The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine

体力科学(1997) **46**, 179～188

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—

熊谷もりえ* 中垣内真樹** 西嶋尚彦*** 田中喜代次***

ESTIMATION OF CARDIORESPIRATORY ENDURANCE IN YOUNG ADULT MEN USING 12-MIN SUBMAXIMAL TREADMILL WALK/RUN TEST

MORIE KUMAGAI, MASAKI NAKAGAICHI, TAKAHIKO NISHIJIMA and KIYOJI TANAKA

Abstract

The purpose of this study was to clarify the validity of 12-min submaximal treadmill walk (TMW) and run (TMR) tests, as indirect measures of cardiorespiratory endurance, and to develop estimation equations of cardiorespiratory endurance using TMW or TMR performance and some other useful items correlating with cardiorespiratory endurance. Fifty-one young adult men, aged 20～34 years (22.8±3.6), walked or ran for 12 minutes on the treadmill at the intensity corresponding to the level 13 on the Borg's ratings of perceived exertion (RPE 13), and performed a maximal incremental exercise test. Mean (±SD) of oxygen uptake corresponding to anaerobic threshold ($\dot{V}O_{2AT}$) and maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_2max$) were 42.0±9.0 ml/kg/min and 55.9±7.4 ml/kg/min, respectively, and mean (±SD) of 12-min walk and run distances were 1221±103 m and 2108±269 m, respectively. Cardiorespiratory endurance indices ($\dot{V}O_{2AT}$ and $\dot{V}O_2max$) significantly correlated with TMW (r=0.49 and 0.48, respectively) and with TMR (r=0.69 and 0.68, respectively). A stepwise multiple regression analysis was applied to determine the estimation equations of the cardiorespiratory endurance using $\dot{V}O_{2AT}$ or $\dot{V}O_2max$ as a dependent variable, and TMW or TMR distance, age, resting heart rate (HRrest), and exercise frequency in a week as independent variables. The multiple regression equations of $\dot{V}O_{2AT}$ and $\dot{V}O_2max$ were developed as follows: When TMW distance entered as an independent variable, $\dot{V}O_{2AT} = 20.781 X_1 + 2.298 X_3 - 0.297 X_4 + 31.855$ (r=0.83, SEE=5.33 ml/kg/min); $\dot{V}O_2max = 19.941 X_1 + 1.127 X_3 - 0.208 X_4 - 0.656 X_5 - 0.853 X_6 + 77.884$ (r=0.88, SEE=3.96 ml/kg/min), and when TMR distance entered as an independent variable, $\dot{V}O_{2AT} = 15.443 X_2 + 2.158 X_3 - 0.157 X_4 + 14.234$ (r=0.90, SEE=4.18 ml/kg/min); $\dot{V}O_2max = 10.817 X_2 + 1.274 X_3 - 0.1946 X_4 - 0.504 X_5 + 55.234$ (r=0.89, SEE=3.79 ml/kg/min), where X_1: TMW distance (m), X_2: TMR distance (m), X_3: exercise frequency in a week (d/wk), X_4: HRrest (b/min), X_5: age (yr) and X_6: BMI. It is concluded that cardiorespiratory endurance could be better estimated by a combination of submaximal exercise performance and some easily measurable items correlating with cardiorespiratory endurance such as exercise frequency, circulatory function, chronological age and body composition.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1997, **46**: 179～188)

key words: cardiorespiratory endurance, treadmill walk test, treadmill run test, ratings of perceived exertion

I. 緒 言

全身持久性の指標としては，無酸素性代謝閾値($\dot{V}O_{2VT}$)[3,14,30,32]，乳酸性閾値($\dot{V}O_{2LT}$)[8,12,18,27～29]および最大酸素摂取量($\dot{V}O_2max$)[1,27～29,31]が多く用いられてきた．これらの測定は，専門技術や知識および施設を必要とするため，汎用性のある全身持久性体力の測定方法として用いることは困難である．全身持久性の簡便な評価法として，PWC170 や YMCA 法，および踏み台昇降テスト，ベンチステップテストなどの間接テストが開発されてきたが，これらは妥当性，安全性，簡便性な

*大妻女子大学人間生活科学研究所 *Institute of Human Living Sciences, Otsuma Women's University*
**筑波大学体育科学研究科 *Doctoral Program of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba*
***筑波大学体育科学系，先端学際領域研究センター *Institute of Health and Sport Sciences and Center for TARA (Tsukuba Advanced Research Alliance), University of Tsukuba*

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine

どの条件を十分に満たしているとはいえない．

竹島たち[27]の12分間グランド歩行テストと田中[28]の12分間トレッドミル歩行テストは，個人の主観的感覚に任せて運動強度を設定する全身持久性の簡易測定法である．それぞれ妥当性の高いもので，対象者へ過度の負担を強いることのない利点がある．これらの測定法のように，個人の主観に任せる最大下運動負荷テストによって精度の高い全身持久性の推定が可能であるならば，その意義は大きい．

しかしながら，これらの報告は運動不足者や有疾患者および高齢者についての成績であり，最大下での歩行テストが体力水準の高い者に対する全身持久性推定に適用できるかどうかは検証されていない．例えば，体力水準の高い者の歩行テストでは，呼吸循環器系機能に対する負荷強度が相対的に低いため，全身持久性を正しく評価するには至らない．このことは，トレッドミルを用いた10～12歳の少年の $\dot{V}O_2max$ が歩行よりも走行の方が高い安定性を示すとする報告[22]や，一般成人を対象にした場合は走行によって得られた $\dot{V}O_2max$ が最も高く，続いてジョギング，歩行の順になるとする報告[13,15,23,26]によって裏づけられる．

これまでの重回帰分析を適用して $\dot{V}O_2max$ を推定した報告では，最大下運動負荷テスト中の生理学的応答(心拍数，拡張期血圧，換気量，二酸化炭素排出量，$\dot{V}O_2$ など)，性，年齢，FFW (fat-free weight)などを有効な独立変数として採用している[7,17,19]．これらの研究に選択された独立変数は，従属変数のもつ分散量の大部分を説明する点では高く評価できるが，ガス交換パラメータを用いていることから，直接法と同等の設備や技術が必要となり，テストの簡便性に欠けることが指摘できる．

