簡易推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ と冠動脈疾患危険因子との関係

松原 建史^{1),2)} 小池 城司^{1),3),4),5)} 樋口 慶亮²⁾
 柳川 真美^{1),2)} 進藤 宗洋⁶⁾

Takeshi Matsubara^{1,2)}, George Koike^{1,3,4,5)}, Yoshiyasu Higuchi²⁾, Mami Yanagawa^{1,2)} and Munehiro Shindo⁶⁾: An inverse association between the predicted 50% $\dot{V}O_2\text{max}$ per body weight calculated by a simple and novel equation and coronary risk factors. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 57: 369-377, December, 2012

Abstract : The aim of this study was to establish a simple and novel equation to determine the 50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ (ml/kg/min) predicted by the one-point method (1 PM50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$) using data from daily exercise aimed at health promotion, and to elucidate the relationship between this 1 PM50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ and coronary risk factors (CRFs).

Data from 632 female subjects (aged 41 ± 13 years) were studied. The 1 PM50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ was calculated from paired values of work rate and heart rate during exercise on a stationary bicycle ergometer, and the age-predicted heart rate at 50% $\dot{V}O_2\text{max}$ ($=138-\text{age}/2$). As CRFs, percentage body fat, systolic blood pressure, diastolic blood pressure, total cholesterol, triglyceride, high-density lipoprotein cholesterol, fasting blood sugar and HbA1c were measured. Logistic regression analysis was carried out for statistical analysis.

Our findings confirmed that the odds ratio of having abnormal values for CRFs was lower at a higher 1 PM50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ ($p < 0.001$), indicating that data obtained from daily training aimed at health promotion are very valuable for calculating 1 PM50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ for assessment of health status.

Key words : health promotion, training data, sub-maximal aerobic capacity, coronary risk factors, cross-sectional study

キーワード : 健康づくり, トレーニングデータ, 最大下有酸素性作業能力, 冠動脈疾患危険因子, 横断的研究

I はじめに

健康づくり運動では安全確認のためのメディカ

ルチェックと、運動継続に向けた支援の一環として、一定期間の運動トレーニング前後に運動負荷試験による全身持久力測定と各種体力測定を実施し、トレーニングの成果を評価・検証することが

- 1) 福岡市健康づくりセンター
〒810-0073 福岡市中央区舞鶴 2-5-1
- 2) 株式会社健康科学研究所
〒810-0001 福岡市中央区天神 3-11-20-6F
- 3) 財団法人福岡市健康づくり財団
〒810-0073 福岡市中央区舞鶴 2-5-1
- 4) 福岡市医師会成人病センター
〒814-8522 福岡市早良区祖原15-7
- 5) 九州大学大学院医学研究院循環器内科学
〒812-0054 福岡市東区馬出 3-1-1
- 6) 福岡大学スポーツ科学部運動生理学研究室
〒814-0133 福岡市城南区七隈 8-19-1

連絡先 松原建史

1. Fukuoka Health Promotion Center
2-5-1 maizuru, chuo-ku, fukuoka 810-0073
 2. Laboratory of Physical Science Inc.
3-11-20-6F tenjin, chuo-ku, fukuoka 810-0001
 3. Fukuoka Health Promotion Foundation
2-5-1 maizuru, chuo-ku, fukuoka 810-0073
 4. Fukuoka City Medical Association Hospital
15-7 sohara, sawara-ku, fukuoka 814-8522
 5. Kyushu University Graduate School of Medical Sciences
3-1-1 maidashi, higashi-ku, fukuoka 812-0054
 6. Fukuoka University Faculty of Sport and Health Science, Laboratory of Exercise Physiology
8-19-1 nanakuma, jonan-ku, fukuoka 814-0133
- Corresponding author mtakeshi470717@yahoo.co.jp

推奨されている（運動所要量・運動指針の策定検討会，2006）．特に，体力面から健康度を評価することは，運動継続に対する動機づけや目標設定を行う上で有効な手立てとなる．そして，健康度を評価する健康関連体力指標として最も信頼性が高いのは，単位体重当たりの最大酸素摂取量（以下， $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ ）であり，その有効性については多くの疫学的エビデンスにより支持されている（Blair et al., 1989; Blair et al., 1995; Katzmarzyk et al., 2005; Sawada et al., 2003a; Sawada et al., 2003b）．健康づくり運動の現場でも推定法により $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ を測定しているところもあるが（進藤，2000a; Sunami et al., 1999），推定法であっても $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ の測定には時間と専用の機器を要するため，ポピュレーションアプローチを展開している現場で定期的実施するのは困難なことが多い．

