

第9章 縦断的データに基づく推定式の有効性の検討

(検討課題6)

第1節 目的

本博士論文では、人の自覚を利用することで全身持久性体力を代表する $\dot{V}O_{2max}$ を推定できるとの仮説に基づき、BorgのRPE判定表(Borg, 1973)を用いた簡便な $\dot{V}O_{2max}$ の推定法を開発し(検討課題1)、一般健常者(男女)(検討課題2)および肥満女性(検討課題5)に対する適用の妥当性および有用性を確認した。しかし、これらの検討は横断的なものであり、体重減少や身体組成(体脂肪率)の変化は考慮されていなかった。そこで本章の目的は、 $GCT_{suitmax}$ に基づく推定式によって算出された肥満者の推定 $\dot{V}O_{2max}$ (predicted $\dot{V}O_{2max}$: $P\dot{V}O_{2max}$)は、減量プログラムの実施に伴う実測値の $\dot{V}O_{2max}$ (measured $\dot{V}O_{2max}$: $M\dot{V}O_{2max}$)の変動を鋭敏に反映することが可能であるとの仮説を検証することにした。検証にあたっては、相関係数や有意差検定といった $P\dot{V}O_{2max}$ と $M\dot{V}O_{2max}$ の対応関係の検討だけでなく、体重の減少や体脂肪率の低下に対する $\dot{V}O_{2max}$ の特異的な変化に焦点を当てることで、より詳細な検討を目指した。本検討課題の成果は、運動処方現場において減量した肥満女性の前後の全身持久性体力を評価する際に、有益な情報となることが期待される。

第2節 方法

A. 被検者

被検者は、全員が日常生活において特別な運動習慣をもたない肥満および肥満傾向女性41名（平均年齢±標準偏差は49±7歳）であり、その内訳は肥満傾向者17名、軽度肥満者19名、中程度肥満者5名であった。これらの被検者全員が継続的な運動の実施と食事制限をおこなう14週間の減量プログラムに参加した。なお、本研究における肥満傾向、軽度肥満、中程度肥満は生体電気抵抗（bioelectrical impedance: BI）法（Tanaka et al., 1992）による体脂肪率で、それぞれ、25%以上30%未満、30%以上35%未満、35%以上と定義した。体脂肪率の測定にはSekisui製のBI計（Bio impedance SS-103）を使用した。減量プログラム前後の身体的特徴はTable 9.1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。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、研究参加への承諾を得た。

Table 9.1 Physical characteristics of the subjects before and after the 14-wk supervised weight reduction program.

	Pre		Post	
	Mean ± SD	Range	Mean ± SD	Range
Chronological age, yr		49 ± 7		
Height, cm	156.1 ± 5.4	145.5 - 165.5	156.2 ± 5.4	146.1 - 166.0
Weight, kg	62.2 ± 6.9	49.0 - 77.3	56.0 ± 6.5 *	45.0 - 69.8
Percent body fat, %	30.8 ± 3.5	25.0 - 39.5	27.9 ± 3.3 *	22.6 - 37.8

* $P < 0.05$

B. 測定項目

体重、体脂肪率、 $\dot{V}O_{2max}$ の測定方法の詳細は第3章、第2節に明記した。

C. $\dot{V}O_{2max}$ の推定

$\dot{V}O_{2max}$ の推定には、前章で新たに作成された以下の推定式を使用した。

$$\dot{V}O_{2max} \text{ (ml/kg/min)} = 6.65W_{RPE-legs 15}/Wt - 0.13Age - 0.35\%Fat + 35.43$$

