

第9章 研究課題6

RPEを用いた最大下12分間走テスト有用性について —交差妥当性の検討—

第1節 緒言

研究課題5から、RPE13での自由ペース走の走行距離と $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ の間に $r = 0.85$, $r = 0.86$ と高い相関が認められ、RPEに規定された走行から全身持久性を妥当に測定できることが示唆された。しかし、RPEのみを運動強度の設定に用いているこの方法については、より詳細に「テストの妥当性」を検証することが望まれる。さらにテストを開発するにあたって「テストの再現性」や「テストの交差妥当性」が「テストの妥当性」に続いて重要な検証事項であることから、研究課題6では、これらに焦点をあてて検討する。また、テスト中の生理学的応答についても、テスト終了直後の血中乳酸濃度からAT水準を若干超えていたものと推察しているにすぎず、さらなるデータ収集・分析が望まれる。

そこで研究課題6では、若年成人男性を対象としてRPE13を用いた最大下12分間走テストの交差妥当性および再現性を検討し、さらにテストの運動強度をHRから評価する。前者では、研究課題5で提案した推定式の交差妥当性 (cross-validation) とテストの再現性およびトレーニングを絡めた縦断的なデータから本テストの妥当性を詳細に検討する。後者ではRPEのみに規定される本テストの運動強度を客観的指標 (HR) を用いて明らかにする。

第2節 方法

1) 対象者

対象者は若年成人男性86名であった。有酸素性トレーニングに伴う生理学的変化と最大下12分間走テストの成績との関係を検討するために、マラソンを完走するための理論と実技を習得することを目的して開講された授業「つくばマラソン」への受講者19名がこのなかに含まれた（トレーニング群）。対象者の身体的特徴は表21に示した。テストの再現性を検討するために86名中18名を、またテスト中のHRを測定するために86名中39名（トレーニング群6名を含む）をランダムに抽出した。すべての対象者に対して、研究の目的および内容について説明をおこない、研究協力の承諾を得た。

2) $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ の測定

トレッドミルエルゴメータを利用した $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ の測定には、傾斜を0%として1分ごとに走行速度を10 mずつ高め、被検者を疲労困憊に至らしめる多段階漸増負荷テストを採用した。測定方法は付録1に示した。

最大下12分間走テストの運動強度と多段階漸増負荷テスト中の運動強度を比較するため、1分ごとにHRと走速度（running velocity: V）を記録し、RPEを聴取した。そして、多段階漸増負荷テストでRPE12が最後に出現した時点のHRとVをHRRPE12およびVRPE12、RPE13が最後に出現した時点のHRとVをHRRPE13およびVRPE13とした。さらに、AT時のHRとVをHRATおよびVATとした。なお、HRで運動強度を比較する場合、HRの個人差を考慮する必要があるため、多段階漸増負荷テストで得られたHR_{max}の相対値（%HR_{max}）として検討した。

3) 最大下12分間走テスト

RPEを用いた最大下12分間走テストは、研究課題5に従って、同じ方法で実施した。実施方法は付録3に示した。テストの再現性については、1週間の期間において同じ測定手順で同一場所にて最大下12分間走テストを2回実施し、その測定値から信頼性係数を算出した。テスト中のHRはPolar製のHRモニタ（PE3000）によって測定したが、HRモニタの数に限りがあることから、ランダムに抽出した39名のHRを測定した。最大下12分間走テストの成績から $\dot{V}O_{2max}$ と $\dot{V}O_{2AT}$ を算出する推定式の交差妥当性を検討するため、研究課題5で提案された推定式を用いて予測 $\dot{V}O_{2max}$ と予測 $\dot{V}O_{2AT}$ を算出した。

$$\dot{V}O_{2max} = 0.019X_1 - 0.56X_2 + 17.93 \quad (R = 0.89, \text{SEE} = 3.64 \text{ ml/kg/min})$$

$$\dot{V}O_{2AT} = 0.021X_1 - 0.52X_2 - 0.75 \quad (R = 0.89, \text{SEE} = 3.81 \text{ ml/kg/min})$$

$$X_1 = \text{走行距離 (m)}, \quad X_2 = \text{年齢 (歳)}$$

4) 運動トレーニング（授業内容）

トレーニング実施期間（授業期間）は、平成8年4月～平成8年11月までの6～7か月とした。トレーニング内容（授業内容）は、11月末に開催される市民マラソンでのマラソン完走を目標として週1回の授業時間内（75分）でのジョギング（実技指導）が中心であった。授業以外には、個人で任意に週1～3回のジョギングを実施するように指導した。