また，各自治体では地域での健康づくり支援を目的に健康増進運動施設を整備し，そこでは多くの住民が日々，運動トレーニングに励んでいる．開設10年以上が経過した施設も多く，中には利用者の毎回の運動トレーニングデータを管理・保管し，一人当たりの運動回数が1,000回を超えるような健康づくり運動長期継続者のデータも蓄積されているものの，これまでこれらのデータがまとめられて健康づくりの現場から報告されたことは少ない．有酸素性運動トレーニングで自転車エルゴメータを用いる場合は，基本的に時間，強度，頻度の設定を行う（アメリカスポーツ医学会，2006）．このため，一般的に管理・保管されているデータは，対象者の特性としての性別，年齢，身長，体重，安静時収縮期血圧（以下，SBP; systolic blood pressure），安静時拡張期血圧（以下，DBP; diastolic blood pressure），安静時心拍数（以下，HR; heart rate）と，運動情報として自転車エルゴメータの運動時間，仕事率（以下，WR; work rate），運動時 HR（以下，eHR; exercise HR）と実施日などである．これらのデータを用いて， $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ の推定も可能ではあるが，1組の WR とそれに対応する eHR から $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ を推定する際，用いる eHR が70% $\dot{V}O_2$

max 以上に相当しなければ，推定値の正確性が極めて低くなることが報告されている（進藤ほか，2000b）．しかしながら，健康づくり運動の現場では50% $\dot{V}O_2\text{max}$ 程度の中等強度が推奨されていることや（Pate et al., 1995; Saris et al., 2003 ; 運動所要量・運動指針の策定検討会，2006），高強度運動は危険を伴うため（Giri et al., 1999; Mittleman et al., 1993），70% $\dot{V}O_2\text{max}$ を超えるような運動データが揃っていることは稀である．つまり，健康づくり運動として推奨されている50% $\dot{V}O_2\text{max}$ 相当近傍の1組の eHR と WR のトレーニングデータを用いて，体力レベルや健康度を正しく評価する方法が確立されておらず，これが各健康増進運動施設に蓄積されている膨大なデータの情報が活用されてこなかった要因の一つと考えた．

先に述べたように，50% $\dot{V}O_2\text{max}$ 近傍の最大下有酸素性運動時の WR とそれに対応する eHR から $\dot{V}O_2\text{max}$ を推定することは正確性に欠ける．そこで， $\dot{V}O_2\text{max}$ を推定するのではなく，健康度を評価できる独自の最大下有酸素性作業能力指標の確立が望まれる．最大下有酸素性作業能力と健康度との関係性については，これまでに，乳酸閾値（以下，LT: lactate threshold）相当の単位体重当たり酸素摂取量（以下， $\dot{V}O_2/\text{wt}$ ）とインスリン感受性や（Tanaka et al., 1995），換気閾値（以下，VT; ventilatory threshold）相当の $\dot{V}O_2/\text{wt}$ と血管コンプライアンス（Otsuki et al., 2006）との間に関係性があることが明らかにされており，最大下有酸素性作業能力も健康関連体力の指標になり得る可能性が示唆されている．しかし，LT や VT を健康づくり運動の現場で測定するのは，推定 $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ を測定すること以上に困難である．そこで，松原ほか（2011a）は LT や VT に代わる最大下有酸素性作業能力の指標として，自転車エルゴメータ運動中の3組以上の WR とそれに対応する eHR，年齢推定の50% $\dot{V}O_2\text{max}$ 相当の HR（進藤ほか，2010）から算出した推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ （単位は，ml/kg/分）に着目し（以下，3点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ ），これが高い程，冠動脈疾患危険因子

(以下, CRFs; coronary risk factors) の異常値保有のオッズ比が低いことを報告している. しかしながら, この指標も多段階式漸増運動負荷試験(以下, 運動負荷試験)により求めた3組以上のWRとそれに対応するeHRが必要であり, 健康づくり運動の現場で実施することは現場の人的および財的資源を考えた場合には難しく, また, これまで蓄積された運動トレーニングデータを活かすことにも繋がらない.

そこで, 本研究の目的は, 自転車エルゴメータによる有酸素性運動時の1組のWRとそれに対応するeHRからなるデータを用いて, 推定50% $\dot{V}O_{2max}/wt$ (以下, 1点法・推定50% $\dot{V}O_{2max}/wt$)を求める方法を考案するとともに, 考案した1点法・推定50% $\dot{V}O_{2max}/wt$ とCRFs異常値保有のオッズ比との関係性と, 3点法・推定50% $\dot{V}O_{2max}/wt$ とCRFs異常値保有のオッズ比との関係性とを比較することで, 1点法・推定50% $\dot{V}O_{2max}/wt$ の健康関連体力指標としての妥当性を検証することとした. 健康関連体力指標としての1点法・推定50% $\dot{V}O_{2max}/wt$ の妥当性が認められれば, 日々の運動トレーニングデータを用いた簡易的な健康度の評価と運動継続に向けた支援がより容易になり, 健康づくり運動の指導現場において有益な情報になると考えた.

