

第5章 最大下多段階漸増負荷サイクリングテストの成人への適用

—成人男性および成人女性用推定式の作成— (検討課題2)

第1節 目的

第4章（検討課題1）では、ヒトの全身持久性体力を推定するための GCT_{submax} を提案し、18-26歳の若年男性51名に適用した結果、本テストの妥当性が確認された。また、重回帰分析によって身体計測値を組み合わせることで、運動処方現場でも有用な若年男性用の全身持久性体力推定式を作成した。

ところで、全身持久性体力の評価は、現時点における健康度や生活習慣病の危険性を把握することができるだけでなく、将来においてさまざまな疾病への罹患を防ぐための強い動機づけにもなるという。すなわち、体力の低下が顕著となる中年期以降の者において、全身持久性体力を評価することは極めて重要といえる。そこで本章では、検討課題1のように被検者が若年男性の場合だけでなく、さらに対象年齢を拡げて、20歳から64歳までの健常な成人男性および女性とした場合にも GCT_{submax} に基づく全身持久性体力推定式の一般化が可能かどうかを検討することとした。本章の目的は、 $\dot{V}O_{2\text{max}}$ や $\dot{V}O_{2\text{AT}}$ と強い相関関係を有する W を重要な説明変数とし、その他に身体計測項目を説明変数群に加えることで男女別の $\dot{V}O_{2\text{max}}$ および $\dot{V}O_{2\text{AT}}$ 推定式を重回帰分析により導出するものである。

第2節 方法

A. 被検者

被検者は、特別な運動習慣のない20歳から64歳までの健常な成人男性83名および健常な成人女性86名の合計169名であった。被検者の身体的・生理学的特徴はTable 5.1に示した。すべての被検者は、医師によるメディカルチェックおよび心電図などの検査で「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。

B. 測定項目

$\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ 決定のための最大運動負荷テストをおこなった。また、最大運動負荷テストの実施前と GCT_{submax} 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法による身体組成の評価をおこなった。以上の項目の測定方法は、第3章、第2節に明記した。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。

C. GCT_{submax} と3種類のRPEの記録

第3章、第2節に明記した。

D. 統計処理

運動中、 W (watt) と $\dot{V}O_2$ の絶対値 (ml/min) は理論的に比例関係にある。ゆえに、体重1 kgあたりの $\dot{V}O_2$ (ml/kg/min) は、その時点の W を体重 (Wt) で除した値 (W/Wt , watt/kg) とやはり比例関係を有することが予測できる。そこで、本研究では、最大運動負荷テストで決定された実測 $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ と、 GCT_{submax} 中に3種類のRPE (RPE-overall, RPE-chest, RPE-legs) おのおのについて7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15以上が初めて記録された時点の W (例えば、 $W_{RPE-overall\ 14}$ は、「初めてRPE-overallのスコア14以上が記録された時点の仕事率」と定義する) を Wt で除した値 ($W_{RPE-overall\ x}/Wt$, $W_{RPE-chest\ x}/Wt$, $W_{RPE-legs\ x}/Wt$; $x=7-15$) との相関関係をみるためにピアソンの積率相関係数を算出した。

同様に，実測 $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ と身体計測項目との相関係数も算出した． $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ 推定式の基準変数として，最大運動負荷テストで決定された実測 $\dot{V}O_{2max}$ と $\dot{V}O_{2AT}$ を，説明変数には実測 $\dot{V}O_{2max}$ または $\dot{V}O_{2AT}$ と有意な相関関係を示したW/Wi項目および身体計測項目を採用した．以上の各変数を利用することによって重回帰分析を施し，各説明変数に対応する回帰係数，切片，重相関係数および標準推定誤差を算出した．統計的有意水準は5%とした．

