

“RPE13によって速度を調節する歩行テスト”の有用性について：  
エクササイズトレーニングによる全身持久性体力の  
改善を妥当に評価できるか

中垣内真樹<sup>1)</sup> 中村 容一<sup>2)</sup> 田中喜代次<sup>1)</sup>

**Validity of a 12-min treadmill walk test using RPE13 for  
estimation of the changes in cardiorespiratory fitness**

Masaki Nakagaichi<sup>1</sup>, Yoichi Nakamura<sup>2</sup> and Kiyoji Tanaka<sup>1</sup>

**Abstract**

Recently, for estimation of cardiorespiratory fitness, the authors have developed a useful 12-min submaximal treadmill walk test (STWT) in which the intensity is regulated by ratings of perceived exertion (RPE). The purpose of this study was to examine the validity of the STWT for estimation of training-induced changes in cardiorespiratory fitness. The subjects were 9 obese women aged  $42.0 \pm 4.5$  yr, who participated in our exercise program, which was based on 75 min of step exercise 3 times a week for a period of 4 months. All subjects were asked to walk for 12 min at an intensity corresponding to 13 on the Borg scale of RPE, and their  $\dot{V}O_{2\text{peak}}$  and  $\dot{V}O_{2\text{AT}}$  were measured on the treadmill by means of a graded exercise test (GXT). The STWT and the GXT were readministered 4 months after completion of the exercise program. The correlations of 12-min walk distance with  $\dot{V}O_{2\text{peak}}$  or  $\dot{V}O_{2\text{AT}}$  were found to be statistically significant ( $r=0.76$  and  $0.70$ , respectively) when pre- and post-training data were pooled and analyzed. The standard error of estimation (SEE) of the linear regression equation for estimating  $\dot{V}O_{2\text{peak}}$  and  $\dot{V}O_{2\text{AT}}$  from the 12-min walk distance were  $3.01$  ml/kg/min and  $1.85$  ml/kg/min, respectively, both of which were relatively low. After the 4-month exercise program, the coefficient of correlation between the changes in 12-min walk distance and those in  $\dot{V}O_{2\text{AT}}$  was statistically significant ( $r=0.78$ ). From heart rate (HR) data measured during the STWT and the GXT, the  $\%HR_{\text{peak}}$  of the STWT was not significantly different from the  $\%HR_{\text{peak}}$  corresponding to RPE13 during the GXT before and after exercise training. From this limited sample size, it was concluded that the STWT at a self-selected intensity intended to correspond to RPE13 is a valid method for estimating changes in the cardiorespiratory fitness of obese women.

**Key words: cardiorespiratory fitness, ratings of perceived exertion, exercise training, submaximal walk test**

(Japan J. Phys. Educ. 44: 434-444, September, 1999)

1) 筑波大学体育科学系・先端学際領域研究センター  
〒305-8574 つくば市天王台 1-1-1  
2) 筑波大学体育研究科  
〒305-8574 つくば市天王台 1-1-1

1. *Institute of Health and Sport Sciences and Center for TARA (Tsukuba Advanced Research Alliance), University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574*  
2. *Master's Program of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574*

キーワード：全身持久性体力，自覚的運動強度，エクササイズトレーニング，最大下歩行テスト

## 緒 言

近年，田中ら（1995, 1998）や Nakagaichi and Tanaka (1998) は，中高年者や有疾病者の全身持久性体力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評価する点が特徴である．トレッドミルエルゴメータを必要とする点では実用性に劣るが，フィールドテストと異なり必要に応じて運動中に心電図のモニタリングや個々の表情の観察が容易にでき，しかも人との競争が避けられるなど，とくに中高年者や有疾病者を対象とする場合に有用である．このテストは，歩行速度を Borg (1973) の自覚的運動強度 (ratings of perceived exertion: RPE) の 11 “楽である” から 13 “ややきつい” に設定する自由ペース歩行である．RPE11-13 で速度を調節する理由は，運動強度が概ね無酸素性代謝閾値 (anaerobic threshold: AT) 水準に維持されることを意図したからである．運動強度が概ね AT 水準に維持されれば，個々が体力の維持・向上あるいは健康の回復・維持につながる運動をおこないつながりながら，全力を出し切るテストに比べて安全に全身持久性体力を評価できると考えられる．

中高年者や有疾病者を対象としたこれまでの報告によると (Nakagaichi and Tanaka, 1998 ; 田中, 1995 ; 田中ら, 1998), 全身持久性体力の妥当基準とされる最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ ) および AT に相当する酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2AT}$ ) とこのテストでの歩行距離との相関は  $r=0.70-0.80$  で，推定精度は従来の簡易テストと比べて同等かそれ以上である．さらに中垣内ら (1996) や熊谷ら (1997) は，若年成人についても RPE13 を用いた最大下の 12 分間走/歩の距離とその他の簡便に得られる個人情報から，重回帰式によって  $\dot{V}O_{2max}$  や  $\dot{V}O_{2AT}$  を妥当に推定できることを報告している．このように RPE によって速度を調節する歩/走テストから全身持久性体力を妥当に評