Ⅱ 方 法

1. 対象者

対象はF市健康づくりセンターの健康度診断1日コースへ自主的に参加した女性1267名のうち, 高血圧症・糖尿病・脂質異常症治療中の者, 妊娠・授乳中の者と3点法・推定50% $\dot{V}O_{2max}/wt$ の算出除外基準に該当した635名を除いた632名とした. また, 複数回参加している者は初回データのみを用いた. 年齢は 40.7 ± 12.8 歳, 体重は 51.8 ± 6.9 kg, BMI (body mass index) は 20.8 ± 2.5 kg/m²であった(値は, 平均値 $\pm$ 標準偏差). 全ての対象者へは健康度診断1日コースへの参加申し込み時に, 測定の方法と求められた測定値を研究目的で使用することを口頭で説明し,

文書にて同意を得た. 本研究は福岡市健康づくり研究委員会の承認を得て実施したものである.

2. 3点法・推定50% $\dot{V}O_{2max}/wt$ の算出方法

3点法・推定50% $\dot{V}O_{2max}/wt$ の算出方法は, 先の報告の通りとした(松原ほか, 2011a). まず1負荷4分間の4負荷(正常終了時間は16分)からなる自転車エルゴメータによる運動負荷試験を行った. 各負荷のWRは, 第1負荷から第4負荷の順で, おおよそ40%, 50%, 60%, 70% $\dot{V}O_{2max}$ 相当のeHRになるように, 対象者の性, 年齢, 体重, 運動習慣を考慮して設定し, 各% $\dot{V}O_{2max}$ 相当のeHRは日本体育科学センターが発表している10歳ごとの年齢階級値を参照した(進藤ほか, 2010). また, 測定値の推定精度を確保するために, ①WRとeHRとの一次回帰式における決定係数が0.9未満に該当するもの, ②eHRの最小値が40% $\dot{V}O_{2max}$ 以上に相当するもの, ③eHRの最大値が60% $\dot{V}O_{2max}$ 未満に相当するものは対象から除外した. そして, WRとそれに対応するeHRの3組以上の組み合わせを用いて, 一次回帰式を求め, これに年齢から推定した50% $\dot{V}O_{2max}$ 相当のHR(以下, 年齢推定50%HR, 推定式; $138 - \text{年齢}/2$ (拍/分))(進藤ほか, 2010)を代入し, 50% $\dot{V}O_{2max}$ 相当のWRを求めた. 求めたWRと体重を, アメリカスポーツ医学会編・運動処方指針(2000)の代謝計算式: $\dot{V}O_2/wt$ (ml/kg/分) $[= 1.8 \times WR$ (kg $\cdot$ m/分)/体重(kg) + 3.5 (ml/kg/分) + 3.5 (ml/kg/分)]に代入し, 3点法・推定50% $\dot{V}O_{2max}/wt$ を算出した.

3. 1点法・推定50% $\dot{V}O_{2max}/wt$ の算出方法

1点法・推定50% $\dot{V}O_{2max}/wt$ は, 3点法・推定50% $\dot{V}O_{2max}/wt$ を求めた運動負荷試験のデータを用いて, 自転車エルゴメータ運動中の1組のWRとそれに対応するeHR, ならびに年齢推定50%HRから年齢推定50%HRに相当するWR(以下, WR@50%HR; work rate at 50%HR)を, 次の式を用いて算出した; $WR@50\%HR = WR / (eHR / \text{年齢推定}50\%HR)$. これは, WR:

WR@50%HR=eHR：年齢推定50%HRの比率の関係から求めたものである。そして、求めたWR@50%HRと体重を、推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ と同様にアメリカスポーツ医学会編・運動処方指針（2000）の代謝計算式に代入し、1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ を算出した。

なお、1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ は運動負荷試験時の同一対象者における①39.9% $\dot{V}O_2\text{max}$ 相当以下のeHRを用いて求めた低強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ 、②40.0%—60.0% $\dot{V}O_2\text{max}$ 相当のeHRを用いて求めた中等強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ 、③60.1% $\dot{V}O_2\text{max}$ 相当以上のeHRを用いて求めた高強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ の3種類を算出した。各eHRの% $\dot{V}O_2\text{max}$ の判定には、日本体育科学センターが発表している10歳ごとの年齢階級値を参照した（進藤ほか，2010）。

4. CRFsの測定

各推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ との関係性を検討するために用いたCRFsの指標は、体脂肪率（以下，%Fat），SBP，DBP，総コレステロール（以下，TC；total cholesterol），空腹時中性脂肪（以下，TG；triglyceride），HDLコレステロール（以下，HDL；high density lipoprotein cholesterol），空腹時血糖（以下，FBS；fasting blood sugar）とHbA1cとした。

