

第8章 成人男性および成人女性用推定式の交差妥当性の検討

(検討課題5)

第1節 目的

前章までに GCT_{submax} に基づく成人男性および成人女性用の推定式を作成し、さらに運動強度の面から最適な推定式の選定をおこなってきた。また、第6章では、 GCT_{submax} の再現性の高さを確認した。しかし、本テストの妥当性をより詳細に検討するためには、テストの交差妥当性をみななければならないであろう。そこで、本章では成人男性および女性を対象として、 GCT_{submax} の交差妥当性を検討することとした。

ところで、国内外におけるこれまでの研究によると、 $\dot{V}O_{2max}$ や $\dot{V}O_{2AT}$ は、冠状動脈疾患の危険因子や総死亡率に対して負の相関を示すことが報告されており (Blair et al., 1989; La Croix et al., 1993; Slatter et al., 1998)、健康状態や疾病への危険度を示唆する重要な情報源に値するといえる。特に、喫煙や高血圧と並んで冠状動脈疾患の主要な危険因子である肥満は、過剰なエネルギー摂取だけでなく日常生活における不活動状態を反映していることから、 $\dot{V}O_{2max}$ や $\dot{V}O_{2AT}$ をもって肥満者の健康状態の一側面を推し量ることができよう。

そこで本章の目的は、第7章において選定された全身持久性体力推定式が、非肥満者だけでなく肥満者に対しても適用が可能か否かを検証することとした。成人女性用の本推定式作成に供した被検者の約15%が体脂肪率30%以上の肥満者であったことから、肥満者であっても非肥満者と推定精度に有意差がないとの研究仮説のもとに本検討課題は遂行された。肥満者への適用が可能となることで、上述したように肥満者の健康状態の一側面を簡便に評価することが可能となり、本法の有用性は高まるであろう。

第2節 方法

A. 被検者

本研究の被検者は、特別な運動習慣のない健康な非肥満男性59名、非肥満女性54名、そして肥満女性31名の合計144名である。なお、本研究における肥満は生体電気抵抗（bioelectrical impedance: BI）法による体脂肪率で30%以上（男性は25%以上）、非肥満は体脂肪率30%未満（男性は25%未満）かつ体格指数（BMI, kg/m²）が24.2（= BMI 22 + 10%）以下と定義した。なお、男性被検者に肥満者は1名もないことを確認した。被検者の身体的・生理的特徴はTable 8.1 に示した。

B. 測定項目

第3章、第2節にて明記した。

C. $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ の推定値の算出

GCT_{submax} の実施手順は Figure 8.1 に示した。 $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ の推定値は、第7章で選定された以下の推定式に従って算出した。

$$\text{(成人男性用)} \quad \dot{V}O_{2max} \text{ (ml/kg/min)} = 6.57W_{RPE-legs 15}/Wt - 0.19Age - 0.36\%Fat + 41.29$$

$$\dot{V}O_{2AT} \text{ (ml/kg/min)} = 7.35W_{RPE-legs 14}/Wt - 0.06Age - 0.23\%Fat + 15.62$$

$$\text{(成人女性用)} \quad \dot{V}O_{2max} \text{ (ml/kg/min)} = 7.30W_{RPE-legs 15}/Wt - 0.12Age - 0.46\%Fat + 37.32$$

$$\dot{V}O_{2AT} \text{ (ml/kg/min)} = 5.03W_{RPE-legs 14}/Wt - 0.01Age - 0.16\%Fat + 14.15$$

但し、「 $W_{RPE-legs 15}$ 」は脚部のRPEで15以上が初めて記録された時点のW、「 $W_{RPE-legs 14}$ 」は脚部のRPEで14以上が初めて記録された時点のW、「Wt」は体重、「Age」は年齢、そして「%Fat」は体脂肪率をあらわすものとする。

D. 統計処理

本推定式の推定精度を検討するために、実測値と推定値間のピアソンの積率相関係数（r）、推定標準誤差（SEE; $SD\sqrt{1-r^2}$ ）および推定標準誤差率（%SEE; $SEE/\text{mean} \cdot 100$ ）、実測値と推定値の誤差平均（mean error）および誤