全身持久性を決定する要因には，年齢(加齢)，性，日常の運動習慣，呼吸循環器系機能，身体組成などが考えられる．また，運動負荷テストの安全性，簡便性を優先する立場では，最大下の運動強度でテストを実施することが必要条件となる．このようなことを考慮するならば，全身持久性を推定する独立変数として，最大下運動負荷テストによる運動成績だけでなく，全身持久性の関連要因を組み入れた推定モデルが，内容的に妥当であると考えられる．

以上のことから，本研究では若年成人男性を対象とし，Borg[4]による主観的運動強度(ratings of perceived exertion : RPE)を用いた12分間トレッドミル(TM)歩行テストおよび走行テストによる全身持久性評価の妥当性を検証すること，ならびに最大下運動負荷テストの成績に全身持久性に関連する簡便な個人情報を組み入れた全身持久性の線形推定式を作成することを目的とした．

Ⅱ．研 究 方 法

A．対象者

本研究の対象者は，メディカルチェックなど医学的諸検査で異常の認められない成人男性51名であった．なお，各対象者には研究の目的および検査内容を十分に説明し，研究参加への承諾を書面にて得た．対象者の年齢および身体的特徴は表1に示した．

B．全身持久性の推定モデル

全身持久性の推定要因は，図1に示すように，最大下運動負荷テスト成績に加えて，呼吸循環器系機能，年齢(加齢，老化)，日常の運動実施状況，身体組成から構成されると仮定した．最大下運動負荷テストの成績以外の要因は，全身持久性に関係していること(内容的妥当性)，問診や質問紙調査によって簡便に測定できること(実用性)，測定値の再現が確かなこと(信頼性)の条件を満足するものとした．なお，対象者の日常の運動実施状況については，質問紙法により週あたりの運動実施回数を調査した．

運動プログラムでは，$\dot{V}O_{2AT}$ (AT : anaerobic threshold)水準を基準とする運動強度を処方するのが一般的であるので，全身持久性推定の妥当基準は $\dot{V}O_2max$ と $\dot{V}O_{2AT}$ を採用し，それぞれ重回帰式の従属変数とした．最大下運動負荷テストの成績は歩行テストによる歩行距離(TM 歩行距離)および走行テストによる走行距離(TM 走行距離)を用い，それぞれ独立変数とした．各重回帰式に

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine

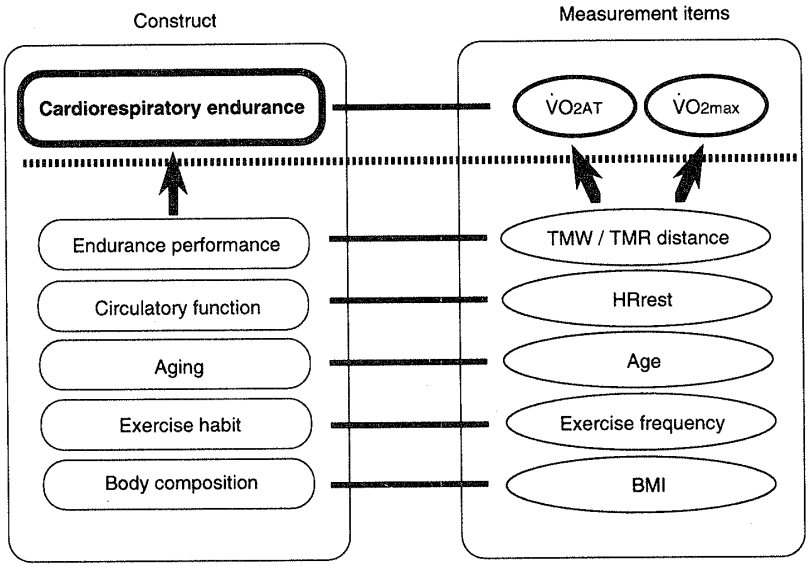


Fig. 1. Estimation model of cardiorespiratory endurance.

おける他の独立変数群は，循環器系機能は安静時心拍数，年齢(加齢，老化)は暦年齢，日常の運動習慣は週あたりの運動実施回数，身体組成はBMI(body mass index)を組み入れた．つまり，$\dot{V}O_{2AT}$ および $\dot{V}O_{2}max$ の2変数をそれぞれ従属変数，TM 歩行距離あるいは TM 走行距離のどちらかを採用独立変数とし，さらに有用な情報を提供する他の項目を追加独立変数として選択し，合計4つの重回帰推定モデルの精度を検討した．

C．$\dot{V}O_{2AT}$ と $\dot{V}O_{2}max$ の測定と決定

全身持久性の妥当基準としての $\dot{V}O_{2AT}$ および $\dot{V}O_{2}max$ は，トレッドミルの傾斜角度を0％一定にして2分間のウォームアップ後，10 m/min ずつ速度を高める多段階漸増負荷法によって測定した．負荷の漸増は，対象者が疲労困憊に至るまで続け，1) $\dot{V}O_2$ の levelling-off ($\Delta\dot{V}O_2 < 150$ ml/min)[31]，2) 呼吸交換比≧1.05，3) 運動時心拍数の最大値≧予測最高心拍数(220－暦年齢)の95％，の3つの判定基準のうち2つ以上を満たす場合とした[30]．$\dot{V}O_{2AT}$ は，運動中に $\dot{V}CO_2$ の増加する割合が $\dot{V}O_2$ よりも大きくなる時点での $\dot{V}O_2$ と定義し，V-slope 法[2]によって決定した．V-slope 法によって定義できる AT は，ventilatory threshold(VT)と定義されることもあるが，本稿では AT の表現に統一する．