%FatはDelphi W（Hologic Inc.，QDR2000，U.S.A.）を用いて，Dual Energy X-ray Absorptiometry（DXA法）にて測定した。安静時SBPとDBPは座位安静5分後に水銀柱血圧計を用いて2回測定し，平均した値を採用した。安静空腹時の静脈血採血は12時間以上の絶食後に行った。そして，%Fatが30%以上，SBPが130 mmHg以上，DBPが85 mmHg以上，TCが220 mg/dl以上，TGが150 mg/dl以上，HDLが40 mg/dl未満，FBSが110 mg/dl以上，HbA1cが5.5%以上の場合，それぞれ異常と判定した。

5. 飲酒習慣，喫煙習慣，月経状態の調査

全ての調査は健康診断1日コースの間診時

に聞き取りで行った。飲酒習慣に関しては，平均的な1週間の飲酒回数と1回当たりの飲酒量について調査した。そして，量に関しては，全て日本酒1合（180 ml）に換算して，週当たりの飲酒量（単位はml）を求めた。換算式は，日本酒1合≡ビール1本（633 ml）≡ウイスキーダブル（約70 ml）≡ワイン2杯（約240 ml）≡焼酎（約120 ml）とした。喫煙習慣に関しては，喫煙の有無と1日当たりの本数を調査した。月経状態に関しては，「有経」と「閉経」から選択させた。

6. 統計方法

データは平均値±標準偏差で示した。統計処理として，多群の差の検定は反復測定の一元配置分散分析とシェッフエ法を用いて行った。2つの連続変数の関係性は直線一次回帰式で表し，相関関係の分析にはピアソンの相関係数の検定を用いた。

各推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ とCRFsとの関係性について検討するために，全CRFsのうち一つでも異常値を示していた場合を，CRFs異常値保有と定義し，各推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ を独立変数に，CRFs異常値保有の有無を従属変数にとり，ロジスティック回帰分析を行った。ロジスティック回帰分析では，喫煙習慣（非喫煙，1～19本/日，20本以上/日），飲酒習慣（0 ml/日，1～180 ml/日，181 ml以上/日）と月経の有無の影響を除去するために補正を行った。

全ての検定処理はSPSS（15.0J）を用いて行い，有意水準5%未満をもって統計学的に有意と判定した。

Ⅲ 結 果

全対象者の各CRFsの平均値と，喫煙率，飲酒率，閉経率を表1に示した。

3点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ ，3階層の% $\dot{V}O_2\text{max}$ に相当するHRから求めたそれぞれの1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ の値を図1に示した。3点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ は 16.7 ± 2.8 ml/kg/分，低強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ は 13.8 ± 2.6 ml/kg/分，中等強度1点法・推定50%

表1 対象者の冠動脈疾患危険因子の平均値と喫煙率, 飲酒率, 閉経率

	平均値±標準偏差	95%信頼区間
%Fat (%)	28.2±5.8	27.0-27.9
SBP (mmHg)	109.4±12.8	108.4-110.4
DBP (mmHg)	70.7±8.3	70.0-71.3
TC (mg/dl)	197.5±37.2	194.6-200.4
TG (mg/dl)	67.9±32.5	65.4-70.4
HDL (mg/dl)	68.6±13.6	67.5-69.6
FBS (mg/dl)	90.9±7.7	90.3-91.5
HbA1c (%)	4.9±0.4	4.9-5.0
喫煙率(%)	7.3	—
飲酒率(%)	42.9	—
閉経率(%)	25.6	—

%Fat: 体脂肪率, SBP: 収縮期血圧, DBP: 拡張期血圧, TC: 総コレステロール, TG: 空腹時中性脂肪, HDL: HDL コレステロール, FBS: 空腹時血糖値

表2 各冠動脈疾患危険因子が異常値を示した人数とその割合

項目	異常と判断した基準値	該当者数	(割合, %)
%Fat	30%以上	217	34.3
SBP	130 mmHg 以上	18	2.8
DBP	85 mmHg 以上	16	2.5
TC	220 mg/dl 以上	166	26.3
TG	150 mg/dl 以上	22	3.5
HDL	40 mg/dl 未満	4	0.6
FBS	110 mg/dl 以上	16	2.5
HbA1c	5.5%以上	142	22.5
全 CRFs	8 項目の CRFs で一つでも異常を認めた場合	351	55.5

%Fat: 体脂肪率, SBP: 収縮期血圧, DBP: 拡張期血圧, TC: 総コレステロール, TG: 空腹時中性脂肪, HDL: HDL コレステロール, FBS: 空腹時血糖値, CRFs: 冠動脈疾患危険因子