差率 (%error; mean error / 実測値・100) を算出し、実測値と推定値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。

Table 8.1 Physical and physiological characteristics of the subjects (n = 144)

variable	Non-obese				Obese women	
	men		women		Mean \pm SD	Range
	Mean \pm SD	Range	Mean \pm SD	Range		
n = 59		n = 54		n = 31		
Age, yr	39.6 \pm 10.9	21 - 64	41.9 \pm 12.0	20 - 60	44.1 \pm 7.4	27 - 54
Height, cm	168.9 \pm 4.8	157.1 - 180.0	155.9 \pm 5.7	145.5 - 167.9	156.2 \pm 5.5	147.2 - 164.5
Weight, kg	66.5 \pm 6.3	55.5 - 78.0	57.1 \pm 6.1	45.0 - 68.1	67.5 \pm 5.8	55.9 - 81.9
%Fat, %	20.6 \pm 3.9	10.9 - 24.9	27.1 \pm 2.5	19.1 - 29.9	33.0 \pm 3.3	30.0 - 42.4
VO ₂ max, ml/kg/min	37.7 \pm 6.9	25.0 - 52.7	32.4 \pm 5.0	23.5 - 45.8	27.9 \pm 3.0	23.4 - 34.7
VO ₂ AT, ml/kg/min	20.5 \pm 4.9	11.5 - 32.9	18.6 \pm 3.1	12.1 - 27.6	15.8 \pm 2.5	11.3 - 20.9
HR _{max} , beats/min	170.2 \pm 19.1	116 - 206	168.8 \pm 10.6	139 - 191	171.0 \pm 9.4	154 - 193
HR _{AT} , beats/min	123.1 \pm 16.1	90 - 173	125.8 \pm 12.0	102 - 151	120.7 \pm 11.1	100 - 142

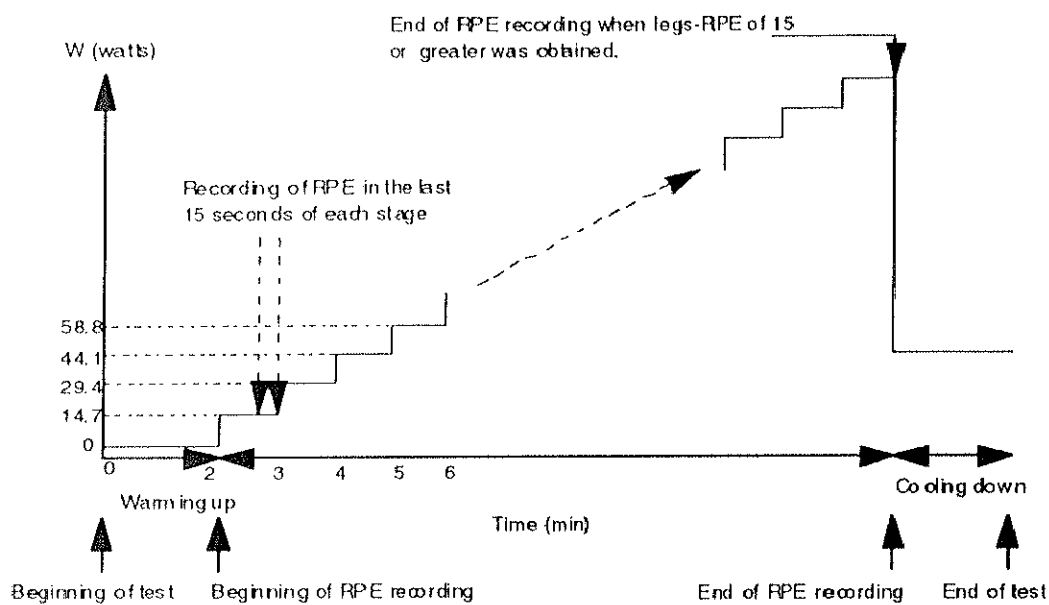


Figure 8.1 Protocol of submaximal graded cycling test and recording of RPE.

