sports, and $\dot{V}O_{2\max}$, VT, and RCT were measured by the ramp exercise load test using a bicycle ergometer.

One problem with the aerobic parameter measurements was that when the slope of the load increase was too steep and stronger than the individual's fitness level, there were cases in which the individual was unable to continue riding the bicycle without falling significantly below the estimated maximum heart rate and without leveling off of $\dot{V}O_2$. When the slope of the load increase was too gentle and weaker than the individual's fitness level, there were cases in which the bicyclist continued to ride for a while with a heart rate below the estimated maximum heart rate despite the continuous load increase. In both of these cases, $\dot{V}O_{2\max}$ and HRmax tended to be higher when the subjects were re-measured on a different day with a different slope of load increase, and re-measurement was recommended.

Reference values for aerobic parameters in healthy men in their early 20s showed that HRmax was 95.6% of the theoretical value, VT was 57.1% $\dot{V}O_{2\max}$ and 135.1 bpm regardless of $\dot{V}O_{2\max}$ value, and RCT was 87.3% $\dot{V}O_{2\max}$ and 171.6 bpm.

I. 緒言

心肺運動負荷試験 (cardiopulmonary exercise testing : CPX) は、スポーツ科学やスポーツ医学の領域において広く行われている。Wasserman et al. (1973) が無酸素性作業閾値 (Anaerobic Threshold : AT) の概念を提唱して以来、近年においてもその重要性が広く認められている (大宮, 2021 ; 安達, 2022)。特に、スポーツ科学の

分野において、CPX によって得られる最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2\max}$) と AT は、全身持久力の指標として妥当基準の筆頭にあげられている (田中, 2000)。

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 を決定する乳酸性閾値 (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

* 広島経済大学経営学部スポーツ経営学科

を判定基準としてATを決定する換気性閾値 (Ventilatory Threshold : VT) が存在する。VT以降では代謝性アシドーシスによる H^+ の増大ならびに excess CO_2 が起こり、それらが呼吸を刺激することで、 $\dot{V}E$ や $\dot{V}CO_2$ の非直線的な増加をひき起こす。

CPXにおける呼気ガス分析を、自転車エルゴメータを使用したランプ負荷法で実施することにより、 $\dot{V}O_{2max}$, VT, O_2 摂取動態の時定数 (τ), および作業効率の4つのパラメータを同時に決定することができる (Whipp et al., 1981)。このように、自転車エルゴメータを用いたCPXには多くの利点がある。

一方、問題点も指摘されており、同一個人の $\dot{V}O_{2max}$ は、測定に用いる運動様式によって異なり (Seals et al., 1982 ; Hansen , 1984.), 一般成人ではトレッドミル走よりも自転車駆動の方が5～10%低いと報告されている (山地, 2001)。また、運動様式間の差は専門種目によっても異なり、例えば、自転車選手ではトレッドミル走よりも自転車駆動により測定した $\dot{V}O_{2max}$ が4～5%高く、ランナーではトレッドミル走が自転車駆動よりも約10%高くなると報告されている (Withers et al., 1981)。このように $\dot{V}O_{2max}$ は、一般的に自転車選手以外ではトレッドミル走よりも自転車駆動の方が低くなる。これらのことを理解した上で、アスリートのみならず一般健常者の全身持久力の評価指標が求められる。

エアロビックパラメータのうち、全身持久力の指標として特に重要と考えられるAT、最高酸素摂取量 (peak oxygen uptake : peak $\dot{V}O_2$), $\dot{V}O_{2max}$ については、日本人の標準値としていくつか報告されている (小林, 1982 ; 村山ら, 1992 ; 源田と伊東, 1995 ; 太田ら, 1999 ; 鈴木ら, 2009)。しかしながら、VT, 呼吸性補償閾値 (Respiratory Compensation Threshold : RCT) を% $\dot{V}O_{2max}$ や心拍数 (Heart Rate : HR) で示した報告は見当たらない。

Davis (1985) は、マラソンの走速度はLTの走速度とほぼ一致すると報告し、Iwaoka et al.

(1988) は、男子大学長距離選手のRCTがLTおよび $\dot{V}O_{2max}$ より5,000 m走, 10,000 m走の記録と強い相関を示し、RCTの運動強度がその走速度に匹敵したことを報告した。長距離選手の多くは、運動強度や疲労度をHRで管理することが多く、各自のVT時やRCT時のHRを把握しておくことは重要なことであると考えられる。

また、 $\dot{V}O_{2max}$, VT及びRCTが必ずしも明確に判定できない場合が存在し、総合的な判断によりそれらパラメータを決定することが多々ある。例えば、V-slope法によりVTの決定が明確にできなかった場合は、他のVT決定のための判定基準を加味してVTを決定する。また、 $\dot{V}CO_2$ と $\dot{V}E$ の関係に対する折れ線回帰分析によりRCTを明確に決定できなかった場合、他のRCT決定のための判定基準を加味してRCTを決定することになる。

以上のような背景から本研究では、自転車エルゴメータを用いたランプ負荷法によるエアロビックパラメータの参考値を示すと共に、エアロビックパラメータ測定の問題点を明らかにすることを目的とした。

II. 方法

A. 被検者

被検者は、大学の授業 (スポーツ生理学実験) を履修した学生のうち、測定を希望した陸上競技 (短, 中, 長距離) 等の現役選手を含む、健常な19～22歳の男子25名であった。被検者の身体的特性とエアロビックパラメータを表1に示した。