図1 各推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ 値の比較
統計解析は各1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ の有意差について一元配置の分散分析とシェッフエ法を用いて行った. *** $p < 0.001$

$\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ は 16.7 ± 2.8 ml/kg/分, 高強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ は 19.0 ± 3.1 ml/kg/分であり, 各1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ の算出に用いた eHR の年齢から推定した% $\dot{V}O_2\text{max}$ は平均値と最小値-最大値の順で, それぞれ, 低強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ は $35.0 \pm 3.5\%$, 22.2% - 39.8% , 中等強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ は $49.7 \pm 4.2\%$, 41.1% - 58.6% , 高強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ は $71.8 \pm 6.5\%$,

60.1% - 96.2% であった. そして, 3点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ と低強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$, 高強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ との間, ならびに中等強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ と低強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$, 高強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ との間には有意差を認め (全て, $p < 0.001$), 1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ は算出に用いた eHR の% $\dot{V}O_2\text{max}$ が高いほど, 高値を示した.

2つの連続変数の関係では, 年齢と各推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ との間に有意な負の相関を認めた (vs. 3点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$; $r = -0.459$, $p < 0.001$, vs. 低強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$; $r = -0.400$, $p < 0.001$, vs. 中等強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$; $r = -0.378$, $p < 0.001$, vs. 高強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$; $r = -0.456$, $p < 0.001$).

各 CRFs が異常値を示した人数とその割合を表2に示した. CRFs 別では%Fat が異常値を示した人数が最も多く, 217人 (34.3%) であった. そして, 全CRFs のうち一つでも異常値を示していた者は, 351人 (55.5%) であった.

各推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ と CRFs 異常値保有のオッズ比を検討したロジスティック回帰分析では,

表3 ロジスティック回帰分析により求めた各推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ と冠動脈疾患危険因子の異常値保有オッズ比と関係

調整なし

推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$	B	標準誤差	Wald	<i>p</i> 値	オッズ比	95%信頼区間
3点法	-0.377	0.040	90.79	<0.001	0.69	0.64-0.74
1点法						
低強度	-0.354	0.040	76.93	<0.001	0.70	0.65-0.76
中等強度	-0.306	0.036	73.64	<0.001	0.74	0.69-0.79
高強度	-0.330	0.035	90.44	<0.001	0.72	0.67-0.77

喫煙習慣、飲酒習慣と月経の有無で調整

推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$	B	標準誤差	Wald	<i>p</i> 値	オッズ比	95%信頼区間
3点法	-0.315	0.042	56.65	<0.001	0.73	0.67-0.79
1点法						
低強度	-0.300	0.044	47.62	<0.001	0.74	0.68-0.81
中等強度	-0.261	0.038	46.37	<0.001	0.77	0.71-0.83
高強度	-0.271	0.036	55.21	<0.001	0.76	0.71-0.82

3点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ ならびに各1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ とも有意な関係性を認め、各推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ が高いほど、CRFs異常値保有のオッズ比は低くなることになった（3点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ ： $p<0.001$ ，オッズ比0.69，低強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ ： $p<0.001$ ，オッズ比0.70，中等強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ ： $p<0.001$ ，オッズ比0.74，高強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ ： $p<0.001$ ，オッズ比0.72）（表3）。さらに、喫煙習慣、飲酒習慣と月経の有無で調整を行った場合でも有意な関係性を認め、各推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ が高いほど、CRFs異常値保有のオッズ比は低くなることになった（3点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ ： $p<0.001$ ，オッズ比0.73，低強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ ： $p<0.001$ ，オッズ比0.74，中等強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ ： $p<0.001$ ，オッズ比0.77，高強度1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ ： $p<0.001$ ，オッズ比0.76）（表3）。

Ⅳ 考 察

本研究では、飲酒・喫煙習慣や月経の有無に関係なく、3階層それぞれのeHRから求めた1点

法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ が高いほど、3点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ と同様の傾向で、CRFs異常値保有のオッズ比が低いことが明らかになり、1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ の健康関連体力指標としての妥当性が示唆された。1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ は、自転車エルゴメータ運動の一つのWRとそれに対応するeHR、年齢、体重のデータがあれば算出可能である。このため、推定 $\dot{V}O_2\text{max}$ を測定するための多段階式運動負荷試験の実施が困難なポピュレーションアプローチによる健康づくり運動の現場でも、日々の運動トレーニングデータを用いて最大下有酸素性作業能力と健康度の細やかな経時的变化を評価することが可能になり、その実用性は高いと考えた。さらに、推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ が高い者では、CRFs異常値保有を示す確率が、調整なしの場合は26%～31%、喫煙・飲酒習慣と月経の有無で調整した場合は23%～27%抑制されていた。これは、最大有酸素性作業能力と同様に、最大下有酸素性作業能力についてもこれを高めることで、他の要因とは独立して健康の維持・増進に繋がることを示唆するものと考えた。

