

福岡大学博士学位論文

最大下有酸素性作業能力の健康関連体力指標としての有効性

Effectiveness of sub-maximal aerobic capacity for health related
fitness index

平成 26 年 3 月

松原建史

はじめに

日本の糖尿病人口は 700 万人を超え (国際糖尿病連合, 2012), 高血圧と言われたことがある者の割合は, 男性が 37.2%, 女性が 31.3%と報告されている (厚生労働省, 2010). この様に, 生活習慣病の罹患者数は増加の一途を辿っており, 健康づくりの推進は国を挙げての喫緊の課題となっている. そこで, 運動の習慣化に向けた運動指針として, 我が国では, 1989 年に「健康づくりのための運動所要量」(進藤, 1990) が発表されたのを皮切りに, 2006 年には「健康づくりのための運動指針 2006 (エクササイズガイド 2006)」(運動所要量・運動指針の策定検討会, 2006) が, 2013 年には「健康づくりのための身体活動指針 (アクティブガイド 2013)」(運動基準・運動指針の改定に関する検討会, 2013) が相次いで発表された. これらの指針では, 健康づくりを行う際の適切な運動・身体活動の方法や目標が示されているのに加えて, 健康の維持・増進に必要な体力要素として, 最大酸素摂取量 (以下, VO_2max) を挙げ, 健康を確保するために必要な基準値が設定されている. このように, 生活習慣病の予防や治療, 生活の質 (QOL: quality of life) の維持・向上に関係する健康関連体力として VO_2max が採用されているのは, その信頼性や有効性が, 多くの科学的エビデンスにより証明されているためである.

疫学的コホート研究では, VO_2max が高いほど, 将来的な生活習慣病の発症リスクや脳血管疾患等による死亡率が抑えられること (Blair et al., 1989; 1995; Katzmarzyk et al., 2005; Sawada et al., 2003a; 2003b), そして, これが肥満度から独立した影響因子であることが明らかにされている (Church et al., 2005; Lee et al., 1999; Wei et al., 1999). 横断的研究では, VO_2max と冠動脈疾患危険因子 (以下, CRFs: coronary risk factors) との間に有意な相関性があり, VO_2max

が高いほど CRFs は正常な状態に保たれること (Cooper et al., 1979; Gibbons et al., 1983; Jetté et al., 1992; 進藤, 1990), そしてこれも, 肥満度から独立した関係性であることが明らかにされている (Hunter et al., 2010; Jago et al., 2010; O'Donovan et al., 2012; Wei et al., 1999). 以上のように, VO_2max が健康関連体力指標として最も信頼性が高いことに異論の余地はない.

このため, 健康づくりを目的に運動を実践していく際は, VO_2max を定期的に測定し, 全身持久力の適応状態に合わせて, 運動強度, 時間や頻度の見直しを適宜行っていくのが望ましい. そこで, 健康づくり運動の支援現場 (以下, 支援現場) でも, 全身持久力を評価するために, 自転車エルゴメータを用いた運動負荷試験を実施し, 推定法により VO_2max が測定されてきた (進藤, 2000a; Sunami et al., 1999). しかし, 推定法であっても自転車エルゴメータを用いた VO_2max 測定では, 異なる 3 つ以上の仕事率 (以下, WR: work rate) と, 各 WR における心拍数 (以下, HR: heart rate) が必要なため (進藤・吉田, 2000), 支援現場で定期的には実施することは困難で, 全身持久力レベルを, より簡易に測定・評価するための方法の確立が望まれてきた. また, 支援現場では, 10 年以上に渡り, 自転車エルゴメータをはじめとしたトレーニングの運動データを管理・保管している施設もあるが, これらのデータがまとめられて報告されたことは少ない. これは, 運動データを用いて全身持久力や健康度を評価できる健康関連体力指標が確立されていなかったためであり, これを解決することができれば, これまで振り返りや賞賛だけに用いられてきた運動データをさらに有効活用することができ, 支援現場における支援サービスの質の向上に繋がると考えた.

VO_2max に代わり得る健康関連体力指標の候補として, 最大下有酸素性作業能力が挙げられる. 最大下有酸素性作業能力と健康度との関係につ

いて、Tanaka et al. (1995) は、乳酸閾値（以下、LT : lactate threshold）相当の酸素摂取量（以下、 VO_2 ）とインスリン感受性との間に、Otsuki et al. (2006) は、換気閾値（以下、VT : ventilatory threshold）相当の VO_2 と血管コンプライアンス（伸展性）との間に、それぞれ正の相関性がある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関連体力指標になり得る可能性を示唆する結果であるものの、十分なエビデンスが揃っているとは言い難いと考えた。また、LT 測定に関しては観血的な手法のため、制度や倫理上の問題から、VT 測定に関しては呼気ガス分析器が必要なためコスト上の問題から、支援現場で行うことは推定 VO_{2max} を測定することよりも難しいという限界がある。

以上のことから、本研究では研究 I として、最大下有酸素性作業力の生理学的指標として、二重積屈曲点（以下、DPBP : double product break point）に着目し、これと健康度との関係性を分析することで、最大下有酸素性作業能力が健康関連指標になり得るかについて検討することを目的とした。DPBP は、運動中の HR と収縮期血圧（以下、SBP : systolic blood pressure）の二重積（以下、DP : double product）が、WR の増加に伴い急増する屈曲点のことで、LT とほぼ近似して出現することが明らかにされており（Tanaka et al., 1997）、LT や VT よりも簡便に測定可能な指標である。また、近年、複数人を同時に測定できるよう機器の改良が進み、支援現場における実用化が進んでいる（松原ほか, 2011a; 2011b）。健康度を評価する医学的指標としては、研究 I -①では脈波伝播速度（以下、PWV : pulse wave velocity）から評価した動脈スティフネス（硬化度）を、研究 I -②では内臓脂肪レベルを採用した。動脈スティフネスの増加は、血圧の上昇、左心肥大や冠動脈不全を引き起すこと（Glasser et al., 1997; O'Rourke et al., 1995; Westerhof et al., 1995）、内臓脂肪の過剰な蓄積

は、冠動脈疾患の罹患率を高めることが明らかにされている（Arsenault et al., 2007; Pouliot et al., 1992）。

ただし、仮に研究 I により健康関連体力指標としての DPBP の有用性が認められたとしても、DPBP も全ての支援現場で測定できるわけではない。また、これまでに支援現場で管理・保管されてきた運動データの活用にも繋がらない。自転車エルゴメータを用いた有酸素性運動トレーニングにおいて、支援現場で一般的に管理・保存されているデータは、対象者の特性として、性別、年齢、身長、体重、安静時 SBP・拡張期血圧（以下、DBP : diastolic blood pressure）・HR と、運動データとして、自転車エルゴメータの場合は、運動時間、WR、運動時 HR 等である。これらのデータを用いて、推定 VO_{2max} の算出も可能ではあるが、1組の WR とそれに対応する運動時 HR から推定 VO_{2max} を算出する際、用いる運動時 HR が $70\%VO_{2max}$ 相当未満の場合、推定値の正確性が低くなることが、進藤ほか (2000b) より報告されている。しかしながら、健康づくりでは $50\%VO_{2max}$ 程度の中等強度の運動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)、 $70\%VO_{2max}$ 以上の運動データが揃っていることは稀である。