但し、「Wt」は体重、「Age」は年齢、そして「%Fat」は体脂肪率を表している。

D. 減量プログラムの内容

本検討課題では、食事制限に加えて規則的な運動を継続することで各被検者の健康的な減量を目的とした。実施された食事指導および運動指導内容を以下に記した。

1. 食事指導内容

1日の平均摂取熱量を20~25 kcal/kg（1食当たり約300~600 kcal）、蛋白質1.0~1.5 g/kg、糖質熱量比50~60%を目標とするよう、また魚・鶏肉・緑黄色野菜・きのこ・海草・水分などの多用によって蛋白質・ビタミン・ミネラル・鉄・食物繊維などの不足を招かないよう熟練した管理栄養士が指導した。主要栄養素の摂取量については、タンパク質は体タンパク質の崩壊を招かないことを、糖質はケトシスを招かないことや脳・神経系および赤血球などに対するエネルギー源になることを、脂質は必要最小限でよいことを考慮しながら説明した。さらに、食事の内容や摂食パターンについては、各自のライフスタイルに合わせて組み立てるよう指導し、基本的に欠食や早食いを避け、夕食の量を抑えることの意義を解説した。これらの指導は、毎週1回、運動指導前におこなった。

2. 運動指導内容

提供した運動内容は、主に有酸素性運動を中心とした2種類の運動である。一方は、40-50分間のローインパクト主体の全身運動となるベンチステップエクササイズ (Hayakawa et al., 1996)、他方は、47分間の有酸素性運動と油圧抵抗を用いたレジスタンス運動を交互におこなうペース (progressive aerobic circuit exercise: PACE) トレーニング (田中ら, 1998) であった。全身持久性体力の向上を主たる目的としたステップエクササイズを週2回、また、全身の筋量維持・増大もしくは筋力や筋持久力の向上を主たる目的としたPACEトレーニングは週1回実施された。これら2つの主運動の前後には、ウォーミングアップやクーリングダウンとして5-10分間の徒手体操、柔軟性運動またはストレッチなどが指導された。運動中の強度は、筋細胞内で顕著な代謝性アシドーシスを生起させないこと、全身持久性体力の向上と血清脂質の改善を図ることを目的として、LT水準付近を保つよう指示した。実際には、RPE12-14またはLT水準のHRを保つよう指導し、運動プログラムによる1回の消費エネルギーは約240-300 kcalと推測された。運動指導中は随時RPEやHRの測定および確認をおこない、また、数回に分けて $\dot{V}O_2$ を測定することで安全性の高い個別処方に努めた。

E. 統計処理

各検査項目について平均値と標準偏差を求めた。減量プログラム開始前と終了時の平均値の差の検定は対応ある t -testによりおこなった。各項目間の関係を検討するために、ピアソンの積率相関係数 (r) を使用した。また、 $P\dot{V}O_{2max}$ の推定精度は、推定標準誤差 (SEE; $SD\sqrt{(1-r^2)}$) および推定標準誤差率 (%SEE; $SEE/mean \cdot 100$)、total error ($E; \sqrt{\sum(y-y')^2/N}$) および誤差率 (%E; $E/M\dot{V}O_{2max} \cdot 100$) から検討した。 $M\dot{V}O_{2max}$ と $P\dot{V}O_{2max}$ の平均値間に差があるか否かについては対応ある t 検定を実施した。統計的有意水準は5%未満 ($P < 0.05$) とした。

第3節 結果

A. $\dot{V}O_{2max}$ の実測値と推定値の比較

Table 9.2に示したように、 $M\dot{V}O_{2max}$ と $P\dot{V}O_{2max}$ の平均値の差（mean difference: MD）は、0.56 ml/kg/min（pre）と0.25 ml/kg/min（post）でいずれも有意差はみられなかった。SEEおよび%SEEは、第8章の肥満女性に対する検討の結果（3.01 ml/kg/minと10.8%）と比べてpre（3.02 ml/kg/min, 10.9%）、post（3.57 ml/kg/min, 11.0%）ともに同程度の値を示した。Eは3.02 ml/kg/min（pre）と3.57 ml/kg/min（post）、また%Eは11.5%と10.8%であった。実測値と推定値間の相関関係はいずれも統計的に有意であった（Figure 9.1）。