第3節 結果

Table. 8.2 に分析結果を示した．実測値と推定値の平均値の差（mean difference: MD）について $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ で比較したところ，非肥満男性（それぞれ，0.89 ml/kg/minと0.33 ml/kg/min），非肥満女性（同0.84 ml/kg/minと0.67ml/kg/min），肥満女性（同0.31 ml/kg/minと0.03 ml/kg/min）のいずれにおいても有意差はみられなかった．標準推定誤差（SEE）および%SEEは，非肥満男性・非肥満女性・肥満女性ともに第5章の結果（男性の $\dot{V}O_{2max}$ と $\dot{V}O_{2AT}$ でそれぞれ，3.66と2.77 ml/kg/minおよび9.8と13.5%，女性はそれぞれ，4.16と3.06 ml/kg/minおよび12.7と17.2%）と比べて同程度か低値を示した．実測値と推定値の誤差平均（mean error）は， $\dot{V}O_{2max}$ が2.58-3.21 ml/kg/min， $\dot{V}O_{2AT}$ が1.38-2.10 ml/kg/minであり，また%errorは非肥満男性の $\dot{V}O_{2AT}$ （11.4%）を除いてすべて10%未満であった．実測値と推定値間の相関関係は，肥満女性の $\dot{V}O_{2max}$ においてやや低値（ $r = 0.612$ ）を示したものの，すべて統計的に有意であった．

以上の結果を受けて，本課題の非肥満女性54名と肥満女性31名のデータを検討課題2の女性86名のデータに加えて，以下の推定式を新たに作成した．

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

(R = 0.798, SEE = 3.87 ml/kg/min)

$$\dot{V}O_{2AT} \text{ (ml/kg/min)} = 4.52W_{RPE-legs 14}/Wt - 0.03Age - 0.15\%Fat + 15.87$$

(R = 0.685, SEE = 2.79 ml/kg/min)

Table 8.2 Comparison of standard errors of estimate, percent standard errors of estimate, mean errors, percent errors and correlation coefficients between measured and predicted VO_{2max} and VO_{2AT} .

Category of the subjects	Measured	Predicted	<i>t</i>	SEE	%SEE	Mean error	%error	<i>r</i>
	(ml/kg/min)	(ml/kg/min)						
	Mean ± SD	Mean ± SD		(ml/kg/min)		(ml/kg/min)		
<i>VO_{2max}</i>								
Non-obese men	37.74 ± 6.88	38.63 ± 5.01	1.78	3.82	10.1	3.21	9.1	0.839*
Non-obese women	32.35 ± 5.00	33.19 ± 4.35	1.93	2.95	9.1	2.58	8.2	0.809*
Obese women	27.94 ± 3.02	27.63 ± 3.68	0.58	3.01	10.8	2.65	9.5	0.612*
<i>VO_{2AT}</i>								
Non-obese men	20.48 ± 4.91	20.81 ± 4.00	0.90	2.80	13.7	2.10	11.4	0.821*
Non-obese women	18.58 ± 3.15	17.91 ± 2.13	2.01	2.08	11.2	1.80	9.4	0.755*
Obese women	15.84 ± 2.48	15.87 ± 2.04	0.08	1.68	10.6	1.38	9.0	0.740*

* $P < 0.05$

SEE: standard error of estimate

第4節 考 察

本章で採用した推定式では，脚部のRPE（RPE-legs）の情報（RPE-legs 15または14）に基づく変数（仕事率：W）が重要な変数として $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ の算出に用いられている．第5章では，RPE-legsだけでなく身体全体（RPE-overall）および胸部のRPE（RPE-chest）を利用した推定式にまで検討は及んでいるが，第7章において安全性（運動強度）を考慮した結果，RPE-legsを利用した全身持久性体力推定式を推奨する（第7章）との結論に至っている．ゆえに，本章においても，これに従ってRPE-legsの情報に基づく変数から $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ を推定することとした．

