

## 第5章 研究課題 3-1

最大下12分間トレッドミル歩行テストの有用性について  
—運動トレーニングによる  
全身持久性の改善を妥当に測定できるか—

## 第1節 緒言

研究課題2で中高年者や有疾病者の全身持久性を測る新しい歩行テストを提案した。これまでのテストと異なり、自覚的な運動強度を用いた最大下のトレッドミル歩行から測定する点が特徴である。研究課題2から、本テストによって全身持久性を妥当に測定できる可能性が示唆された。しかし、このテストについては未検討の課題が残っている。例えば、(1) 全身持久性の個人内変化を妥当に測定できるか(縦断的検討)、(2) 検者と被検者が異なっても全身持久性を妥当に測定できるか(Cross-site validation)などである。このテストはRPEの情報のみで歩行速度を調節していることから、今後、より詳細にテストの妥当性や客観性を検討することが不可欠である。

これまでRPEに関する研究も数多くなされており(Demello et al., 1986; Dunbar et al., 1994; Glass et al., 1992; Hetzler et al., 1991; Seip et al., 1991; Purvis and Cureton, 1981)、運動強度や体力水準を評価する指標として有用であるとの報告が多い。しかし、いずれの報告もある運動負荷に対するRPEの反応に関するものであり、RPEによって強度を調節した場合の報告は少ない(Dunbar et al., 1994; 熊谷ら, 1997; Kravitz et al., 1997)。とくに運動処方を実施するうえで重要な対象者、例えば中高年者や有疾病者(高血圧, 糖尿, 高脂血, 肥満)などについての報告やトレッドミル歩行についての報告は限ら

れている。さらにRPEで調節される強度に関して運動トレーニングの影響を踏まえて縦断的に検討した報告はみあたらない。

そこで研究課題3-1では中年肥満女性を対象としてRPE13によって速度を調節する12分間トレッドミル歩行テストの妥当性を運動トレーニングに伴う全身持久性の縦断的变化との関係から検討することとする。つまり、運動トレーニングに伴う全身持久性の改善を12分間トレッドミル歩行テストから妥当に測定できるかを検討し、加えて強度設定におけるRPE利用の有用性を明らかにする。具体的には運動トレーニングを絡めて、(1)全身持久性の妥当基準とされる $\dot{V}O_{2peak}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ の変化量と歩行距離の変化量との関係を検討する。(2)RPE13で調節された強度が多段階漸増負荷テストではどの程度に相当するのかを運動中のHRから比較する。

## 第2節 方法

### 1) 対象者

対象者は、日常生活において特別な運動習慣のない35～48歳（ $42.0 \pm 4.5$ 歳）の中年肥満女性9名であった。研究課題3-1で肥満女性を対象とした理由は、運動トレーニングに伴う全身持久性の改善が比較的短期間で顕著に現れると考えたからである。また、運動処方を実施するうえで検討すべき重要な対象者となりえるからである。ここでいう肥満者とは、(1) BMI (body mass index) が26.0以上、(2) 生体インピーダンス法による体脂肪率が30%以上、(3) 皮下脂肪厚法による体脂肪率が30%以上の3つの条件を設定し、原則として2つ以上を満たす者とした（中西ら, 1996）。また、対象者一人ひとりに本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。すべてのデータは茨城県取手市内の東取手病院にて収集した。

### 2) $\dot{V}O_{2peak}$ と $\dot{V}O_{2AT}$ の直接測定

$\dot{V}O_{2peak}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ は、1分ごとに速度あるいは斜度を高めるトレッドミル歩行による多段階漸増負荷法にて直接測定した。測定方法の詳細は付録1に示した。HR<sub>peak</sub>は、運動中に観察したHRの最大値である。 $\dot{V}O_{2AT}$ 、HR<sub>AT</sub>、RPE<sub>AT</sub>は、AT時点での $\dot{V}O_2$ 、HR、RPEである。

### 3) 最大下12分間トレッドミル歩行テスト

研究課題2の方法に従って、RPE13によって速度を調節する12分間トレッドミル歩行テストを実施した。12分間トレッドミル歩行テストのテストプロトコールは付録3に示した。トレッドミルエルゴメータはミズノ社製Exer