B. 減量プログラムの実施に伴う各項目の変化量の比較

Figure 9.2では、減量プログラム実施に伴う $M\dot{V}O_{2max}$ の変化量（ $\Delta M\dot{V}O_{2max}$ ）と $P\dot{V}O_{2max}$ の変化量（ $\Delta P\dot{V}O_{2max}$ ）の関係を示した。Panel aでは、1分間あたりの $\dot{V}O_{2max}$ （ml/min）を、panel bでは1分間あたりの $\dot{V}O_{2max}$ を体重で割った（ml/kg/min）値を表している。なお、1分間あたりの $P\dot{V}O_{2max}$ は推定値（単位はml/kg/min）に体重をかけることで求めた。Panel aとbのいずれにおいても両者の間には有意な相関関係（ $r = 0.47$, $r = 0.39$ ）がみられた。Figure 9.3では、 $W_{RPE-legs 15}$ の変化量（ $\Delta W_{RPE-legs 15}$ ）に対する $\Delta M\dot{V}O_{2max}$ （panel a）と $\Delta P\dot{V}O_{2max}$ （panel b）の関係を示した。 $\Delta W_{RPE-legs 15}$ に対する相関係数は、 $\Delta M\dot{V}O_{2max}$ （ $r = 0.46$ ）と $\Delta P\dot{V}O_{2max}$ （ $r = 0.88$ ）ともに有意であった。一方、Figure 9.4のように、体重の変化量（ $\Delta Weight$ ）は、 $\Delta M\dot{V}O_{2max}$ （ $r = -0.01$ ）と $\Delta P\dot{V}O_{2max}$ （ $r = 0.14$ ）のいずれとも有意な相関関係を示さなかった。体脂肪率（ $\Delta \%fat$ ）は、 $\Delta M\dot{V}O_{2max}$ （ $r = -0.15$ ）とは無相関であったが、 $\Delta P\dot{V}O_{2max}$ （ $r = -0.43$ ）と有意な相関関係にあった（Figure 9.5）。

Table 9.2 Comparison of difference, SEE, %SEE, E and %E between measured and predicted VO_{2max}.

	Pre	Post
Measured VO _{2max} (ml/kg/min)	27.60 ± 3.94	32.31 ± 5.09
Predicted VO _{2max} (ml/kg/min)	28.16 ± 3.59	32.56 ± 3.76
Difference (ml/kg/min)	0.56	0.25
SEE (ml/kg/min)	3.02	3.57
Percent SEE, %	10.9	11.0
E (ml/kg/min)	3.17	3.48
Percent E, %	11.5	10.8

SEE: standard error of estimate

E: total error

Difference: (predicted VO_{2max}) - (measured VO_{2max})

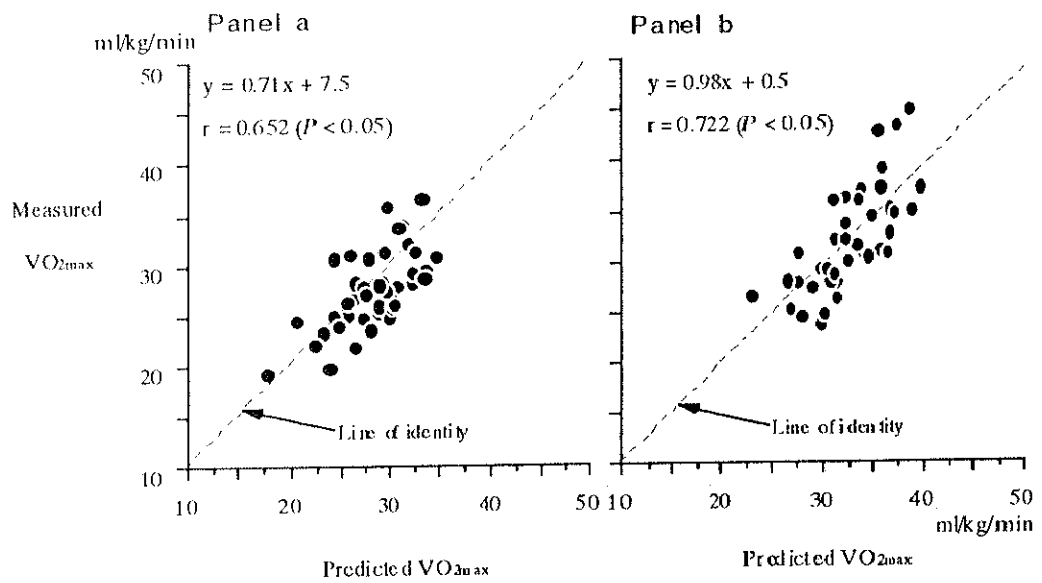


Figure 9.1 Relationships between measured and predicted VO_{2max} before (panel a) and after (panel b) the 14-wk supervised weight reduction program.