B. 測定項目および測定方法

被検者に自転車エルゴメータ (コンビ社製 : エアロバイク 75XLⅢ) を用いた20～30W/minの傾きを持つramp運動負荷試験を実施した。ramp負荷の傾きは、被検者のプロフィールにより、20, 25, 30W/minのいずれかとした。呼気分析は呼気ガス自動分析装置 (ミナト医科学社製 : エアロモニタ AE-310S, データはbreath-by-breath

表 1 被検者の身体的特性とエアロビックパラメータ

Subj	Age	Ht	Wt	%fat	VO ₂ max		VT			RCT			HRmax			競技種目
					l/min	ml/kg/min	l/min	%VO ₂ max	bpm	l/min	%VO ₂ max	bpm	実測 推定* 実測/推定			
													bpm	bpm	%	
1	20	163	52	10.2	2.37	45.6	1.26	53.2	130.1	2.19	92.4	172.1	178	194.0	91.8	陸上短距離
2	19	164	62	10.9	3.21	51.8	1.60	49.8	137.2	2.80	87.2	184.4	194	194.7	99.6	テニス
3	20	173	61	12.9	2.21	36.2	1.20	54.3	130.6	2.00	90.5	180.6	193	194.0	99.5	—
4	20	176	71	12.0	3.26	45.9	1.80	55.2	138.5	2.96	90.8	180.0	187	194.0	96.4	—
5	20	172	56	9.0	3.30	58.9	1.95	59.1	142.0	2.93	88.8	175.3	184	194.0	94.8	陸上長距離
6	20	170	62	8.7	3.41	55.0	2.00	58.7	132.0	2.76	80.9	157.8	184	194.0	94.8	水泳自由形
7	20	168	93	25.7	3.78	40.6	2.30	60.8	142.0	3.38	89.4	180.4	195	194.0	100.5	ラグビー
8	19	172	66	16.0	3.19	48.3	1.60	50.2	124.0	2.80	87.8	178.8	194	194.7	99.6	軟式野球
9	19	170	62	12.9	2.83	45.6	1.53	54.1	132.8	2.23	78.8	171.0	183	194.7	94.0	テニス
10	19	173.5	65	11.9	3.62	55.7	2.00	55.2	133.3	3.41	94.2	174.0	184	194.7	94.5	—
11	20	175	65	14.4	2.91	44.8	1.79	61.5	123.1	2.66	91.4	156.5	172	194.0	88.7	テニス
12	20	184	65	8.9	3.31	50.9	1.85	55.9	145.0	2.76	83.4	171.8	191	194.0	98.5	陸上中距離
13	20	172	55	10.6	3.42	62.2	1.96	57.3	132.0	3.03	88.6	164.9	176	194.0	90.7	陸上長距離
14	22	173	60	8.8	3.77	62.8	2.20	58.4	129.0	3.20	84.9	162.5	177	192.6	91.9	陸上長距離
15	21	169	60	8.7	3.28	54.7	1.94	59.1	147.0	3.06	93.3	176.4	186	193.3	96.2	陸上中距離
16	21	171	68	13.2	3.44	50.6	1.98	57.6	133.0	3.03	88.1	166.6	178	193.3	92.1	陸上短距離
17	22	176	55	5.2	3.64	66.2	2.38	65.4	145.0	3.33	91.5	176.9	182	192.6	94.5	陸上中距離
18	20	170	63	7.4	3.31	52.5	1.95	58.9	138.0	3.08	93.1	173.1	184	194.0	94.8	陸上短距離
19	20	178	72	8.9	4.07	56.5	2.21	54.3	126.0	3.55	87.2	167.7	181	194.0	93.3	サッカー
20	20	170	61	10.5	3.93	64.4	2.18	55.5	131.0	2.95	75.1	159.5	191	194.0	98.5	陸上中距離
21	22	177	60	8.2	3.64	60.7	2.22	61.0	142.0	2.97	81.6	169.0	194	192.6	100.7	陸上中距離
22	20	170	62	8.6	3.84	61.9	2.23	58.1	127.0	3.37	87.8	170.1	186	194.0	95.9	陸上中距離
23	20	169	54	9.0	2.22	41.1	1.29	58.1	142.4	1.93	86.9	180.2	196	194.0	101.0	陸上短距離
24	20	174	63	9.8	4.05	64.3	2.37	58.5	140.4	3.47	85.7	177.0	181	194.0	93.3	陸上長距離
25	21	174	72	13.5	2.81	39.0	1.64	58.4	135.0	2.32	82.6	163.4	180	193.3	93.1	陸上短距離
Mean	20.2	172.1	63.4	11.0	3.3	52.7	1.9	57.1	135.1	2.9	87.3	171.6	185.2	193.9	95.6	
SD	0.87	4.37	8.13	3.91	0.52	8.76	0.34	3.48	6.87	0.46	4.79	7.72	6.74	0.61	3.42	

*推定 HRmax は、「208 - 0.7 × 年齢」(Tanaka, 2001) を用いて算出した。

法により連続的に計測され 10 秒ごとの平均値として出力) により行い、 $\dot{V}O_{2\max}$ 、VT 及び RCT を求めた。なお、VT の判定は、原則として V-slope 法 (Beaver et al., 1986) により、RCT の判定は原則として $\dot{V}CO_2$ と $\dot{V}E$ の折れ線回帰分析 (福場ら, 1984) により行い、他の指標も加味しながら総合的に判定した。また、 $\dot{V}O_{2\max}$ は、10 秒間のピーク値ではなく、30 秒間の平均値の最大値とした。測定時の室温は 23℃ 前後であった。

