

第4章 若年男性を対象とした最大下多段階漸増負荷サイクリングテストの 提案

—若年男性用推定式の作成— (検討課題1)

第1節 目的

本章の目的は、若年男性を対象として、自転車エルゴメータ運動中にRPEを利用する方法、すなわち最大下多段階漸増負荷サイクリングテスト (submaximal graded cycling test: GCT_{submax}) を提案し、本テストが全身持久性体力の推定法として妥当性であるか否かを検討することである。さらに、 $\dot{V}O_{2AT}$ や $\dot{V}O_{2max}$ と強い相関関係を有する負荷 (仕事率、以下Wと表記する) を重要な説明変数とし、その他に簡便に利用することのできる身体計測値などを説明変数群に加えることで精度の高い $\dot{V}O_{2AT}$ および $\dot{V}O_{2max}$ の推定式を作成することを試みた。

第2節 方法

A. 研究の手順

本検討の実施手順は以下のとおりとした（図4.1）。本研究では、1) 最大運動負荷テストにおいて $\dot{V}O_{2AT}$ および $\dot{V}O_{2max}$ を決定し、これらを推定式作成のための妥当基準に位置づけた。2) 7日間の間隔において最大運動負荷テストと同時時間帯に GCT_{submax} をおこない、説明変数の候補となるWや形態、身体組成を測定した。さらに、3) $\dot{V}O_{2AT}$ および $\dot{V}O_{2max}$ を基準変数、Wや形態、身体組成測定値を説明変数とする重回帰分析を施すことで推定式を導出した。なお、本研究では、最大運動負荷テストの実施前と GCT_{submax} の実施前の二度において身長、体重計測および生体電気抵抗（bioelectrical impedance: BI）法による身体組成の評価をおこなった。重回帰分析に供した説明変数としての計測値は、 GCT_{submax} 実施前に測定した値を用いることとした。

B. 被検者

本研究の被検者は、一般若年男性51名（18～26歳）であり、規則的な運動習慣を有する者（32名）と有しない者（19名）によって構成されていた。規則的な運動習慣を有する者についての運動頻度は週1～6日、一回の運動時間はおよそ30分から2時間の範囲内であったが、単一運動種目のみを専門的にトレーニングする者（競技者）は含まれていなかった。被検者の身体的特徴は表4.1に示したとおりである。被検者はすべて、6ヵ月以内に医師による問診、心電図、胸部X線写真などの一般検診で「異常なし」と判定された者である。なお、被検者一人ひとりに研究の目的および測定内容を説明し、研究参加への快諾を得た。

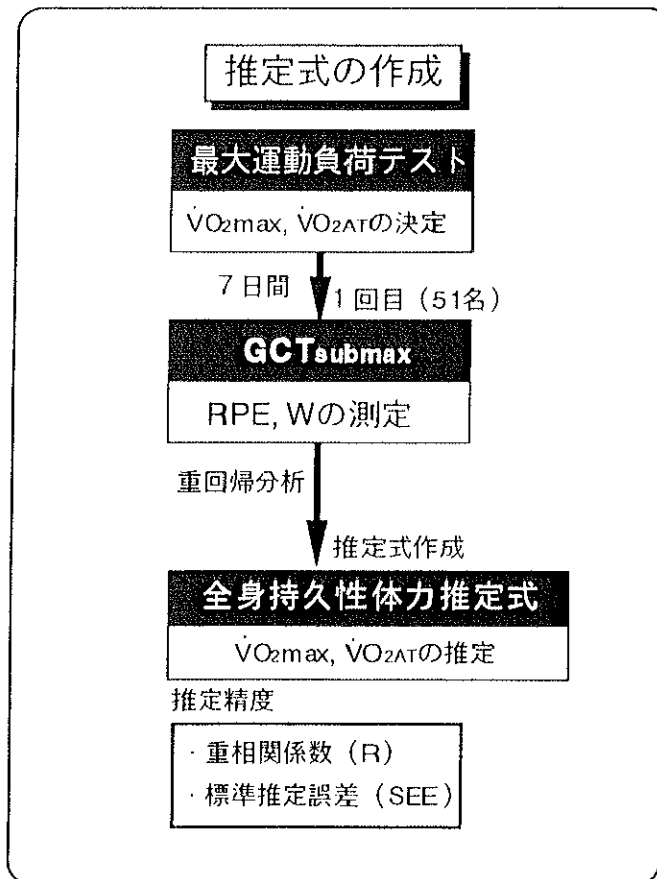


図4.1 GCT_{submax}の妥当性の検討と推定式作成の検討手順

表4.1 被検者の身体的特徴 (n = 51)