D．最大下運動負荷テスト

TM 歩行および TM 走行テストは，ともに Borg[4]による RPE(主観的運動強度[21])で13の“ややきつい”と感じる個人の感覚に任せた強度で実施した．RPE を13に設定した根拠は，RPE 13～14 が LT(AT)水準に相当するとする報告[9,24,25,28,30]が多く，体力水準の低い対象者においても安全な強度と考えるからである．最大下運動負荷テストの成績は，ウォームアップ時を含めた総移動距離を用いて測定した．トレッドミルの傾斜角度は，歩行5％[28]，走行2％で一定とし，2分間のウォームアップ(歩行 60 m/min，走行 120 m/min)の後，残り10分間の速度を個人の意志に任せて設定(増減)した．なお歩行，走行時のトレッドミルの角度が異なるのは，歩行または走行速度の遅い場合，運動が不自然にならないように意図したためである．歩行時5％，走行時2％の傾斜角度はともに筆者らの経験から設定した．

運動中の換気および呼気ガス交換諸量は，Mijnhardt 製の Oxycon Gamma によって測定した．安静時と運動負荷テスト中の心拍数は，Polar 製のハートレイトモニタ(PE 3000)を用いて測定した．

E．統計解析

TM 歩行および TM 走行テストの妥当性は，$\dot{V}O_{2AT}$ および $\dot{V}O_{2}max$ を妥当基準とする基準関

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine

連妥当性によって検討した．妥当性係数はピアソンの積率相関係数によって求めた．統計的有意水準は5％とした．

全身持久性の線形推定式を作成するために $\dot{V}O_{2AT}$ および $\dot{V}O_{2max}$ を従属変数，TM 走行距離あるいは TM 歩行距離，暦年齢，BMI，安静時心拍数，週あたりの運動実施回数を独立変数とするステップワイズ法による重回帰分析を行なった．独立変数の投入・削除条件は，それぞれF値4.0とした．得られた重回帰式における従属変数に対する各独立変数の分散説明量をもって，各独立変数の従属変数に対する貢献度とした．

Ⅲ．結　　果

A．対象者の特性

$\dot{V}O_{2AT}$ および $\dot{V}O_{2max}$ の平均値および標準偏差（表1）は，42.0±9.0 ml/kg/min，55.9±7.4 ml/kg/min であった．RPE 13 水準での TM 歩行距離と TM 走行距離はそれぞれ 1,221±103 m，2,108±269 m であり，有意な相関（r＝0.607）関係にあった．

TM 歩行および TM 走行テストでの $\dot{V}O_2$ の動態を図2に示した．定常状態を呈した運動開始後5分から12分にかけての $\dot{V}O_2$ は，歩行 28 ml/kg/min，走行 42 ml/kg/min 前後の値が維持された．また，TM 走行時における定常状態の $\dot{V}O_2$ は，対象者の $\dot{V}O_{2AT}$ の平均値である 42.0±9.0 ml/kg/min に近似した値であった．

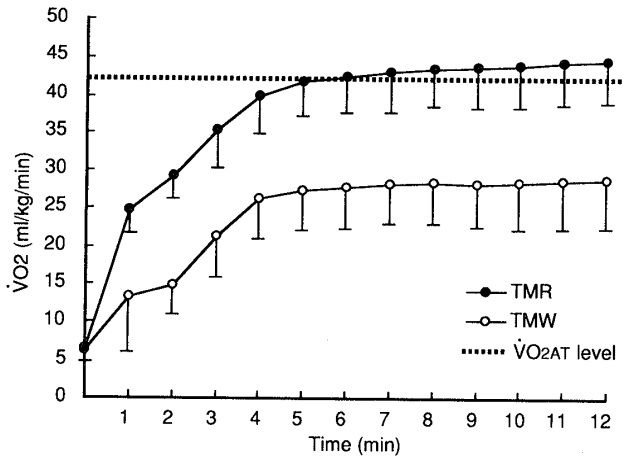


Fig. 2. Dynamic change of $\dot{V}O_2$ during 12-min treadmill walk/run test.

B．最大下12分間 TM 歩行・走行テストの妥当性

図3～図6は，TM 歩行距離および TM 走行距離と $\dot{V}O_{2AT}$ および $\dot{V}O_{2max}$ との相関関係を示したものである．$\dot{V}O_{2AT}$ と RPE 13 水準での TM 歩行距離との間に r＝0.49，TM 走行距離との間に r＝0.69 の有意な相関関係が認められた．$\dot{V}O_{2max}$ と TM 歩行距離との間には r＝0.48，TM 走行距離との間には r＝0.68 のそれぞれ有意な相関関係が認められた．$\dot{V}O_{2AT}$ または $\dot{V}O_{2max}$ を従属変数，TM 走行距離または TM 歩行距離を独立変数とする4つの単回帰における推定の標準誤差（SEE）は，TM 歩行距離を独立変数とした場合が $\dot{V}O_{2AT}$：8.10 ml/kg/min，$\dot{V}O_{2max}$：6.73 ml/kg/min であり，TM 走行距離を独立変数とした場合は $\dot{V}O_{2AT}$：6.70 ml/kg/min，

Table 1. Physical and physiological characteristics of the subjects (n=51).

Variable	Mean	SD	Min	Max
Age (yr)	22.8	3.6	20	34
Height (cm)	171.4	5.5	161.0	182.0
Weight (kg)	65.9	7.4	49.6	92.0
BMI (weight/height $^2\times10^4$)	22.4	1.9	18.7	30.4
HRrest (b/min)	75.9	10.5	54.0	98.0
Exercise frequency(d/wk)	3.5	2.5	0	7
$\dot{V}O_{2AT}$ (ml/kg/min)	42.0	9.0	16.2	61.5
$\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min)	55.9	7.4	39.5	74.4
TMW distance (m)	1221	103	920	1430
TMR distance (m)	2108	269	1190	2670

TMW: 12-min treadmill walk test (m), TMR: 12-min treadmill run test (m).