Table 5.1 Physical and physiological characteristics of the subjects (n = 169)

| variable | 20 ~ 29yr | 30 ~ 39yr | 40 ~ 49yr | 50 ~ 59yr | 60 ~ 64yr | all |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Male | n = 20 | n = 17 | n = 20 | n = 20 | n = 6 | n = 83 |
| Age, yr | 23.0 ± 2.4 | 34.1 ± 2.8 | 44.7 ± 2.8 | 55.0 ± 2.7 | 62.7 ± 1.5 | 41.1 ± 13.5 |
| Height, cm | 170.8 ± 4.5 | 170.6 ± 4.0 | 168.0 ± 4.1 | 166.1 ± 6.4 | 165.0 ± 7.2 | 168.5 ± 5.4 |
| Weight, kg | 68.8 ± 9.3 | 67.4 ± 8.8 | 65.1 ± 4.7 | 67.0 ± 10.4 | 64.2 ± 11.6 | 66.9 ± 8.7 |
| %Fat, % | 20.2 ± 3.9 | 21.8 ± 5.3 | 21.5 ± 4.8 | 23.6 ± 5.0 | 22.8 ± 5.9 | 21.9 ± 4.9 |
| VO _{2max} , ml/kg/min | 43.7 ± 3.8 | 38.9 ± 5.1 | 35.9 ± 4.9 | 32.4 ± 5.8 | 30.7 ± 6.1 | 37.2 ± 6.4 |
| VO _{2AT} , ml/kg/min | 23.9 ± 4.5 | 21.3 ± 4.1 | 20.6 ± 4.3 | 17.5 ± 4.3 | 16.1 ± 2.9 | 20.5 ± 4.7 |
| HR _{max} , beats/min | 187.0 ± 10.5 | 176.3 ± 11.5 | 166.4 ± 14.1 | 159.0 ± 14.2 | 149.2 ± 21.3 | 170.3 ± 17.7 |
| HR _{AT} , beats/min | 135.3 ± 17.4 | 127.7 ± 11.5 | 121.4 ± 12.8 | 118.0 ± 12.6 | 112.2 ± 16.3 | 124.6 ± 15.5 |
| Female | n = 21 | n = 18 | n = 20 | n = 21 | n = 6 | n = 86 |
| Age, yr | 22.7 ± 2.0 | 34.6 ± 2.7 | 46.7 ± 2.2 | 54.0 ± 2.3 | 63.0 ± 1.1 | 41.5 ± 13.5 |
| Height, cm | 159.1 ± 4.9 | 159.5 ± 6.2 | 158.5 ± 5.8 | 154.5 ± 4.1 | 155.9 ± 1.4 | 157.5 ± 5.4 |
| Weight, kg | 52.7 ± 4.2 | 58.7 ± 9.3 | 59.1 ± 7.4 | 57.2 ± 7.9 | 57.6 ± 4.4 | 57.1 ± 7.6 |
| %Fat, % | 24.7 ± 3.3 | 26.9 ± 4.0 | 28.9 ± 2.9 | 28.8 ± 4.7 | 31.9 ± 4.8 | 27.7 ± 4.5 |
| VO _{2max} , ml/kg/min | 39.9 ± 6.7 | 33.6 ± 6.1 | 29.5 ± 3.6 | 27.0 ± 6.4 | 25.0 ± 5.9 | 32.7 ± 7.3 |
| VO _{2AT} , ml/kg/min | 20.1 ± 4.5 | 18.5 ± 4.0 | 16.4 ± 2.8 | 15.8 ± 4.2 | 15.1 ± 2.6 | 17.8 ± 4.1 |
| HR _{max} , beats/min | 182.1 ± 8.9 | 172.1 ± 14.2 | 167.8 ± 9.9 | 160.2 ± 25.2 | 154.0 ± 8.7 | 166.2 ± 19.1 |
| HR _{AT} , beats/min | 134.3 ± 18.3 | 125.3 ± 11.2 | 120.2 ± 9.5 | 110.5 ± 14.0 | 115.0 ± 12.2 | 120.0 ± 16.1 |