体脂肪率 (%fat) の測定は、インピーダンス法 (タニタ社製: Inner Scan 50V) により行い、最高心拍数の推定式は、「220 - 年齢」が広く用いられている (古名ほか, 1994; 源田と伊東, 1995; 矢部ほか, 2007; 三津家ほか, 2019; 田中と吉村, 2020) が、本研究ではメタ解析から得られ、性別、運動習慣に関わらず用いることができ

る「208 - 0.7 × 年齢」(Tanaka et al., 2001) を用いた。 $\dot{V}O_{2\max}$ の評価は、「厚生省保健医療局健康増進栄養課健康増進関連ビジネス指導室編, (1993)」の評価値により行った。

全被検者の $\dot{V}O_{2\max}$ の平均値を境に $\dot{V}O_{2\max}$ の下位群と上位群の二群に分け解析を行った。

C. 統計処理

二群間の比較には対応のある t 検定を行った。有意水準は 5% 未満とし、統計解析は IBM SPSS Statistics ver. 25 を用いた。

Ⅲ. 結果

被検者は、陸上競技 (短, 中, 長距離) 等の現役選手と特に運動習慣のない健康な若年者 (19 ~ 22 歳) 男子 25 名であった (表 1)。被検者の

内訳を自転車エルゴメータによる $\dot{V}O_2\text{max}$ の評価値（厚生省保健医療局健康増進栄養課健康増進関連ビジネス指導室編, 1993）で表すと、良くない（0名）、あまり良くない（1名）、普通（8名）、やや良い（8名）、良い（8名）であった（表2）。VT と RCT の決定については、代表的な被検者の一例を図1、図2に示した。

図1は、V-slope法によるVT決定の一例(Subject 20)を示したものである。 $\dot{V}O_2\text{max}$ 3.93 l/min, VT

2.18 l/min (55.50 % $\dot{V}O_2\text{max}$) であった。

図2は、RCT 決定の一例 (Subject 23) を示したものである。 $\dot{V}CO_2$ 2.57 l/min であり、RCT 時の $\dot{V}CO_2$ を $\dot{V}CO_2$ と $\dot{V}O_2$ の回帰直線に代入し、RCT 時の $\dot{V}O_2$ を決定した [$\dot{V}O_2$ 1.93 l/min (86.78 % $\dot{V}O_2\text{max}$)]。

図3は、 $\dot{V}O_2$ と HR の関係 (Subject 20) を示したものである。回帰直線 $Y = 36.95 X + 50.51$ ($r = 0.989$)、最大心拍数 191 bpm、最小心拍数 59 bpm であった。VT 時および RCT 時の $\dot{V}O_2$ をここで得られた回帰直線 (X) に代入し、VT 時および RCT 時の HR を算出した。

表3は、全被検者の $\dot{V}O_2\text{max}$ の平均値 (52.7 ml/kg/min) を境に、 $\dot{V}O_2\text{max}$ を下位群と上位群の2群に分け比較したものである。体脂肪率 (% fat) と $\dot{V}O_2\text{max}$ には2群間に有意差が認められたが、VT, RCT, 実測 HRmax には有意差は認められなかった。すなわち、VT, RCT, 実測 HRmax は $\dot{V}O_2\text{max}$ の大小に関わらず同程度であ

表2 $\dot{V}O_2\text{max}$ の評価値別被検者数

評価	$\dot{V}O_2\text{max}$ ml/kg/min	n
良くない	26 以下	0
あまり良くない	27~36	1
普通	37~47	8
やや良い	48~57	8
良い	58 以上	8

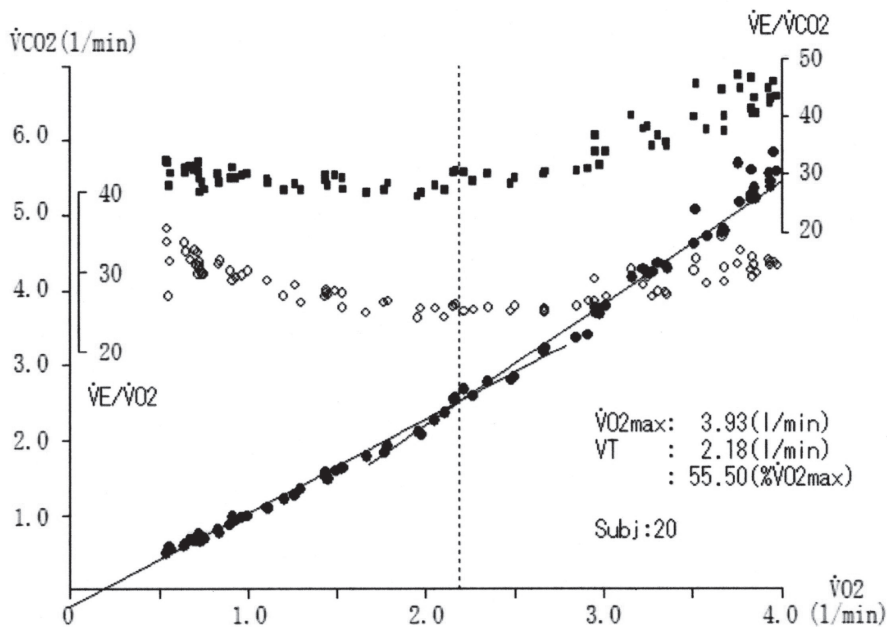


図1 VT 決定の一例
■ $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$, ○ $\dot{V}E/\dot{V}O_2$, ● $\dot{V}CO_2$