そこで、研究 II では、支援現場において全身持久力や健康度を簡易に評価できる指標を考案することを目的に、健康づくり運動として推奨されている $50\%VO_{2max}$ に着目し、研究 II -①として、自転車エルゴメータを用いた多段階式運動負荷試験における 3 負荷の WR とそれに対応する運動時 HR のデータを用いて、年齢から推定した $50\%VO_{2max}$ に相当する単位体重当たり VO_2 （以下、3 点法・推定 $50\%VO_{2max}/wt$ ）と CRFs が異常値を示すオッズ比との関係性を検討した。さらに研究 II -②として、トレーニングの運動デー

タである自転車エルゴメータ運動時の 1 組の WR と運動時 HR から、1 点法による推定 50%VO₂max/wt（以下、1 点法・推定 50%VO₂max/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%VO₂max/wt と CRFs が異常値を示すオッズ比との関係性を検討した。最後に、研究Ⅱ-③として、研究Ⅱ-②で考案した 1 点法・推定 50%VO₂max/wt と CRFs、肥満度との関係性を検討した。これは、1 点法・推定 50%VO₂max/wt が肥満度から独立した CRFs の影響因子であることを明らかにすることができれば、1 点法・推定 50%VO₂max/wt の健康関連体力指標としての有用性をさらに高めることができると考えたためである。

方法

1. 研究Ⅰ-①：DPBP と動脈スティフネス

(1) 対象

研究ⅠとⅡを通して、対象は福岡市健康づくりセンターで開催した事業に自主的に参加した者とし、全ての対象者へは、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上で、文書にて同意を得た。また、本研究は全て、福岡市健康づくり研究委員会の承認を得て実施した。

研究Ⅰ-①の対象は、DPBP 測定コース参加者の内、高血圧症、脂質異常症、糖尿病や心疾患の治療・服薬中の者と日常生活の身体活動状態が、病気がちで身体を動かすことが少ない者を除いた健康な女性 229 人とした（表 1）。

(2) 形態測定

身長はデジタル身長計（DNS-90, KDS）を用いて 0.1 cm 単位で、体重はデジタル体重計（TBF-641, タニタ）を用いて 0.1 kg 単位で測定した。また、求めた体重（kg）を身長（m）の 2 乗で除することにより体格指数（以下、BMI：

表1. 対象者の特性

	Mean ± SD	Min. - Max.
年齢 (歳)	53.5 ± 11.7	19 - 81
身長 (cm)	156.1 ± 6.0	139.0 - 178.3
体重 (kg)	55.8 ± 8.9	37.5 - 100.6
BMI (kg/m ²)	22.9 ± 3.3	15.9 - 36.4
HR (拍/分)	76.6 ± 11.5	59 - 103
SBP (mmHg)	120.1 ± 17.9	82 - 199
DBP (mmHg)	73.3 ± 10.2	48 - 112
mBP (mmHg)	88.9 ± 12.0	63 - 141
baPWV (cm/秒)	1372.8 ± 253.7	922 - 2574
DPBP相当METs	5.0 ± 0.7	3.5 - 6.9

body mass index) を算出した。腹囲（へそ囲）は、標準的な健診・保健指導プログラム（厚労省、2007）に沿って、非伸縮性のメジャーを用いて、0.1 cm 単位で測定した。

(3) 安静時血圧測定

安静時血圧は座位 5 分以上の安静後、水銀血圧計を用いて測定し、2 回の測定の平均値を用いた。さらに、求められた SBP と DBP を用いて、 $(SBP - DBP) / 3 + DBP$ の式から平均血圧（以下、mBP：mean blood pressure）を算出した。

(4) DPBP 測定

DPBP の測定には、自動運動負荷装置（ML-3600, フクダ電子）を用いた。自転車エルゴメータのサドルに座った状態でしばらく安静を保った後、運動負荷試験を開始し、運動負荷の漸増は、10watts による 2 分間の準備運動後、Ramp 式漸増運動負荷試験（以下、Ramp 負荷）に移行した。Ramp 負荷では対象者の性、年齢、体重、運動習慣などを考慮して負荷の漸増幅を 6 ~ 20 watts/分で個別に設定し、Ramp 負荷中は、自動血圧計（Tango, Sun Tech）を用いて 20 ~ 30 秒ごとに SBP と HR の測定を行った。HR は胸部双極誘導により測定した心電図の R-R 間隔を自動計算して算出した。

DPBP の決定では、Ramp 負荷時のデータを

用いて、WR（独立変数）とDP（従属変数）からなる最低9プロット以上の関係において、全てのプロットを途中で分割して作成される2つのプロット群を用いて計算された回帰直線の全ての組み合わせを求めた。なお各群のプロット数は最低5つ以上とし、分割点のプロットを両回帰式に含めて計算した。そして、それぞれの回帰直線から各プロットまでの残差平方和を算出し、残差平方和が最小値を示した組み合わせにおける2つの回帰直線の交点をDPBPとした。ただし、2つの回帰直線で、仕事率が小さいプロット群の傾きに対して、仕事率が大きいプロット群の傾きの増加率が10%未満だった場合と、2つの回帰直線の交点が回帰直線を求めた仕事率の範囲を外れた（外挿法により交点が求められた）場合は、DPBPの判別は不可能と判断した。

(5) DPBP相当の代謝当量の算出

求めたDPBP相当のWRと体重から、アメリカスポーツ医学会（以下、ACSM：American College of Sports Medicine）・運動処方指針（2011）の代謝計算式を用いて VO_2 を算出し、代謝当量（METs：metabolic equivalents）へ換算した。代謝計算式： VO_2 （ml/kg/分） $= 1.8 \times$ 仕事率（kg・m/分） $/$ 体重（kg） $+ 3.5$ （ml/kg/分） $+ 3.5$ （ml/kg/分）。

(6) 動脈スティフネスの測定

動脈スティフネスの評価には、form PWV/ABI（オムロンコーリン）により測定した上腕と足首までのPWV（以下、baPWV；brachial ankle PWV）を用いた。本装置は、両上腕と両足首に装着した血圧測定カフ内の容積脈波から両上腕と両足首の脈波を獲得し、動脈スティフネスを非侵襲的に評価できる機器である。baPWVは、大動脈から左（右）上腕のカフ位置（Lb； $Lb=0.2195 \times$ 対象者の身長（cm） $- 2.0734$ ）および左（右）足首のカフ位置（La； $La=0.8129 \times$ 対象者の身

長（cm） $+ 12.328$ ）までの距離（D） \div 拍動の到達所要時間（t）から算出した（計算式： $baPWV=D(La-Lb)/t$ ）。baPWVのサンプリング頻度は、1200Hzに設定し、自動的に感度と質を調整して10秒間サンプリングを行った。

測定は、仰臥位で5分以上の安静状態を保った後、対象者の両上腕と両足首に血圧脈波検査装置のカフを装着して一回のみ測定した。

(7) 日常生活の身体活動状況の調査

対象者の日常生活の身体活動状況を、福岡市衛生管理局が作成した「健康度診断マニュアル（平成6年6月発行）」の質問票を用いて調査した。質問票は、I：病気がちで身体を動かすことが少ない、II：座ったままの仕事、談話等であり動いていない、III：機械操作、接客などで動いている時間が多い、IV：1日の大部分は動き回り、1時間程度は肉体労働をする、V：1日に2時間程度の激しい運動や肉体労働をする、の5階級で構成されており、該当する階級を対象者本人の主観で選択させた。