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine

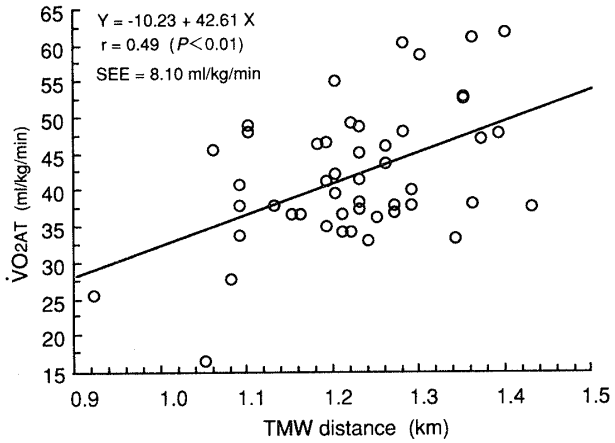


Fig. 3. Relationship between TMW distance and $\dot{V}O_{2AT}$.

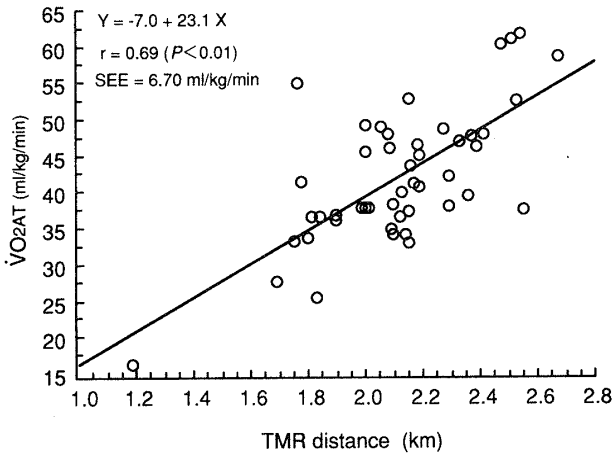


Fig. 4. Relationship between TMR distance and $\dot{V}O_{2AT}$.

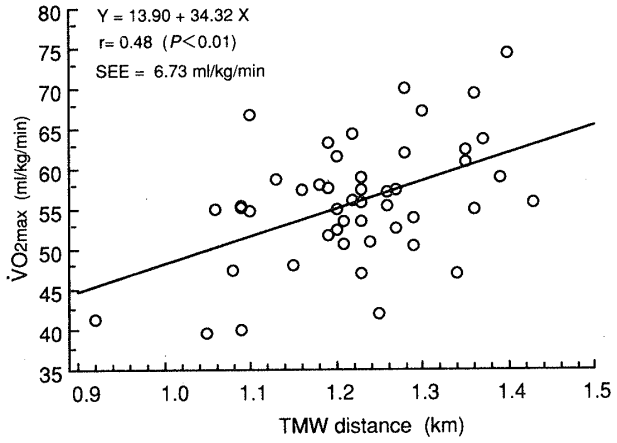


Fig. 5. Relationship between TMW distance and $\dot{V}O_2max$.

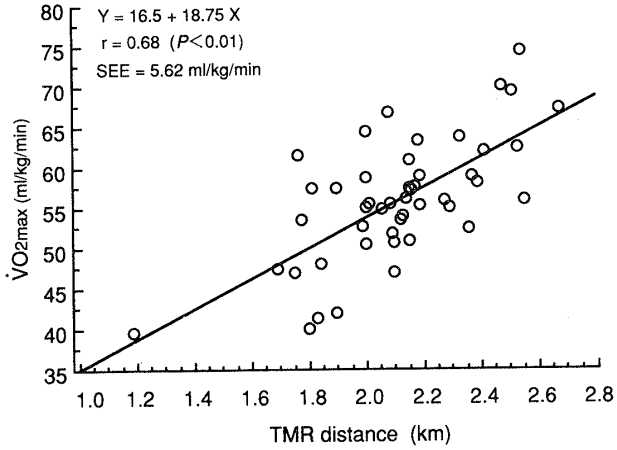


Fig. 6. Relationship between TMR distance and $\dot{V}O_2max$.

$\dot{V}O_2max$: 5.62 ml/kg/min であった．これらの SEE の範囲は実測値を100%とすると，TM 歩行距離を独立変数にした場合は $\dot{V}O_{2AT}$ が19.3%，$\dot{V}O_2max$ が12.0%であり，TM 走行距離を独立変数とした場合は $\dot{V}O_{2AT}$ が16.0%，$\dot{V}O_2max$ が10.1%であった．

C．重回帰分析の結果

4つの重回帰式を構成する独立変数の標準偏回帰係数(β係数)，回帰係数および相関係数を表2に示した．$\dot{V}O_{2AT}$ に対する重相関係数は，TM 歩行距離を独立変数に組み入れた場合 r＝0.83，TM 走行距離を独立変数に組み入れた場合 r＝0.90 であった．$\dot{V}O_2max$ に対する重相関係数は，TM 歩行距離を独立変数に組み入れた場合 r＝0.88，TM 走行距離を独立変数に組み入れた場合 r＝0.89 であった．4つの重回帰式ともに高い重相関関係が認められ，$\dot{V}O_{2AT}$，$\dot{V}O_2max$ いずれの全身持久性指標を従属変数に用いても，TM 走行距離を独立変数に組み入れた方が推定精度は高かった．$\dot{V}O_{2AT}$ または $\dot{V}O_2max$ を従属変数とする SEE は，TM 歩行距離を独立変数に組み入れた場合は $\dot{V}O_{2AT}$ が 5.33 ml/kg/min，$\dot{V}O_2max$ が 3.96 ml/kg/min であり，TM 走行距離を独立変数に組み入れた場合は $\dot{V}O_{2AT}$ が 4.18 ml/kg/min，$\dot{V}O_2max$ が 3.79 ml/kg/min であった．これらの SEE の範囲は実測値を100%とすると，TM 歩行距離を独立変数に組み入れた場合は $\dot{V}O_{2AT}$ が 12.7%，$\dot{V}O_2max$ が 7.1% であり，TM 走行距離を独立変数に組み入れた場合は $\dot{V}O_{2AT}$ が 9.9%，$\dot{V}O_2max$ が6.8%であった．

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine

Table 2. Results of multiple regression analysis.

When TMW distance entered as an indipendent variable.