Track (Aerobic Exerciser 8800) を使用した。12分間トレッドミル歩行テストの運動強度を%HR<sub>peak</sub>で検討するため、歩行テスト開始後7分目と歩行テスト終了時点のHRを測定した。

#### 4) 形態と身体組成の測定

身長、体重、BMIおよび生体インピーダンス法と皮下脂肪厚法による身体組成の評価をおこなった。生体インピーダンス法はNakadomo et al. (1990) およびTanaka et al. (1992) に基づき、皮下脂肪厚法はNagamine and Suzuki (1964) の式から求めた。なお、生体インピーダンス法にはsekisui製のインピーダンス計 (Bio impedance SS103) を、皮下脂肪厚法には栄研式キャリパーを使用した。

#### 5) 運動トレーニング

運動トレーニングは平成9年3月から週3回、4カ月間実施した。トレーニング内容は、有酸素性運動とされる“ステップエクササイズ”を中心として、筋力運動、ストレッチなどを指導し、ウォームアップからクールダウンまで約75分/回で実施した。運動強度の調節には概ねAT水準あるいはそれ以上を目標として、RPE12~15で不定愁訴の出現の有無や触診によるHRのチェックを併用した。運動トレーニングには専門指導者を2名配置し、安全性の高い個別指導に努めた。食事・栄養指導なども定期的の実施したが、とくに厳密な食事療法はおこなわずに自己管理の形をとった。各測定はこの運動トレーニングの前後で同一機器を使用して実施した。

## 6) 統計解析

測定項目ごとの値は平均値±標準偏差で表示した。各測定項目について、運動トレーニング前後での平均値の差異は、対応あるt-testを用いて検討した。 $\dot{V}O_{2peak}$ や $\dot{V}O_{2AT}$ と12分間トレッドミル歩行テストにおける歩行距離との相関関係あるいは運動トレーニングに伴う歩行距離の変化量と各測定項目の変化量との相関関係は、ピアソンの積率相関係数から検討した。12分間トレッドミル歩行テストの運動強度を検討するにあたって、このテスト中の%HR<sub>peak</sub>と多段階漸増運動負荷テスト中のAT時点での%HR<sub>peak</sub> (%HR<sub>AT</sub>)、RPE12が最終出現した時点の%HR<sub>peak</sub> (%HRRPE12) およびRPE13が最終出現した時点の%HR<sub>peak</sub> (%HRRPE13) との間にみられる平均値の有意性の検定は、一元配置の分散分析を適用して検討した。平均値間に有意差が認められた場合、多重比較検定 (LSD法) を施した。

## 第3節 結果

各測定項目の平均値と標準偏差および運動トレーニング前後での測定値の平均値の差異については表14に示した。体重、BMIおよび体脂肪率は運動トレーニング後に有意な減少が認められた。また、全身持久性（ $\dot{V}O_{2peak}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ ）についても顕著な改善が認められた。HR<sub>peak</sub>およびHR<sub>AT</sub>については、有意な変化は認められなかった。また、RPE<sub>AT</sub>についてはこれまでの先行研究で示されるように運動トレーニングの影響を受けず（有意差はなく）、RPE<sub>11~13</sub>（前:  $11.9 \pm 1.5$ , 後:  $11.6 \pm 1.2$ ）であった。12分間トレッドミル歩行テストの歩行距離は運動トレーニング後で有意に増加した。したがって、本章の運動トレーニングは、研究課題3-1を遂行するにあたり、有効であったといえる。

Table 14 The effect of exercise intervention on selected variables

		Pre	Post
Age	(yr)	42.0 ± 4.5	
Height	(cm)	158.0 ± 3.0	
Weight	(kg)	69.0 ± 7.9	60.3 ± 5.9*
BMI		27.6 ± 2.6	24.0 ± 1.9*
Skinfold thickness			
triceps	(mm)	27.5 ± 3.0	20.5 ± 3.5*
subscapular	(mm)	35.3 ± 6.7	21.7 ± 5.1*
% body fat	(%)	40.0 ± 5.4	28.6 ± 4.6*
Bioelectrical Impedance			
Z	(ohms)	496.2 ± 48.3	511.4 ± 47.3
% body fat	(%)	33.7 ± 2.2	29.4 ± 2.4*
$\dot{V}O_{2peak}$	(ml/kg/min)	31.8 ± 3.8	37.7 ± 3.1*
HR <sub>peak</sub>	(beat/min)	175.2 ± 12.9	172.2 ± 13.4
$\dot{V}O_{2AT}$	(ml/kg/min)	19.3 ± 1.7	22.2 ± 1.6*
HR <sub>AT</sub>	(beat/min)	127.8 ± 13.9	130.3 ± 11.4
RPE <sub>AT</sub>		11.9 ± 1.5	11.6 ± 1.2
12-min walk test	(km)	1.02 ± 0.05	1.13 ± 0.05*

\* Significantly different from pre-value ( $P < 0.05$ ).