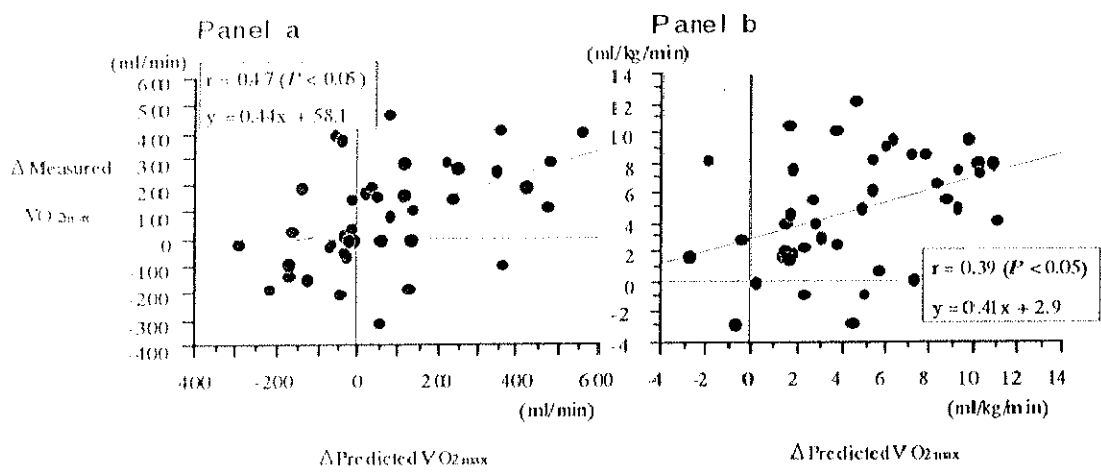


Figure 9.2 Relationships of delta predicted $\text{VO}_{2\text{max}}$ with delta measured $\text{VO}_{2\text{max}}$.
Note: the unit of measurement in panels a and b are milliliters per minute and milliliters per kilogram of body weight per minute, respectively.

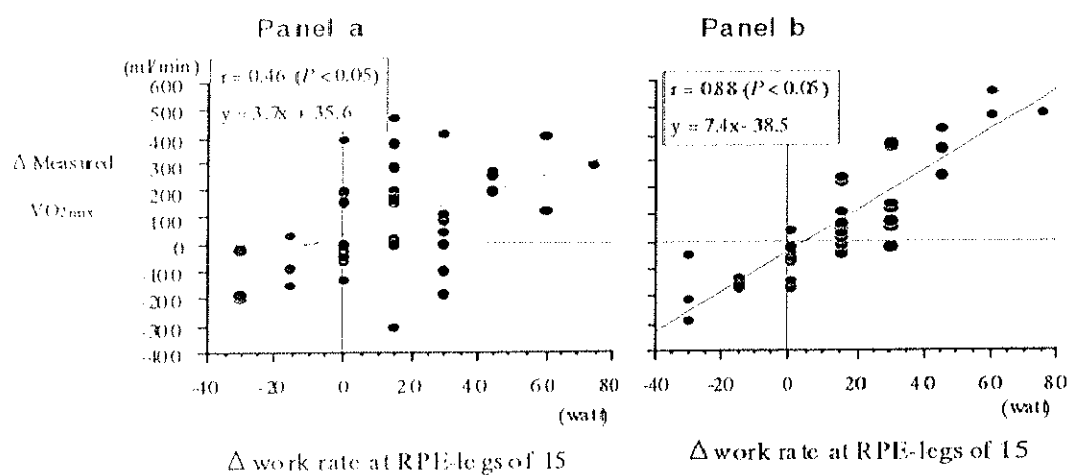


Figure 9.3 Relationships of delta work rate at RPE-legs of 15 with delta measured VO_{2max} (panel a) and delta predicted VO_{2max} (panel b) after the 14-wk weight reduction program.