5) 統計解析

各測定項目についての平均値と標準偏差を求めた。相関関係はピアソンの

積率相関係数から検討した。平均値の有意差検定については、項目ごとの分散に有意差がないことを確認したうえで、それぞれの検定に応じて対応のあるt-testあるいは対応のないt-testを用いた。統計的有意水準は、すべての検定において5%に設定した。また、推定式の精度を検討するため予測 $\dot{V}O_{2max}$ および予測 $\dot{V}O_{2AT}$ の実測値に対する直線関係から、以下に示すSEEとLohman (1981) の提唱したErrorを算出した。

$$SEE = SD (1 - r^2)^{1/2}$$

SD = 実測値の標準偏差, r = 実測値と予測値の相関係数

$$Error = \left\{ \sum (Y' - Y)^2 / N \right\}^{1/2}$$

Y' = 予測値, Y = 実測値, N = 標本数

第3節 結果

1) テストの交差妥当性とテストの再現性について

表21は、各検討群ごとに対象者の身体的特徴および測定結果を示したものである。

図14は、 $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ と最大下12分間走テストの成績との関係を示した。 $\dot{V}O_{2max}$ と最大下12分間走テストの成績との間に $r = 0.77$ 、 $\dot{V}O_{2AT}$ と最大下12分間走テストの成績との間に $r = 0.77$ の有意な相関関係が認められた。また、最大下12分間走テストの再現性については、18名のデータから $r = 0.90$ の信頼性係数が得られた(図15)。

表22および図16は、推定式から算出された予測 $\dot{V}O_{2max}$ および予測 $\dot{V}O_{2AT}$ とそれらの実測値との関係を示したものである。 $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ ともに予測値と実測値の間に有意な差は認められなかった。予測値と実測値との相関係数は、 $\dot{V}O_{2max}$ で $r = 0.79$ 、 $\dot{V}O_{2AT}$ で $r = 0.93$ であり、 $\dot{V}O_{2AT}$ の方が高い傾向にあった。しかし、SEEおよびErrorは、 $\dot{V}O_{2max}$ で $SEE = 3.90 \text{ ml/kg/min}$ ($SEE\% = 6.9\%$)、 $Error = 4.01 \text{ ml/kg/min}$ 、 $\dot{V}O_{2AT}$ で $SEE = 4.53 \text{ ml/kg/min}$ ($SEE\% = 11.0\%$)、 $Error = 5.86 \text{ ml/kg/min}$ であり、 $\dot{V}O_{2max}$ の方が推定精度の高い傾向にあった。図16から視覚的にもわかるように、 $\dot{V}O_{2AT}$ の散布がidentity lineから離れる傾向にあり、実測値に比べて予測値が過大評価される傾向がみられた。

Table 21 Physical and physiological characteristics of subjects.

Variables	Cross-validation group				Test-retest reliability group		HR measurement group		Training group	
	n = 86	n = 18	n = 39	n = 19	Pre: n = 19	Post: n = 19				
Age (yr)	22.0 ± 2.7	21.6 ± 2.2	22.1 ± 2.4	20.9 ± 1.3						
Height (cm)	171.9 ± 5.3	171.3 ± 4.8	172.5 ± 5.8	168.9 ± 5.7						
Weight (kg)	64.6 ± 6.9	65.2 ± 6.1	64.1 ± 7.3	60.7 ± 5.2	60.2 ± 5.6	ns				
$\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min)	56.7 ± 6.4	57.1 ± 6.0	55.7 ± 5.9	57.6 ± 5.1	58.4 ± 6.2	ns				
$\dot{V}O_{2AF}$ (ml/kg/min)	41.2 ± 7.4	39.7 ± 7.3	39.0 ± 6.2	42.6 ± 5.5	44.0 ± 5.5	ns				
Submaximal 12-min run test (m)	2718 ± 309	2777 ± 246	2695 ± 300	2765 ± 256	2801 ± 260	ns				
Submaximal 12-min run test (2nd) (m)		2766 ± 248								

ns: not significantly different from Pre value ($P < 0.05$)