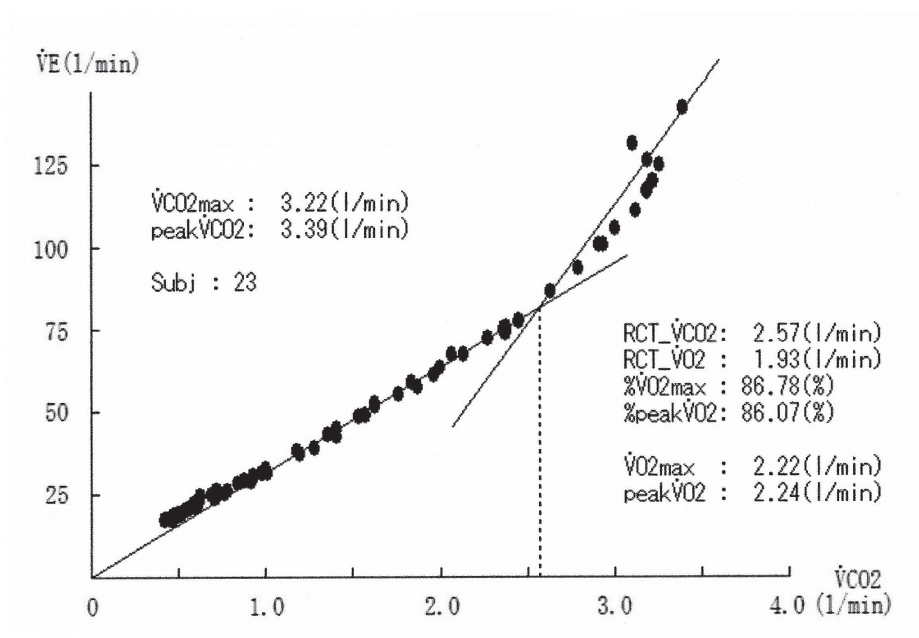


図2 RCT 決定の一例

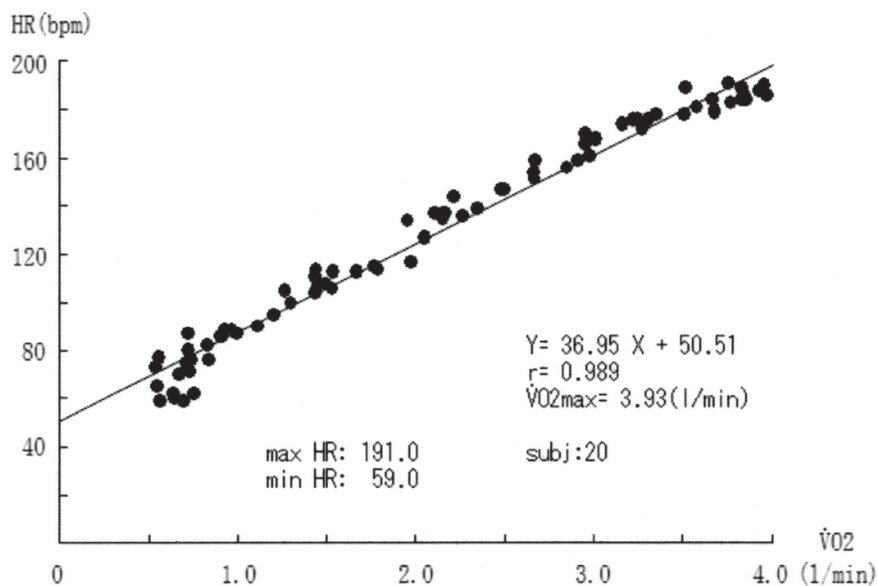


図3 $\dot{V}O_2$ と HR の関係

ることが示された。2群の内訳を $\dot{V}O_{2max}$ の評価値(表2)で表すと、 $\dot{V}O_{2max}$ 下位群の平均値は45.6ml/kg/min (n=13)「普通」、 $\dot{V}O_{2max}$ 上位群の平均値は60.3ml/kg/min (n=12)「良い」であった。

表4は、同一被検者を2回測定した場合の比較を示したものである。一回目の測定で $\dot{V}O_{2max}$ の判定基準(福場と柳川, 1997)を満たすことなく測定終了に至り、日を改め、負荷増加の傾きを変えて再度測定した結果を示したものである。2回測定した4名中3名の $\dot{V}O_{2max}$ とHRは2回目の方が高くなり、1名はほぼ変わらなかった。1回目測定と2回目測定の $\dot{V}O_{2max}$ とHRは、2回目測定の方が高くなる傾向があったものの、両者とも2群間に有意差は認められなかった。

図4は、ランプ負荷の傾きが急峻すぎた場合の負荷開始2分前から負荷終了20秒後までの $\dot{V}O_2$

とHRの変動を示したものである。1回目測定では、負荷終了までHRと $\dot{V}O_2$ は上昇し続けた。一方、2回目測定では、 $\dot{V}O_2$ はレベリングオフを示し、HRは上昇し続けた。

図5は、図4同様ランプ負荷の傾きがなだらかすぎた場合の負荷開始2分前から負荷終了20秒後までの $\dot{V}O_2$ とHRの変動を示したものである。1回目測定では、負荷終了前の数分間、HRは定常状態を、 $\dot{V}O_2$ は緩やかな低下傾向を示した。一方、2回目測定では、 $\dot{V}O_2$ はレベリングオフを示し、HRは上昇し続けた。