価できる可能性が示唆されている．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) 検者と被検者が異なっても全身持久性体力を妥当に評価できるか (Cross-site validation), 2) 全身持久性体力の個人内変化を妥当に評価できるか (縦断的検討) 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．これらの問題が解決されれば，全身持久性体力の簡易評価法としてこのテストの有用性がさらに強まり，公営の健康増進センターや民営のフィットネスクラブなどの各現場で幅広く利用することができることからその意義は大きい．

RPE は運動強度の補助的指標として，運動処方や運動負荷テストに広く利用されている．これまで RPE に関する研究も数多くなされておき (Demello et al., 1987; Dunbar et al., 1994; Glass et al., 1992; Hetzler et al., 1991; Purvis and Cureton, 1981; Seip et al., 1991), 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．多段階漸増運動負荷テストで AT の出現する時の RPE が 11-13 であること，さらにこのことはエクササイズトレーニングや性別あるいは年齢の影響を受けないことなどが報告されている (Dunbar et al., 1994; Purvis and Cureton, 1981; Seip et al., 1991)．

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．熊谷ら (1997) は，若年成人男性について RPE13 でのトレッドミル歩行時が約  $50\% \dot{V}O_{2max}$  で AT 水準より低く，RPE13 でのトレッドミル走行時が約  $75\% \dot{V}O_{2max}$  で概ね AT 水準であったことを示している．Dunbar et al. (1994) は，多段階漸増負荷テストで  $60\% \dot{V}O_{2max}$  に相当する RPE によって運動強度を調節した場合，トレッドミル走行では  $60\% \dot{V}O_{2max}$  と一致するが，自転車駆動では目標より低い運動強度を維持するとしている．また，Kravitz et al. (1997) は，個々が快適にしかも自分の体力水準を向上させるのに最も適してい

ると感じられる速度（自由選択ペース）でトレッドミル走をしたときの生理学的応答を報告しており、その時の RPE は約13で約70% $\dot{V}O_{2max}$ の強度であったとしている。少数ではあるがこれらの報告を総合すると、トレッドミル走なら RPE で運動強度を妥当に設定できることが推察される。しかし、これらの報告はすべて若年成人を対象としたものであり、とくに運動処方を実施する上で重要な対象者、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。現在のところ、Nakagaichi and Tanaka (1998) が有疾病者を含む中高年男性について RPE11-13での自由ペース歩行の運動強度は概ね AT 水準であることを報告しているにすぎない。さらに RPE で調節される強度に関してエクササイズ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。これらの問題点を踏まえ、中高年者のトレッドミル歩行でエクササイズトレーニングを絡めた縦断的な検討から、RPE を利用して妥当に強度を設定できることが明らかになれば、運動処方における強度設定法の幅が広がりその意義は大きい。

そこで本研究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歩行テスト”の妥当性をエクササイズトレーニングに伴う全身持久性体力の縦断的変化との関係から検討することとする。つまり、全身持久性体力の個人内変化を“RPE13によって速度を調節する歩行テスト”から妥当に評価できるかを検討し、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。具体的にはエクササイズトレーニングを絡めて、1)全身持久性体力の妥当基準とされる $\dot{V}O_{2peak}$ およびATに相当する $\dot{V}O_2$  ( $\dot{V}O_{2AT}$ ) 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心拍数(HR)から比較する。

## 方 法

### 1. 対象者

本研究の対象者は、日常生活において特別な運動習慣のない35-48歳(42.0±4.5歳)の中年肥満女性であり、臨床医による理学的診察および臨床検査によって症候性限界(symptom-limited)までの運動中に事故の発生するリスクが極めて低いと判断された者であった。本研究で肥満女性を対象とした理由は、エクササイズトレーニングに伴う全身持久性体力の改善が比較的短時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。本研究でいう肥満者とは、1) BMI (body mass index) が26.4以上、2)生体インピーダンス法(bioelectrical impedance法:BI法)による体脂肪率が30%以上、3)皮下脂肪厚法(skinfold thickness法:ST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での多段階漸増負荷法にて直接測定することとし、全身持久性体力の妥当基準に位置づけた。多段階漸増負荷テストは、各対象者の体力に応じて初速度を3.6 km/h または4.2 km/h、トレッドミルの傾斜を5%とし、2分間のウォーミングアップ歩行後、0.3 km/h ずつ増加させた。それぞれの対象者が歩行最高速度に達したら次に傾斜を2%ずつ増加させ、疲労困憊に至らしめた(Nakagaichi and Tanaka, 1998; 田中, 1995)。このとき全対象者に対してフクダ産業製の代謝測定装置(IS-6000)により呼気ガス諸量や換気量( $\dot{V}E$ )を、テレメトリ方式を採用した患者監視装置(フクダ電子社製 Dinascop-501)により心電図をモニタリングしてHRを1分ごとに測定した。一部の者についてはコーリン社製の運動負荷用血圧監視装置(STBP-780)により血圧測定をした。