		Mean	SD	Range
年齢	(yr)	21.5	1.6	18~26
身長	(cm)	171.5	4.7	159.6~185.4
体重	(kg)	65.4	8.6	51.7~88.7
体脂肪率	(%)	17.8	3.9	10.6~30.0
$\dot{V}O_2\text{max}$	(ml/kg/min)	50.3	7.0	37.3~66.5
$\dot{V}O_2\text{AT}$	(ml/kg/min)	27.1	6.8	16.4~44.0
HRmax	(beats/min)	189.0	9.3	168~206
HRAT	(beats/min)	137.7	16.1	105~173
WRmax	(watts/min)	246.3	28.0	180~300
WRAT	(watts/min)	119.2	25.4	75~180
AT発現までの時間 (分)		9.9	1.7	7~14
$\dot{V}O_2\text{max}$ 発現までの時間 (分)		18.4	1.9	14~22

C. 身長、体重および体脂肪率の測定

第3章、第2節に明記した。

D. 最大酸素摂取量および無酸素性代謝閾値の決定

第3章、第2節に明記した。

E. 最大下多段階漸増負荷サイクリングテスト (GCT_{submax}) と3種類の自覚的運動強度の記録

第3章、第2節に明記した。

F. 検討課題および統計処理

1. RPE-overall, RPE-chest, RPE-legsの平均値間に有意差があるか否かについては、ATおよび $\dot{V}O_{2max}$ 発現時における3者間のスコアに対して1元配置の対応のある分散分析を施すことで検討した。

2. 3種類のRPE (RPE-overall, RPE-chest, RPE-legs) で7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15が初めて記録される時点の仕事率 ($W_{RPE-overall\ x}$, $W_{RPE-chest\ x}$, $W_{RPE-legs\ x}$; $x = 7 \sim 15$) が、全身持久性体力の妥当基準とされる $\dot{V}O_{2AT}$ および $\dot{V}O_{2max}$ に対する説明変数となりうることの妥当性をみるために妥当性係数の算出をおこなった。妥当性係数はピアソンの積率相関係数によって求めた。

3. 本章で作成する推定式は $\dot{V}O_{2AT}$ および $\dot{V}O_{2max}$ の2種類である。これらの線形推定式を導くために、各式の基準変数として、運動負荷テストで決定された実測 $\dot{V}O_{2AT}$, $\dot{V}O_{2max}$ を採用した。説明変数としては、実測 $\dot{V}O_{2AT}$, $\dot{V}O_{2max}$ と有意な相関関係を示し、かつRPEスコア15以下に対応するW項目、さらに年齢、体重およびBI法で求めた体脂肪率を加えて利用した。以上の項目からstepwise (変数増加) 法による重回帰分析を施し推定式を作成した。説明変数の投入・削除条件はF値4.0とした。得られた推定式における基準変数に対する各説明変数の分散量をもって、各説明変数の基準変数に対する貢献度とした。但し、利用するWをRPE15以下としたのは、この程度の強度であれば GCT_{submax} 遂行中の安全

性を確保できるという予測に基づくものであった。

統計的有意水準はすべて5%未満とした。

第3節 結果

ATおよび $\dot{V}O_{2max}$ 発現時における3種類のRPEの比較を図4.2に示した。AT水準に相当するRPE-overall, RPE-chest, RPE-legsの平均値と標準偏差は 12.7 ± 1.1 , 12.8 ± 1.3 , 13.4 ± 1.0 , $\dot{V}O_{2max}$ 発現時では 19.4 ± 0.7 , 19.4 ± 0.8 , 19.7 ± 0.6 であった。さらに, RPE-overallとRPE-legs, RPE-legsとRPE-chestの平均値の差の検定をおこなったところ, いずれの差も有意であった ($P < 0.05$)。RPE-overallとRPE-chestの間には有意差が認められなかった。