自転車エルゴメータを用いたトレーニングの経時的变化に限った場合、WRが増加したとしても、eHRまたは体重の増加を伴う場合は、同一

相対的運動強度における $\dot{V}O_2/\text{wt}$ が増加したとの判断には至らない。このため、eHR と体重の変動を考慮した評価が必要となる。さらに、有酸素性運動中の同一 $\dot{V}O_2\text{max}$ に対する eHR は高齢ほど低値を示すことから (Higginbotham et al., 1986; Ogawa et al., 1992), 年齢を考慮した eHR の相対評価も必要となる。以上のことから、本研究では、WR に対する eHR の変動ならびに運動に対する HR 応答に及ぼす年齢の影響を考慮するために、eHR と年齢推定 50% HR の比を求め、そこから eHR に対する WR を用いて年齢推定 50% HR に相当する WR を算出した。そして、体重の変動を考慮するために、アメリカスポーツ医学会編・運動処方指針 (2000) の代謝計算式から $\dot{V}O_2/\text{wt}$ を求めた。

さらに、eHR に相当する $\% \dot{V}O_2\text{max}$ 値には個体差があることと、運動トレーニングにおける eHR には同一個人でも日間差等があることを想定しておく必要がある。また、負荷が固定された運動でも、eHR は時間の経過とともに Cardiovascular drift により増加し (Rowell, 1974), おおよそ 60% $\dot{V}O_2\text{max}$ 強度における eHR は開始 5 分の時点に比べて 30 分以降では 11—15% 増加することが明らかにされている (Cheatham et al., 2000; Ekelund, 1967; Ricardo et al., 1999)。このため、50% $\dot{V}O_2\text{max}$ 強度程度でも eHR は約 10% 変動することを想定しておく必要があると考え、本研究では① 39.9% $\dot{V}O_2\text{max}$ 以下 (低強度), ② 40—60% $\dot{V}O_2\text{max}$ (中等強度), ③ 60.1% $\dot{V}O_2\text{max}$ 以上 (高強度) の 3 階層の eHR を用いて、1 点法・推定 50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ を算出し、ロジスティック回帰分析により CRFs 異常値保有のオッズ比との関係性について、3 点法・推定 50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ のそれと比較・検討を行った。その結果、喫煙・飲酒習慣と月経の有無に関わらず、いずれの 1 点法・推定 50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ も 3 点法・推定 50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ と同等の傾向で、それぞれの水準が高いほど CRFs 異常値保有のオッズ比は低いことが明らかになり、1 点法・推定 50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ が健康関連体力指標として有効であることが示唆された。なお、年齢と各

推定 50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ との間には有意な相関性を認め、多重共線性を避けるためロジスティック回帰分析を行う際に、年齢は補正因子から除外した。

Tanaka et al. (1995) は肥満女性において LT 相当の $\dot{V}O_2$ とインスリン感受性ならびに DBP との間に年齢、体脂肪率、ウエスト/ヒップ比に関係なく有意な相関性があることを、Otsuki et al. (2006) は心血管系の疾患を有していない高齢男女において、VT 相当の $\dot{V}O_2$ と血管コンプライアンスとの間に有意な相関性があることを明らかにしている。松原ほか (2011b) も二重積屈曲点 (DPBP: double product break point) 相当の代謝当量 (単位は METs) と脈波伝播速度 (PWV; pulse wave velocity) との間に有意な相関性を認め、DPBP レベルが高いほど動脈スティフネスが低いことを報告している。また、Wilmore et al. (2001) は縦断的に推定 $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ と 60% $\dot{V}O_2\text{max}$ 相当の WR の変化と CRFs の変化との関係について検討し、両体力指標の変化量とも体脂肪量、除脂肪量や血中脂質、Apo B などのリポタンパク質の変化量と関連性があること、そして、その関連性は推定 $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ と 60% $\dot{V}O_2\text{max}$ 相当の WR で大きな違いがなかったことを報告している。これらは、最大下有酸素性作業能力が健康度を評価できる健康関連体力指標になり得るという本研究結果を支持するものと考えられた。

本研究により、それぞれの 1 点法・推定 50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ が健康関連体力指標になり得る可能性が示唆されたが、低強度 (39.9% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ 相当以下), 中等強度 (40.0—60.0% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ 相当), あるいは高強度 (60.1% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ 相当以上) のいずれの eHR を用いて算出するかで、同一対象者でも 1 点法・推定 50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ の値に有意な差があることが明らかになった (図 1)。これは、1 点法・推定 50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ の算出では、用いる eHR の $\% \dot{V}O_2\text{max}$ 値の幅をあらかじめ設定しておく必要があることを意味している。