図10には、 $\dot{V}O_{2peak}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ と歩行距離との関係を示した。運動トレーニング前について、 $\dot{V}O_{2peak}$ と歩行距離との間に $r = 0.59$  (SEE = 3.24 ml/kg/min; %SEE = 9.3 %)、 $\dot{V}O_{2AT}$ と歩行距離との間に $r = 0.51$  (1.58 ml/kg/min; %SEE = 7.6 %)、また、運動トレーニング後について、 $\dot{V}O_{2peak}$ と歩行距離との間に $r = 0.42$  (3.00 ml/kg/min; %SEE = 7.9 %)、 $\dot{V}O_{2AT}$ と歩行距離との間に $r = 0.42$  (1.51 ml/kg/min; %SEE = 6.8 %)の相関関係が得られた。しかし、データ数が少ないことや各項目で測定値の分散が小さかったこと（体力水準が同一の集団であったこと）も影響し、いずれも統計的に有意ではなかった。ちなみに運動トレーニング前後のすべてのデータを統合した場合（ $\dot{V}O_{2peak}$ :  $35.8 \pm 5.7$  ml/kg/min,  $\dot{V}O_{2AT}$ :  $21.1 \pm 2.6$  ml/kg/min, 歩行距離:  $1.08 \pm 0.08$  km）、 $\dot{V}O_{2peak}$ と歩行距離との間に $r = 0.73$  (3.01 ml/kg/min; %SEE = 8.4%)、 $\dot{V}O_{2AT}$ と歩行距離との間に $r = 0.75$  (1.51 ml/kg/min; %SEE = 7.2%)と有意な相関関係が認められた。ここで示したSEEは、 $\dot{V}O_{2peak}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ を従属変数、歩行距離を独立変数とした回帰分析で得られた推定の標準誤差（standard error of estimation）である。

図11には、運動トレーニングに伴う $\dot{V}O_{2peak}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ の変化量と歩行距離の変化量との関係を示した。 $\dot{V}O_{2peak}$ の変化量と歩行距離の変化量との間には $r = 0.59$ 、 $\dot{V}O_{2AT}$ と歩行距離との間には $r = 0.66$ の相関関係が得られた。 $\dot{V}O_{2peak}$ については統計的に有意でなかったが、 $\dot{V}O_{2AT}$ とほぼ同等の相関であった。図表に示していないが、体重の変化量と $\dot{V}O_{2peak}$ の変化量、 $\dot{V}O_{2AT}$ の変化量および歩行距離の変化量との相関関係は、 $r = -0.55$  ( $\dot{V}O_{2peak}$ )、 $r = -0.24$  ( $\dot{V}O_{2AT}$ )、 $r = 0.08$  (歩行距離)であり、すべて統計的には有意でなかった。