(8) 統計処理

研究IとIIを通して、データは平均値 \pm 標準偏差で示した。研究I-①の統計処理では、2変数の関係については幾何平均回帰式で表し、その相関性の分析にはピアソンの相関係数の検定を用いた。また、偏相関分析を用いて、DPBP相当METsとbaPWVとの関係について、年齢、身長、体重、mBPと日常生活の身体活動階級をそれぞれ調整因子に加えた場合と、5つ全てを調整因子に加えた場合の偏相関関係を求めた。

研究IとIIを通して、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。

2. 研究I-②：最大下有酸素性作業能力および中等強度以上の身体活動量と体脂肪分布

(1) 対象

健康づくり運動教室へ参加した女性 56 人を対象とした (表 2)。対象者の中には、高血圧症 7 人、糖尿病 3 人と脂質異常症 6 人が含まれていた (重複あり)。

(2) 形態測定

身長と体重は、研究 I-①と同様の方法で測定した。体脂肪率は、生体インピーダンス法体脂肪率計 (TBF-641, タニタ) を用いて、0.1%単位で測定した。腹囲と内臓脂肪レベルの測定は、生体インピーダンス法腹部脂肪計 (AB-101, タニタ) を用いて行った。AB-101 は、へその位置に乗せたインピーダンス計により電気抵抗を測定し、腹筋群の発達度合いから 0.5 単位で体脂肪レベルが推定される。AB-101 の測定値については、二重エネルギー線吸収測定法 (以下、DXA 法: dual energy X-ray absorptiometry), ならびに巻尺の測定値との比較において、有意な相関性があり、信頼性が高いことを報告した (松原ほか, 2011c)。そして、体脂肪率に対する内臓脂肪の相対的な蓄積レベルを評価するために、内臓脂肪レベル/体脂肪率を算出した。

(3) DPBP 測定

研究 I-①と同様の方法で測定した。

(4) 身体活動レベルの測定

日常身体活動量の測定には、加速度センサー付歩数計 lifecorder (以下、LC, Kenz) を用いた。LC は、運動強度別の活動時間を計測できるように、独自のアルゴリズムで判別する運動強度階級 0~9 (以下、LC 階級) が設定されている。LC の測定精度の信頼性については、レスピラトリーチャンバー法や二重標識水法 (以下、DLW 法: doubly-labeled water technique) との比較研究により確認されているとともに (Kumahara et al., 2000; Trost et al., 2000), 各 LC 階級の METs が報告されている (Kumahara et al., 2004)。本研究では、この METs と活動時間から

表 2. 対象者の特性

	Mean ± SD	Min. - Max.
年齢 (歳)	56.6 ± 11.4	20 - 73
身長 (cm)	155.5 ± 6.7	139.5 - 173.3
体重 (kg) ^{※1}	57.0 ± 9.6	41.5 - 85.8
BMI (kg/m ²)	23.5 ± 3.0	18.3 - 33.7
体脂肪率 (%) ^{※1}	30.9 ± 6.0	21.5 - 47.5
腹囲 (cm) ^{※2}	85.7 ± 10.2	63.0 - 113.0
内臓脂肪レベル ^{※2}	7.2 ± 2.7	2.0 - 15.5
DPBP相当METs	4.9 ± 0.7	3.0 - 7.1
Ex (METs・時/週)	11.8 ± 6.6	1.1 - 27.5

測定機器; ^{※1}インピーダンス法体脂肪率計TBF-641

^{※2}インピーダンス法腹部脂肪計AB-101

3METs 以上の活動時間で構成させる週当たり Ex (METs・時/週) を算出し、日常身体活動レベルの指標とした。対象者には LC を起床時から就寝時まで装着させ、通常的生活を送るように指示し、分析データとして、連続 10 日間以上装着したもののうち、最初の 3 日間を除いた残り 7 日間分を採用した。

(5) 対象者の群分け

DPBP 相当 METs と Ex を指標に群分けを行った。最初に、DPBP 相当 METs を指標に、高体力群と低体力群の二分位に分類した。続いて、Ex を指標に各体力群を二分位に、低体力+低 Ex 群 (14 人)、低体力+高 Ex 群 (13 人)、高体力+低 Ex 群 (14 人) と高体力+高 Ex 群 (15 人) の計 4 群に分類した。

(6) 統計処理

多群の差の検定を、二元配置分散分析とテューキー・クレーマー法を用いて行った。

3. 研究 II-①: 3 点法・推定 50%VO₂max/wt と CRFs

(1) 対象

健康度診断 1 日コースに参加した者の内、高血圧症、脂質異常症、糖尿病治療中の者、妊娠・授乳中の者と複数回受診している者は 2 回目以

表3. 対象者の特性

	男性 (786人)	女性 (1,268人)	p 値
年齢 (歳)	37.3 ± 13.5	41.5 ± 13.6	<0.001*
身長 (cm)	170.4 ± 5.9	157.3 ± 5.6	<0.001*
体重 (kg)	66.7 ± 10.1	51.9 ± 7.2	<0.001*
BMI (kg/m ²)	22.9 ± 3.1	21.0 ± 2.8	<0.001*
体脂肪率 (%)	20.1 ± 6.1	28.1 ± 5.8	<0.001*
推定VO ₂ max/wt (ml/kg/分)	37.0 ± 6.9	30.7 ± 5.2	<0.001*
3点法・推定50%VO ₂ max/wt (ml/kg/分)	17.0 ± 4.6	14.5 ± 3.8	<0.001*
SBP (mmHg)	118.3 ± 12.5	111.2 ± 14.0	<0.001*
DBP (mmHg)	77.4 ± 9.3	71.9 ± 8.8	<0.001*
TC (mg/dl)	193.1 ± 35.1	200.8 ± 38.0	<0.001*
TG (mg/dl)	112.4 ± 60.8	69.8 ± 33.0	<0.001*
HDL (mg/dl)	56.2 ± 12.7	69.0 ± 14.1	<0.001*
FBS (mg/dl)	96.7 ± 8.4	91.7 ± 7.9	<0.001*
HbA1c (%)	4.9 ± 0.3	4.9 ± 0.4	n.s.
喫煙率 (%)	39.2	8.5	<0.001†
飲酒率 (%)	68.4	43.8	<0.001†
閉経率 (%)	-	27.8	

統計処理：* 対応のないt検定, †マン・ホイットニー検定.

降のデータを除いた上で、推定 VO₂max/wt の推定精度を確保するために設けたデータの採用条件（詳細は後述）を満たした男性 786 人と女性 1,268 人の計 2,054 人を対象とした（表 3）.

(2) 形態測定

身長、体重と BMI を研究 I-①と同様の方法で測定した.