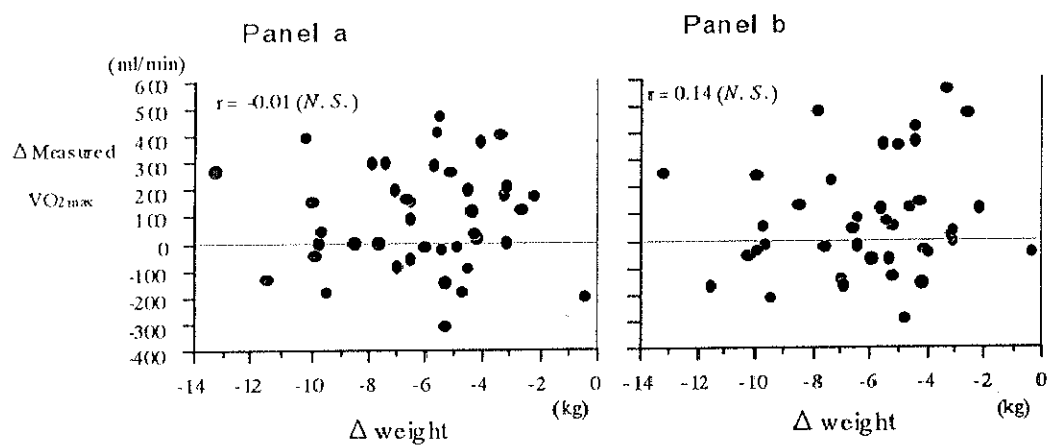


Figure 9.4 Relationships of delta weight with delta measured VO_{2max} (panel a) and delta predicted VO_{2max} (panel b) after the 14-wk weight reduction program.

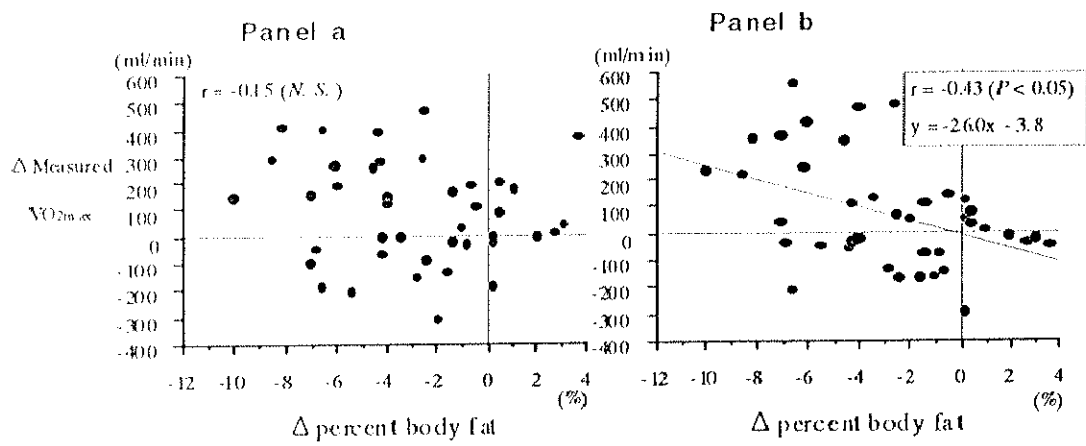


Figure 9.5. Relationships of delta percent body fat with delta measured VO_{2max} (panel a) and delta predicted VO_{2max} (panel b) after the 14-wk weight reduction program.