RPE も 1 分ごとに聴取した。  $\dot{V}O_{2peak}$  は symptom-limited (症候性限界) まで運動をおこない得たことを条件とし、運動中に観察した一連の  $\dot{V}O_2$  の最大値とした。症候性限界については、1) 疲労困憊に至ったという本人の意思、2) 胸痛など本人の不定愁訴、3) 重症不整脈 (心室性期外収縮の連発など) の出現や虚血性反応 (2 mm 以上の ST 低下) などの心電図異常、4) 高血圧反応など、American College of Sports Medicine (ACSM) (1995) による運動負荷テストの中止基準に準じた。  $HR_{peak}$  は、運動中に観察した HR の最大値である。

AT は運動中の  $\dot{V}E$  および呼気ガス諸量から、1)  $\dot{V}E$ 、二酸化炭素排泄量 ( $\dot{V}CO_2$ ) の急激な非直線の上昇開始点、2)  $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$  の変化を伴わない  $\dot{V}E/\dot{V}O_2$  の上昇開始点、3) 呼吸交換比 (RER) の急激な上昇開始点の基準から判定する方法 (Caiozzo et al., 1982) と  $\dot{V}CO_2$  の増加する割合が  $\dot{V}O_2$  よりも大きくなる時点での  $\dot{V}O_2$  として判定する V-slope 法 (Beaver et al., 1986) を用いて総合的に AT を決定した。それぞれの測定値から AT 時点での  $\dot{V}O_2$ , HR, RPE をそれぞれ  $\dot{V}O_{2AT}$ ,  $HR_{AT}$ ,  $RPE_{AT}$  とした。

### 3. 最大下12分間トレッドミル歩行テスト

田中 (1995) および Nakagaichi and Tanaka (1998) の方法に従って、“RPE13によって速度を調節する最大下12分間トレッドミル歩行テスト”を実施した (付録 1)。実際には、初速度 3.6 km/h での 2 分間のウォームアップ歩行後 (トレッドミルの傾斜は終始 5% 一定)、残り 10 分は RPE13 “ややきつい” と感じる速度での自由ペース歩行であった。12 分間の総歩行距離を全身持久性体力の評価指標とした。本研究で使用したトレッドミルはミズノ社製 Exer Track (Aerobic Exerciser 8800) であり、多段階漸増負荷テストで使用したものと同一であった。また、最大下 12 分間トレッドミル歩行テストの運動強度を %  $HR_{peak}$  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. エクササイズトレーニング

エクササイズ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。エクササイズ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。各測定はこのエクササイズトレーニングの前後で同一機器を使用して実施した。

### 6. 解析方法

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エクササイズ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  $\dot{V}O_{2AT}$  と最大下 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エクササイズ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。最大下 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 %  $HR_{peak}$  と多段階漸増運動負荷テスト中の AT 時点での %  $HR_{peak}$  (%  $HR_{AT}$ )、RPE12 が最終出現し

た時点の $\%HR_{peak}$  ( $\%HR_{RPE12}$ ) および RPE13 が最終出現した時点の $\%HR_{peak}$  ( $\%HR_{RPE13}$ ) 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。

結 果

各測定項目の平均値と標準偏差およびエクササイズ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 1 に示した。体重, BMI および体脂肪率はエクササイズトレーニング後に有意な減少が認められた。また, 全身持久性体力については, 体重 1 kg あたりの  $\dot{V}O_{2peak}$  および  $\dot{V}O_{2AT}$  に顕著な改善が認められた。 $\dot{V}O_{2peak}$  と  $\dot{V}O_{2AT}$  の絶対値および  $HR_{peak}$ ,  $HR_{AT}$  については, 有意な変化は認められなかった。また,  $RPE_{AT}$  についてもエクササイズトレーニングの影響を受けず (有意差はなく),  $RPE_{11-13}$  (前:  $12.2 \pm 1.0$ , 後:  $11.8 \pm 1.2$ ) であった。最大下12分間トレッドミ

Table 1 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		
% body fat (%)	40.0±5.4	28.6±4.6*
Bioelectrical Impedance		
% body fat (%)	33.7±2.2	29.4±2.4*
$\dot{V}O_{2peak}$ (ml/kg/min)	34.8±4.5	37.7±3.1*
(l/min)	2.18±0.25	2.28±0.35
$HR_{peak}$ (beat/min)	175.2±12.9	172.2±13.4
$\dot{V}O_{2AT}$ (ml/kg/min)	21.5±2.5	23.4±0.9*
(l/min)	1.36±0.23	1.41±0.18
$HR_{AT}$ (beat/min)	129.4±12.1	133.6±10.1
$RPE_{AT}$	12.2±1.0	11.8±1.2
12-min walk test (km)	1.08±0.08	1.13±0.05*