IV. 考察

Whipp et al. (1981)は、呼気ガス分析を自転車エルゴメータを使用したランプ負荷法で実施することにより、 $\dot{V}O_{2max}$ 、VT、 O_2 摂取動態の時定数(τ)、および作業効率の4つの重要な指標が

表3 $\dot{V}O_{2max}$ 下位群と上位群の比較

変数		$\dot{V}O_{2max}$ 下位群 n = 13	$\dot{V}O_{2max}$ 上位群 n = 12	有意水準
%fat	(%)	12.8	9.1	p < 0.05
$\dot{V}O_{2max}$	(ml/kg/min)	45.6	60.3	p < 0.01
VT	(% $\dot{V}O_{2max}$)	56.0	58.4	NS
	(bpm)	134.7	135.6	NS
RCT	(% $\dot{V}O_{2max}$)	87.9	86.6	NS
	(bpm)	173.8	169.3	NS
実測 HRmax	(bpm)	186.5	183.8	NS

表4 2回測定の比較

Subject	1 回目			2 回目		
	ramp 負荷	$\dot{V}O_{2max}$	HRmax	ramp 負荷	$\dot{V}O_{2max}$	HRmax
	W/min	ml/kg/min	bpm	W/min	ml/kg/min	bpm
16	30	50.6	178	25	50.0	175
19	30	54.7	177	25	56.5	181
20	25	61.7	186	30	64.4	191
21	30	59.8	189	25	60.7	194
Mean		56.7	182.5		57.9	185.3
SD		5.02	5.92		6.18	8.81

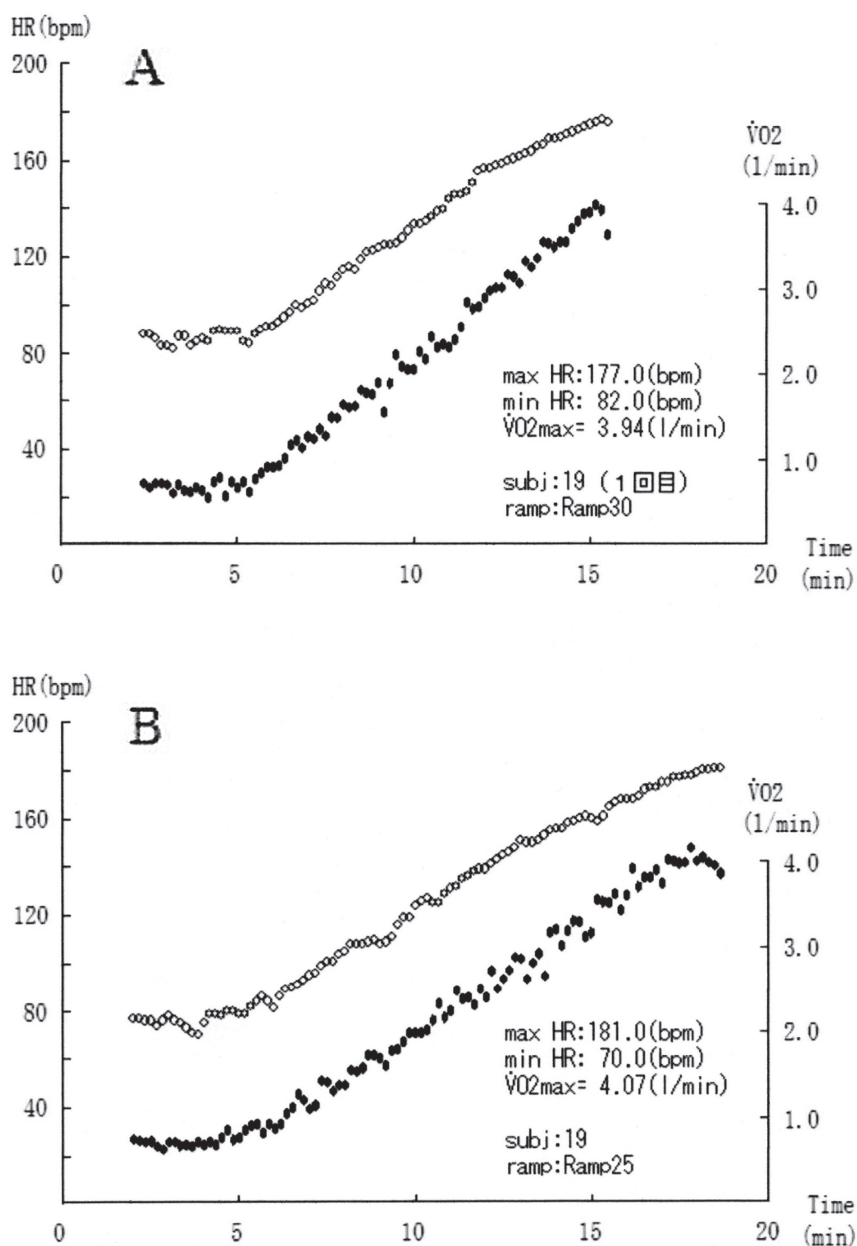


図4 2回測定中の $\dot{V}O_2$ とHRの変動（負荷が強すぎた場合）
A: 1回目, 30W/min, B: 2回目, 25W/min ○HR, ● $\dot{V}O_2$
ランブ負荷開始2分前から負荷終了20秒後までをプロット。