(3) 推定 VO₂max/wt の測定・算出方法

推定 VO₂max/wt を、1 負荷 4 分間の 4 負荷からなる自転車エルゴメータを用いた多段階式運動負荷試験により測定した. 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%VO₂max 相当の HR 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た. 設定負荷の目安にした各%VO₂max 相当の HR 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用いた（進藤ほか, 2010）. また、VO₂max/wt の推定精度を確保

するために、1) 運動負荷試験の時間が 15 分 30 秒以上であること、2) 運動負荷試験時の最高 HR が年齢から推定した 60%VO₂max 相当の HR 以上であること、3) WR と HR との一次回帰式における寄与率が 0.9 以上であることの 3 つの条件を全て満たすデータを採用した. そして、推定 VO₂max/wt の算出は、1) 負荷の大きい方から 3 つのステージ 3~4 分間における HR の平均値と WR から一次回帰式を求め、2) 求めた一次回帰式から年齢推定の 80%VO₂max 相当の HR に対応する WR を算出、3) Åstrand のノモグラム（1954）に 80%VO₂max 相当の HR と WR を代入し、VO₂max (l/分) を算出、4) VO₂max (l/分) を年齢による修正式と 5) 福岡大学修正式（進藤ほか, 1980; 進藤・吉田, 2000b）に代入し、VO₂max/wt (ml/kg/分) へ変換した.

(4) 3 点法・推定 50%VO₂max/wt の算出方法
3 点法・推定 50%VO₂max/wt の算出方法は、推定 VO₂max/wt の算出に使った一次回帰式に

年齢から推定した 50%VO₂max 相当の HR を代入し、50%VO₂max 相当の WR を算出した。年齢推定の 50%VO₂max 相当の HR の計算式は、HR (拍/分) = 138 - 年齢 / 2 を用いた (進藤, 1990)。そして、算出した 50%VO₂max 相当の WR と体重から、ACSM 編・運動処方指針 (2011) の代謝計算式を用いて、3 点法・推定 50%VO₂max/wt を算出した。

(5) CRFs の測定

CRFs の項目は、体脂肪率、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) とヘモグロビン A1c (以下、HbA1c : hemoglobin A1c) とした。体脂肪率は DXA 法にて測定し、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。安静時血圧は、研究 I - ①と同様の方法で測定した。そして、体脂肪率が男性 20%以上、女性 30%以上、SBP が 140mmHg 以上、DBP が 90mmHg 以上、TC が 220mg/dl 以上、TG が 150mg/dl 以上、HDL が 40mg/dl 未満、FBS が 110mg/dl 以上、HbA1c が 5.2%以上の場合、異常と判定した。

(6) 飲酒習慣、喫煙習慣、月経状態 (女性のみ) の調査

全ての調査は健康度診断の問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 (180ml) 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 (633ml) ≡ ウイスキーダブル (約 70ml) ≡ ワイン 2 杯 (約 240ml) ≡ 焼酎 (約 120ml) 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。

(7) 統計方法

独立した 2 群の差の検定には、データが連続変数の場合は対応のない *t* 検定を、データが離散変数の場合はマン・ホイットニーの U 検定を用いた。多群の差の検定には、データが連続変数の場合は一元配置分散分析を、データが離散変数の場合はクラスカル・ウォーリス検定を用いた。

2 つの最大下有酸素性作業能力指標と CRFs との関係については、推定 VO₂max/wt と推定 50%VO₂max/wt をそれぞれ男女別に 25 パーセントタイルで群分けし、体力階級別の CRFs 異常値保有のオッズ比をロジスティック回帰分析により算出した。CRFs 異常値保有の判別は、全 CRFs のうち一つでも異常値を示していた場合に、CRFs 異常値保有と定義した。そして、それぞれで年齢、喫煙習慣 (非喫煙、1~19 本/日、20 本以上/日)、飲酒習慣 (0ml/日、1~180ml/日、181ml 以上/日) と女性のみ月経状態 (有経、閉経) の影響を除去するために補正を行った。

4. 研究 II-②: 1 点法・推定 50%VO₂max/wt と CRFs

(1) 対象

健康度診断 1 日コースへ参加した女性 1,267 人の内、高血圧症、脂質異常症、糖尿病を治療中の者、妊娠・授乳中の者と 3 点法・推定 50%VO₂max/wt のデータ除害条件である 1) WR と運動時 HR との一次回帰式における決定係数が 0.9 未満のもの、2) 運動時 HR の最小値が 40%VO₂max 未満に相当するもの、3) 運動時 HR の最大値が 60%VO₂max 未満に相当する者を除外した 632 人を対象とした。なお、複数回参加している者は初回データのみを用いた (表 4)。

(2) 3 点法・推定 50%VO₂max/wt の算出方法
研究 II-①と同様の方法で測定・算出した。

表4. 対象者の特性

	Mean ± SD	95% 信頼区間
年齢 (歳)	40.7 ± 12.8	39.7 – 41.7
身長 (cm)	157.8 ± 5.4	157.4 – 158.2
体重 (kg)	51.8 ± 6.9	51.3 – 52.4
BMI (kg/m ²)	20.8 ± 2.5	20.6 – 21.0
体脂肪率 (%)	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	-

(3) 1点法・推定 50%VO₂max/wt の算出方法

1点法・推定 50%VO₂max/wt は、3点法・推定 50%VO₂max/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 とそれに対応する運動時 HR、ならびに年齢推定の 50%VO₂max 相当の HR から年齢推定 50%VO₂max 相当の WR を、次の式を用いて算出した；VO₂max 相当の HR = WR / (運動時 HR / 年齢推定の 50%VO₂max 相当の HR)。これは、“WR: 年齢推定 50%VO₂max 相当の WR = 運動時 HR : 年齢推定 50%VO₂max 相当の HR” の比率の関係から求めたものである。そして、求めた年齢推定 50%VO₂max 相当の WR と体重を、推定 50%VO₂max/wt と同様に ACSM 編・運動処方指針 (2000) の代謝計算式に代入し、1点法・推定 50%VO₂max/wt を算出した。

なお、1点法・推定 50%VO₂max/wt は運動負荷試験時の同一対象者において、1) 39.9%VO₂max 相当以下の運動時 HR から求めた低強度 1点法・推定 50%VO₂max/wt、2) 40.0%—60.0%VO₂max 相当の運動時 HR から求めた中等強度 1点法・推定 50%VO₂max/wt、3)

60.1%VO₂max 相当以上の運動時 HR から求めた高強度 1点法・推定 50%VO₂max/wt の 3 種類を算出した。各運動時 HR の %VO₂max の判定には、日本体育科学センター発表の 10 歳ごとの年齢階級値を用いた (進藤ほか, 2010)。

(4) CRFs の測定と判定

研究 II-①と同様とした。

(5) 飲酒習慣、喫煙習慣、月経状態の調査

研究 II-①と同様とした。

(6) 統計方法

多群の差の検定には反復測定の一元配置分散分析とシェッフェ法を用いた。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%VO₂max/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%VO₂max/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。

5. 研究 II-③ : 1点法・推定 50%VO₂max/wt, BMI と CRFs

(1) 対象

対象者は、健康度診断 1 日コースへ参加した女性のべ 7,782 人のうち、複数回参加している者は初回のデータのみを採用し、続いて、年齢が 30 歳未満と 60 歳以上の者、BMI が 18.5 kg/m² 未満と 35 kg/m² 以上の者と高血圧症、脂質異常症、糖尿病と心疾患で服薬中の者、妊娠または授乳中の者、1点法・推定 50%VO₂max/wt の算出条件である運動負荷試験時の運動時 HR が、40%—60%VO₂max の範囲内のデータが無かった者を除き、最終的に 1,908 人を対象とした (図 1, 表 5)。