第3節 結果

A. 被検者の身体的・生理学的特徴

Table 5.1 に示したように、身長、体重、最高HR (HR_{max}) およびAT時HR (HR_{AT}) は各年齢群ともに標準的な値であった。男性の体脂肪率の平均値±標準偏差は $21.9 \pm 4.9\%$ 、女性では $27.7 \pm 4.5\%$ と小宮たち (1986) の作成した日本人男女の標準体モデル (男性が 27.5% 、女性が 33.5%) よりやや低い値であった。また、 $\dot{V}O_{2max}$ に関して小林 (1982) が作成した評価表と比較した場合、男性は各年齢群ともにAverage (5段階評価の3) に相当し、女性ではAverageまたはGood (5段階評価の3または4) と評価された。

B. 成人男性および女性のデータに基づく推定式

Table 5.2 のように、男性におけるW/Wt項目と $\dot{V}O_{2max}$ との相関係数はoverall, chest, legsのいずれでもRPE8~15で有意であった ($r = 0.329-0.701$)。同様に、 $\dot{V}O_{2AT}$ でもRPE8-15で有意となった ($r = 0.372-0.769$)。女性では、男性と同様の結果に加えて、 $W_{RPE1-leg57}/Wt$ も $\dot{V}O_{2max}$ と有意な相関関係にあり、相関係数は $\dot{V}O_{2max}$ で $r = 0.267-0.773$ 、 $\dot{V}O_{2AT}$ では $r = 0.414-0.703$ であった。また、身体計測項目と $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ との相関係数をTable 5.3 に示した。女性の身長を除くすべてで有意な相関関係が得られた (r の絶対値 = $0.262-0.638$)。

Table 5.2 Correlation coefficients between $\dot{V}O_{2max}$ or $\dot{V}O_{2AT}$ and work rate (W) at which RPEs (overall, chest and legs) of 7 to 15 were first recorded

| | Male | | | | | | Female | | | | | |
|--------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | W-overall/Wt vs. | | W-chest/Wt vs. | | W-legs/Wt vs. | | W-overall/Wt vs. | | W-chest/Wt vs. | | W-legs/Wt vs. | |
| | $\dot{V}O_{2max}$ | $\dot{V}O_{2AT}$ | $\dot{V}O_{2max}$ | $\dot{V}O_{2AT}$ | $\dot{V}O_{2max}$ | $\dot{V}O_{2AT}$ | $\dot{V}O_{2max}$ | $\dot{V}O_{2AT}$ | $\dot{V}O_{2max}$ | $\dot{V}O_{2AT}$ | $\dot{V}O_{2max}$ | $\dot{V}O_{2AT}$ |
| RPE 7 | 0.126 | 0.080 | 0.157 | 0.070 | 0.161 | 0.141 | 0.133 | 0.144 | 0.110 | 0.009 | 0.267 * | 0.162 |
| RPE 8 | 0.379 * | 0.435 * | 0.348 * | 0.372 * | 0.329 * | 0.417 * | 0.464 * | 0.493 * | 0.456 * | 0.441 * | 0.457 * | 0.414 * |
| RPE 9 | 0.446 * | 0.486 * | 0.466 * | 0.473 * | 0.436 * | 0.477 * | 0.483 * | 0.485 * | 0.465 * | 0.457 * | 0.489 * | 0.483 * |
| RPE 10 | 0.494 * | 0.531 * | 0.469 * | 0.487 * | 0.533 * | 0.553 * | 0.505 * | 0.486 * | 0.509 * | 0.492 * | 0.525 * | 0.483 * |
| RPE 11 | 0.540 * | 0.573 * | 0.508 * | 0.515 * | 0.572 * | 0.595 * | 0.533 * | 0.511 * | 0.531 * | 0.515 * | 0.512 * | 0.470 * |
| RPE 12 | 0.549 * | 0.584 * | 0.475 * | 0.508 * | 0.571 * | 0.621 * | 0.602 * | 0.609 * | 0.658 * | 0.600 * | 0.595 * | 0.580 * |
| RPE 13 | 0.611 * | 0.666 * | 0.568 * | 0.648 * | 0.681 * | 0.713 * | 0.686 * | 0.603 * | 0.628 * | 0.536 * | 0.654 * | 0.580 * |
| RPE 14 | 0.602 * | 0.638 * | 0.633 * | 0.670 * | 0.675 * | 0.769 * | 0.736 * | 0.656 * | 0.743 * | 0.643 * | 0.708 * | 0.661 * |
| RPE 15 | 0.641 * | 0.740 * | 0.701 * | 0.734 * | 0.669 * | 0.699 * | 0.773 * | 0.697 * | 0.759 * | 0.703 * | 0.718 * | 0.642 * |