また、本研究の限界として、本研究は横断的な関係を明らかにしたに過ぎず、1 点法・推定 50%

$\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ についても、 $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ を指標にした研究で広く行われている疾病率との関係を検討した前向きコホート研究 (Blair et al., 1989; Blair et al., 1995; Katzmarzyk et al., 2005; Sawada et al., 2003a; Sawada et al., 2003b) や CRFs との変化量同士の縦断的な関係について、男性の対象者も含めた追加検討が必要である。また、安静時や運動時に限らず HR は温度や湿度の影響を受けるため (Claremont et al., 1975; Mayuzumi et al., 1979), 1 点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ にはある程度の誤差が生じることを考慮しておかなければならない。さらに、最大下運動負荷試験時のデータを用いて、最大有酸素性作業能力を評価する際は、70% $\dot{V}O_2\text{max}$ 相当以上の eHR と WR を用いるのが望ましいと報告されている (進藤ほか, 2000b)。本研究で検討した推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ の算出に用いた eHR と WR は70% $\dot{V}O_2\text{max}$ 未満であり、最大と最大下有酸素性作業能力という違いはあるものの、健康関連体力指標としての信頼性については、今後さらなる検討が必要であると考える。

V 結 論

3 点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ と同様に、本研究で考案した1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ が高いほど、CRFs が異常値を示すオッズ比が低いことが確認され、1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ が健康関連体力指標として妥当性があることが示唆された。1点法・推定50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ は自転車エルゴメータ運動時の1組のWRとそれに対応するeHR、年齢、体重のデータがあれば算出可能なため、健康づくり運動の現場における実用性は高いと考えられた。

謝辞

本研究の実施に際し、参加者としてご協力いただいた市民に感謝するとともに、協働していただいた福岡市健康づくりセンター・医師の酒井由美子氏、保健師の出口美華氏、久保邦子氏、管理栄養士の肘井千賀氏、江上薫氏、臨床検査技師の峰

祐子氏、放射線技師の種田潔氏と株式会社健康科学研究所の社員の皆様に深謝致します。

文 献

- アメリカスポーツ医学会編：日本体力医学会体力科学編集委員会監訳 (2006) 運動処方指針原著第7版。南江堂：東京。
- Blair, S.N., Kohl, III H.W., Paffenbarger, R.S., Clark, D.G., Cooper, K.H., and Gibbons, L.W. (1989) Physical fitness and all-cause mortality: a prospective study of healthy men and women. *JAMA*, 262: 2395-2401.
- Blair, S.N., Kohl, III H.W., Barlow, C.E., Paffenbarger, R.S., Gibbons, L.W., and Macrea, C.A. (1995) Changes in physical fitness and all-cause mortality. *JAMA*, 273: 1093-1098.
- Cheatham, C.C., Mahon, A.D., Brown, J.D., and Bolster, D.R. (2000) Cardiovascular responses during prolonged exercise at ventilatory threshold in boys and men. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32: 1080-1087.
- Claremont, S.D., Nagle, F., Reddan, W.D., and Brooks, G.A. (1975) Comparison of metabolic, temperature, heart rate and ventilator responses to exercise at extreme ambient temperature (0 degrees and 35 degrees C). *Med. Sci. Sports*, 7: 150-154.
- Ekelund, L.G. (1967) Circulatory and respiratory adaptation during prolonged exercise. *Acta. Physiol. Scand.*, 70: 1-38.
- Giri, S., Thompson, P.D., Kieman, F., Clive, J., Fram, D.B., Mitchel, J.F., Hirst, J.A., McKay, R.G., and Waters, D.D. (1999) Clinical and angiographic characteristics of exertion-related acute myocardial infarction. *JAMA*, 282: 1731-1736.
- Higginbotham, M.B., Morris, K.G., Williams, R.S., Colemann, R.E., and Cobb, F.R. (1986) Physiologic basis for the age-related decline in aerobic work capacity. *Am. J. Cardiol.*, 57: 1374-1379.
- Katzmarzyk, P.T., Church, T.S., Janssen, I., Ross, R., and Blair, S.N. (2005) Metabolic syndrome, obesity, and mortality. *Diabetes Care*, 28: 391-397.
- 松原建史・小池城司・柳川真美・樋口ゆう子・山口靖子・濱 泰之・神宮純江・進藤宗洋 (2011a) 年齢から推定した50% $\dot{V}O_2\text{max}/\text{wt}$ と冠動脈疾患危険因子との関係。体力科学, 60: 139-146.
- 松原建史・樋口慶亮・峰 祐子・柳川真美・山口靖子・樋口ゆう子・神宮純江・小池城司 (2011b) 健康女性における最大下運動時の二重積屈曲点と動脈ス