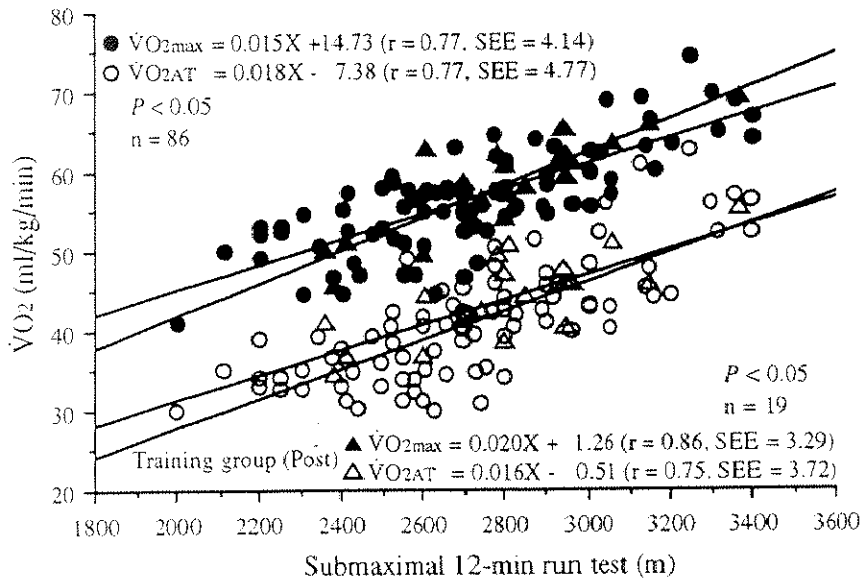


Figure 14 Scatter diagram and linear regression describing the relationships between submaximal 12-min run test and $\dot{V}O_{2max}$ and between submaximal 12-min run test and $\dot{V}O_{2AT}$.

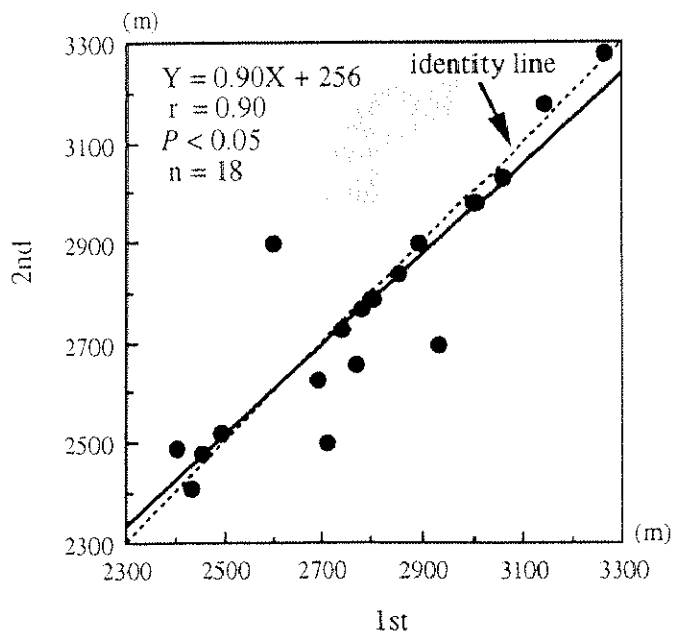


Figure 15 Test-retest reliability of submaximal 12-min run test.