Variable	Estimation of $\dot{V}O_{2AT}$			Estimation of $\dot{V}O_{2max}$		
	Regression coefficient	Beta	r	Regression coefficient	Beta	r
Exercise frequency	2.30	0.61	0.72	1.13	0.36	0.61
HRrest	-0.30	-0.35	-0.41	-0.21	-0.29	-0.49
TMW distance	20.72	0.23	0.46	19.94	0.27	0.48
Age				-0.66	-0.32	-0.55
BMI				-0.85	-0.22	-0.47
Constant	31.90			77.90		

Multiple correlation coefficient: 0.83 ($\dot{V}O_{2AT}$), 0.88 ($\dot{V}O_{2max}$)

When TMR distance entered as an indipendent variable.

Variable	Estimation of $\dot{V}O_{2AT}$			Estimation of $\dot{V}O_{2max}$		
	Regression coefficient	Beta	r	Regression coefficient	Beta	r
Exercise frequency	2.16	0.58	0.72	1.27	0.41	0.61
HRrest	-0.16	-0.18	-0.41	-0.19	-0.27	-0.49
TMR distance	15.44	0.46	0.69	10.82	0.39	0.70
Age				-0.50	-0.25	-0.55
Constant	14.23			55.23		

Multiple correlation coefficient: 0.90 ($\dot{V}O_{2AT}$), 0.89 ($\dot{V}O_{2max}$)

以下に得られた重回帰式を示す．ここで，X_1：TM 歩行距離(m)，X_2：TM 走行距離(m)，X_3：週あたりの運動実施回数(d/wk)，X_4：安静時心拍数(b/min)，X_5：暦年齢(yr)，X_6：BMI とすると：

[TM 歩行距離を独立変数に組み入れた場合]

$$\dot{V}O_{2AT}=20.781\,X_1+2.298\,X_3-0.297\,X_4+31.855$$
$$(r=0.83,\ SEE=5.33\ ml/kg/min)$$
$$\dot{V}O_{2max}=19.941\,X_1+1.127\,X_3-0.208\,X_4$$
$$-0.656\,X_5-0.853\,X_6+77.884$$
$$(r=0.88,\ SEE=3.96\ ml/kg/min)$$

[TM 走行距離を独立変数に組み入れた場合]

$$\dot{V}O_{2AT}=15.443\,X_2+2.158\,X_3-0.157\,X_4+14.234$$
$$(r=0.90,\ SEE=4.18\ ml/kg/min)$$
$$\dot{V}O_{2max}=10.817\,X_2+1.274\,X_3-0.1946\,X_4$$
$$-0.504\,X_5+55.234$$
$$(r=0.89,\ SEE=3.79\ ml/kg/min)$$

D．独立変数の貢献度

図7に $\dot{V}O_{2AT}$ および $\dot{V}O_{2max}$ の重回帰式を構成する独立変数の貢献度を示した．独立変数の貢献度はそれぞれの重回帰式において異なった．$\dot{V}O_{2AT}$ 推定式において最も高い貢献度を示したのは，週あたりの運動実施回数であり，TM 歩行距離を独立変数に組み入れた場合44.1%，TM 走行距離を独立変数に組み入れた場合41.4%となった．$\dot{V}O_2max$ の推定式において最も高い貢献度を示したのは，TM 歩行距離を独立変数に組み入れた場合の週あたりの運動実施回数 (21.9%) であり，一方，TM 走行テストでは TM 走行距離 (26.9%)であった．

$\dot{V}O_2max$ 推定式では，$\dot{V}O_{2AT}$ 推定式の構成要素に選択されなかった独立変数が選択された．TM 歩行距離を独立変数に組み入れた場合，暦年齢(17.6%)および BMI(10.6%)が，TM 走行距離を独立変数に組み入れた場合，暦年齢(13.5%)が選択された．

最大下運動負荷テストの成績の貢献度は，$\dot{V}O_{2AT}$ に対する TM 歩行距離が10.8%，TM 走行距離が32.2%，$\dot{V}O_2max$ に対する TM 歩行距離が12.8%，TM 走行距離が26.9%であった．両方の従属変数に対して TM 走行距離が TM 歩行距離よりも高い貢献度を示した．

安静時心拍数はすべての推定式に選択され，$\dot{V}O_{2AT}$ に対する貢献度は，TM 歩行距離を組み入れた推定式で14.3%，TM 走行距離を組み入れた推定式で7.5%，$\dot{V}O_2max$ に対する貢献度は，TM 歩行距離を組み入れた推定式で14.2%，TM 走行距離を組み入れた推定式で13.3%であった．