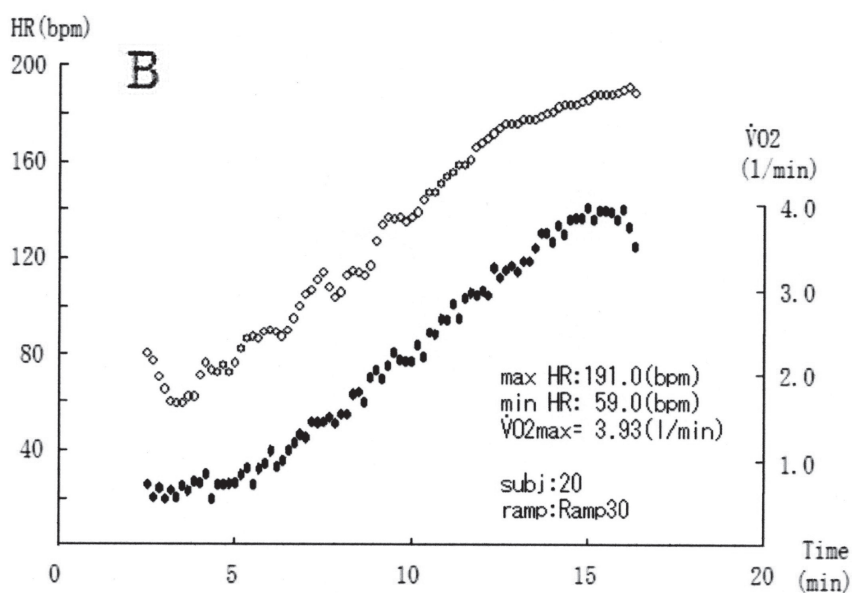
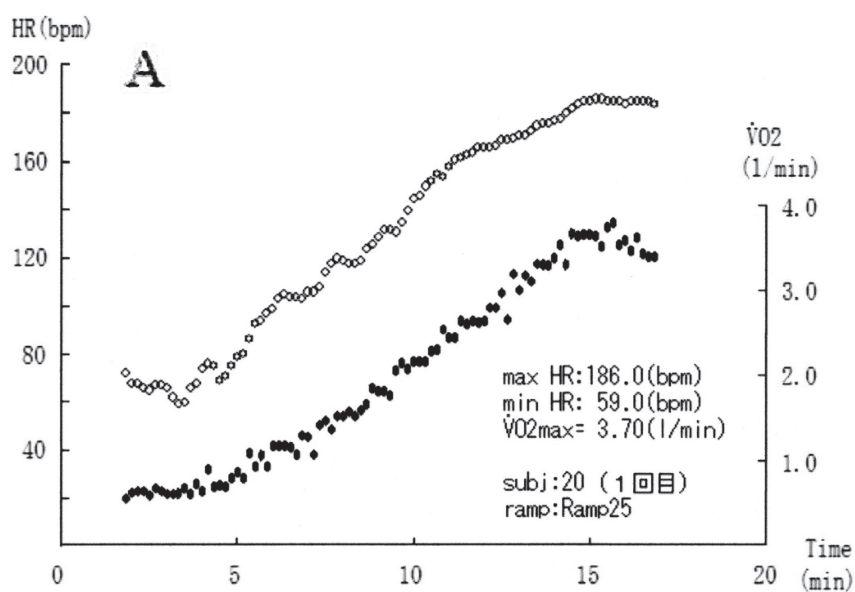


図5 2回測定中の $\dot{V}O_2$ と HR の変動 (負荷が弱すぎた場合)
A: 1回目, 25W/min, B: 2回目, 30W/min ○HR, ● $\dot{V}O_2$
ランプ負荷開始2分前から負荷終了20秒後までをプロット.

得られることを示した。自転車エルゴメーターで徐々に負荷量を増やす ramp 負荷法の利点は、適正な負荷増加の傾きを選択すれば、 $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ 、 $\dot{V}E$ などは直線的な増加が得られ、各パラメータの変化が単純化されることにある。その反面、前述の通り $\dot{V}O_{2max}$ は、一般的に自転車選手以外ではトレッドミル走よりも自転車駆動の方が低くなるといった問題点も存在する。

従来、 $\dot{V}O_{2max}$ の判定基準は、次の 4 条件のうち、2 つ以上を満足した時とされている（福場と柳川, 1997）。1) $\dot{V}O_2$ のレベリングオフ、2) 呼吸交換比（RER）が 1.05 以上、3) 心拍数が最大心拍数の予測値と同等かそれ以上、4) 血中の乳酸濃度が 9 mmol/L 以上。本研究においては、被検者のプロフィールにより ramp 負荷の傾きを決定した。すなわち、現在運動習慣が無い被検者は 20W/min、持久競技選手でありかつ競技成績の高い被検者は 30W/min、その中間の被検者は 25W/min とした。しかしながら、上記の $\dot{V}O_{2max}$ の判定基準を満たさない事例が存在し、日を改め、負荷増加の傾きを変えて再度測定した（表 4）。その結果、 $\dot{V}O_{2max}$ の判定基準を満たした 2 回目測定の方が $\dot{V}O_{2max}$ と HR が高くなる傾向があった。