*P < 0.05

Table 5.3 Correlation coefficients between $\dot{V}O_{2\max}$ or $\dot{V}O_{2AT}$ and physical measurements.

| | Male | | Female | |
|--------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|
| | $\dot{V}O_{2\max}$ | $\dot{V}O_{2AT}$ | $\dot{V}O_{2\max}$ | $\dot{V}O_{2AT}$ |
| %Fat | -0.504* | -0.474* | -0.587* | -0.415* |
| Age | -0.638* | -0.434* | -0.619* | -0.376* |
| Height | 0.305* | 0.262* | 0.143 | 0.142 |

* $P < 0.05$

測定データから導かれた説明変数に対する回帰係数，切片，重相関係数および標準推定誤差をTable 5.4 に，実測値と推定値の関係をFig. 5.1 に示した．Table 5.4 には男女ごと， $\dot{V}O_{2\max}$ ・ $\dot{V}O_{2AT}$ ごと，さらにRPE-overall, chest, legsの各々について身体計測項目を順次，説明変数に加えていく方法で推定式モデルを提示した．Table 5.4 から与えられる推定式は $\dot{V}O_{2\max}$ ・ $\dot{V}O_{2AT}$ 合わせて36種類である．これらの推定式の中でもっとも優れた推定精度を有したのは，男性の $\dot{V}O_{2\max}$ では $W_{RPE-legs\ 15}/Wt$ ，年齢，体脂肪率を説明変数として採用したものであり， $\dot{V}O_{2AT}$ では， $W_{RPE-legs\ 14}/Wt$ ，年齢，体脂肪率であった．一方，女性では $\dot{V}O_{2\max}$ ・ $\dot{V}O_{2AT}$ の順にそれぞれ， $W_{RPE-legs\ 15}/Wt$ ，年齢，体脂肪率と $W_{RPE-chest\ 15}/Wt$ ，年齢，体脂肪率の組み合わせであった．なお，Fig. 5.1 中の推定値はこれらの推定式から求めた値を利用した．

Table 5.4 Regression coefficients, intercepts, multiple correlations and standard errors of estimate for independent variables on subjects with VO_{2max} and VO_{2AT} as dependent variables