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine

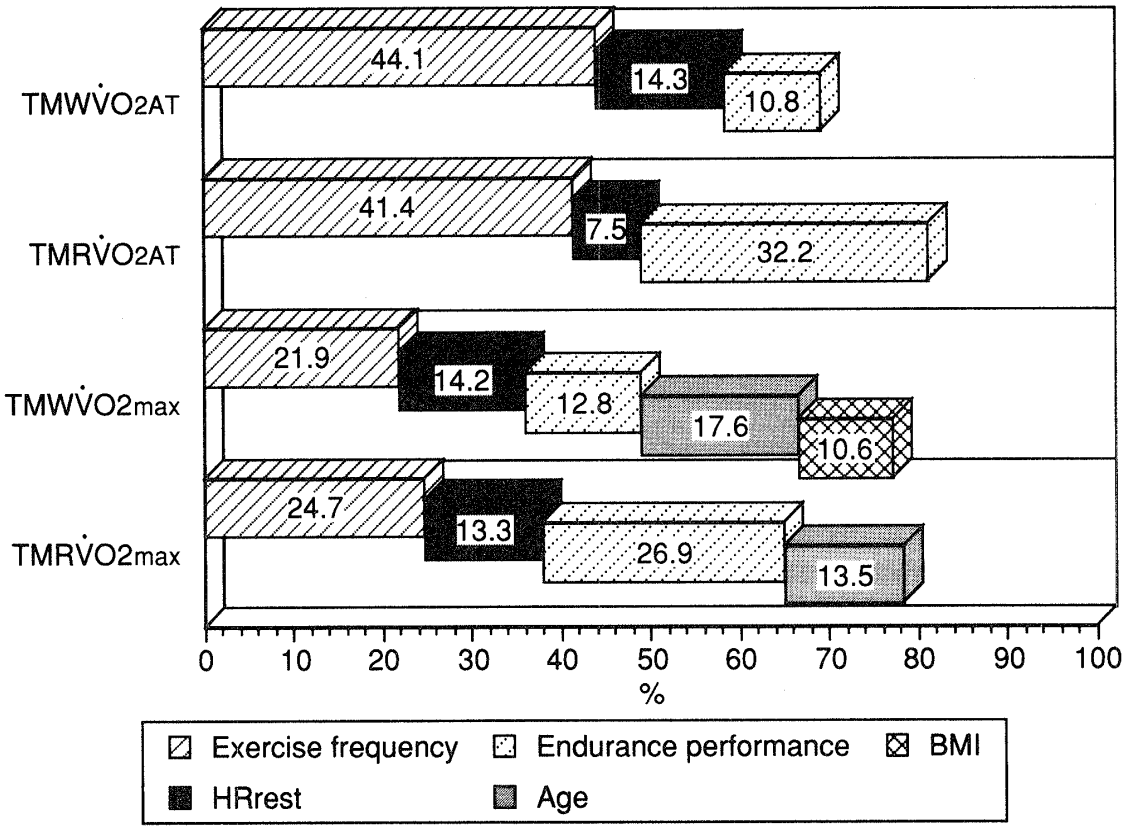


Fig. 7. Contribution of each independent variable for the estimation of cardiorespiratory endurance.

Ⅳ. 考　　察

A．主観的運動強度を用いた運動負荷テストの妥当性

本研究で採用した運動負荷様式は，トレッドミル上での歩行および走行であり，それぞれの歩行距離・走行距離を運動成績とした．運動強度の設定は RPE を用いた．RPE を指標にする場合に問題になるのは，ヒトの主観的情報を数値化することに客観性が保証されるかどうかである．つまり，その強度に対する個人の感覚の尺度にばらつきがないか，主観量の安定性はあるのか，生理的応答を反映しているかなどの問題が考えられる．しかし，RPE を指標にした体力評価は，個人の能力に応じた運動強度を正確に反映していることが確かめられている[16]．

さらに，RPE を用いて全身持久性の推定法を作成した報告では，竹島たち[27]や田中[28]が，その妥当性の高いことを明らかにしている．本研究においても，RPE 13 の運動を負荷して測定した運動成績(TM 歩行および TM 走行距離)と $\dot{V}O_{2AT}$ および $\dot{V}O_2max$ は有意な正の相関関係にあった．同一の RPE のもとでは，全身持久性の高い者は運動負荷テストの成績が高く，低い者は運動負荷テストの成績が低くなる．以上のことから，RPE による個人の主観的評価尺度は，全身持久性水準を反映した運動負荷の客観的評価尺度になることが示唆される．個人の最も高い $\dot{V}O_2max$ が記録されるためには，呼吸循環器系と骨格筋代謝がほぼ同時に疲労困憊に達することが理想である．Dempsey[10]は，よくトレーニングされた者と一般人では $\dot{V}O_2max$ を決定する要因が異なり，前者は呼吸循環器系，後者は運動機能に働く骨格筋の代謝に依存するとしている．言い換えれば，$\dot{V}O_2max$ を求める場合，一般人では呼吸循環器系代謝が疲労困憊に至る前に骨格筋の疲労により運動を中止せざるを得ず，個人の最大限の能力を測定できない．この点で本法の RPE 13 の運動強度は，代謝性アシドーシスによる 1 回拍出量および心機能の低下[5,30]，心筋虚血の増大[6]な

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine

どの生理機能に悪影響を及ぼさない AT 水準[9,24,25]の運動強度であると考えられるので，呼吸循環器系機能と骨格筋代謝のどちらにも偏向することなく全身持久性を推定できると思われる．

本研究の結果では，TM 歩行での $\dot{V}O_2$ の定常状態は 28 ml/kg/min 前後であり，ガス交換パラメータから決定した AT 水準(42.0±9.0 ml/kg/min)を下回った状態にあった．一方，TM 走行における $\dot{V}O_2$ の定常状態は，42 ml/kg/min 前後であり，理論上，AT 水準がほぼ維持された(図2)．この結果は，本法における TM 歩行および TM 走行の運動強度は，$\dot{V}O_2max$ の測定に比較して安全性が高いこと，対象者への負担が軽いことを示唆するものである．

また，測定の安全性と対象者への負担度に着目すれば，一般的に歩行は走行に比べて有用性が高い．しかしながら，本研究の対象者である若年成人男性では，TM 歩行は TM 走行よりも $\dot{V}O_{2AT}$ および $\dot{V}O_2max$ の推定精度が低かった．これは，本研究の対象者にとって，トレッドミル上での走行による運動様式が，歩行によるそれよりも呼吸循環器系機能をより正確に発揮できたことを示している．この結果と有疾患者や高齢者を対象にした竹島たち[27]や田中[28]による歩行での全身持久性の推定精度が高いとする報告を考慮すると，対象者の体力水準によって運動様式を設定する必要性が示唆される．したがって，歩行あるいは走行を用いた持久性運動成績から $\dot{V}O_2max$ または $\dot{V}O_{2AT}$ を推定する場合，対象者の年齢，性，体力水準，日常の運動習慣，などを考慮して運動様式を決定するべきであると考える．

B．全身持久性の推定因子

$\dot{V}O_{2AT}$ または $\dot{V}O_2max$ を従属変数とする重回帰式における推定の誤差範囲(SEE)は，TM 歩行距離($\dot{V}O_{2AT}$：12.7%，$\dot{V}O_2max$：7.1%)よりも TM 走行距離($\dot{V}O_{2AT}$：9.9%，$\dot{V}O_2max$：6.8%)を選択した方が小さかった．$\dot{V}O_2max$ を間接的に求める場合，±10%の誤差は避けられない[17,19]とする報告に準拠するならば，この推定誤差は許容できる範囲であるといえる．