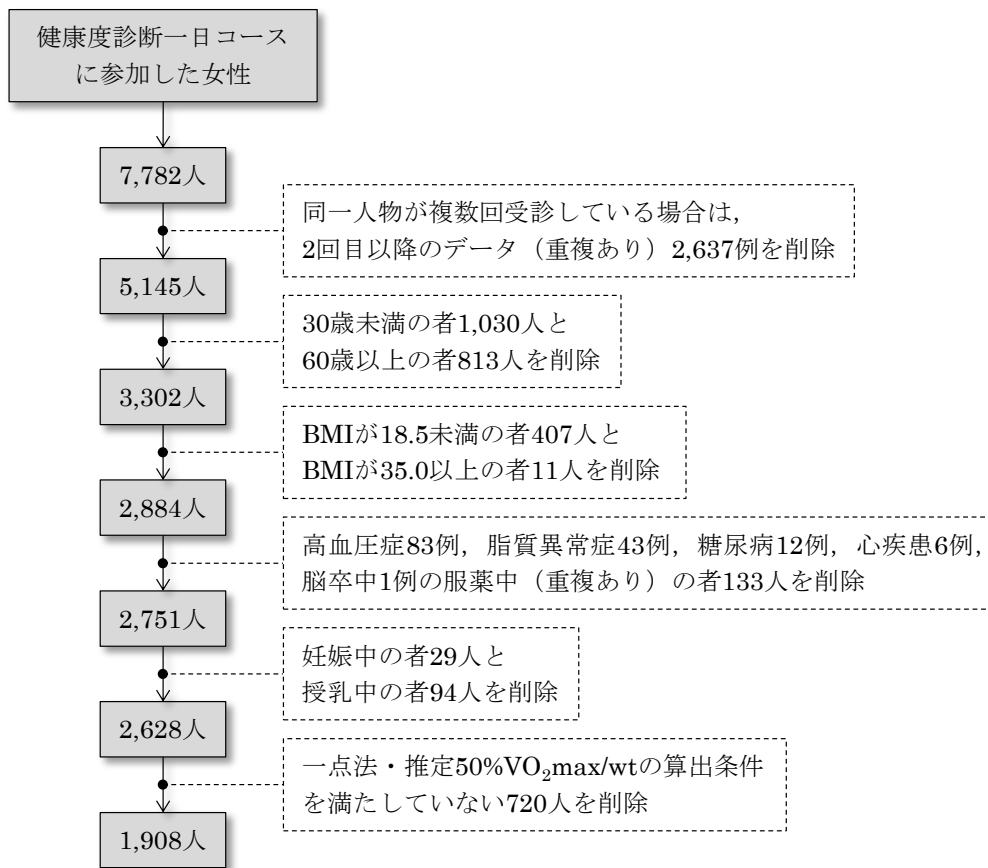


図1. 研究対象者選定過程のフロー図

表5. 対象者の特性

	Mean ± SD	Min. – Max.
年齢 (歳)	43.2 ± 8.9	30 – 59
身長 (cm)	156.9 ± 5.2	137.9 – 175.6
体重 (kg)	55.0 ± 7.5	38.4 – 93.2
BMI (kg/m ²)	22.3 ± 2.9	18.5 – 34.8
喫煙率 (%)	6.9	
飲酒率 (%)	43.7	
閉経率 (%)	28.5	

(2) 形態測定

研究Ⅱ-①と同様とした。

(3) 一点法・推定 50%VO₂max/wt の算出方法

研究Ⅱ-①と同様とした。

(4) CRFs の測定と判定

研究Ⅱ-①の項目から体脂肪率を除き、その他は同様とした。

(5) 飲酒習慣、喫煙習慣と月経状態の調査
研究Ⅱ-①と同様とした。

(6) 群分け

対象者を、BMI が 25 kg/m² 以上かつ 35 kg/m² 未満の肥満群 329 人と 18.5 kg/m² 以上かつ 25 kg/m² 未満の標準体重群 1,579 人に群分けした。続いて、肥満群と標準体重群をそれぞれ、1 点法・推定 50%VO₂max/wt が 4 METs 未満の低体力群と 4 METs 以上の高体力群に群分けし、肥満+低体力群 217 人、肥満+高体力群 70 人、標準体重+低体力群 745 人と標準体重+高体力群 834 人の計 4 群に分類した。1 点法・推定 50%VO₂max/wt が 4 METs 未満を低体力群、4 METs 以上を高体力群としたのは、健康づくりのための運動基準 2006（運動所要量・運動指針の策定検討会、2006）で示されている 60 歳代女性の健康づくりのための VO₂max/wt 基準値に基づく。すなわち、60 歳代女性の健康の維持・増

進に必要な VO₂max/wt 基準値は 28 ml/kg/分で、この 50%強度は 14.0 ml/kg/分である。そして、1 MET が 3.5 ml/kg/分に相当することから、14.0 ml/kg/分は 4 METs で、1 点法・推定 50%VO₂max/wt が 4 METs 未満の者は、60 歳代女性の VO₂max/wt 基準値にも満たない低体力者ということになる。

(7) 統計処理

多群の差の検定には、データが連続変数の場合は二元配置分散分析とテューキー・クレーマー法を用い、データが離散変数の場合はクラスカル・ウォリス検定を用いた。CRFs 異常値保有のオッズ比は、ロジスティック回帰分析を用いて、各群における全 CRFs の中で異常値を一つ以上有しているオッズ比について分析した。さらに、影響因子として、年齢、喫煙・飲酒習慣と月経状態に加えて、肥満度の場合は 1 点法・推定 50%VO₂max/wt を、体力レベルの場合は BMI を調整した上で、肥満度と体力レベルにおける各 CRFs が異常値を示すオッズ比と、全 CRFs の中で異常値を一つ以上有しているオッズ比について分析した。

結果

1. 研究 I-① : DPBP と baPWV

DPBP 相当 METs は 5.0 ± 0.7 METs (幅: 3.5~6.9 METs), baPWV は 1,372.8 ± 253.7 cm/秒 (幅: 922~2,574 cm/秒) であった。日常生活の身体活動階級別の人数分布は、I : 病気がちで身体を動かすことが少ないが 0 人 (0.0%), II : 座ったままの仕事, 談話等であまり動いていないが 131 人 (64.5%), III : 機械操作, 接客などで動いている時間が多いが 50 人 (24.6%), IV : 1 日の大部分は動き回り, 1 時間程度は肉体労働をするが 19 人 (9.4%), V : 1 日に 2 時間程度の激しい運動や肉体労働をするが 3 人 (1.5%) であ