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

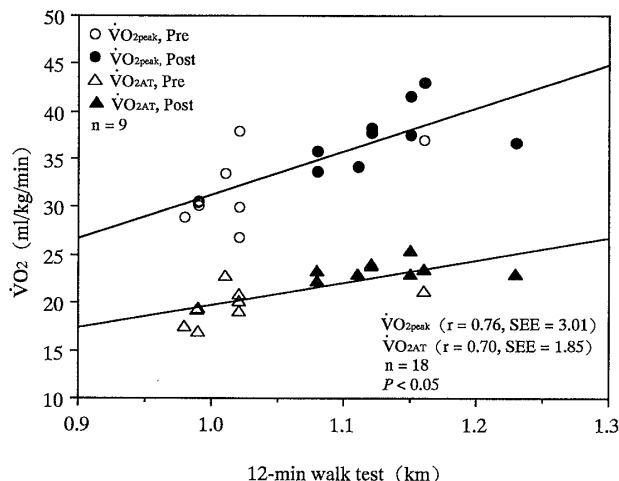


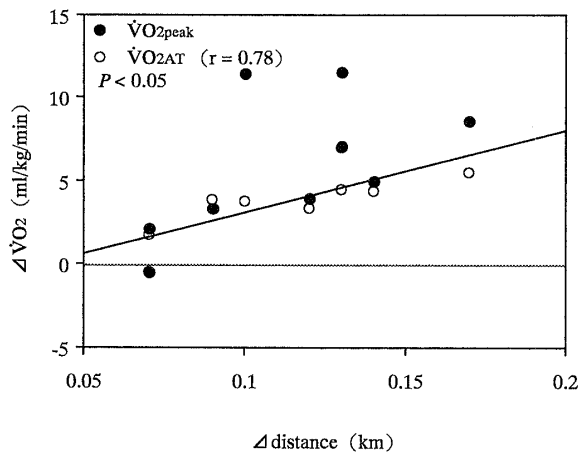
Fig. 1 Relationships between  $\dot{V}O_{2peak}$  and 12-min walk test and between  $\dot{V}O_{2AT}$  and 12-min walk test.

ル歩行テストの歩行距離はエクササイズトレーニング後で有意に増加した。

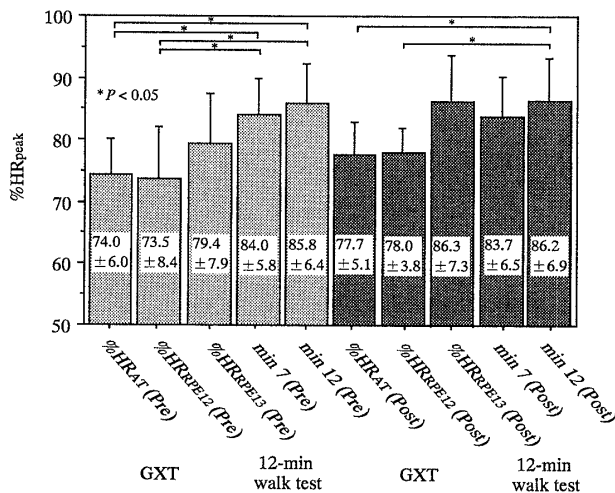
図 1 には,  $\dot{V}O_{2peak}$  および  $\dot{V}O_{2AT}$  と歩行距離との関係を示した。エクササイズトレーニング前後のすべてのデータを統合した場合 ( $\dot{V}O_{2peak}$ :  $35.8 \pm 5.7$  ml/kg/min,  $\dot{V}O_{2AT}$ :  $21.5 \pm 2.4$  ml/kg/min, 歩行距離:  $1.08 \pm 0.08$  km),  $\dot{V}O_{2peak}$  と歩行距離との間に  $r = 0.73$  (3.01 ml/kg/min; %SEE = 8.4%),  $\dot{V}O_{2AT}$  と歩行距離との間に  $r = 0.70$  (1.85 ml/kg/min; %SEE = 8.6%) と有意な相関関係が認められた。ここで示した SEE (standard error of estimation) 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である。

図 2 には, エクササイズ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。 $\dot{V}O_{2AT}$  の変化量と歩行距離の変化量との間には  $r = 0.78$  の統計的に有意な相関関係が得られた。

図 3 は, 最大下12分間トレッドミル歩行テスト中の  $\%HR_{peak}$  と多段階漸増負荷テスト中の  $\%HR_{peak}$  を比較したものである。一元配置の分散分析から, エクササイズトレーニング前後とも多段階漸増負荷テストで得られた  $\%HR_{AT}$ ,  $RPE_{12}$  が最後に出現したときの  $\%HR_{peak}$



**Fig. 2** 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.



**Fig. 3** %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, %HR<sub>RPE12</sub>: %HR<sub>peak</sub> at the last RPE12 during GXT, %HR<sub>RPE13</sub>: %HR<sub>peak</sub> at the last RPE13 during GXT.