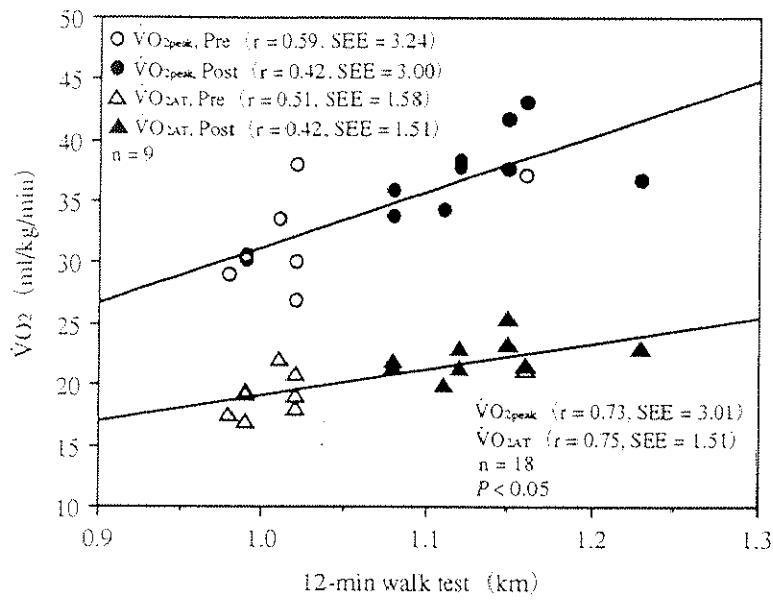


Figure 10 Relationships between  $\dot{V}O_{2peak}$  and 12-min walk test and between  $\dot{V}O_{2AT}$  and 12-min walk test.

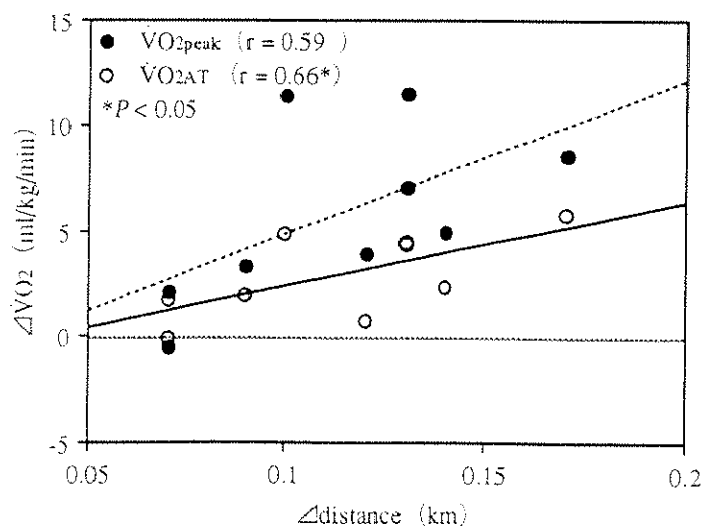


Figure 11 Relationship between changes of  $\dot{V}O_{2peak}$  and of distance covered 12 minutes and between changes of  $\dot{V}O_{2AT}$  and of distance covered 12 minutes after the 4-month exercise.



図12は、12分間トレッドミル歩行テスト中の%HR<sub>peak</sub>と多段階漸増負荷テスト中の%HR<sub>peak</sub>を比較したものである。運動トレーニング前後に関係なく12分間トレッドミル歩行テストの運動強度はAT水準を有意に超えていた。しかし、運動トレーニング前後とも%HR<sub>RPE13</sub>と12分間トレッドミル歩行テスト中の%HR<sub>peak</sub>には有意な差が認められなかった。また、運動トレーニング後は12分間トレッドミル歩行テストの%HR<sub>peak</sub>が%HR<sub>RPE12</sub>と%HR<sub>RPE13</sub>の間におさまる傾向がみられた。つまり、RPE13によって速度を調節する12分間トレッドミル歩行テストの運動強度はAT水準より若干高い強度を維持するが、多段階漸増負荷テストでRPE13が出現する強度と一致することが明らかになった。さらに運動トレーニング後は、多段階漸増負荷テストでのRPE13の強度とより一致する傾向がみられた。