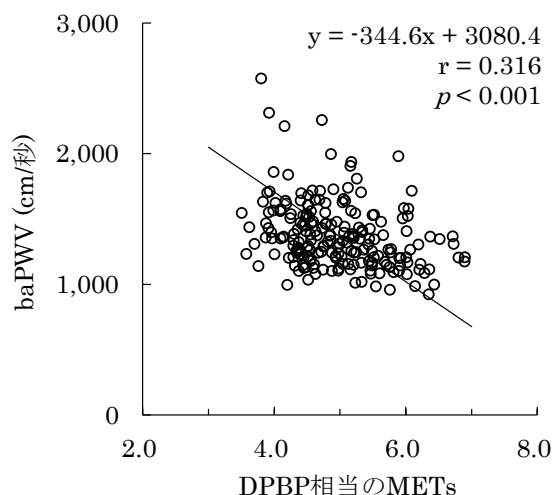


図2. DPBP相当METsとbaPWVとの関係

った。2 変数の関係では DPBP 相当 METs と baPWV の間に有意な負の相関性を認めた ($p < 0.001$) (図 2)。baPWV と年齢 ($r = 0.603$, $p < 0.001$), 身長 ($r = 0.284$, $p < 0.001$), mBP ($r = 0.576$, $p < 0.001$) との間にもそれぞれ有意な正の相関性を認めたが、体重との間には有意な関係を認めなかった。次に、DPBP 相当 METs と baPWV の偏相関関係では、調整因子に年齢 ($p < 0.001$), 身長 ($p < 0.001$), 体重 ($p < 0.001$), mBP ($p < 0.01$) と身体活動階級 ($p < 0.001$) をそれぞれ一つずつとった場合も、5 つ全てをとった場合も ($p < 0.01$), 有意な負の相関性を認めた (表 6)。

表6. DPBP相当METsとbaPWVの偏相関関係

主因子	調整因子	baPWV	
		相関係数	p値
DPBP相当 のMETs	年齢	-0.259	<0.001
	身長	-0.324	<0.001
	体重	-0.334	<0.001
	mBP	-0.206	<0.01
	日常生活の 身体活動階級	-0.346	<0.001
	全因子	-0.201	<0.01

表7. 4群における年齢と体組成の比較

体力 Ex	低 低	低 高	高 低	高 高
年齢(歳)	56.2 ± 14.1	61.0 ± 9.1	52.3 ± 11.0	57.3 ± 10.4
身長(cm)	158.3 ± 5.8	152.4 ± 5.7	156.3 ± 5.4	154.7 ± 8.6
体重(kg)	60.8 ± 8.9	57.1 ± 9.7	58.8 ± 9.9	51.7 ± 8.3
BMI(kg/m ²)	24.2 ± 2.6	24.5 ± 2.7	24.1 ± 3.8	21.5 ± 2.0 [†]
腹囲(cm)	92.3 ± 10.3	88.3 ± 8.2	84.4 ± 10.4	78.5 ± 6.8 ^{**†}
体脂肪率(%)	32.1 ± 5.2	34.1 ± 6.9	30.9 ± 6.2	27.2 ± 3.5 [†]
内臓脂肪レベル	9.0 ± 3.0	7.7 ± 1.9	6.8 ± 2.6	5.6 ± 2.3 ^{**†}

** $p < 0.01$ は低体力+低Ex群に対する有意差を, ** $p < 0.01$ は低体力+高Ex群に対する有意差を示した.

2. 研究 I -②: 最大下有酸素性作業能力および中等強度以上の身体活動量と体脂肪分布

形態項目は平均値では全て正常レベルであったが, 対象者の中には, BMI 25 kg/m²以上の者が 17 人 (30.4%), 体脂肪率 30%以上の者が 33 人 (57.9%), 腹囲 90cm 以上の者が 19 人 (33.3%) と内臓脂肪レベルが 10.0 以上の者が 12 人 (21.4%) 含まれていた (重複あり).

DPBP 相当 METs と Ex を指標に分類した 4 群の群間比較では, 年齢, 身長, 体重には差を認めなかった. BMI は低体力+高 Ex 群に比べて, 高体力+高 Ex 群が有意に低値を示した ($p < 0.05$). 腹囲は低体力+低 Ex 群と低体力+高 Ex 群に比べて, 高体力+高 Ex 群が有意に低

値を示し (vs. 低体力+低 Ex 群: $p < 0.01$, vs. 低体力+高 Ex 群: $p < 0.05$), 体脂肪率は低体力+高 Ex 群に比べて, 高体力+高 Ex 群が有意に低値を示した ($p < 0.05$). 内臓脂肪レベルは低体力+低 Ex 群と低体力+高 Ex 群に比べて, 高体力+高 Ex 群が有意に低値を示した (vs. 低体力+低 Ex 群: $p < 0.01$, vs. 低体力+高 Ex 群: $p < 0.05$) (表 7). そして, 内臓脂肪レベル/体脂肪率は, 低体力+低 Ex 群, 低体力+高 Ex 群, 高体力+低 Ex 群と高体力+高 Ex 群の順で, 0.276 ± 0.072 , 0.228 ± 0.047 , 0.215 ± 0.067 , 0.203 ± 0.072 であり, 低体力+低 Ex 群に比べて, 高体力+高 Ex 群が有意に低値を示した ($p < 0.05$) (図 3).

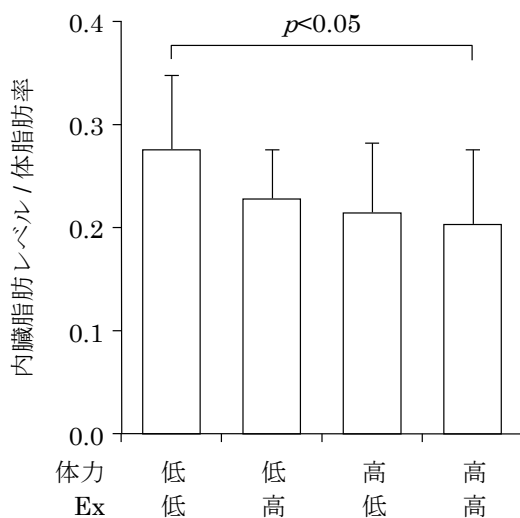


図3. 4群の内臓脂肪レベルの比較

3. 研究 II -①: 3点法・推定 50%VO₂max/wt と CRFs

男女比較では, 推定 VO₂max/wt と 3 点法・推定 50%VO₂max/wt は男性の方が有意に高く, 年齢は女性の方が有意に高かった (全て, $p < 0.001$). CRFs は HbA1c を除いた他の項目に男女間に有意差を認めた (表 3).