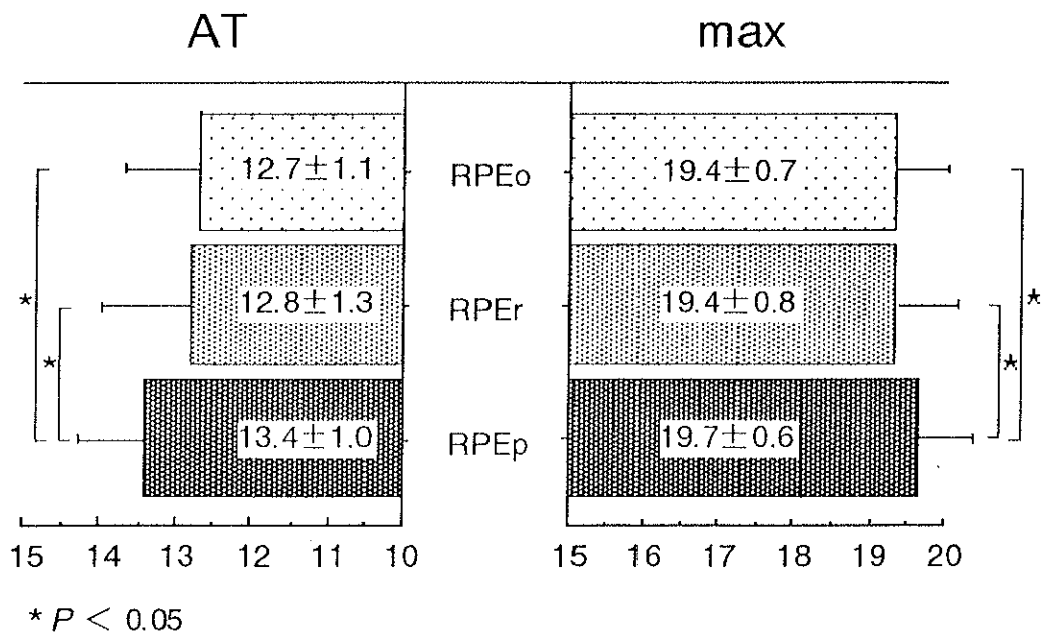


図4.2 ATおよび $\dot{V}O_{2max}$ 発現時における3種類のRPEの比較

表4.2 3種類のRPE 7~15に対応するWと $\dot{V}O_{2AT}$ および $\dot{V}O_{2max}$ との相関

WRPE-overall			WRPE-chest			WRPE-legs		
	$\dot{V}O_{2AT}$	$\dot{V}O_{2max}$		$\dot{V}O_{2AT}$	$\dot{V}O_{2max}$		$\dot{V}O_{2AT}$	$\dot{V}O_{2max}$
7	0.18	0.16	7	0.12	0.06	7	0.16	0.10
8	0.38 *	0.24	8	0.33 *	0.19	8	0.40 *	0.19
9	0.40 *	0.24	9	0.33 *	0.18	9	0.46 *	0.28 *
10	0.51 *	0.30 *	10	0.42 *	0.22	10	0.49 *	0.25
11	0.52 *	0.31 *	11	0.51 *	0.33 *	11	0.50 *	0.29 *
12	0.50 *	0.30 *	12	0.45 *	0.34 *	12	0.57 *	0.29 *
13	0.61 *	0.39 *	13	0.50 *	0.25	13	0.69 *	0.39 *
14	0.61 *	0.42 *	14	0.56 *	0.36 *	14	0.67 *	0.43 *
15	0.59 *	0.44 *	15	0.54 *	0.35 *	15	0.66 *	0.44 *

数値はPearsonの積率相関係数

* $P < 0.05$

表4.2には、RPE 7~15に対応するWと $\dot{V}O_{2AT}$ 、同じくWと $\dot{V}O_{2max}$ との相関係数を示した。 $\dot{V}O_{2AT}$ とWの間には $W_{RPE-overall 7}$ 、 $W_{RPE-chest 7}$ 、 $W_{RPE-legs 7}$ の3項目を除くすべてに有意な相関がみられた ($r = 0.33 \sim 0.69$)。また、 $\dot{V}O_{2max}$ では $W_{RPE-overall 7 \sim 9}$ 、 $W_{RPE-chest 7 \sim 10, 13}$ 、 $W_{RPE-legs 7, 8, 10}$ の11項目を除く16項目で有意な相関がみられた ($r = 0.28 \sim 0.44$)。