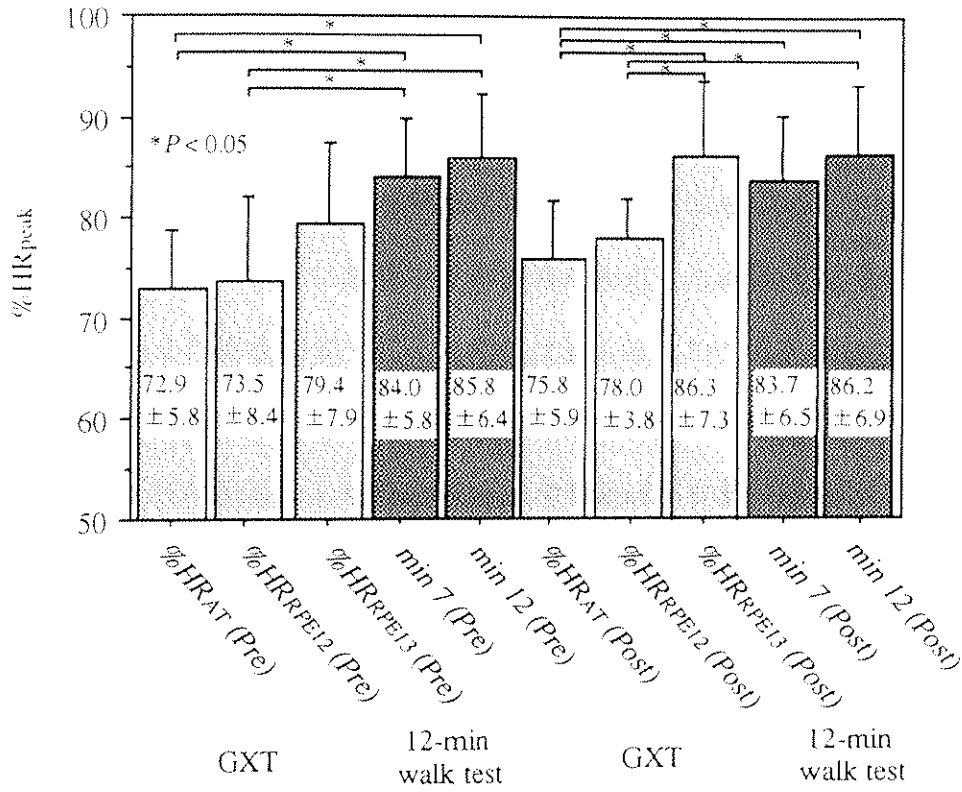


Figure 12 %HR<sub>peak</sub> during 12-min walk test and graded exercise test (GXT).  
 %HR<sub>AT</sub>: %HR<sub>peak</sub> at the anaerobic threshold,  
 %HRRPE<sub>12</sub>: %HR<sub>peak</sub> at the last RPE<sub>12</sub> during GXT,  
 %HRRPE<sub>13</sub>: %HR<sub>peak</sub> at the last RPE<sub>13</sub> during GXT.

## 第4節 考察

全身持久性の改善が顕著に現れることを期待して中年肥満女性を対象とした。対象者は、田中ら（1986a）の中年肥満女性についての報告（年齢: 42.4 ± 5.3 歳,  $\dot{V}O_{2peak}$ : 27.3 ± 3.4 ml/kg/min,  $\dot{V}O_{2AT}$ : 14.6 ± 2.4 ml/kg/min）や Atomi and Miyashita（1984）の報告（ $\dot{V}O_{2peak}$ : 25.1 ± 3.0 ml/kg/min）より  $\dot{V}O_{2peak}$  あるいは  $\dot{V}O_{2AT}$  が若干高く、多段漸増負荷テストで用いた運動様式の違い（自転車駆動とトレッドミル歩行）はあるものの全身持久性は良好であった。このような対象者に週3回、4カ月間の運動トレーニングを施した結果、身体組成や全身持久性の項目に顕著な改善がみられた。この  $\dot{V}O_{2peak}$  や  $\dot{V}O_{2AT}$  の顕著な改善は、身体組成の変化による効果はもちろんのこと有酸素能力それ自体の増高も関与していると推察できる。田中ら（1986a）は、AT水準の運動によって除脂肪組織量あたりの  $\dot{V}O_{2peak}$  や  $\dot{V}O_{2AT}$  が有意に増加し、最大下あるいは最大運動時での骨格筋代謝の効率が改善されたことを示唆している。いずれにせよ、本章で実施した運動トレーニングは、研究課題3-1「12分間トレッドミル歩行テストは、運動トレーニングに伴う全身持久性の改善を妥当に測定できるか」を遂行するのに有効であったといえる。

12分間トレッドミル歩行テストの妥当性について、運動トレーニング前後で  $\dot{V}O_{2peak}$  および  $\dot{V}O_{2AT}$  と歩行距離の間に  $r = 0.42 \sim 0.59$  の相関関係が得られたが、統計的に有意でなかった。研究課題2の中高年女性の結果では、RPE13での歩行距離と  $\dot{V}O_{2peak}$  および  $\dot{V}O_{2AT}$  との間に  $r = 0.56 \sim 0.71$  の有意な相関関係が得られている。本章では運動トレーニング前後で  $\dot{V}O_{2peak}$  の標準偏差が ± 3.8 ml/kg/min と ± 3.1 ml/kg/min,  $\dot{V}O_{2AT}$  の標準偏差が ± 1.7 ml/kg/min と ± 1.6 ml/kg/min であった。このように、 $\dot{V}O_{2peak}$  の標準偏差が ± 5.3 ml/kg/min,