推定 VO₂max/wt の体力階級別, 男女別の特性を表 8 にまとめた. 男女とも年齢に有意差を認め (それぞれ, $p < 0.001$), 体力階級が高い群ほど年齢が低く, それに伴い女性の閉経率にも体力階級間に有意差を認めた ($p < 0.001$). 喫煙率には男女とも体力階級間に有意差は認めなかったも

の、飲酒率は男性において体力階級間に有意差を認めた ($p<0.05$)。3点法・推定 50%VO₂max/wt の体力階級別、男女別の特性を表 9 にまとめた。

男女とも年齢に有意差を認め (それぞれ, $p<0.001$)、体力階級が高い群 (IV群) ほど年齢が低く、それに伴い女性の閉経率にも体力階級間

表8. 推定VO₂max/wtレベルで群分けした際の男女別の特性

男性	I (低い)	II	III	IV (高い)	p値
推定VO ₂ max/wt (ml/kg/分)					
平均値±標準偏差	29.1 ± 2.4	34.2 ± 1.3	38.8 ± 1.5	46.6 ± 4.0	<0.001*
最小値	17.4	32.1	36.4	41.5	
最大値	32.0	36.3	41.4	57.6	
例数 (人)	202	199	194	191	
年齢 (歳)	44.6 ± 13.9	39.6 ± 12.0	37.0 ± 12.0	27.3 ± 9.2	<0.001*
喫煙率 (%)	38.1	33.7	41.8	41.9	n.s.†
飲酒率 (%)	68.8	71.4	74.7	57.1	<0.05†
女性	I (低い)	II	III	IV (高い)	p値
推定VO ₂ max/wt (ml/kg/分)					
平均値±標準偏差	24.5 ± 2.0	28.9 ± 1.0	32.1 ± 1.0	37.6 ± 3.1	<0.001*
最小値	16.0	27.1	30.5	34.0	
最大値	27.0	30.4	33.9	54.3	
例数 (人)	321	326	307	314	
年齢 (歳)	50.4 ± 13.0	43.3 ± 12.5	39.6 ± 11.7	32.6 ± 10.6	<0.001*
喫煙率 (%)	6.5	4.9	8.8	4.5	n.s.†
飲酒率 (%)	40.8	41.4	43.6	40.4	n.s.†
閉経率 (%)	51.4	30.7	18.2	9.9	<0.001†

表9. 3点法・推定50%VO₂max/wtレベルで群分けした際の男女別の特性

男性	I (低い)	II	III	IV (高い)	p値
3点法・推定50%VO ₂ max/wt (ml/kg/分)					
平均値±標準偏差	14.0 ± 1.9	17.7 ± 0.8	20.3 ± 0.7	24.1 ± 2.5	<0.001*
最小値	6.7	16.3	19.1	21.6	
最大値	16.2	19.0	21.5	33.3	
例数 (人)	203	215	179	189	
年齢 (歳)	44.4 ± 14.9	38.0 ± 12.7	37.0 ± 12.0	27.3 ± 9.9	<0.001*
喫煙率 (%)	30.9	40.5	35.8	40.7	n.s.†
飲酒率 (%)	67.0	67.9	70.4	67.2	n.s.†
女性	I (低い)	II	III	IV (高い)	p値
3点法・推定50%VO ₂ max/wt (ml/kg/分)					
平均値±標準偏差	12.7 ± 1.8	16.0 ± 0.6	17.9 ± 0.6	21.0 ± 1.7	<0.001*
最小値	5.7	14.9	17.0	19.1	
最大値	14.8	16.9	19.0	26.9	
例数 (人)	359	328	283	298	
年齢 (歳)	48.0 ± 14.5	42.5 ± 13.3	39.5 ± 11.7	34.7 ± 10.5	<0.001*
喫煙率 (%)	7.0	7.6	4.9	4.7	n.s.†
飲酒率 (%)	38.4	39.0	43.8	46.0	n.s.†
閉経率 (%)	44.3	32.0	18.7	11.7	<0.001†

統計処理：* 一元配置分散分析, † クラスカル・ウォリス検定

に有意差を認めた ($p<0.001$). 喫煙率ならびに飲酒率には男女とも体力階級間に有意差を認めなかった.

年齢のみで補正を行った場合と年齢, 喫煙量(本/日), 飲酒量(ml/週)と閉経率(女性のみ)で補正を行った場合の両方で, ロジスティック回帰分析では, 2つの体力指標で男女ともIV群(体力階級が高い群)に対して, I~III群で CRFs

異常値保有のオッズ比が有意に高値を示し, その値は体力水準が低くなるに従い漸増していた(表10, 11).

4. 研究II-②: 1点法・推定50%VO₂max/wtとCRFs
3点法・推定50%VO₂max/wt, 3階層の%VO₂maxに相当するHRから求めたそれぞれの1点法・推定50%VO₂max/wtの値は, 3点

表10. 推定VO₂max/wt階級別CRFs異常値保有オッズ比

男性	I (低い)	II	III	IV (高い)
例数(人)	202	199	194	191
CRFsが異常値を示した例数(人)	198	173	125	62
年齢調整オッズ比 (95%信頼区間)	60.01 (20.85-172.72)	9.22 (5.34-15.92)	2.84 (1.82-4.43)	1.00 (参照)
多変量調整オッズ比* (95%信頼区間)	7.41 (4.05-13.57)	2.65 (1.65-4.26)	1.66 (1.08-2.57)	1.00 (参照)
女性	I (低い)	II	III	IV (高い)
例数(人)	321	326	307	314
CRFsが異常値を示した例数(人)	286	218	161	96
年齢調整オッズ比 (95%信頼区間)	7.93 (5.02-12.51)	2.69 (1.88-3.86)	1.74 (1.23-2.48)	1.00 (参照)
多変量調整オッズ比† (95%信頼区間)	8.64 (5.43-13.74)	2.94 (2.04-4.25)	1.90 (1.33-2.73)	1.00 (参照)

表11. 3点法・推定50%VO₂max/wt階級別CRFs異常値保有オッズ比

男性	I (低い)	II	III	IV (高い)
例数(人)	203	215	179	189
CRFsが異常値を示した例数(人)	187	167	112	92
年齢調整オッズ比 (95%信頼区間)	6.78 (3.69-12.47)	2.64 (1.68-4.15)	1.39 (0.90-2.17)	1.00 (参照)
多変量調整オッズ比* (95%信頼区間)	6.94 (3.76-12.79)	2.69 (1.71-4.23)	1.39 (0.89-2.17)	1.00 (参照)
女性	I (低い)	II	III	IV (高い)
例数(人)	359	328	283	298
CRFsが異常値を示した例数(人)	286	211	158	106
年齢調整オッズ比 (95%信頼区間)	3.44 (2.33-5.09)	2.33 (1.63-3.33)	1.73 (1.23-2.45)	1.00 (参照)
多変量調整オッズ比† (95%信頼区間)	3.55 (2.39-5.26)	2.36 (1.65-3.37)	1.81 (1.28-2.57)	1.00 (参照)

*年齢, 喫煙量と飲酒量で調整

†年齢, 喫煙量, 飲酒量と月経状態で調整

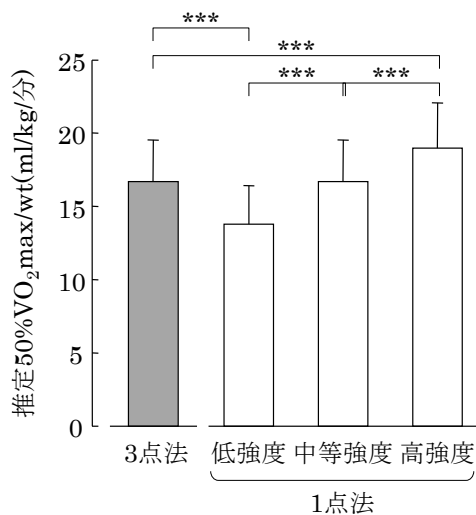


図4. 各推定50%VO₂max/wt値の比較

*** $p < 0.001$

法・推定 50%VO₂max/wt と低強度 1 点法・推定 50%VO₂max/wt, ならびに高強度 1 点法・推定 50%VO₂max/wt との間にも有意差を求めた (両方とも, $p < 0.001$). また, 中等強度 1 点法・簡易推定 50%VO₂max/wt と低強度 1 点法・推定 50%VO₂max/wt, 高強度 1 点法・推定 50%VO₂max/wt との間にも有意差を認め (両方とも, $p < 0.001$), 1 点法・推定 50%VO₂max/wt は算出に用いた運動時 HR の%VO₂max が高いほど高値を示した (図 4).