(%HR<sub>RPE12</sub>), RPE13が最後に出現したときの%HR<sub>peak</sub> (%HR<sub>RPE13</sub>), 最大下12分間トレッドミル歩行テストの7分目と12分目の%HR<sub>peak</sub>との間に有意な差が認められたため, 多重比較検定を施した. その結果, エクササイズトレーニング前後に関係なく最大下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, エクササイズトレーニング前後とも%HR<sub>RPE13</sub>と最大下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.

## 考 察

本研究では, 全身持久性体力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. エクササイズトレーニングは有酸素性運動とされる“ステップエクササイズ”を中心に構成した. 本研究の対象者は(年齢 $42.0 \pm 4.5$ 歳,  $\dot{V}O_{2peak}$   $34.8 \pm 4.5$ ,  $\dot{V}O_{2AT}$   $20.8 \pm 2.2$ ), 田中ら(1986)の中年肥満女性についての報告(年齢 $42.4 \pm 5.3$ 歳,  $\dot{V}O_{2max}$   $27.3 \pm 3.4$  ml/kg/min,  $\dot{V}O_{2AT}$   $14.6 \pm 2.4$  ml/kg/min)やAtomi and Miyashita(1984)の報告( $\dot{V}O_{2peak}$   $25.1 \pm 3.0$  ml/kg/min)より $\dot{V}O_{2peak}$ あるいは $\dot{V}O_{2AT}$ が若干高く, 多段階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体力は良好であった.

このような対象者に週3回, 4カ月間のエクササイズトレーニングを施した結果, 身体組成の項目や体重1kgあたりの $\dot{V}O_{2peak}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ に顕著な改善がみられた. $\dot{V}O_{2peak}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ の絶対値については, トレーニング前後で統計的に有意な差は得られなかったが, 維持または改善の傾向にあった. $\dot{V}O_{2peak}$ や $\dot{V}O_{2AT}$ の顕著な改善には, 身体組成の変化による効果が大きかった. 本研究で実施したエクササイズトレーニングは, 本研究の検討課題“RPE13によって速度を調節する歩行テスト”は全身持久性体力の変化を妥当に評価できるかを遂行するのに有効であったといえる. また, 一般に肥満者の運動処方では, 低強度・長時間の運動が効果的とされるが(ACSM, 1995; 中西ら, 1996; 田中ら, 1986), 本研究からステップエクササイズ(約40分間の運動)を中心としたAT水準あるいはそれ以上(RPE12-15)の強度での運動も安全で効果的であることが示唆された.

最大下12分間トレッドミル歩行テストの歩行

距離は、エクササイズトレーニング後で有意に増加している。この歩行テストの妥当性について、エクササイズトレーニング前後それぞれで $\dot{V}O_{2peak}$  および $\dot{V}O_{2AT}$  と歩行距離の間には、統計的に有意な相関関係が得られず先行研究（田中，1995）での知見と異なっていた。田中（1995）の中老年女性と有疾病女性41名の報告では、RPE13での歩行距離と $\dot{V}O_{2peak}$  および $\dot{V}O_{2AT}$  との間に $r=0.73-0.83$ の有意な相関関係が得られている。この報告による対象者の $\dot{V}O_{2peak}$  の標準偏差は $\pm 5.7$  ml/kg/min (21.6%)、 $\dot{V}O_{2AT}$  の標準偏差は $\pm 3.4$  ml/kg/min (20.1%)であった。本研究では、対象者が9名であり、エクササイズトレーニング前後で $\dot{V}O_{2peak}$  の標準偏差が $\pm 3.8$  ml/kg/min (11.9%) と $\pm 3.1$  ml/kg/min (8.2%)、 $\dot{V}O_{2AT}$  の標準偏差が $\pm 2.5$  ml/kg/min (11.6%) と $\pm 0.9$  ml/kg/min (3.8%)であった。このように先行研究（田中，1995）と比較して本研究での対象者の体力水準の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し、有意な相関係数が得られなかったと推察できる。

ここで体力水準の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、エクササイズ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 $r=0.76$ 、 $\dot{V}O_{2AT}$  と歩行距離との間に $r=0.70$ で先行研究（田中，1995）と同程度の有意な相関関係が得られた。また、SEEに関して $\dot{V}O_{2peak}$  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。これらの結果も田中（1995）の報告（ $\dot{V}O_{2peak}$ : SEE=3.55 ml/kg/min, %SEE=13.4%;  $\dot{V}O_{2AT}$ : SEE=1.91 ml/kg/min, %SEE=11.3%）と同等かそれより良好であった。Davies (1968) は、 $\dot{V}O_{2max}$  の間接評価法の推定誤差について検討し、HRを用いた場合、推定誤差が $\pm 15\%$ 以内になる精度で評価することは困難であることを報告している。また、Mastropaolo (1976) や Hermiston and Fraulknner (1971) の報告からは、 $\dot{V}O_{2max}$  を推定するのに約 $\pm 10\%$ 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、エクササイズトレーニング前後ともRPE13の歩行テストから全身持久性体力を妥当に評価できていた可能性が示唆された。