上記の $\dot{V}O_{2max}$ の判定基準を満たさない事例の要因として、次の事が考えられる。まず、負荷増加の傾きが本人の体力水準より強く急峻すぎた場合、推定最大心拍数を大幅に下回る状態、かつ $\dot{V}O_2$ のレベリングオフが認められることなく自転車駆動の継続が不可能になる事例である（図 4, A）。この場合は、心肺機能には比較的余裕があるが、脚の疲労により一定のペースでの自転車駆動の継続が不可能になるものと考えられる。次に、負荷増加の傾きが本人の体力水準より弱くなだらかすぎた場合、継続的な負荷増加にも関わらず、推定最大心拍数を下回る状態で自転車駆動をしばらく継続し続ける事例がある。この場合、測定終了前の数分間 HR は定常状態、 $\dot{V}O_2$ は緩やかな低下傾向を示す（図 5, A）。負荷増加の傾きがもう少し急であれば、 $\dot{V}O_2$ のレベリングオフが認

められ、HR が更に上昇する（図 5, B）と考えられる。

本研究の結果、これらの場合、日を改め負荷増加の傾きを変えて再度測定した方が $\dot{V}O_{2max}$ と HRmax が高くなる傾向があり、再測定が勧められる。

VT 決定のための判定基準は、1) $\dot{V}E$ の最初の非直線的増加開始点、2) $\dot{V}CO_2$ の非直線的増加開始点、3) $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ の一致した変化を伴わない $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ の増加開始点、4) 終末呼気 CO_2 分圧（ $PETCO_2$ ）の一致した変化を伴わない終末呼気 O_2 分圧（ $PETO_2$ ）の増加開始点、5) 呼吸交換比（ $RER = \dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ ）の急激な増加開始点等（Wasserman et al., 1973 ; Wasserman, 1978 ; Beaver, 1986）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。AT（VT と LT の両者）は持久性競技記録と高い相関関係を持つことが知られており（Tanaka et al., 1986 ; Yoshida et al., 1993）、 $\dot{V}O_{2max}$ と共に全身持久力の指標とされている（田中, 2000）。

VT を越えてさらに負荷増加が続き疲労困憊に近づく、pH の急激な低下を防ぐために $PaCO_2$ を下げる換気の亢進が認められる。こういった換気応答は呼吸性補償閾値（RCT）と呼ばれている（Wasserman, 1978）。本研究では、福場ら（1984）の折れ線回帰分析を $\dot{V}CO_2$ と $\dot{V}E$ の関係に適用し RCT を求めた。RCT 以降では換気応答が増大し、 $\dot{V}E$ の増加度は $\dot{V}CO_2$ の増加度を上回り $\dot{V}E$ が非直線的にさらに増加し始める。V-slope 法によって VT を決定する場合、運動開始直後の $\dot{V}CO_2$ の上昇が遅れる過渡応答期のデータと RCT 以降のデータを除き解析にかける（Beaver et al., 1986）。しかしながら、先行研究（成田ほか, 1999）において、VT の決定は「V-slope 法によった」という記述が見受けられるが、実際に過渡応答期のデータと共に、RCT を決定しそれ以降のデータを除き解析にかけたかどうかは不明である。これらのことから、VT と同様 RCT の標準値の確立が望まれるところである。

本研究の結果、VT, RCT, 実測 HRmax は

$\dot{V}O_{2max}$ の大小に関わらず同程度であることが示された (表3)。本研究の被検者は、健常な一般人および日本のトップクラスまでは至らないアスリートである。従って、健常な20代前半男子の目安として $\dot{V}O_{2max}$ の大小に関わらず VT, RCT, 実測 HRmax の参考値が示されたものと考えることができる。

以上のことにより、健常な20代前半男子の一つの参考値として、HRmax は理論値の95.6%, $\dot{V}O_{2max}$ の値に関わらず VT は $57.1\% \dot{V}O_{2max}$, 135.1bpm, RCT は $87.3\% \dot{V}O_{2max}$, 171.6bpm であることが示された (表1)。しかしながら、被検者数が少なく、年齢が20代前半の男子から導き出された値である。今後、被検者数を増やし、幅広い年齢層での基準値作成が望まれる。

V. 総括

本研究では、自転車エルゴメータを使用したランプ負荷法によるエアロビックパラメータの参考値を示すと共に、エアロビックパラメータ測定の問題点を明らかにすることを目的とした。被検者は、陸上競技等の現役選手を含む健常な19～22歳の男子25名とし、自転車エルゴメータを用いた ramp 運動負荷試験により、 $\dot{V}O_{2max}$, VT 及び RCT を測定した。その結果、以下の結論を得た。

- 1) 負荷増加の傾きが本人の体力水準より強く急峻すぎた場合、推定最大心拍数を大幅に下回る状態、かつ $\dot{V}O_2$ のレベリングオフが認められることなく自転車駆動の継続が不可能になる事例があった。この場合は、心肺機能には比較的余裕があるが、脚の疲労により一定のペースでの自転車駆動の継続が不可能になるものと考えられた。
- 2) 負荷増加の傾きが本人の体力水準より弱くなだらかすぎた場合、継続的な負荷増加にも関わらず、推定最大心拍数を下回る状態で自転車駆動をしばらく継続し続ける事例があった。この場合、測定終了前の数分間 HR は定常状態、 $\dot{V}O_2$ は緩やかな低下傾向を示した。負荷増加の傾きがもう少し急であれば、 $\dot{V}O_2$

のレベリングオフが認められ、HR が更に上昇すると考えられた。

- 3) 負荷増加の傾きが本人の体力水準より強すぎた場合や弱すぎた場合、日を改め負荷増加の傾きを変えて再度測定した方が $\dot{V}O_{2max}$ と HRmax が高くなる傾向があり、再測定が勧められた。
- 4) 健常な20代前半男子の一つの参考値として、HRmax は理論値の95.6%, $\dot{V}O_{2max}$ の値に関わらず VT は $57.1\% \dot{V}O_{2max}$, 135.1bpm, RCT は $87.3\% \dot{V}O_{2max}$, 171.6bpm であることが示された。