$\dot{V}O_{2AT}$ の標準偏差が $\pm 3.0$  ml/kg/minであった研究課題2に比べて分散が小さかったことやデータ数が少なかったことが影響要因であると推察される。ちなみに分散を大きくすることとデータ数を増やすことを仮定し、運動トレーニング前後のデータを統合したところ、 $\dot{V}O_{2peak}$ と歩行距離との間に $r = 0.73$ 、 $\dot{V}O_{2AT}$ と歩行距離との間に $r = 0.75$ と有意な相関関係が得られた。また、SEEについても相関係数と同様なことがうかがえる。運動トレーニング前で、 $\dot{V}O_{2peak}$ に対するSEEは $3.24$  ml/kg/min (%SEE = 9.3%)、 $\dot{V}O_{2AT}$ に対するSEEは $1.58$  ml/kg/min (%SEE = 7.6%)、運動トレーニング後で、 $\dot{V}O_{2peak}$ に対するSEEは $3.00$  ml/kg/min (%SEE = 7.9%)、 $\dot{V}O_{2AT}$ に対するSEEは $1.51$  ml/kg/min (%SEE = 6.8%)であった。さらに、すべてのデータを統合した場合の $\dot{V}O_{2peak}$ に対するSEEは $3.01$  ml/kg/min (%SEE = 8.4%)、 $\dot{V}O_{2AT}$ に対するSEEは $1.51$  ml/kg/min (%SEE = 7.2%)であった。これらの結果も研究課題2 ( $\dot{V}O_{2peak}$ : SEE =  $4.33$  ml/kg/min, %SEE = 16.4%;  $\dot{V}O_{2AT}$ : SEE =  $2.13$  ml/kg/min, %SEE = 12.5%)と同等かそれより良好であった。Davies (1968)は、 $\dot{V}O_{2max}$ の間接テストの推定誤差について検討し、HRを用いた場合、推定誤差が $\pm 15\%$ 以内になる精度で測定することは困難であることを報告している。また、Mastropaolo (1970)やHermiston and Fraulknier (1971)の報告からは、 $\dot{V}O_{2max}$ を推定するのに約 $\pm 10\%$ のSEEは避けられないことがうかがえる。本テストのSEEはこれらの水準を満たしていることから、推定精度が良好であるといえよう。したがって、運動トレーニング前後ともRPE13の歩行テストから全身持久性を妥当に測定できていた可能性が示唆された。また、運動トレーニング前後でSEEを比較すると運動トレーニング後の方がより妥当に全身持久性を測定できる傾向にあった。このことは運動トレーニングの効果あるいは

運動への慣れによって、運動負荷に対する個人の感覚が洗練されたことや耐えられる運動負荷を予測できる能力が向上したことによる結果とも推測できる。本テストはRPE13で歩行速度を調節することから、運動中の負担度の把握（フィードバック）と残り時間に対する負担度の予測（フィードフォワード）が推定精度に関わってくるので運動トレーニングによる効果が関係してくるのかもしれない。したがって、本テストからより正確に全身持久性を測定したい場合、トレッドミル歩行を数回経験することはもちろんのこと、運動強度の変化に伴う身体負担度を把握することを経験する（端的にいうと運動を経験すること）などを考慮すればよいといえよう。

運動トレーニング前後で、RPE13での歩行テストから妥当に全身持久性を測定できる可能性が確認できた。次は、運動トレーニングに伴う個人内変化を妥当に測定できるかについて検討することとする。運動トレーニングに伴う $\dot{V}O_{2peak}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ の変化量と歩行距離の変化量との間には、 $r = 0.59$ および $r = 0.66$ の相関関係が得られた。 $\dot{V}O_{2peak}$  ( $r = 0.59$ ) については統計的に有意でなかったが、 $\dot{V}O_{2AT}$  ( $r = 0.66$ ) とほぼ同程度であった。この結果から、RPE13の歩行テストによって全身持久性の個人内変化を妥当に測定できる可能性が示唆された。ここで体重の変化量と歩行距離の変化量との相関係数は $r = 0.08$ であり、歩行距離の変化量は体重の影響をほとんど受けていなかった。一般に、全身持久性を評価するフィールドパフォーマンスと体脂肪率あるいは体重との間には負の相関関係があるとされる。また、体重あたりの $\dot{V}O_{2peak}$ と $\dot{V}O_{2AT}$ についても体脂肪率あるいは体重と負の相関関係があることが明らかである。当然ながら、本章でも $\dot{V}O_{2peak}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ の変化量と体重の変化量との間には、統計的に有意ではなかったが負の相関関係が得られて