- ティフネスの関係. 体力科学, 60: 249-257.
- Mayuzumi, M., Tsujita, J., Tanaka, N., and Hori, S. (1979) Physiological reaction of women during exercise and recovery, in a comfortable environment and hot. *J. Hum. Ergol. (Tokyo)*, 8: 135-144.
- Mittleman, M.A., Maclure, M., Tofler, G.H., Sherwood, J.B., Goldberg, R.J., and Muller, J.E. (1993) Triggering of acute myocardial infarction by heavy physical exertion. Protection against triggering by regular exertion. Determinants of Myocardial Infarction Onset Study Investigators. *N. Engl. J. Med.*, 329: 1677-1683.
- Ogawa, T., Spina, R., Martin, W.H., Kohrt, III W.M., Schechtman, K.B., Holloszy, J.O., and Ehsani, A.A. (1992) Effects of aging, sex, and physical training on cardiovascular responses to exercise. *Circulation*, 86: 494-503.
- Otsuki, T., Maeda, S., Sugawara, J., Kesen, Y., Murakami, H., Tanabe, T., Miyauchi, T., Kuno, S., Ajisaka, R., and Matsuda, M. (2006) Age-related reduction of systemic arterial compliance relates to decreased aerobic capacity during sub-maximal exercise. *Hypertens. Res.*, 29: 759-765.
- Pate, R.R., Pratt, M., Blair, S.N., Haskell, W.L., Macera, C.A., Bouchard, C., Buchner, D., Ettinger, W., Heath, G.W., and King, A.C. (1995) Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA*, 273: 402-407.
- Ricardo, G.F., Thomas, W.S., Bradley, J.H., and Edward, F.C. (1999) Stroke volume decline during prolonged exercise is influenced by the increase in heart rate. *J. Appl. Physiol.*, 86: 799-805.
- Rowell, L.B. (1974) Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiol. Rev.*, 54: 75-159.
- Saris, W.H., Blair, S.N., van Baak, M.A., Eaton, S.B., Davis, P.S., Dipietro, L., Fogelholm, M., Rissanen, A., Schoeller, D., Swinbarn, B., Termblay, A., Westerteerp, K.R., and Wyatt, H. (2003) How much physical activity is enough to prevent unhealthy weight gain? Outcome of the IASO 1st Stock Conference and consensus statement. *Obes. Rev.*, 4: 101-114.
- Sawada, S.S., Muto, T., Tanaka, H., Lee, I.M., Paffenbarger, R.S., Shindo, M., and Blair, S. N. (2003a) Cardiorespiratory fitness and cancer mortality in Japanese men: A prospective study. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 35: 1546-1550.
- Sawada, S.S., Lee, I.M., Muto, T., Matsuzaki, K., and Blair, S.N. (2003b) Cardiorespiratory fitness and the incidence of type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 26: 2918-2922.
- 進藤宗洋 (2000a) 健康運動とは ; 社会貢献力の基盤づくり. 地方自治体の取り組み : 高田町体育協会の例 (2). 一習慣的健康 (ニコニコベースの) 運動時間と抗動脈硬化因子などの関係一. 電気と九州, 4: 245-249.
- 進藤宗洋・吉田規和 (2000b) 日本の厚労省の“健康づくりのための運動所要量”. 日本臨床, 58: 202-208.
- 進藤宗洋・田中宏暁・田中 守 (編) (2010) 健康づくりトレーニングハンドブック. 東京 : 朝倉書店, 337-345.
- Sunami, Y., Motoyama, M., Kinoshita, F., Mizooka, Y., Sueta, K., Matsunaga, A., Sasaki, J., Tanaka, H., and Shindo, M. (1999) Effect of low-intensity aerobic training on the high-density lipoprotein cholesterol concentration in healthy elderly subjects. *Metabolism*, 48: 984-988.
- Tanaka, H., Kakiyama, T., Takahara, K., Yamauchi, M., Tanaka, M., Sasaki, J., Taniguchi, T., Matsuo, H., and Shindo, M. (1995) The association among fat distribution, physical fitness, and the risk factors of cardiovascular disease in obese women. *Obes. Res.*, 3: S649-S653.
- 運動所要量・運動指針の策定検討会 (2006) 健康づくりのための運動指針2006—生活習慣病予防のために—.
- Wilmore, J.H., Green, J.S., Stanforth, P.R., Gagnon, J., Rankinen, T., Leon, A.S., Rao, D.C., Skinner, J.S., and Bouchard, C. (2001) Relationship of changes in maximal and submaximal aerobic fitness to changes in cardiovascular disease and non-insulin-dependent diabetes mellitus risk factor with endurance training: The heritage family study. *Metabolism*, 50: 1255-1263.

(平成23年6月16日受付)
(平成24年4月6日受理)