測定データから導かれた推定式を表4.3に、実測値と推定値の関係を図4.3に示した。 $\dot{V}O_{2AT}$ 推定式に採用された項目は $W_{RPE-legs 14}$ 、体重および体脂肪率、 $\dot{V}O_{2max}$ 推定式には $W_{RPE-legs 15}$ 、体重、体脂肪率および年齢を採用した。これら2式の推定精度はそれぞれ $R = 0.869$ 、 $R = 0.823$ で良好な結果であった。また、体脂肪率を説明変数群から除外した後、重回帰分析を再度施すと採用した説明変数に体脂肪率を除いて変化はなく、 $R = 0.855$ 、 $R = 0.779$ となった。さらに、各説明変数の基準変数に対する相関係数、標準偏回帰係数および貢献度は表4.4に示した。

表4.3 推定式を構成する説明変数と推定精度

基準変数	説明変数	回帰係数	切片	重相関係数	推定の標準誤差
1) $\dot{V}O_{2AT}$	$WRPE_{legs 14}$ (watts)	0.131	33.9	0.869*	2.9 ml/kg/min
	体重 (kg)	-0.314			
	体脂肪率 (%)	-0.260			
2) $\dot{V}O_{2max}$	$WRPE_{legs 15}$ (watts)	0.095	83.1	0.823*	4.2 ml/kg/min
	体重 (kg)	-0.332			
	体脂肪率 (%)	-0.565			
	年齢 (yr)	-0.720			
(体脂肪率を含めない場合)					
3) $\dot{V}O_{2AT}$	$WRPE_{legs 14}$ (watts)	0.135	32.8	0.855*	3.0 ml/kg/min
	体重 (kg)	-0.377			
4) $\dot{V}O_{2max}$	$WRPE_{legs 15}$ (watts)	0.105	80.3	0.779*	4.6 ml/kg/min
	体重 (kg)	-0.470			
	年齢 (yr)	-0.710			