$\dot{V}O_{2AT}$ および $\dot{V}O_2max$ は，心肺の機能的水準，さらには性や年齢など多くの因子によって規定される総合的な能力を示す指標であることから，ひとつの独立変数から $\dot{V}O_{2AT}$ または $\dot{V}O_2max$ を推定するよりは，これらに関連する複数の因子を用いて推定する方が精度の高まることが推察される．

田中たち[29]は，医療機関などで実施する運動負荷テストの実施前に，患者の全身持久性を推測する目的で，質問紙法による簡易なスクリーニングテストを開発した．これによれば，$\dot{V}O_2peak$ の推定値と実測値との相関係数は r＝0.60～0.78 であり，質問紙法によっても全身持久性が推定できると報告している．このことを踏まえると，運動負荷テストを行なう前に質問紙法によって得られる個人情報の利用価値は高く，本研究の方法と併用することは有用であると考えられる．

本研究で用いた全身持久性の推定変数は，最大下運動負荷テストの成績，週あたりの運動実施回数，安静時心拍数，年齢および BMI であった．得られた重回帰式では，週あたりの運動実施回数は最大下運動負荷テストの成績に比べて大きな貢献度を示し，全身持久性推定因子としての重要性が明らかとなった．

安静時心拍数は，従属変数である $\dot{V}O_{2AT}$ または $\dot{V}O_2max$ との間に0.41～0.49の中等度に低い相関関係があるものの，他の独立変数との間の相関関係が低いために，重回帰式には15%程度の安定した貢献度をもって，全身持久性推定因子としての重要性を示した．

最大下運動負荷テストの成績は，従属変数である $\dot{V}O_{2AT}$ および $\dot{V}O_2max$ との間に中等度に高い相関関係があり，全身持久性推定には必要不可欠な変数である．本研究での従属変数に対する貢献度は，運動負荷様式に歩行を採用するよりも走行を採用した場合の方が高くなることが認められた．これは，対象者の体力水準が比較的高い集団であったためと推察される．体力水準の高い者に対する歩行による負荷テストは，呼吸循環器系機能に対する負荷強度が低く，そのために走行による負荷テストに比べて全身持久性の推定精度が低くなったといえる．

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine

暦年齢は，$\dot{V}O_2max$ を推定している他の報告においても独立変数として用いられている[7,11,17]．一方，$\dot{V}O_{2AT}$ の推定式では暦年齢は独立変数に選択されなかった．これは，$\dot{V}O_{2AT}$ に比べて $\dot{V}O_2max$ の方が加齢とともに顕著に減少することが反映されるものであると推測できる．

BMI は，運動負荷様式に歩行を用いた $\dot{V}O_2max$ を従属変数とする推定式のみに選択された．BMI は重回帰式における貢献度は小さいが，TM 歩行距離を独立変数に組み入れて $\dot{V}O_2max$ を推定する場合は，従属変数の説明分散量を大きくすることから，推定の精度を高くするために重要な独立変数であるといえる．

このように，RPE 13 水準の運動負荷テストの成績だけではなく，週あたりの運動実施回数，安静時心拍数，暦年齢，BMI を推定式に組み入れることによって，推定値をより実測値に近似させ，$\dot{V}O_{2AT}$ および $\dot{V}O_2max$ の推定値の精度を SEE で約 2～3 ml/kg/min 高められることが検証された．推定の SEE は，TM 歩行距離または TM 走行距離のみで $\dot{V}O_2max$ および $\dot{V}O_{2AT}$ を推定した場合(10.1～19.3%)よりも小さくなった(6.7～12.7%)．

以上のことより，得られた重回帰式では，TM 歩行または TM 走行の運動成績と全身持久性に関連する簡便な個人情報とを組み合わせることによって，精度の高い全身持久性の推定が可能である．したがって，本法は簡便で正確な有用性の高い全身持久性の推定法であると考える．

V. 要　　約

本研究は，若年成人男性に対する全身持久性推定法として，RPE 13 水準を用いた12分間トレッドミル(TM)歩行テストおよび走行テストの妥当性を検証するとともに，最大下運動負荷テスト成績に全身持久性に関連する簡便な個人情報を組み合わせることによって，精度の高い全身持久性の重回帰推定式を作成することを目的とした．推定式を構成する独立変数は，運動負荷様式によって $\dot{V}O_{2AT}$ の推定式と $\dot{V}O_2max$ の推定式とでは異なっている．

TM 歩行距離を独立変数に組み入れた場合：

$$\dot{V}O_{2AT}=20.781\,X_1+2.298\,X_3-0.297\,X_4+31.855$$
$$(r=0.83,\ SEE=5.33\ ml/kg/min)$$

$$\dot{V}O_2max=19.941\,X_1+1.127\,X_3-0.208\,X_4-0.656\,X_5-0.853\,X_6+77.884$$
$$(r=0.88,\ SEE=3.96\ ml/kg/min)$$

TM 走行距離を独立変数に組み入れた場合：

$$\dot{V}O_{2AT}=15.443\,X_2+2.158\,X_3-0.157\,X_4+14.234$$
$$(r=0.90,\ SEE=4.18\ ml/kg/min)$$

$$\dot{V}O_2max=10.817\,X_2+1.274\,X_3-0.1946\,X_4-0.504\,X_5+55.234$$
$$(r=0.89,\ SEE=3.79\ ml/kg/min)$$

X_1：TM 歩行距離(m)，X_2：TM 走行距離(m)，X_3：週あたりの運動実施回数(d/wk)，X_4：安静時心拍数(b/min)，X_5：暦年齢(yr)，X_6：BMI.