以下は，本章の被検者と推定式開発（第5章）に供された被検者の身体的特徴を比較した結果である．本章における非肥満男性の年齢，体重，体脂肪率（平均値±標準偏差）は，それぞれ，39.6±10.9歳，66.5±6.3 kg，20.6±4.6%，第5章の男性被検者（83名）は，41.1±13.5歳，66.9±8.7 kg，21.9±4.9%と両群間に有意差は見られなかった．女性についても，本章の非肥満女性は，41.9±12.0歳，57.1±6.1 kg，27.1±2.5%，第5章の女性被検者（86名）は，41.5±13.5歳，57.1±7.6 kg，27.7±4.5%であることから，男性の場合と同様に有意な差はみられなかった．一方，本章の肥満女性においては，年齢，体重，体脂肪率が，44.1±7.4歳，67.5±5.8kg，33.0±3.3%であったことから，第5章の女性被検者と比較して体重と体脂肪率に有意差がみられた（ $P < 0.05$ ）．このことは，本章の肥満女性の中には，形態的にみて第5章で作成された推定式の適用範囲の外に位置する者が少なからず存在することを示しており，肥満女性に対して同推定式を適用する際には，詳細な検討を要するといえよう．

本章では，推定値の精度をMD，SEE，%SEE，mean error，%errorおよび相関係数から評価した．非肥満男性，非肥満女性，肥満女性の各群においてMDに有意な差は認められず，特に肥満女性のMDは小さかったことから，推定式を

肥満女性に適用しても、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少ないといえる。肥満女性のSEEおよびmean errorは非肥満女性と比較して同等か低値を示した。ただし、実測 $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ の平均値が異なるため、各群で得られた値をそのまま単純比較することは妥当とはいえない。そこで、%SEEおよび%errorを算出することで比較を可能にした。これまでの報告によると、簡便法における%SEEおよび%error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、 $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ 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、本検討において%SEEと%errorはそれぞれ、9.1-13.7%と8.2-11.4%の範囲にあったことは良好な結果といえる。特に肥満女性では、 $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ の%SEEが10.8%と10.6%、%errorは9.5%と9.0%で、非肥満者と比較しても推定精度は劣らないばかりでなく、上述の報告に照らしてみても妥当な推定精度が得られたといえよう。しかし、実測値と推定値の相関関係は、肥満女性の $\dot{V}O_{2max}$ についてやや低い結果（ $r=0.612$ ）となった。これは、肥満女性における $\dot{V}O_{2max}$ の分布（23.4-34.7 ml/kg/min）および分散が非肥満男性（25.0-52.7 ml/kg/min）や非肥満女性（23.5-45.87 ml/kg/min）と比較して狭いことに起因するものであり、必ずしも推定精度の低さを表しているものではないと考えられる。相関係数が高くなくても推定精度の点で必ずしも劣るわけではないことが、Bland and Altman（1986）の提案する方法から証明できる。Bland and Altmanは2つのデータセットを比較する場合、相関係数と回帰分析から2群間の関係性を評価するだけでは不十分であるとし、信頼区間の算出による方法を提案している。本章では、肥満女性の推定精度が非肥満者と比べて劣っていないことを証明するために、Bland and Altmanの方法に従い、非肥満女性と肥満