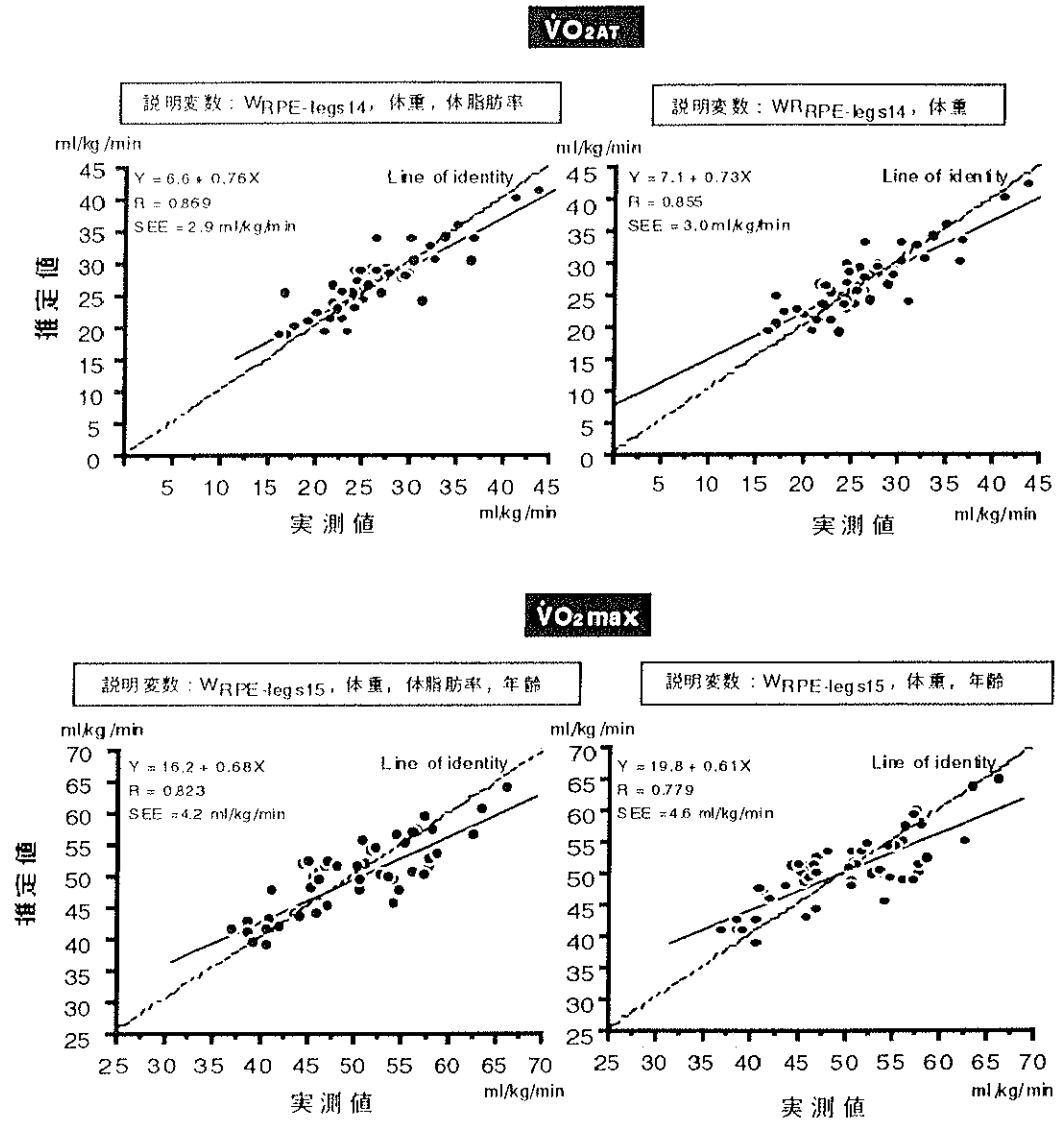


図4.3 作成された $\dot{V}O_{2AT}$, $\dot{V}O_{2max}$ 推定式による推定値と実測値との関係 (n = 51)

表4.4 各説明変数の基準変数に対する相関係数，標準偏回帰係数
 および貢献度

基準変数	説明変数	相関係数	標準偏回帰係数	貢献度 (%)
$\dot{V}O_{2AT}$	WRPElegs 14 (watts)	0.67	0.83	55.4
	体重 (kg)	-0.29	-0.47	13.4
	体脂肪率 (%)	-0.38	-0.18	6.7
$\dot{V}O_{2max}$	WRPElegs 15 (watts)	0.44	0.51	22.4
	体重 (kg)	-0.42	-0.41	17.0
	体脂肪率 (%)	-0.53	-0.31	16.4
	年齢 (yr)	-0.43	-0.28	11.8
(体脂肪率を含めない場合)				
$\dot{V}O_{2AT}$	WRPElegs 14 (watts)	0.67	0.85	57.2
	体重 (kg)	-0.29	-0.56	16.1
$\dot{V}O_{2max}$	WRPElegs 15 (watts)	0.44	0.56	24.8
	体重 (kg)	-0.42	-0.58	24.1
	年齢 (yr)	-0.53	-0.27	11.7

第4節 考察

A. GCT_{submax} による全身持久性体力推定の手順

本法は、自転車エルゴメータを使用し、1分ごとにWを90 kgmずつ増加させる最大下多段階漸増負荷運動中のある時点のWを有効な説明変数として用いるものである。本研究で提案する方法はこれまでにない新たなプロトコルを導入しているため、その具体的な実施手順を以下に述べた（図4.4 参照）。

摩擦負荷をかけない状態で2分間のウォーミングアップをおこなわせた後、1分ごとにWを90 kgmずつ増加させていく。同時に、各Wステージの最後の10秒間に被検者にRPE表の数字を差し示させることでRPE-overall, RPE-chest, RPE-legsを記録する。推定したい項目は $\dot{V}O_{2AT}$ と $\dot{V}O_{2max}$ の2つがあるので、まず $\dot{V}O_{2AT}$ の推定方法から述べる。作成した $\dot{V}O_{2AT}$ 推定式には $W_{RPE-legs 14}$ と体重および体脂肪率が必要となる。体重と体脂肪率については、負荷テストに先立って測定しておくこととしたため GCT_{submax} 中に求めなければならないものは $W_{RPE-legs 14}$ である。すなわち、初めてRPE-legs 14以上が記録された時点が運動終了となり、その時のWを推定式に代入すれば $\dot{V}O_{2AT}$ を求められることになる。また、 $\dot{V}O_{2max}$ を推定する場合は、RPE-legs 14が記録されてもその時点で運動を終了せず、RPE-legs 15以上が記録されるまで運動を続けなければならない。以上に推定のための基本的な方法を記したが、運動終了後も急にベダリングをやめてしまうのではなく、15~30 watts程度に下げてHRが100 beats/min程度に低下するまで数分間のクーリングダウンをおこなうことが身体への負担を軽くするうえで重要なことと思われる。