このように，RPE 13 水準の主観的運動強度を用いた12分間トレッドミル(TM)歩行および走行の運動成績と，簡便に測定可能な全身持久性に関連する項目：暦年齢，安静時心拍数，週あたりの運動実施回数，BMI を組み合わせることによって，$\dot{V}O_{2AT}$ または $\dot{V}O_2max$ に対する推定誤差範囲が顕著に小さくなった(6.7～12.7%)．したがって，本法は安全性に優れた簡便で精度の高い全身持久性推定法と考えられる．

(受理日　平成８年12月26日)

文　　献

1) Åstrand, P. O. New records in human power. Nature, (1955), **176**, 922-923.
2) Beaver, W. L., Wasserman, K. and Whipp, B. J. Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. J. Appl. Physiol., (1985), **59**, 1936-1940.
3) Beaver, W. L., Wasserman, K. and Whipp, B. J. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. J. Appl. Physiol., (1986), **60**, 2020-2027.
4) Borg, G. A. V. Perceived exertion: A note on "history" and methods. Med. Sci. Sports, (1973), **5**, 90-93.
5) Concu, A. and Marcello, C. Stroke volume response to progressive exercise in athletes engaged in different types of training. Eur. J. Appl. Physiol., (1993), **66**, 11-17.
6) Coyle, E. F., Martin, W. H., Ehsani, A. A., Blood lactate threshold in some well-trained ischemic

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine

heart disease patients. J. Appl. Physiol., (1983), **54**, 18-23.
7) Davies, C. T. M. Maximal aerobic power in relation to body composition in healthy, sedentary adults. Human Biol., (1972), **44**, 127-139.
8) Davies, J. A., Vodak, P., Wilmore, J. H., Vodak, J. and Kurtz, P. Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. J. Appl. Physiol., (1976), **41**, 544-550.
9) Demello, J. J., Cureton, K. J., Boineau, R. E. and Singh, M. M. Rating of perceived exertion at the lactate threshold in trained and untrained men and women. Med. Sci. Sports Exerc., (1987), **19**, 354-362.
10) Dempsey, J. A. Is the lung built for exercise ? Med. Sci. Sports Exerc., (1986), **18**, 143-155.
11) Ebbeling, C. B., Ward, A., Puleo, E. M., Widrick, J., and Rippe, J. M. Development of a single stage submaximal treadmill walking test. Med. Sci. Sports Exerc., (1991), **23**, 966-973.
12) Farrell, P. A., Wilmore, J. H., Coyle, E. F., Billing, J. E. and Costill, D. L. Plasma lactate accumulation and distance running performance. Med. Sci. Sports, (1979), **11**, 338-344.
13) Knowlton, R. G., Sawka, M. N. and Deutsch, D. T. Varied intensity treadmill protocols for the measurement of maximal oxygen uptake. J. Sports Med. Phys. Fitness, (1977), **17**, 263-268.
14) McArdle, W. D., Katch, F. I. and Katch, V. L. Training for anaerobic and aerobic power. [In] Exercise Physiology. Lea & Febiger, Philadelphia, (1981), 266-285.
15) McArdle, W. D., Katch, F. I. and Pechar, G. S. Comparison of continuous and discontinuous treadmill and bicycle tests for max$\dot{V}O_2$. Med. Sci. Sports, (1973), **5**, 156-160.
16) Hage, P. Perceived exertion : One measure of exercise intensity. Physician Sportsmed, (1981), **19**, 136-143.
17) Hermiston, R. T. and Faulkner, J. A. Prediction of maximal oxygen uptake by a stepwise regression technique. J. Appl. Physiol., (1971), **30**, 833-837.
18) Ivy, J. L., Costill, D. L. and Maxwell, B. D. Skeletal muscle deterrminants of maximum aerobic power in man. Eur. J. Appl. Physiol., (1980), **44**, 1-8.
19) Mastropaolo, J. A. Prediction of maximal O_2 consumption in middle-aged men by multiple regression. Med. Sci. Sports, (1970), **2**, 124-127.
20) Noble, B. J. Clinical applications of perceived exertion. Med. Sci. Sports Exerc., (1982), **14**, 406-411.
21) 小野寺孝一，宮下充正．全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性．体育学研究，(1976)，**21**，191-203.
22) Paterson, D. H., Cunningham, D. A. and Donner, A. The effect of different treadmill speeds on the variability of $\dot{V}O_2$max in children. Eur. J. Appl. Physiol., (1981), **47**, 113-122.
23) Pollock, M. L., Bohannon, R. L., Cooper, K. H., Ayres, J. J., Ward, A., White, S. R. and Linnerud, A. C. A comparative analysis of four protocols for maximal treadmill stress testing. Am. Heart. J., (1976), **92**, 39-46.
24) Prusaczyk, W. K., Cureton, K. J., Graham, R. E. and Ray, C. A. Differential effects of dietary carbohydrate on RPE at the lactate and ventilatory thresholds. Med. Sci. Sports Exerc., (1992), **24**, 568-575.
25) Purvis, J. W. and Cureton, K. J. Rating of percieved exertion at anaerobic threshold. Ergonomics, (1981), **24**, 295-300.
26) Stamford, B. T. Maximal oxygen uptake during treadmill walking and running at various speeds. J. Appl. Physiol., (1975), **39**, 386-389.
27) 竹島伸生，田中喜代次，小林章雄，渡辺丈真，鷲見勝博，加藤孝之．高齢者の全身持久性評価における種々の間接法の妥当性．体力科学，(1992)，**41**，295-303.
28) 田中喜代次．全身持久性能力の簡易評価法に関する提案．臨床スポーツ医学，(1995)，**12**，217-223.
29) 田中喜代次，金 禧植，李 美淑，佐藤喜久，大浜三平，上向井千佳子，長谷川陽三，檜山輝男．質問紙によるヒトの全身持久性体力の簡易評価法に関する提案．臨床スポーツ医学，(1995)，**12**，438-444.
30) Tanaka, K., Yoshimura, T., Sumida, S., Mitsuzono, R., Tanaka, S., Konishi, Y., Watanabe, H., Yamada, T., and Maeda, K. Transient responses in cardiac function below, at, and above anaerobic threshold. Eur. J. Appl. Physiol., (1986), **55**, 356-361.
31) Taylor, H. L., Buskirk, E. and Henschel, A. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. J. Appl. Physiol., (1955), **8**, 73-80.
32) Wasserman, K., Whipp, J. B., Koyal, S. N. and Beaver, W. L. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. J. Appl. Physiol., (1973), **35**, 236-243.

NII-Electronic Library Service