第4節 考察

脂肪の過剰蓄積状態である肥満は、摂取エネルギー量が消費エネルギー量を過剰に上回るというエネルギー需給の不均衡を成因としている（肥満学会，1997）。具体的には、日常生活における身体活動量の低下，または食事の過剰摂取を反映する。肥満者は、自重を支えて運動することの困難さから，さらに身体活動量が低下するという悪循環に陥りやすい。このような悪循環を打破するために，多くの病院施設やスポーツクラブなどで減量プログラムが処方されている。従来より，食事療法による減量プログラムが一般になされてきたが，脂肪組織の減少と同時に生体に必要な除脂肪組織（筋肉組織，骨塩量）まで減少してしまう危険性を有することから，現在では有酸素性運動を中心とした運動指導を同時におこなうことが推奨されている（American College of Sports Medicine, 1995）。運動指導の際に重視されることは，効果的な脂肪の燃焼だけでなく除脂肪組織量をできる限り維持し，さらには全身持久性体力を向上させることがその目的とされている（肥満学会，1997）。肥満者では，長年にわたる低水準の身体活動量のために，全身持久性体力が一般健常者に比べて顕著に低くなることが報告されている（Jackson et al., 1996）。全身持久性体力は，死亡率や疾患率との有意な関係が指摘されている（Hagberg, 1987; Blair et al., 1989; 厚生省，1989）ことから，特に肥満者では減量プログラムに伴う全身持久性体力の向上と評価が重要課題といえる。本章ではこのような問題を意図して，検討をおこなった。

A. $\dot{V}O_{2max}$ の実測値と推定値の関係

本章では，推定値の精度をMD，SEE，%SEE，E，%E（以上，Table 9.2）および相関係数（Figure 9.1）から評価した。Pre，postともにMDに有意な差は認められなかったことから，肥満または肥満傾向女性に推定式を適用しても，対象全体の平均値で見れば過大にまたは過小に推定される危険性は小さいといえ

る。本被検者のSEEおよびEは前章（検討課題5）の被検者と比較して同程度の値を示した。ただし、 $\dot{M}V\dot{O}_{2max}$ の平均値が異なるため、単純比較することは妥当とはいえない。そこで、%SEEおよび%Eを算出することで比較を可能にした。SEEはその算出過程で $\dot{M}V\dot{O}_{2max}$ と $\dot{P}V\dot{O}_{2max}$ の相関係数（r）を利用することから、 $\dot{M}V\dot{O}_{2max}$ と $\dot{P}V\dot{O}_{2max}$ の回帰方程式の傾きが1から大きく外れても（すなわち、identity line: $y = x$ の直線上に乗らなくても）rの値が高ければSEEは良好な値を示す可能性がある。よって、本検討では推定値の分布がどの程度 $y = x$ の直線から離れているかを表すEを算出することで、より多面的に推定精度を評価しようとした。これまでの報告によると、簡便法における%SEEおよび%Eはおおよそ10～20%の範囲にあるといわれている（山地，1992）。一方で、 $\dot{V}O_{2max}$ の日内変動が約4%であること（Armstrong et al., 1985）、測定機器の違いやテクニックなど測定上の問題に付随して5～10%の誤差は避けがたいこと（Katch et al., 1982）などの理由から、%SEEが10%未満となることは困難といわれている（山地，1992）。ゆえに、本検討のpre, postにおいて得られた%SEEと%Eが10.8-11.5%の範囲にあったことは良好な結果と考えられる。

B. 減量プログラムの実施に伴う各項目の変化量の関係

Figure 9.2 において示された $\Delta \dot{M}V\dot{O}_{2max}$ と $\Delta \dot{P}V\dot{O}_{2max}$ の相関関係は、panel aで $r = 0.47$ 、panel bでは $r = 0.39$ といずれも有意であった。減量教室前後の変化量において実測値と推定値の間に有意な相関関係が認められたことは、 $\dot{P}V\dot{O}_{2max}$ が $\dot{M}V\dot{O}_{2max}$ の変動を反映しうると捉えることができよう。ところで、運動処方現場では、 $\dot{M}V\dot{O}_{2max}$ の増減を $\dot{P}V\dot{O}_{2max}$ の変動から誤り無く判断できることが理想である。すなわち、座標上においては、 $\Delta \dot{M}V\dot{O}_{2max}$ と $\Delta \dot{P}V\dot{O}_{2max}$ の関係をあらわす全ての点が第一象限または第三象限にプロットされることが望ましい。しかしながら推定法には精度の点で限界が存在することから、次のような手順にしたがって本法の限界を検討した。 $\dot{M}V\dot{O}_{2max}$ が実際には増加したにもかかわらず