| | Male | | | | | | Female | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------------|-------|-------|-----------|-------|------|-------------------------|-------|-------|-----------|-------|------|
| | Regression coefficient | | | | | | Regression coefficient | | | | | |
| | WRPE-overalls/Wt | Age | %Fat | Intercept | R | SEE | WRPE-overalls/Wt | Age | %Fat | Intercept | R | SEE |
| VO _{2max} (ml/kg/min) | 8.99 | | | 19.46 | 0.641 | 4.98 | 9.99 | | | 13.61 | 0.773 | 4.65 |
| | 6.89 | -0.23 | | 33.17 | 0.791 | 4.00 | 8.06 | -0.14 | | 23.04 | 0.801 | 4.42 |
| | 5.67 | -0.22 | -0.25 | 40.69 | 0.808 | 3.87 | 6.98 | -0.11 | -0.40 | 34.88 | 0.827 | 4.17 |
| | <u>WRPE-chest15/Wt</u> | | | | | | <u>WRPE-chest15/Wt</u> | | | | | |
| | 10.39 | | | 16.26 | 0.701 | 4.63 | 10.43 | | | 12.75 | 0.759 | 4.77 |
| | 7.86 | -0.20 | | 29.72 | 0.802 | 3.90 | 8.26 | -0.15 | | 23.26 | 0.795 | 4.48 |
| | 6.61 | -0.20 | -0.25 | 37.40 | 0.818 | 3.78 | 7.25 | -0.11 | -0.44 | 35.54 | 0.826 | 4.18 |
| | <u>WRPE-legs15/Wt</u> | | | | | | <u>WRPE-legs15/Wt</u> | | | | | |
| | 10.07 | | | 19.08 | 0.669 | 4.82 | 10.56 | | | 13.87 | 0.748 | 4.86 |
| 7.53 | -0.22 | | 32.50 | 0.789 | 4.01 | 8.24 | -0.17 | | 24.94 | 0.794 | 4.49 | |
| 6.57 | -0.19 | -0.36 | 41.29 | 0.830 | 3.66 | 7.30 | -0.12 | -0.46 | 37.32 | 0.828 | 4.16 | |
| VO _{2AT} (ml/kg/min) | <u>WRPE-overalls/Wt</u> | | | | | | <u>WRPE-overalls/Wt</u> | | | | | |
| | 7.55 | | | 5.66 | 0.740 | 3.17 | 5.04 | | | 8.11 | 0.697 | 2.95 |
| | 6.83 | -0.08 | | 10.31 | 0.771 | 3.02 | 5.23 | -0.01 | | 7.20 | 0.698 | 2.96 |
| | 6.27 | -0.07 | -0.12 | 13.78 | 0.778 | 3.00 | 4.93 | 0.02 | -0.11 | 10.52 | 0.706 | 2.95 |
| | <u>WRPE-chest15/Wt</u> | | | | | | <u>WRPE-chest15/Wt</u> | | | | | |
| | 7.92 | | | 4.60 | 0.734 | 3.20 | 5.45 | | | 7.33 | 0.703 | 2.93 |
| | 7.11 | -0.06 | | 8.42 | 0.750 | 3.14 | 5.55 | 0.01 | | 6.81 | 0.704 | 2.95 |
| | 6.49 | -0.06 | -0.19 | 12.75 | 0.760 | 3.10 | 5.23 | 0.02 | -0.14 | 10.69 | 0.715 | 2.92 |
| | <u>WRPE-legs15/Wt</u> | | | | | | <u>WRPE-legs15/Wt</u> | | | | | |
| | 8.85 | | | 5.85 | 0.761 | 3.06 | 5.70 | | | 8.40 | 0.661 | 3.10 |
| | 8.07 | -0.07 | | 10.07 | 0.785 | 2.94 | 5.39 | -0.02 | | 9.84 | 0.664 | 3.10 |
| | 7.35 | -0.06 | -0.23 | 15.62 | 0.815 | 2.77 | 5.03 | -0.01 | -0.16 | 14.15 | 0.680 | 3.06 |