エクササイズトレーニングに伴う個人内変化を妥当に評価できているかについて考察することとする。エクササイズ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検討したところ、 $\dot{V}O_{2AT}$  の変化量と歩行距離の変化量との間に $r=0.78$ の有意な相関関係が得られが、 $\dot{V}O_{2peak}$  については統計的に有意でなかった。一般に $\dot{V}O_{2peak}$  と $\dot{V}O_{2AT}$  には正の相関関係があり、両指標とも全身持久性体力の評価指標となりえるが、この両者は生理学的には異なる指標であること、本テストがAT水準での運動を意図して考案されたことから、 $\dot{V}O_{2AT}$  の変化をより反映したものと考えられる。この結果から、RPE13の歩行テストによって全身持久性体力、とくに $\dot{V}O_{2AT}$  の個人内変化を妥当に評価できる可能性が示唆された。ここで体重や体脂肪率との関係について、一般に全身持久性体力を評価するフィールドパフォーマンスと体重あるいは体脂肪率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。しかし、本研究では体重や体脂肪率の変化量と歩行距離の変化量との関係を検討したところ、歩行距離の変化量は体重や体脂肪率の影響をほとんど受けておらず、意外な結果であった。ただ本研究では対象者数が少なかったこととエクササイズトレーニングに伴って全身持久性体力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 $\dot{V}O_{2AT}$  の変化量との関係についての言及にとどめたい。ここまですら総合すると“RPE13によって速度を調節する歩行テスト”は、個々の全身持久性体力の変化を妥当に評価できる可能性が示唆された。

次に本テストの%HR<sub>peak</sub> と多段階漸増負荷テスト中の%HR<sub>peak</sub> の比較検討について考察する。

歩行テストの $\%HR_{peak}$ は、ウォーミングアップ歩行を除く10分間の5分目と10分目、つまり歩行テスト開始から7分目と12分目の $\%HR_{peak}$ を測定した。多段階漸増負荷テスト中の $\%HR_{peak}$ については、AT出現時、RPE12の最終出現時、RPE13の最終出現時を示した。エクササイズトレーニング前後でこれらを比較したところ、 $\%HR_{AT}$ と $\%HR_{RPE12}$ の間に有意差は認められなかった。本研究でもこれまでの報告 (Demello et al., 1987; Purvis and Cureton, 1981; Seip et al., 1991) と同様に RPE11-13でATが出現しており (前: RPE=12.2±1.0, 後: RPE=11.8±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、エクササイズトレーニング前後とも有意な差が認められた。Nakagaichi and Tanaka (1998) の報告では、RPE13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。本研究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 $\%HR_{RPE13}$ の間には有意な差が認められなかった。また、トレーニング前後での本テストの $\%HR_{peak}$ には変化がみられなかった。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 $\%HR_{RPE13}$ が一致したことは、RPE13によって正確に個々に適した速度を調整できていたことを示唆するものである。さらにエクササイズトレーニング後は、歩行テストの $\%HR_{peak}$ が $\%HR_{RPE12}$ と $\%HR_{RPE13}$ の間によくおさまる傾向にあった。エクササイズ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 (運動中の負担度の把握) とフィードフォワードすること (残り時間に対する負担度の予測) 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。したがって、運動処方の場合でRPEによって運動強度を正確に設定させる場合、その運動 (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の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) などを考慮すればもっと正確に設定できるだろう。以上のことから、トレッドミル歩行では個々がRPEを利用して妥当に強度を設定できることが示唆された。ただし、本研究では、対象者数が少なかったことや中年肥満女性に限られたことから、ここで得られた結果の一般化には限界を伴う。今後、より幅広くより多くの対象者での検討が必要であろう。

## ま と め

本研究では中年肥満女性を対象としてエクササイズトレーニングを絡めてた縦断的データから、全身持久性体力の個人内変化を“RPE13によって速度を調節する歩行テスト”から妥当に評価できるかを検討し、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。RPE13を用いた最大下12分間トレッドミル歩行テストの歩行距離と $\dot{V}O_{2peak}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ との相関関係から、エクササイズトレーニング前後とも本テストによって全身持久性体力を妥当に評価できることが確認できた。同様にエクササイズトレーニングに伴う歩行距離と $\dot{V}O_{2peak}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ の変化量との相関関係から、個人内変化についても妥当に評価できることが確認できた。次に本テスト中の $\%HR_{peak}$ 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妥当に設定できる可能性が示唆された。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体力の個人内変化を妥当に評価できる可能性と強度設定においてRPEが有用となりえる可能性が確認できた。

## 謝辞

本研究は、筑波大学先端学際領域研究 (Tsukuba Advanced Research Alliance: TARA) センター (田中プロジェクト) の支援を受けて実施された。