Table 22 Cross-validity of $\dot{V}O_{2max}$ and $\dot{V}O_{2AT}$ prediction equations.

	$\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)		r	SEE	SEE%	Error
	Mean	SD				
Cross-validation group (n = 86)						
Measured $\dot{V}O_{2max}$	56.7	6.4				
Predicted $\dot{V}O_{2max}$	57.2	6.1	0.79	3.90	6.9	4.01
Measured $\dot{V}O_{2AT}$	41.2	7.4				
Predicted $\dot{V}O_{2AT}$	44.9	6.6	0.93	4.53	11.0	5.86
Training group: Post (n = 19)						
Measured $\dot{V}O_{2max}$	58.4	6.2				
Predicted $\dot{V}O_{2max}$	59.4	4.8	0.86	3.28	5.6	3.31
Measured $\dot{V}O_{2AT}$	44.0	5.5				
Predicted $\dot{V}O_{2AT}$	47.2*	5.3	0.78	3.57	8.1	4.74

*Significantly different from measured value ($P < 0.05$)

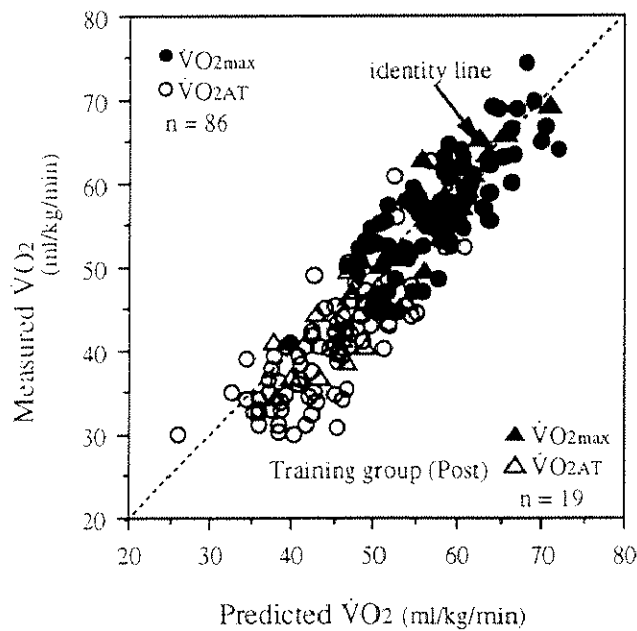


Figure 16 Scatter diagram describing the relationship between measured $\dot{V}O_2$ and predicted $\dot{V}O_2$.

図17は、被検者39名の最大下12分間走テスト中の6分目と12分目の%HR_{max}および多段階漸増負荷テストから得られたAT時の%HR_{max}、RPE12の最終出現時の%HR_{max}、RPE13の最終出現時の%HR_{max}を示した。最大下12分間走テストの運動強度は概ね85%HR_{max}～90%HR_{max}の運動強度で推移しており、6分目と12分目のHRはAT水準より有意に高かった。図18の走速度についても12分間の平均走速度（12分間の距離/12）とV_{AT}との間には有意差があった。しかし、走速度については多段階漸増負荷テストのV_{RPE13}と12分間走テストの平均速度に有意な差は認められなかった。HRの場合は、6分目のHRとHR_{RPE13}とに有意差がなく、12分目のHRとHR_{RPE13}との間に有意差があった。強度一定の運動であっても時間が経過するにつれてHRは高くなる傾向にあることを考慮すれば、この結果は特異なことではない。VおよびHRの結果から、最大下12分間走テストの運動強度は、多段階漸増負荷テスト中にRPE13を示した運動強度とほぼ一致していたと考えられる。