女性における実測 $\dot{V}O_{2max}$ に対する推定値の誤差量の関係（ばらつき）を検討した（Fig. 8.2）。非肥満女性における $\dot{V}O_{2max}$ のMDと標準偏差（SD）は、それぞれ、 -0.84 ml/kg/minと 2.95 ml/kg/minであった。理論的な分布状態に従うと仮定すれば、分布のほとんどはFig. 8.2に示したように $MD \pm 2SD$ の範囲内に収まるはずである。 $MD + 2SD$ は 5.06 ml/kg/minに、 $MD - 2SD$ は -6.74 ml/kg/minに相当する。さらに、標準誤差と信頼区間を用いることで誤差のばらつきの大小を評価することができるといわれている。MDにおける標準誤差は $\sqrt{SD^2/n}$ の計算から求めることができ、非肥満女性における $\dot{V}O_{2max}$ の標準誤差は 0.40 となった。よってMDの95%信頼区間は、 $-0.84 + (1.96 \times 0.40)$ から $-0.84 - (1.96 \times 0.40)$ 、すなわち -1.62 から -0.06 ml/kg/minの範囲内となった。一方、信頼限界値における標準誤差（ $\sqrt{3SD^2/n}$ で表される）は 0.70 ml/kg/minと算出されることから、上側の95%信頼限界値は $5.06 + (1.96 \times 0.70)$ から $5.06 - (1.96 \times 0.70)$ 、すなわち 3.69 から 6.43 ml/kg/minの範囲内である。ゆえに、非肥満女性における $\dot{V}O_{2max}$ の上側の95%信頼区間は最大幅で $6.43 - (-1.62) = 8.05$ ml/kg/min、最小幅で $3.69 - (-0.06) = 3.75$ ml/kg/minとなった。

同様の方法で肥満女性についても検討を加えた。肥満女性における $\dot{V}O_{2max}$ の（ $MD \pm SD$ ）は、 0.31 ± 3.01 ml/kg/minであった。 $MD + 2SD$ は 6.33 ml/kg/minに、 $MD - 2SD$ は -5.71 ml/kg/minに相当することから、MDにおける標準誤差は 0.54 となった。よってMDの95%信頼区間は、 $0.31 + (1.96 \times 0.54)$ から $0.31 - (1.96 \times 0.54)$ 、すなわち -0.75 から 1.37 ml/kg/minの範囲内である。一方、信頼限界値における標準誤差は 0.94 ml/kg/minと算出されたことから、上側の95%信頼限界値は、 $6.33 + (1.96 \times 0.94)$ から $6.33 - (1.96 \times 0.94)$ 、すなわち 4.49 から 8.17 ml/kg/minの範囲内となった。つまり、肥満女性における $\dot{V}O_{2max}$ の上側の95%信頼区間は、最大幅で $8.17 - (-0.75) = 8.92$ ml/kg/min、最小幅で $4.49 - 1.37 = 3.12$ ml/kg/minであった。95%信頼区間の最大幅でみると肥満女性は非肥満女性に比

べてばらつきが大きいですが、最小幅では肥満女性の方が小さいことから、両者のばらつきには顕著な差異は認められないといえる。推定誤差量のばらつきに著差がみられないことは、すなわち推定精度に差異がないことを示すものと捉えることができる。ゆえに、たとえ相関係数が小さくても肥満女性の推定精度は非肥満女性に比べて劣らないことが明らかになったといえよう。

以上の考察より、検討課題2において推定式を作成したときに得られた推定精度は、本課題の対象である非肥満女性や肥満女性に適用した場合の精度と差のないことが確認された。そこで、より広い被検者特性（体重、体脂肪率）を推定式に組み込むことを意図して、検討課題2の被検者86名と本課題の女性被検者85名を合わせた171名のデータに基づき、推定式を再作成した。被検者数の増加はより安定した推定値の算出に貢献すると考えられる。