## 付録1 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実施マニュアル

## 【準備するもの（必要なもの）】

トレッドミルエルゴメータ, ストップウォッチ, Borgの自覚的運動強度 (RPE) の表

## 【実施要領および注意事項】

## 1) RPEおよびテストの説明

- RPE6, 7を安静の状態と考えて下さい。RPE19, 20が, 上り坂での歩行や長距離走などで全力を出し切るときのきつさと想像して下さい。ゆっくりした歩行から徐々に速度を上げていくと, 当然からだ全体のきつさは, RPE6, 7から徐々に上がっていくでしょう。  
このように運動に対するからだ全体のきつさを数値化したものがRPEです。RPEとは, 自分で自覚する(感じる)運動の強さです。
- このテストは, RPE13 “ややきつい” と感じる強さでトレッドミル上を歩行していただいて, その時の歩行距離から, あなたの全身持久性体力を評価しようとするものです。決して人との競争ではありません。12分間歩きますが, 最初の2分間は3.6 km/hでのウォーミングアップ歩行となります。自分の体力に応じて, 残り10分間を平均してRPE13を維持しながら歩行して下さい。強度の設定は難しいと思いますが, 10分を試行錯誤しながら(きつと感じたら速度を落とす, 楽であれば速度をあげる), できるだけRPE13を維持できるように歩行して下さい。

## 2) ウォーミングアップ

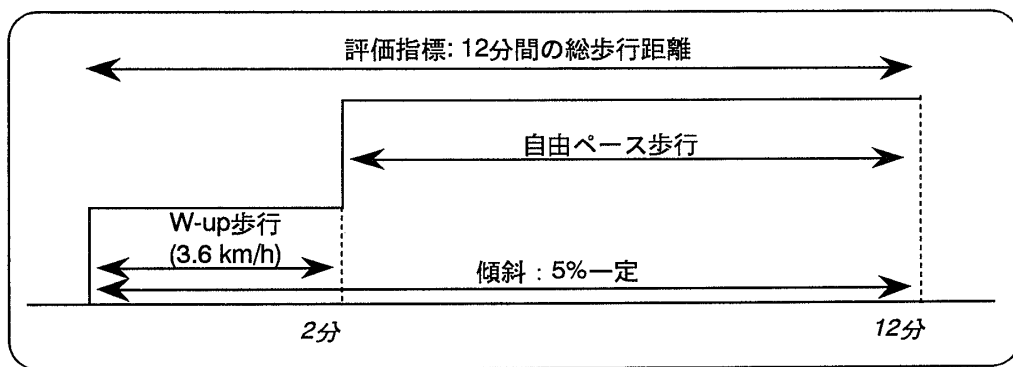
- 怪我や事故がおこらないように, 十分にからだをあたためる。
- ウォーミングアップを兼ねてトレッドミル歩行の経験やRPEの確認をするとよい。

## 3) テスト実施

- 運動時間は12分です。テスト中, 胸の痛みやめまいなどの身体的異常を感じたら, いつでも結構ですから, 片手を挙げて下さい。
- 歩行機器(トレッドミル)のベルトの傾斜は常に5% (2.86度), そして最初の歩行速度は3.6 km/時 (60 m/分) に設定します。では, スターとします。→ウォーミングアップ歩行

## 〈テスト開始〉

- 2分に近づいてきました。これから徐々に速度を上げていきます。これぐらいの速度であれば, RPE13である, あるいは残り10分をRPE13を維持して歩けると感じたところで片手を挙げて下さい。
- 検者は, 2分経過するところで速度を徐々に上げて, 被検者が片手を挙げた時点で速度を一定させる。この時0.3 km/時 (5 m/分) 単位でできるだけ一定間隔で速度を上昇させるようにする(だいたい30秒間で5.0 k/時まで上げるような間隔で)。
- いつでも速度の調整は可能です。いつでもいいですから, 速度を上昇させたいとき低下させたいときは片手を挙げて下さい。
- 速度の調整: 少し上昇(低下)させたいとき→0.3~0.6 km/時 (5 m~10 m) の範囲で調整  
: たくさん上昇(低下)させたいとき→0.9~1.8 km/時 (15 m~30 m) の範囲で調整
- 1分ごとに残り時間を伝え, 検者側からも速度調整の有無を確認する。
- 12分の時点で歩行距離を確認し, 徐々に速度を低下させてクーリングダウンをする。