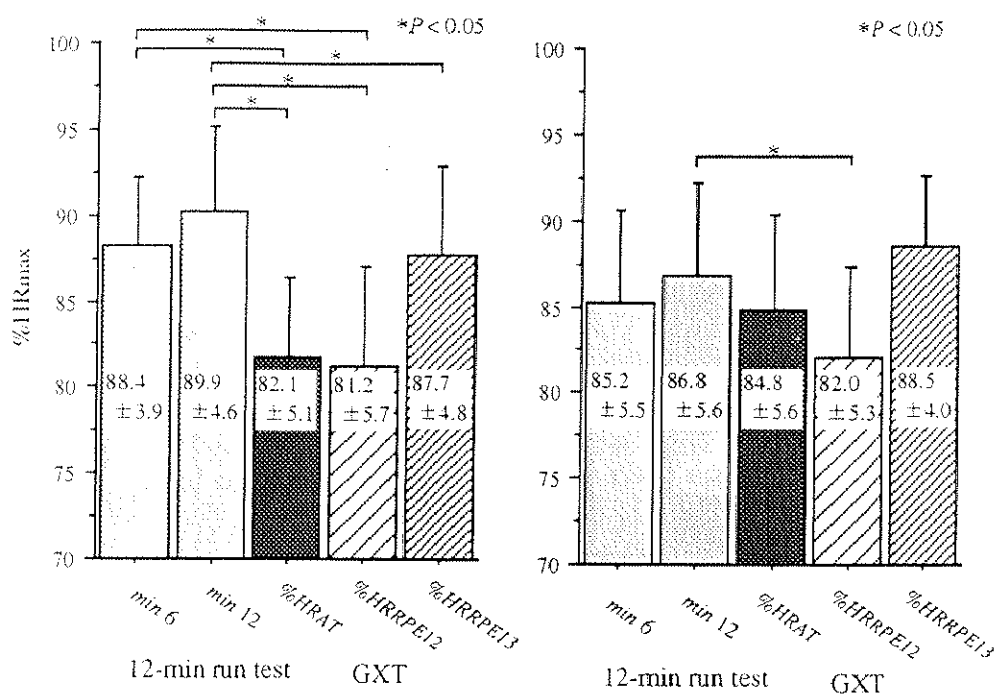


Figure 17 %HR_{max} during submaximal 12-min run test and graded exercise test (GXT).
 Left figure: Cross-validation group (n = 86),
 Right figure: Training group Post (n = 19).
 %HRAT: %HR_{max} at the anaerobic threshold,
 %HRRPE12: %HR_{max} at the last RPE12 during GXT,
 %HRRPE13: %HR_{max} at the last RPE13 during GXT.

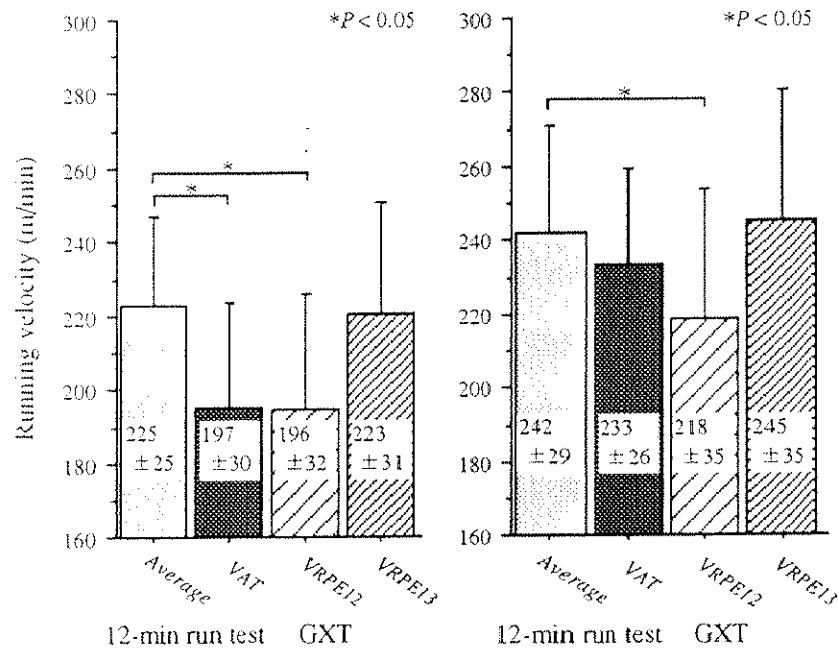


Figure 18 Running velocity during submaximal 12-min run test and graded exercise test (GXT).
 Left figure: cross-validation group (n = 86),
 Right figure: Training group Post (n = 19).
 Average: Average velocity calculated from the distance covered 12 minutes.
 VAT: Velocity at the anaerobic threshold.
 VRPE12: Velocity at the last RPE12 during GXT,
 VRPE13: Velocity at the last RPE13 during GXT.