B. 作成された全身持久性体力推定式

1. 3種類のRPEを用いた理由

Borgが提案したRPEの考え方は、強度が段階的に上昇していく持続的運動中

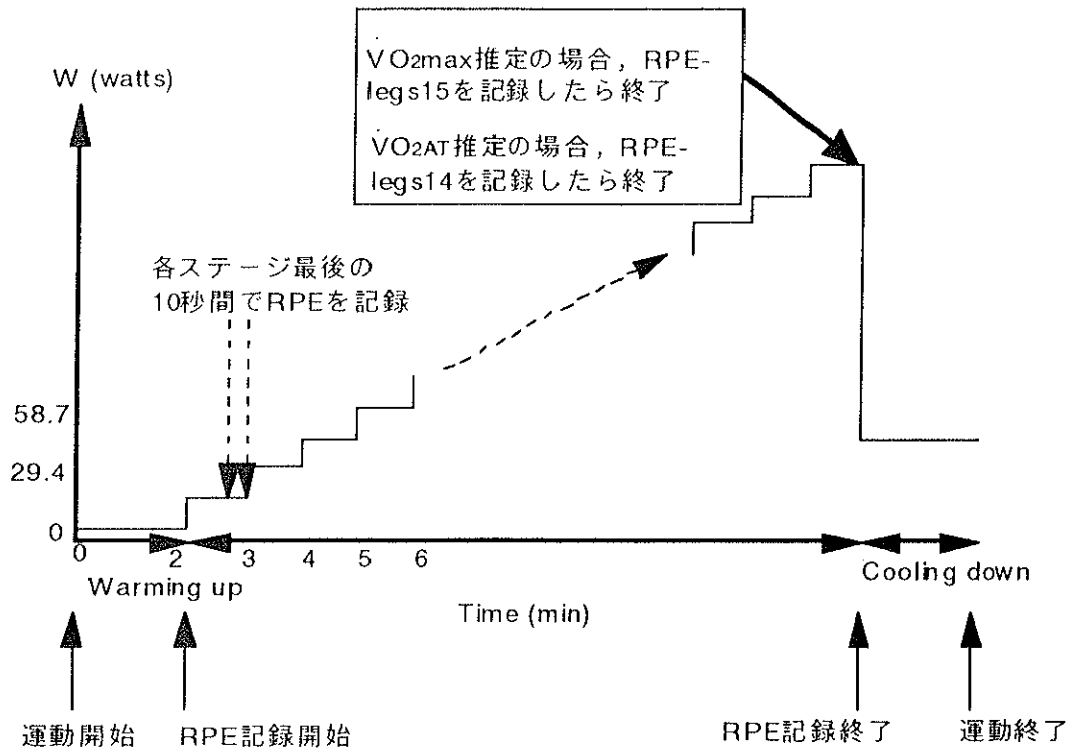


図4.4 RPEの記録と最大下多段階漸増負荷サイクリングテストの実施方法

において、身体内部におこる $\dot{V}E$ 、 $\dot{V}O_2$ およびHR等の生理学的変化がRPEで表されるスコアと極めて類似的な変移をみせる (Noble et al., 1983) という実験結果に基づいている。近年になって、AT水準のRPEが運動の様式 (Boutcher et al., 1989; Hetzler et al., 1991)、性 (DeMello et al., 1987; Purvis et al., 1981)、年齢 (Allen et al., 1985)、トレーニングの有無 (DeMello et al., 1987; Hill et al., 1987) または強度 (Haskvitz et al., 1992) 等の影響をほとんど受けることなく、RPEで12~14の“ややきつい”に相当するとの報告が多くなされた (Allen et al., 1985; Boutcher et al., 1989; DeMello et al., 1987; Haskvitz et al., 1992; Hetzler et al., 1991; Hill et al., 1987; Purvis et al., 1981)。また、田中 (1995) や中垣内ら (1996) は、RPE13に相当する強度で12分間走や歩行をおこなわせたところ、12分間の走行・歩行距離と $\dot{V}O_{2AT}$ および $\dot{V}O_{2max}$ の間には強い相関関係が認められたことを述べている。これらのことから、BorgのRPEを自転車運動にも利用し、RPEとWを組み合わせることで $\dot{V}O_{2AT}$ や $\dot{V}O_{2max}$ を妥当基準とする全身持久性体力を推定することが可能と考えられる。