いる ( $\dot{V}O_{2peak}$ :  $r = -0.55$ ,  $\dot{V}O_{2AT}$ :  $r = -0.24$ )。以上のことをふまえると、体重と歩行距離の変化量の関係については意外な結果であった。ただ、研究課題3-1では対象者数が少なかったことと運動トレーニングに伴って全身持久性を向上させた生理学的要因についてのメカニズムを検討していないので、歩行距離と $\dot{V}O_{2peak}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ の変化量の関係についての言及にとどめたい。ここまですを総合すると12分間トレッドミル歩行テストは、個々の全身持久性の変化を妥当に測定できる可能性が示唆された。

次に、本テストの $\%HR_{peak}$ と多段階漸増負荷テスト中の $\%HR_{peak}$ の比較検討について考察する。運動トレーニング前後とも、多段階漸増負荷テスト中の $\%HR_{AT}$ と $\%HRRPE_{12}$ の間に有意差は認められなかった。また、これまでの報告と同様に $RPE_{11\sim 13}$ でATが出現しており（前:  $RPE = 11.9 \pm 1.5$ , 後:  $RPE = 11.6 \pm 1.2$ ）、多段階漸増負荷テスト中の $RPE$ は個々の負担度を妥当に評価できていたものと考えられる。本テストの $\%HR_{peak}$ と $\%HR_{AT}$ については、運動トレーニング前後とも有意な差が認められた。研究課題2では、 $RPE_{13}$ での歩行テスト中の $\dot{V}O_2$ は $\dot{V}O_{2AT}$ より若干高い傾向にあったが、両者間に有意な差はなく概ねAT水準を維持していたことを示唆している。本章の結果はこの報告と異なり、AT水準を超えていたものと推察される。しかし、本テストの $\%HR_{peak}$ と $\%HRRPE_{13}$ の間には有意な差が認められなかった。多段階漸増負荷テスト中の $RPE$ が運動負荷に対する個々の負担度を正確に反映していたと仮定すると、歩行テストの $\%HR_{peak}$ と $\%HRRPE_{13}$ が一致したことは、 $RPE_{13}$ によって個々に適した速度を調節できていたことを示唆するものである。さらに、運動トレーニング後は、歩行テストの $\%HR_{peak}$ が $\%HRRPE_{12}$ と $\%HRRPE_{13}$ の間によくおさまる傾向にあった。運動トレーニングの効果ある

いは運動への慣れによって運動負荷に対する身体の負担度をフィードバックすることとフィードフォワードすることが洗練され、より正確に速度を調節できたものと考えられる。これは、先に考察した運動トレーニング後に全身持久性の推定精度がより向上する傾向にあるということと重複する。以上のことから、トレッドミル歩行では個々がRPEを利用して強度を設定できることが示唆された。

## 第4節 まとめ

中年肥満女性を対象として運動トレーニングを絡めた縦断的データから、全身持久性の改善をRPE13によって速度を調節する12分間トレッドミル歩行テストから妥当に測定できるかを検討し、加えて強度設定におけるRPE利用の有用性を明らかにすることとした。運動トレーニングに伴う歩行距離の変化量と $\dot{V}O_{2peak}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ の変化量との相関関係から、全身持久性の個人内変化を妥当に測定できる可能性が示唆された。さらに、本テスト中の $\%HR_{peak}$ と多段階漸増負荷テスト中にRPE13が出現したときの $\%HR_{peak}$ に有意な差が認められなかったことから、RPEによって運動強度を設定できていたものと推察される。以上のことから、RPE13を用いた最大下トレッドミル歩行テストによって全身持久性の個人内変化を妥当に測定できる可能性と強度設定においてRPEが有用となりえることが確認できた。