R: multiple r

SEE: standard error of estimate

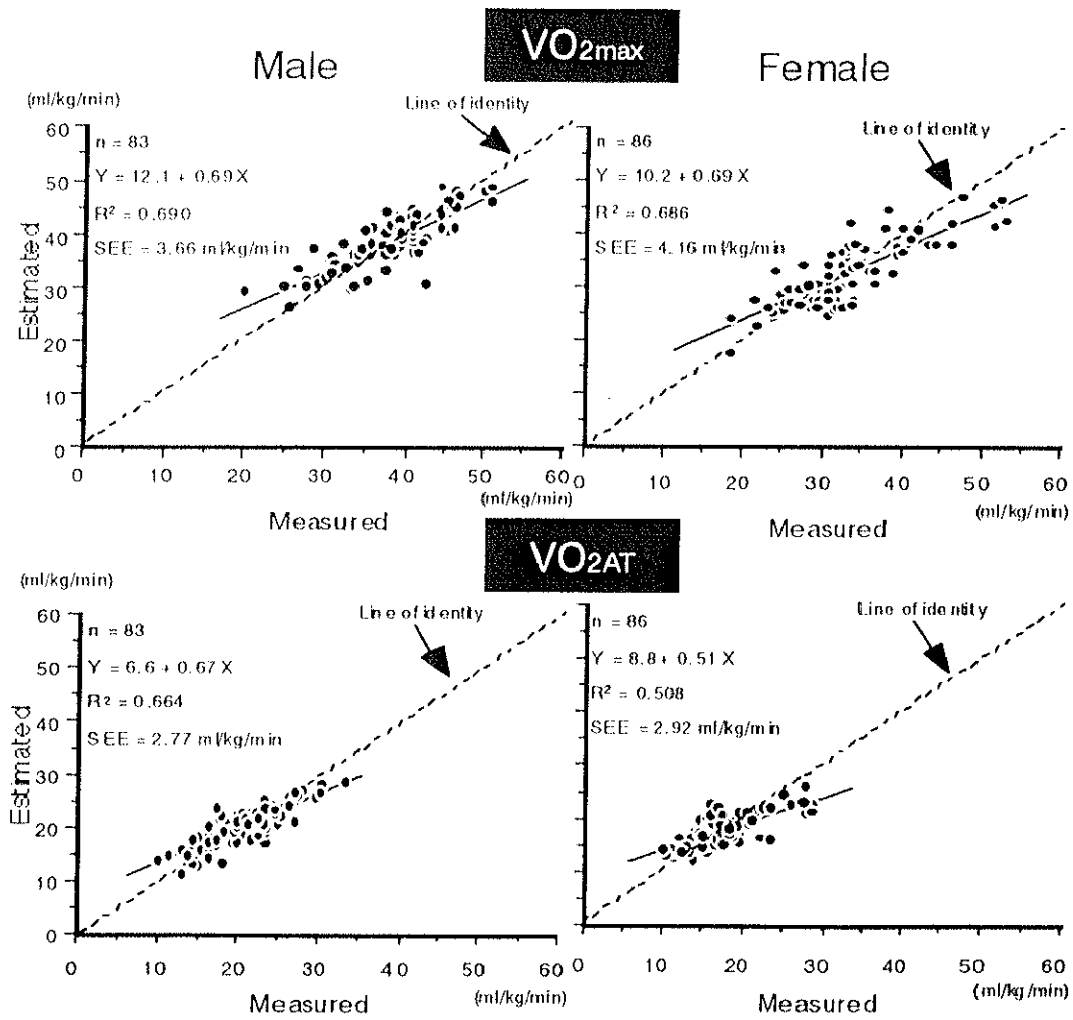


Figure 5.1 Relationship between actual and newly estimated VO_{2max} and VO_{2AT}

第4節 考察

A. 成人男性および女性のデータに基づく新たな推定式

RPEを利用することでヒトの全身持久性体力を正確に推定することのできる理論的根拠は第4章（検討課題1）において詳細に述べたため、本節ではその概略に触れておくこととする。漸増負荷運動中に呼気ガス分析にて決定されたATは運動様式・性・年齢・運動習慣・体力水準等にかかわらずRPEで12-14、平均的には13の“ややきつい”に対応する（Allen et al., 1985; Boucher 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、RPEスコア（6~20）と $\dot{V}O_{2max}$ の相対値（ $\% \dot{V}O_{2max}$ ）との間に強い対応関係のあることも明らかになっており（小野寺ら, 1976）、これらの報告を総合した結果、RPEを利用すればATやmaximal水準を最大下の運動から予測することが可能になると考えられた。さらに本研究では、RPE-overallはcentral (chest) factorとlocal (legs) factorの少なくとも2つの因子から構成されているというEkblom et al. (1971) の提唱する2因子モデルに基づき、推定精度を高めることを目的としてRPE-overall, RPE-chest, RPE-legsを推定式の説明変数に採用した。