Eklblomら (1971) は、身体全体の疲労度は少なくとも2つの因子から構成されるという2因子モデル (two-factor model) を提唱した。2因子とは、central (chest) factorとlocal (legs) factorであり、前者は主として呼吸循環器系で感じるRPE (RPE-chest) を、後者は身体の末梢部分 (脚や腕の筋肉など) で感じるRPE (RPE-legs) を示すものとされている。RPE-chestとRPE-legsの表記に関しては、RPE-centralやRPE-localに比べてよりの確に2部位のRPEを表現し得る (Hetzler et al., 1991) という立場によるものである。これまで多くの研究結果から、RPE-chestとRPE-legsを規定する因子がさまざまに報告されている。RPE-chestを規定する因子としては、 $\dot{V}E$ やRfが認められており (Cafarell et al., 1976; Mihevic, 1981; Noble et al., 1983)、RPE-chestと $\dot{V}E$ やRfとの相関係数は $r = 0.61 \sim 0.94$ であることが報告されている。また、 $\dot{V}O_2$ および $\% \dot{V}O_{2max}$ とRPE-chest

との間にはそれぞれ $r = 0.76$, $r = 0.97$ の強い相関関係のあることが明らかとなっている (Robertson et al., 1997)。一方, RPE-legs に関しては, 血中乳酸濃度 (Edwards et al., 1972; Robertson et al., 1986), 脚部や関節の疲労 (Weiser et al., 1977), ベダリング回転数 (Lollgen et al., 1975) などが考えられている。若年男性の RPE-legs と血中乳酸濃度の単相関を検討した場合, $r = 0.77$ であったことが報告されている (Robertson et al., 1986)。特に, RPE-legs と血中乳酸濃度の関係は指数関数上にあることが知られており, RPE-legs スコアの累乗指数を $1.65 \sim 2.20$ ($y = ax^{1.65 \sim 2.20} + b$) に設定すると両者の値は理論的に近似することがわかっている (Robertson et al., 1997)。さらに, 呼吸循環器系の指標や血中乳酸濃度の変化が RPE-overall に対してどの程度影響を及ぼしているかを知るには RPE-chest と RPE-legs を測定すべきであるとの報告 (Pandolf et al., 1975) もなされている。このように, 全身持久性体力を推定する場合, RPE-overall のみならず RPE-chest と RPE-legs を測定することは推定精度を高める上で有用なことといえよう。

また, HR や RER に比べて, W と $\dot{V}O_2$ は極めて強い直線関係を示す ($r = 0.95$) (Latin et al., 1993) ことから, $\dot{V}O_{2AT}$ や $\dot{V}O_{2max}$ と強い相関関係を有する W を決定できれば, その W の値から $\dot{V}O_{2AT}$ と $\dot{V}O_{2max}$ を求めることができる。そこで, 表 4.2 に記したように W と $\dot{V}O_{2AT}$, W と $\dot{V}O_{2max}$ の相関関係を検討したところ, いくつかの項目で有意な相関係数が得られた。以上のことから, 推定式を作成する上で, 3種類の RPE に対応する W を重要な説明変数群として採択することの妥当性が認められるといえよう。

2. 推定式に採用された説明変数に関する考察

$\dot{V}O_{2AT}$ 推定式に採用された項目は, $W_{RPE-legs\ 14}$, 体重および体脂肪率であり, $\dot{V}O_{2max}$ 推定式には $W_{RPE-legs\ 15}$, 体重, 体脂肪率および年齢を採用した。全身持久性体力の指標ともいえる両推定式に W の項目として採用したものがすべて