以上のことに加えて、RCT 決定の重要性と共に、ramp 負荷を適正にかけることの重要性が強調された。

文献

- 安達 仁 (2022) CPX を用いた運動耐容能評価. Jpn. J. Rehabil. Med. 59: 12-17.
- 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.
- Davis J.A. (1985) Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. Med. Sci. Sports Exer. 17: 6-18.
- 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.
- 福場 良之, 柳川和優 (1997) ランプ負荷運動テストにおけるガス交換諸量の解析—aerobic parameter 推定法の実際について. 呼吸と循環 45(11): 1103-1111.
- 古名 丈人, 伊東 元, 長崎 浩, 藤沢 明子, 新見 まや, 丸山 仁司, 衣笠 隆 (1994) ステップテストを用いた持久性能力の加齢変化の研究. 日本老年医学会雑誌 31(1): 45-51.
- 源田 朋夫, 伊東 春樹 (1995) 運動負荷時の呼吸循環応答とその評価. 総合リハ, 23: 189-196.
- Hansen, J.E. (1984) Exercise instruments, schemes,

- and protocols for evaluating the dyspneic patient. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 129: (Suppl.) S25-S27.
- Iwaoka, K., Hatta, H., Atomi, Y., Miyashita M. (1988) Lactate, respiratory compensation thresholds, and distance running performance in runners of both sexes. *Int. J. Sports Med.* 9 :306-309.
- 小林 寛道 (1982) 日本人のエアロビック・パワー, 初版, 第V部 Aerobic Power からみた日本人の体力水準の評価, 成人の体力水準の評価. 杏林書院, 東京 : pp. 264-268.
- 厚生省保健医療局健康増進栄養課健康増進関連ビジネス指導室編 (1993) 改訂 健康増進施設認定の手引. 中央法規出版, 東京 : pp. 264-268.
- 三津家 貴也, 辻 俊樹, 鍋倉 賢治 (2019) 陸上競技・中長距離ランナーの有酸素性能力と無酸素性能力を同時に評価する方法の検討. *体育学研究* 64(1) : 59-66.
- 村山 正博ほか (1992) 日本人の運動時呼吸循環指標の標準値, 日本循環器学会・運動に関する診療基準委員会 1990 年度報告. *Jpn. Circ. J.* 56 (Suppl V) : 1514-1523.
- 成田 和穂, 阪本 整司, 水重 克文, 千田 彰一, 松尾 裕英 (1999) 健常例における至適運動強度決定のための新しい心拍数予測式の考案とその有用性. *J Cardiology*, 33(5) : 265-272.
- 大宮 一人 (2021) 心肺運動負荷試験によって得られる指標とその応用について. *日本臨床生理学会雑誌*, 51(5) : 163-170.
- 太田 壽城, 張 建国, 石川 和子, 田畑 泉, 吉武 裕, 宮下 充正 (1999) 日本人の最高酸素摂取量, 換気性閾値および脚伸展パワーの標準値策定の試み. *日本公衆衛生雑誌*, 46(4) : 289-297.
- Seals, D.R. and Mullin, J.P. (1982) $\dot{V}O_2$ max in variable type exercise among well-trained upper body athletes. *Res. Quart. Exer. Sport*, 53(1): 58-63.
- 鈴木 政登, 田中 喜代次, 須藤 美智子, 澤田 亨, 小田切 優子 (2009) 日本人の健康関連体力指標最大酸素摂取量の基準値. *デサントスポーツ科学* 30 : 3-14.
- Tanaka, H., Monahan, K.D., Seals, D.R. (2001) Age-Predicted Maximal Heart Rate Revisited. *J. Am. Coll. Cardiol.* 37: 153-6.
- Tanaka K., Watanabe H., Konishi Y., Mitsuzono R., Sumida S., Tanaka S., Fukuda T., Nakadomo F. (1986) Longitudinal associations between anaerobic threshold and distance running performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 55: 248-252.
- 田中 喜代次 (2000) 全身持久性体力の測定. *体育学研究*, 45 : 679-694.
- 田中 喜代次, 吉村 隆喜 (2020) 有酸素性運動において心拍数処方推奨できるか?. *体力科学* 69(3) : 285-288.
- 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.
- Wasserman, K. (1978) Breathing during exercise. *N. Engl. J. Med.* 298: 780-785.
- Whipp, B.J., Davis, J.A., Torres, F. & Wasserman, K. (1981) A test to determine parameters of aerobic function during exercise. *J. Appl. Physiol.* 50: 217-221.
- Withers, R.T., Sherman, W.M., Miller, J.M. and Costill, D.L. (1981) Specificity of the anaerobic threshold in endurance trained cyclists and runners. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 47(1): 93-104.
- 矢部 広樹, 今井 正樹, 久保 裕介, 安田 幸平, 西田 裕介 (2007) 自転車エルゴメータにおけるペダルの回転数の違いが生体に及ぼす影響—心拍一定負荷による検討—. *理学療法科学*, 22 (2) : 215-1-218.
- 山地 啓司 (2001) 最大酸素摂取量の科学 第2版, 運動様式の相違にみられる $\dot{V}O_{2\max}$ の比較. 杏林書院, 東京 : pp. 27-37.
- Yoshida, T., Udo M., Iwai K., Yamaguchi T. (1993) Physiological characteristics related to endurance running performance in female

distance runners. J. Sports Sci., 11, 57-62.