Table 5.4 から与えられた推定式の数は男性用と女性用、 $\dot{V}O_{2max}$ 推定式と $\dot{V}O_{2AT}$ 推定式を合わせて36通りであった。36通りの推定式が提示されたのは、3つのRPE (overall, chest, legs) すべてについて、もっとも推定精度の高い推定式となるよう身体計測項目 (Table 5.3) を説明変数に順次加えていく変数増加法のスタイルを取り入れたためである。これは、Table 5.4 のような推定式の提示方法なら、運動処方などの現場において計測可能な項目を含む推定式をその場の状況に応じて使い分けることができる、との考えに基づくものである。以下に、実際の現場に即した推定式の利用方法を記した。女性用の $\dot{V}O_{2AT}$ 推定式では $W_{RPE-chest\ 15}/W_i$ を第一説明変数に採用した推定式がもっとも高い精度を有してい

る。しかし、運動に慣れていない者やRPEの概念を十分に理解していない者にとって呼吸（chest）の感覚を即座に数値化したり言語化することは困難となる可能性がある。そこで、多少精度が低下しても認識の容易さや3種類のRPEを答えなければならない煩雑さを避けるためにRPE-overallのみ、もしくはRPE-legsのみの記録でも全身持久性体力の推定が可能となるよう提示方法を配慮している。また、身体計測値（体脂肪率・年齢・身長）については、女性の身長を除くすべてにおいて $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ と有意な相関関係が得られた（Table 5.3）。男性では身長も有意な相関関係であったが、係数が小さいことと全身持久性体力と身長の関係は必ずしも明確に説明しきれないなどの理由から、本論文では身長を推定式の説明変数に含めないこととした。加えて、体脂肪率を利用した推定法は、現在の状況では未だ簡便で実用性に優れるとは言い難いことから、体脂肪率を利用することなく推定が可能となるよう、併せて推定式の提示方法（Table 5.4）は考慮されている。

Fig. 5.1では、本章で作成された推定式による推定値と実測値との関係を示した。ここで採用された推定式は、Table 5.4より与えられる中でもっとも優れた精度を有した推定式とした。男性の $\dot{V}O_{2max}$ と $\dot{V}O_{2AT}$ の回帰方程式はそれぞれ $Y = 12.1 + 0.69X$ と $Y = 6.6 + 0.67X$ であり、女性はそれぞれ $Y = 10.2 + 0.69X$ と $Y = 8.8 + 0.51X$ であった（ただし、Xは実測値、Yは推定値を表す）。これらの方程式の傾きと切片の関係からもわかるように、全身持久性体力の劣る者では過大推定され、優れる者では過小推定される恐れがある。過大および過小推定の限度を $\dot{V}O_2$ で3 ml/kg/min以内と仮定して、その範囲を各々の回帰方程式から算出すると、男性の $\dot{V}O_{2max}$ と $\dot{V}O_{2AT}$ では順に29.4-48.7 ml/kg/minと10.9-29.1 ml/kg/minとなり、女性では23.2-42.6 ml/kg/minと11.8-24.1 ml/kg/minであった。この範囲内であれば3 ml/kg/min以上過大および過小推定される可能性が低いと考えられる。小林（1982）が作成した評価表によると、男女とも20～60歳の

$\dot{V}O_{2max}$ の平均値がこの範囲内に収まっていることから、一般的な全身持久性体力を有する者の多くは本法によって妥当に推定されるといえよう。

第5節 まとめ

本章では、検討課題1のように被検者が若年男性の場合だけでなく、20歳から64歳までの健常な成人男性および成人女性にも GCT_{submax} に基づく全身持久性体力推定式の一般化が可能かどうかを検討することであった。運動処方などの現場で有益かつ実用的な成人男性および成人女性用の全身持久性体力推定式の作成を目的としたことから、男女別かつ $\dot{V}O_{2max}$ ・ $\dot{V}O_{2AT}$ ごとに36通りの推定式が導出できた (Table 5.4)。これは、Table 5.4のような推定式の提示方法なら、運動処方などの現場において計測可能な項目を含む推定式をその場の状況に応じて使い分けることができる、との考えに基づくものであった。