2) 運動トレーニングの影響について

約半年間のトレーニング（授業）後のデータから、以下の結果が導き出された。図14は、 $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ と最大下12分間走テストの成績との関係を示した。 $\dot{V}O_{2max}$ と最大下12分間走テストの成績との間に $r = 0.86$ 、 $\dot{V}O_{2AT}$ と最大下12分間走テストの成績との間に $r = 0.75$ の有意な相関関係が認められた。また、表22および図16は、推定式から算出された予測 $\dot{V}O_{2max}$ および予測 $\dot{V}O_{2AT}$ とそれらの実測値との関係を示したものである。 $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ ともに予測値と実測値の間に有意な差は認められなかった。予測値と実測値との相関係数は、 $\dot{V}O_{2max}$ で $r = 0.86$ 、 $\dot{V}O_{2AT}$ で $r = 0.78$ であった。SEEおよびErrorは、 $\dot{V}O_{2max}$ で $SEE = 3.28 \text{ ml/kg/min}$ ($SEE\% = 5.6\%$)、 $Error = 3.31 \text{ ml/kg/min}$ 、 $\dot{V}O_{2AT}$ で $SEE = 3.57 \text{ ml/kg/min}$ ($SEE\% = 8.1\%$)、 $Error = 7.74 \text{ ml/kg/min}$ であり、 $\dot{V}O_{2max}$ の方が推定精度の高い傾向にあった。

トレーニングを絡めて得られた個人内変化に関して、 $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ の変化量と最大下12分間走テストの変化量との間には正の相関関係がみられたものの、統計的に有意ではなかった（図19）。

また、トレーニング後における最大下12分間走テスト中の $\%HR_{max}$ の変化を図17に示した。39名の一般的な結果と比べて、トレーニング後では多段階漸増負荷テストでRPE13が出現した運動強度と最大下12分間走テストの運動強度が一致する傾向がみられた。

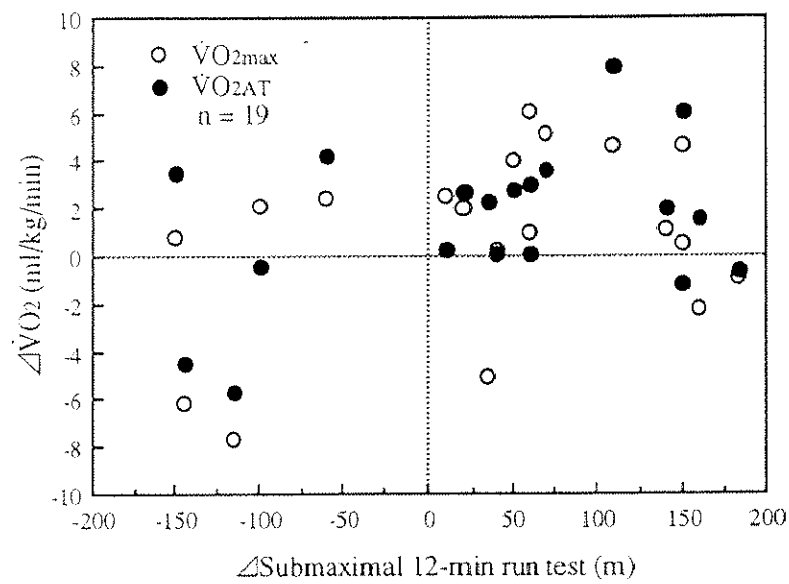


Figure 19 Relationships between changes in submaximal 12-min run test and $\dot{V}O_{2max}$ and between changes in submaximal 12-min run test and $\dot{V}O_{2AT}$.