100 ml/min (panel b では2 ml/kg/min) 以上減少したと推定された (第二象限に存在した) 割合を $\{< -100 \text{ ml/min}\}$ (panel b では $\{< -2 \text{ ml/kg/min}\}$) とした. 一方, $\dot{M}\dot{V}O_{2\max}$ が実際には減少したにもかかわらず100 ml/min (panel b では2 ml/kg/min) 以上増加したと推定された (第四象限に存在した) 割合を $\{>100 \text{ ml/min}\}$ (panel b では $\{> 2 \text{ ml/kg/min}\}$) とした. なお, 直接法により測定した場合でも, 5~10%の測定誤差がみられる (Katch et al., 1982) ことから, 100 ml/minや2 ml/kg/minの幅をもたせることにした. $\{< -100 \text{ ml/min}\}$ と $\{< -2 \text{ ml/kg/min}\}$ は各々41名中2名いたことから約5%であり, $\{>100 \text{ ml/min}\}$ と $\{> 2 \text{ ml/kg/min}\}$ は各々7% (41名中3名) であった. 両者を合わせると全体の12%が逆の判定を下されたことがわかる. アメリカスポーツ医学会が発行したガイドライン (1995) の中でも, 全体の約10%の者はRPEを正確に利用することが困難であると述べられており, 本検討の結果と同様に本法の限界を示すものといえる.

これまでは, $\dot{M}\dot{V}O_{2\max}$ と $\dot{P}\dot{V}O_{2\max}$ の対応関係の妥当性 (推定精度) およびその限界について述べてきた. ところが, 本推定式は一般健常者を対象として作成されており (検討課題2), 肥満者に対する横断的な交差妥当性は検討されている (検討課題5) ものの, 本推定式の独立変数である体重や体脂肪率の大幅な変動に伴う $\dot{P}\dot{V}O_{2\max}$ の変化に関する検討はなされていなかった. 本推定式を構成する独立変数が肥満者を対象とした場合にも妥当な推定因子となりうるかに関して, 以下に示す視点から検討することにした. 本推定式の独立変数は, $W_{\text{RPE-legs } 15}$, 体重, 年齢, 体脂肪率である. しかし, 3カ月間の教室前後では年齢は変化しないか, または1歳の増加にしかならないことから, $\Delta \dot{P}\dot{V}O_{2\max}$ への影響力は小さいといえる. したがって年齢を除外し, $W_{\text{RPE-legs } 15}$, 体重, 体脂肪率の変化量 ($\Delta W_{\text{RPE-legs } 15}$, ΔWeight , $\Delta \% \text{fat}$) に対する $\Delta \dot{P}\dot{V}O_{2\max}$ の関係を検討することにした (Figure 9.3~9.5のpanel b). もし, $\Delta \dot{M}\dot{V}O_{2\max}$ (妥当基準) に

における関係 (Figure 9.3~9.5のpanel a) と同様の関係が Figure 9.3~9.5のpanel b ($\Delta \dot{P}\dot{V}O_{2max}$) にも認められれば, $W_{RPE-legs 15}$, 体重, 体脂肪率の推定因子としての妥当性が示唆されるであろう. ところで, 本推定式で得られる $\dot{P}\dot{V}O_{2max}$ の単位は ml/kg/min であるが, これは運動処方現場の実用性を重視したことによるものである. 本質的には, 体重で割る前の $\dot{V}O_{2max}$ (ml/min) が本来の酸素摂取能力を表していることから, 推定値 (ml/kg/min) に体重を掛けることで1分間あたりの $\dot{P}\dot{V}O_{2max}$ (ml/min) を算出し, これを検討に用いた.