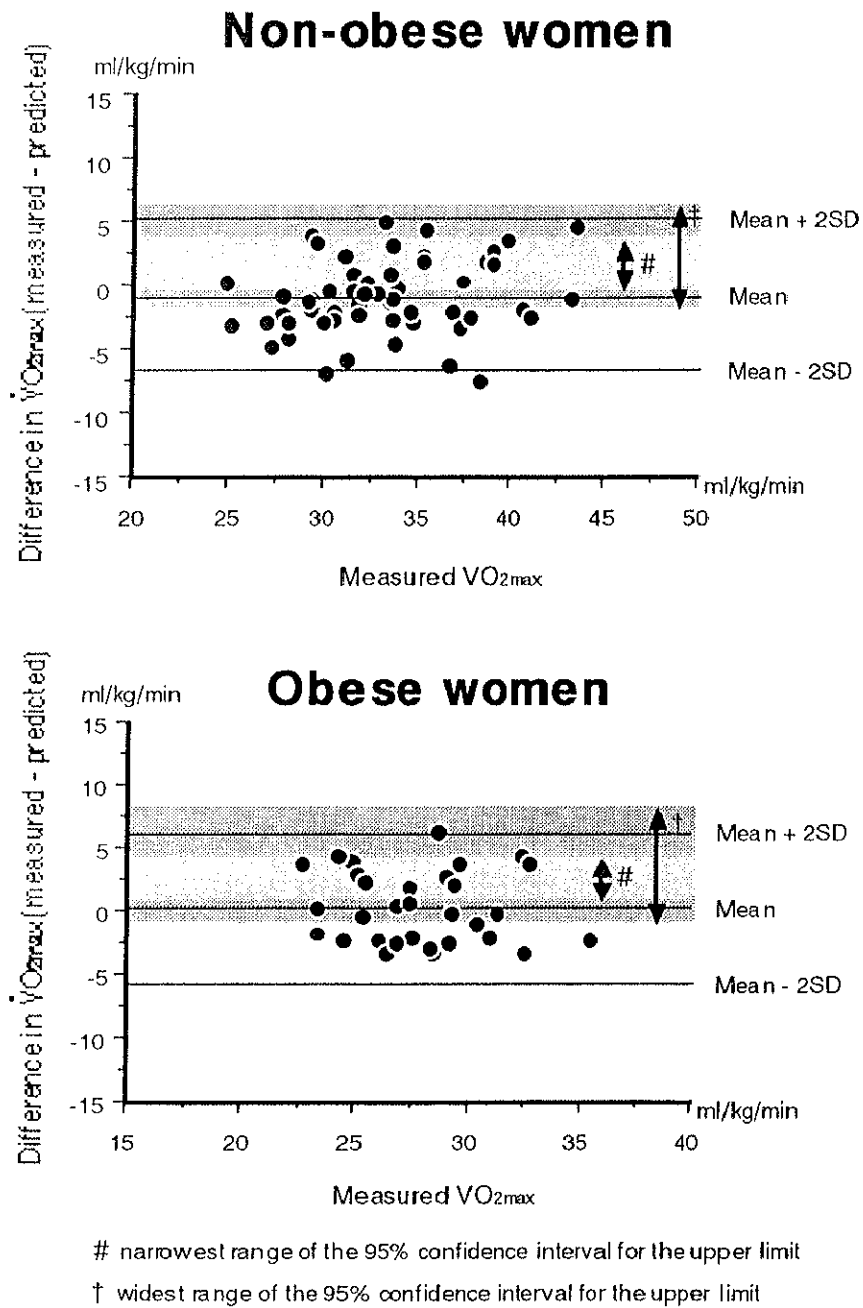


Figure 8.2 Differences in measured and predicted VO_{2max} against measured VO_{2max} values in non-obese women and obese women.

第5節 まとめ

本章の目的は、第7章において選定された全身持久性体力推定式が非肥満者だけでなく、肥満者に対しても適用が可能か否かを交差妥当性の検討から明らかにすることであった。女性用の本推定式作成に供した被検者の約15%が体脂肪率30%以上の肥満者であったことから、肥満者であっても非肥満者と推定精度に有意差がないとの研究仮説のもとに検討をおこなった。データを詳細に分析・検討した結果、仮説の正当性が証明され、非肥満者のみならず肥満女性に対する本推定式適用の妥当性が認められた。肥満者への適用が可能となったことで、肥満者の健康状態の一側面を簡便に評価することが可能となり、本法の有用性が高まったといえる。さらに、より広い被検者特性（体重、体脂肪率）を推定式に組み込むことを意図して、検討課題2の被検者86名と本課題の女性被検者85名を合わせた171名のデータに基づき、以下の女性用推定式を新たに作成した。

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

$$\dot{V}O_{2AT} \text{ (ml/kg/min)} = 4.52W_{\text{RPE-legs } 14}/Wt - 0.03\text{Age} - 0.15\%\text{Fat} + 15.87$$