第4節 考察

1) テストの交差妥当性とテストの再現性について

まず、研究課題6では最大下12分間走テストの妥当性を再検討した。86名のデータから、最大下12分間走テストによって個々の全身持久性を妥当に測定できることが再確認できた。最大下12分間走テストの妥当性は、全力での12分間走テストの妥当性と比べて同等かそれ以上であると考えられるが、その理由として、全力での12分間走テストは、全力を出しきるためのペース設定が難しいこと（前半頑張り過ぎたり、押さえすぎたりなど）や強い動機づけが必要となり、競技者はともかく一般人には不向きなテストであることがあげられる。浅見ら（1976）は一般男子大学生を対象として、「軽く」、「中ぐらいに」、「かなり強く」という3種の言葉によって強度を指示した最大下10分間走テストを実施し、走行後にペース設定についての質問をしたところ、「一定ペースで走れた」という回答は、「軽く」の強度で80%、「中ぐらいに」の強度で70%、「かなり強く」の強度で58%であった。このことから強度が高くなればなるほど一定ペースで走るのが難しくなり、指示された強度にあわせるために走スピードの変更をおこなっていることを示した。一方、「最終的に強度の選択が適当であった」と回答した者は、「軽く」の強度で95%、「中ぐらいに」の強度で94%、「かなり強く」の強度で84%であり、大多数は最終的に指示にあった強度設定ができたことを報告しているが、強度が高くなればなるほどその割合が小さくなる傾向にあった。最大下12分間走テスト終了後のアンケートからも、「RPE13を維持して12分間走ることができたか」という問いかけに対して77%の者が「はい」と答えている。また、本研究とは別に得た未発表調査から、全力での12分間走テスト後

に「自分の力を十分発揮できた」と答えた者は45%と半数以下であり、やはり全力を出しきるペース設定の難しさが指摘できる。以上のことから、RPEを把握して指示された最大下の強度を選択することやその強度を維持して走るとは、全力で走り続けることに比べてむしろ易しいようである。さらに、被検者のテストへの動機づけを考慮すると、テストとしての妥当性も最大下12分間走テストのほうが全力での12分間走テストに比べて良好になりえるものと推察できる。

次に、18名の対象者に1週間の期間をおいて同一テストを同一場所で行った。その結果、1回目と2回目のテストの間に $r = 0.90$ の信頼性係数が得られた。また、1回目と2回目の走行距離に有意な差は認められなかった。Dolittle and Bigbee (1968) やMaksud and Coutts (1971) は、中学生を対象とした最大努力を有する12分間走テストの再現性が $r = 0.94$ および 0.92 であったことを報告している。また、最大下の走テストに関して、浅見ら (1976) が、3種類の最大下10分間走テストの再現性は $r = 0.76 \sim 0.87$ であったことを報告している。本テストの再現性は、従来の方法によるテストの再現性と同等にあることがわかった。本テストは「テストの妥当性」とともに「テストの再現性」も良好であることから、個々の全身持久性を測定するテストとして有用であるといえよう。

さらに、本章では、研究課題5で作成した最大下12分間走テストの成績と年齢から $\dot{V}O_{2\max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ を算出する推定式の交差妥当性を検討した。 $\dot{V}O_{2\max}$ については、 $r = 0.79$ 、 $SEE = 3.90 \text{ ml/kg/min}$ ($SEE\% = 6.9\%$)、 $Error = 4.01 \text{ ml/kg/min}$ であり、高い精度で推定できることが明らかになった。これまで $\dot{V}O_{2\max}$ を評価する推定式や間接テストが数多く作成されてきたが