Figure 9.3 に示したように, $\Delta W_{RPE-legs 15}$ と $\Delta M\dot{V}O_{2max}$ (panel a), $\Delta W_{RPE-legs 15}$ と $\Delta \dot{P}\dot{V}O_{2max}$ (panel b) のいずれにおいても有意な正の相関関係を有したことから, $\Delta W_{RPE-legs 15}$ の $\Delta \dot{P}\dot{V}O_{2max}$ に対する対応関係は, 妥当基準である $\Delta M\dot{V}O_{2max}$ に対する関係と同様であることがわかる. すなわち, 肥満女性を対象とした場合にも, $W_{RPE-legs 15}$ は推定因子 (推定式の独立変数) として妥当であることが示唆されたといえる. Figure 9.4 では, $\Delta Weight$ と $\Delta M\dot{V}O_{2max}$ (panel a), $\Delta Weight$ と $\Delta \dot{P}\dot{V}O_{2max}$ (panel b) のいずれにおいても統計的に有意な相関関係はみられなかった. このことは, 肥満女性を減量させた場合, 体重の変化量と $M\dot{V}O_{2max}$ の変化量の間には対応関係がないことを示すものである. また, 同様の関係が $\Delta \dot{P}\dot{V}O_{2max}$ にもあてはまるといえる. 体重の変化量と $\dot{V}O_{2max}$ の変化量の間に対応関係がみられないことは, 一見, 矛盾した結果のように思える. この理由として, 減少した体重に占める体脂肪量の割合や除脂肪組織量の占める割合が被検者によって異なる可能性が挙げられる. 仮に, 減少した体重すべてが体脂肪量によるものであれば, $\dot{V}O_{2max}$ は変わらないか, または増加を示すであろう. 一方, 除脂肪組織量の減少によるものであれば, 中年肥満女性のトレーナビリティーには限界があることから, 一般に $\dot{V}O_{2max}$ は低下すると考えられる. このように, 同量の体重減少であったとしても, 減少した体重の組成によって $\dot{V}O_{2max}$ は異なる変化を示す可能性が高い. このことが有意な相関関係を示さなかった理由の

一つとなろう。Figure 9.5では $\Delta \%fat$ に対する $\Delta M\dot{V}O_{2max}$ (panel a) および $\Delta P\dot{V}O_{2max}$ (panel b) の関係が示されている。有意な相関関係を示したのは $\Delta P\dot{V}O_{2max}$ との関係だけであったが、いずれも負の相関係数が算出されており、傾向は同様であった。つまり、減量にともなう体脂肪率の低下によって $\dot{V}O_{2max}$ は増加することが示唆された。このことは、体脂肪率と $\dot{V}O_{2max}$ は負の相関関係にあるというこれまでの疫学的研究成果 (Jackson et al., 1996; Hagberg, 1987; Blair et al., 1989) に準ずるものであった。以上の検討から、本推定式を構成する独立変数 ($W_{RPE-10gs15}$, 体重, 体脂肪率) は肥満者を対象とした場合にも妥当な推定因子となる可能性が示唆されたといえよう。

第5節 まとめ

本章では、肥満女性および肥満傾向女性41名を対象として、3ヵ月間の減量教室参加に伴う縦断的側面からRPEを利用した全身持久性体力推定法の有用性を検証した。検討事項は、 $\dot{P}\dot{V}O_{2max}$ と $\dot{M}\dot{V}O_{2max}$ の対応関係（相関係数や有意差検定）に加えて、体重や体脂肪率の変化に対する $\dot{V}O_{2max}$ の特異的な変化の関連性にまで及んだ。検討の結果、本法によって算出された $\dot{P}\dot{V}O_{2max}$ は減量プログラムの実施に伴う $\dot{M}\dot{V}O_{2max}$ の変動を反映することが明らかになった。すなわち、減量にともなう肥満女性の全身持久性体力の変化を評価する上で、RPEの利用に基づく全身持久性体力推定法の有効性を認めたといえよう。