## 文 献

- American College of Sports Medicine (1995) ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Williams & Wilkins, 5th Ed., Philadelphia, pp. 49-190.
- Atomi, Y. and Miyashita, M. (1984) Maximal oxygen uptake of obese middle-age women related to body composition and total body potassium. *J. Sports Med.* 24: 212-218.
- Beaver, W. L., Wasserman, K., and Whipp, B. J. (1986) A new method for detection anaerobic threshold by gas exchange. *J. Appl. Physiol.* 60: 2020-2027.
- Borg, G. A. V. (1973) Perceived exertion: A note on "history" and methods. *Med. Sci. Sports* 5: 90-93.
- Caiozzo, V. J., Davis, J. A., Ellis, J. F., Azus, J. L., and Vandagriff, R. (1982) Comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *J. Appl. Physiol.* 53: 1184-1189.
- Davies, C. T. M. (1968) Limitations to the prediction of maximum oxygen intake from cardiac frequency measurements. *J. Appl. Physiol.* 24: 700-706.
- Demello, J. J., Cureton, K. J., and Boineau, R. E. (1987) Rating of perceived exertion at lactate threshold in trained and untrained men and women. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19: 354-362.
- Dunbar, C. C., Goris, C., Michielli, W. D., and Kalinski, I. M. (1994) Accuracy and reproducibility of an exercise prescription based on ratings of perceived exertion for treadmill and cycle ergometer exercise. *Percept. Mot. skill* 78: 1335-1344.
- Glass, S. C., Knowlton, R. G., and Becque, M. D. (1992) Accuracy of RPE from graded exercise to establish exercise training intensity. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24: 1303-1307.
- Hermiston, R. and Faulkner, J. A. (1971) Prediction of maximal oxygen uptake by a stepwise regression technique. *J. Appl. Physiol.* 30: 833-837.
- Hetzler, R. K., Seip, R. L., Boutcher, S. H., Pierce, E., Snead, D., and Weltman, A. (1991) Effect of exercise modality on ratings of perceived exertion at various lactate concentrations. *Med. Sci. Sports Exerc.* 13: 377-383.
- 熊谷もりえ・中垣内真樹・西嶋尚彦・田中喜代次 (1997) 個人情報と主観的運動強度を導入した全身持久性の簡易推定法—若年成人男性について—. *体力科学* 46: 179-188.
- Kravitz, L., Robergs, A. R., Heyward, H. V., Wagner, R. D., and Powers, K. (1997) Exercise mode and gender comparisons of energy expenditure at self-selected intensities. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29: 1028-1035.
- Mastropaolo, J. A. (1970) A prediction of maximal O<sub>2</sub> consumption in middle-aged men by multiple regression. *Med. Sci. Sports* 2: 124-127.
- Nakadomo, F., Tanaka, K., Hazama, T., and Maeda, K. (1990) Validation of body composition assessed by bioelectrical impedance analysis. *Jpn. J. Appl. Physiol.* 20: 321-330.
- Nakagaichi, M. and Tanaka, K. (1998) Development of a 12-min treadmill walk test at a self-selected pace for the evaluation of cardiorespiratory fitness in adult men. *Appl. Human Sci.* 17: 281-288.
- 中垣内真樹・熊谷もりえ・鍋倉賢治・佐伯徹郎・三本木温・田中喜代次 (1996) 全身持久性体力の評価法としての主観的運動強度を用いた最大下12分間走テストの提案. *体育学研究* 41: 173-180.
- 中西とも子・田中喜代次・李美淑・磯野香代子・早川洋子・佐久義昭・中垣内真樹・青山正恵・張美蘭・細川淳一 (1996) 中年肥満女性に対する院内監視型運動指導の有用性について—健康度指標“活力年齢”の改善という視点に着目して—. *肥満研究* 2: 28-33.
- Nagamine, S. and Suzuki, S. (1964) Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. *Hum. Biol.* 35: 8-15.
- Purvis, J. W. and Cureton, K. J. (1981) Ratings of perceived exertion at the anaerobic threshold. *Ergonomics* 24: 295-300.
- Seip, R. L., Snead, D., Pierce, E. F., Stein, P., and Weltman, A. (1991) Perceptual responses and blood lactate concentration: effect of training state. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23: 80-87.
- Tanaka, K., Watanabe, H., Konishi, Y., Mitsuzono, R., Sumida, S., Tanaka, S., Fukuda, T., and Nakadomo, F. (1986) Longitudinal associations between anaerobic threshold and distance running performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 55: 248-252.
- Tanaka, K., Nakadomo, F., Watanabe, K., Inagaki, A., Kim, H. K., and Matsuura, Y. (1992) Body composition prediction equations based on bioelectrical impedance and anthropometric variables for Japanese obese women. *Am. J. Hum. Biol.* 4: 739-745.
- 田中喜代次・吉村隆喜・奥田豊子・小西洋太郎・角田聡・出村慎一・岡田邦夫 (1986) AT水準以上の強度を基準とした完全監視型持久性運動療法および不完全監視型食事療法の併用が肥満者の健康・体力に

及ぼす効果. 体力研究 62: 26-40.  
田中喜代次 (1995) 全身持久性能力の簡易評価法に関する提案 (第1報: 最大下での12分間トレッドミル歩行テストの妥当性). 臨床スポーツ医学 12: 217-223.  
田中喜代次・中垣内真樹・大蔵倫博・重松良祐・盧昊

成・金憲経 (1998) 高齢者の全身持久性体力を簡便に求める新たな方法の提案. 臨床スポーツ医学 15: 843-848.

(平成10年10月20日受付)  
(平成11年5月29日受理)