(Kline et al., 1987; Oja et al., 1991), それらの方法と比べてもかなり推定精度が高いと推測される。さらに, 必要な情報はRPE13での走行距離と年齢だけなので簡便性に優れる。 $\dot{V}O_{2AT}$ については, $r=0.93$, $SEE=4.53$ ml/kg/min ($SEE\%=11.0\%$), $Error=5.86$ ml/kg/minであり, 推定精度は良好といえる。しかし, $\dot{V}O_{2max}$ の結果から比べるとError値が大きい傾向にあった。これは図16から視覚的にもわかるように実測値に比べて予測値が過大評価される傾向にあることを示唆している。 $\dot{V}O_{2AT}$ の推定式に関しては, 今後, 補正の必要性についてさらなる検討を加えたい。

最大下12分間走テスト中のHRを39名について測定した。最大下12分間走テストの6分目と12分目の $\%HR_{max}$ は $85\%HR_{max}\sim 90\%HR_{max}$ であり, 多段階漸増負荷テストで得られたAT水準での $\%HR_{max}$ より有意に高く, 最大下12分間走テストの運動強度がAT水準を超えていたものと推察できる。しかし, 本テストの運動強度は, ACSM (1995) が一般健常者に対する運動処方指針にあげている運動強度の範囲 ($60\%\sim 90\%HR_{max}$) におさまっていることから, AT水準を超えていたとはいえ, 安全でトレーニング効果の生じる運動強度であるといえよう。したがって, 全力でのテストに比べて最大下12分間走テストは適度な努力度で実施できる有用なテストとして期待できる。また, RPE13によって規定された最大下12分間走テストのHRおよびVは, 多段階漸増負荷テストでRPE13が最後に出現した時のHRおよびVとほぼ一致した。このことからわかるように, RPEのみによって多段階漸増負荷テストで得られた強度を正確に再現できる可能性が示唆された。

2) 運動トレーニングの影響について

トレーニングを絡めて時期をおいた被検者についての妥当性に関して、約半年のトレーニング後のデータから検討した。トレーニング後の $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ と走行距離との相関関係、研究課題5で得られた推定式による $\dot{V}O_{2max}$ の推定精度は良好であった。しかし、 $\dot{V}O_{2AT}$ についてはErrorが大きい傾向にあり、今後、より精度を高くすることが望まれる。

一方、トレーニング前後における $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ の変化量と走行距離の変化量との間には統計的に有意な相関は認められなかった。半年間のトレーニングとはいえ、授業時間を利用した週1回のジョギング指導に限られたことや被検者の体力水準がもともと高かったことから、機能的に著しい変化を促すだけのトレーニング量が得られず、 $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ の変化量が少なかったことが大きな原因であると考えられる。しかし、図19で $\dot{V}O_{2max}$ については68%、 $\dot{V}O_{2AT}$ については78%が第1象限と第3象限に散布されたことから、個々の生理学的変化を最大下12分間走テストで測定できる可能性が示唆された。

被検者6名と限られた見解ではあるが、39名の一般的な結果と比べてトレーニング後の最大下12分間走テストの運動強度は、多段階漸増負荷テストで得られたRPE13の範囲に一致し、AT水準に近づく傾向がみられた。これはジョギングを定期的におこない走運動に慣れることによって、自覚的な運動強度と客観的な運動強度の一致度が高まることを示唆している。このことは研究課題3で報告した中高年者のトレッドミル歩行での結果と同様であった。この点を考慮し、実際に本テストを用いる場合は、数回のジョギング指導を事前におこなうことを心がければ、より正確な測定が可能となるだろう。

第5節 まとめ

若年成人男性86名を対象に全身持久性の簡易テストとしての最大下12分間走テストの有用性を確認すべく、最大下12分間走テストの交差妥当性および再現性、縦断的な側面からの妥当性を検討した。さらに、テスト中のHRから本テストの運動強度を検討した。縦断的側面からのデータを含めてテストの妥当性および再現性ともに良好であった。研究課題5で提案した $\dot{V}O_{2max}$ の推定式の精度は高かった。しかし、 $\dot{V}O_{2AT}$ については推定式の補正の必要性が示唆された。一方、テスト中の運動強度は85%~90%HR_{max}であった。さらに、トレーニングを実施し、走運動に慣れることによって運動に対する自覚的な評価と客観的な評価の一致度が高まる傾向にあった。