RPE-legsに基づくものであることは非常に興味深いといえる。このことは、RPE-legsは血中乳酸濃度の変化と極めて強い対応関係があるというこれまでの研究結果（Edwards et al., 1972; Robertson et al., 1986）を支持するものであると考えられる。本研究の結果では、ATおよび $\dot{V}O_{2max}$ 発現時ともにRPE-legsが他の2つより有意に高いスコアを示した（図4.2）。これは、特に自転車運動中においては、RPE-legsの影響が強く現れやすいことを示唆するものであろう。また、年齢は $\dot{V}O_{2AT}$ 推定式には採用されず、 $\dot{V}O_{2max}$ 推定式にのみ採用された。 $\dot{V}O_{2max}$ は加齢とともに減少することはよく知られており（熊谷ら, 1997）、本研究においても年齢を説明変数に加えることでより高い精度での推定が可能となったと考えられる。 $\dot{V}O_{2AT}$ 推定式に年齢が採用されなかったのは、 $\dot{V}O_{2max}$ に対するほど強い貢献度を示すことがなく、年齢以上に被検者の生活・運動習慣を反映する体重や体脂肪率が強い影響力をもっていたためと推察される。ところで多くの場合、AT水準はRPEで15が記録される以前に出現すると考えられる。一方、 $\dot{V}O_{2max}$ はRPE 15以上で出現することがほとんどである。実際、本研究における全被検者の最大運動負荷テストの運動終了時RPEは16以上であった。よって、本研究のGCT_{submax}中には $\dot{V}O_{2max}$ は現れていなかったものと推測できる。最大下の運動から最大運動水準を推定する（SEE = 4.2 ml/kg/min）ときの方が、AT水準を推定する（SEE = 2.9 ml/kg/min）ときよりも大きなSEEを生じてしまう原因がここにあるといえる。仮に $\dot{V}O_{2max}$ との相関関係をRPE 15以下ではなく、16、17、18などに対応するWと検討すれば、相関関係はより強くなることが予想される。しかし、本法では安全性などの面からRPEスコア15以下で運動を終了するという立場をとっているため、本法で測定しうる上限値にほぼ相当する $W_{RPE-legs\ 15}$ が採用されたと考えられる。

また、体脂肪率は測定機器・方法・条件などによって容易に変動したり、BI法を用いた場合には、極度の痩せや筋肉量の多いスポーツ選手などでは過大・

過小推定されやすいことから体脂肪率を説明変数に加えない推定式の表示が必要と考えられる。そこで、表4.3と表4.4には体脂肪率を説明変数群から削除した推定式と各説明変数の貢献度を示した。推定精度は $\dot{V}O_{2AT}$ で $R = 0.869$ から $R = 0.855$ へ、 $\dot{V}O_{2max}$ では $R = 0.823$ から $R = 0.779$ へと両推定式ともにやや低下したが、依然として有意な重相関関係を有しており、体脂肪率を変数に含めなくても全身持久性体力をある程度正確に推定できる可能性が示唆されたことは本法の実用性をさらに向上させるものといえよう。

第5節 まとめ

本研究では，一般若年男性51名を対象として全身持久性体力評価のための GCT_{submax} を提案し，さらに，これより得られたデータに基づき $\dot{V}O_{2AT}$ および $\dot{V}O_{2max}$ 推定式を作成した．2つの推定式は W ，体重，体脂肪率および年齢を説明変数とするもので，各々を以下に示す．

$$\begin{aligned} \dot{V}O_{2AT}(\text{ml/kg/min}) &= 0.131W_{\text{RPE-legs 14}}(\text{watts}) \\ &\quad - 0.314 \text{ 体重}(\text{kg}) - 0.260 \text{ 体脂肪率}(\%) + 33.9 \\ &\quad (r = 0.869, \text{ SEE} = 2.9 \text{ ml/kg/min}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{V}O_{2max}(\text{ml/kg/min}) &= 0.095W_{\text{RPE-legs 15}}(\text{watts}) \\ &\quad - 0.332 \text{ 体重}(\text{kg}) - 0.565 \text{ 体脂肪率}(\%) - 0.720 \text{ 年齢}(\text{yr}) + 83.1 \\ &\quad (r = 0.823, \text{ SEE} = 4.2 \text{ ml/kg/min}) \end{aligned}$$

また，体脂肪率を説明変数に採用しない推定式は次に示すものであった．

$$\begin{aligned} \dot{V}O_{2AT}(\text{ml/kg/min}) &= 0.135W_{\text{RPE-legs 14}}(\text{watts}) - 0.377 \text{ 体重}(\text{kg}) + 32.8 \\ &\quad (r = 0.855, \text{ SEE} = 3.0 \text{ ml/kg/min}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{V}O_{2max}(\text{ml/kg/min}) &= 0.105W_{\text{RPE-legs 15}}(\text{watts}) - 0.470 \text{ 体重}(\text{kg}) - 0.710 \text{ 年齢}(\text{yr}) + 80.3 \\ &\quad (r = 0.779, \text{ SEE} = 4.6 \text{ ml/kg/min}) \end{aligned}$$