各推定 50%VO₂max/wt における CRFs 異常値保有のオッズ比を求めたロジスティック回帰分析の結果では, 3 点法・推定 50%VO₂max/wt ならびに各 1 点法・推定 50%VO₂max/wt とも有意な関係性を認め, 各推定 50%VO₂max/wt が高いほど, CRFs 異常値保有のオッズ比は低かった (表 12). 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%VO₂max/wt が高いほど, CRFs 異常値保有のオッズ比は低かった (表 12).

5. 研究 II-③: 1 点法・推定 50%VO₂max/wt, BMI と CRFs

BMI と 1 点法・推定 50%VO₂max/wt で群分けした 4 群の比較では, 年齢に対して, 肥満度と体力レベルの主効果ならびに肥満度と体力レベルの交互作用を認めた. BMI と 1 点法・推定 50%VO₂max/wt に対しては, 肥満度と体力レベルの主効果は認めたが, 肥満度と体力レベルの交互作用は認めなかった (表 13).

各 CRFs の比較では, 全ての CRFs に対して肥満度の主効果を, HDL を除いた残りの CRFs に対して体力レベルの主効果を認めたが, 肥満度と体力レベルの交互作用はいずれの CRFs に対

表 12. ロジスティック回帰分析から求めた各推定 50%VO₂max/wt と CRFs 異常値保有オッズ比との関係

調整なし

	B	標準誤差	Wald	p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

	B	標準誤差	Wald	p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

表13. 肥満群と標準体重群の対象者特性

	肥満群		標準体重群		主効果 [†]		交互作用 [†]
	低体力群 (259人)	高体力群 (70人)	低体力群 (745人)	高体力群 (834人)	肥満度	体力 レベル	
年齢(歳)	45.6±7.7	44.4±8.8	45.2±8.9	40.6±8.7	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.01
BMI (kg/m ²)	27.4±2.2	26.7±1.6	21.8±1.7	20.9±1.6	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> =0.303
1点法・推定50% VO ₂ max/wt (METs)	3.3±0.4	4.5±0.3	3.5±0.4	4.7±0.6	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> =0.979
群間比較 ^{††}							
喫煙率(%)	3.8	5.7	5.9	9.2	<i>p</i> =0.511		
飲酒率(%)	33.2	28.6	39.5	45.1	<i>p</i> <0.01		
閉経率(%)	30.9	37.1	36.8	21.3	<i>p</i> <0.001		

表14. 肥満群と標準体重群におけるCRFs平均値の比較

	肥満群		標準体重群		主効果		交互作用
	低体力群 (259人)	高体力群 (70人)	低体力群 (745人)	高体力群 (834人)	肥満度	体力 レベル	
SBP (mmHg)	125±15	119±15	116±15	110±12	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> =0.990
DBP (mmHg)	81±10	77±9	75±9	71±8	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> =0.858
TC (mg/dl)	215±33	216±37	212±38	198±35	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.05	<i>p</i> <0.01
TG (mg/dl)	107±62	96±63	84±58	71±39	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.01	<i>p</i> =0.705
HDL (mg/dl)	62±13	64±15	70±15	70±14	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> =0.213	<i>p</i> =0.464
FBS (mg/dl)	100±16	95±8	95±10	91±8	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> =0.378
HbA1c (%)	5.1±0.6	4.9±0.4	4.9±0.4	4.8±0.4	<i>p</i> <0.01	<i>p</i> <0.001	<i>p</i> =0.269

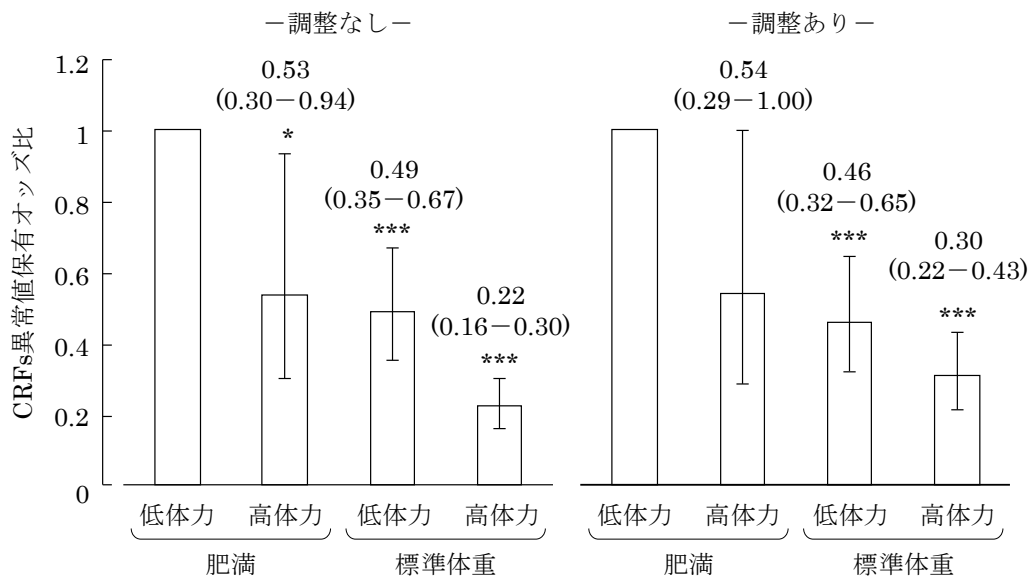


図5. 研究II-③：4群における全CRFsの中で異常値を一つ以上有しているオッズ比

調整ありでは、年齢、喫煙習慣、飲酒習慣と月経状態を調整因子に含めて分析した。
 有意水準：*** *p*<0.001, * *p*<0.05 図中の数値はオッズ比を、()内の数値とエラー
 バーは95%信頼区間を示した。

しても認めなかった (表 14)。

各群における全 CRFs の中で異常値を一つ以上有しているオッズ比 (95%信頼区間) は、影響因子の調整を行わなかった場合、肥満+低体力群に比べて、肥満+高体力群では 0.53 (0.30-0.94)、標準体重+低体力群では 0.49 (0.35-0.67)、標準体重+高体力群では 0.22 (0.16-0.30) であった。影響因子である年齢、喫煙・飲酒習慣と月経状態で調整を行った場合も、肥満+低体力群に比べて、影響因子の調整を行わなかったのと同様の順で、0.54 (0.29-1.00)、0.46 (0.32-0.65) と 0.30 (0.22-0.43) であった (図 5)。

影響因子として、年齢、喫煙・飲酒習慣と月経状態に加えて、肥満度の場合は 1 点法・推定 $50\%VO_2\max/wt$ を、体力レベルの場合は BMI を調整した上で、各 CRFs が異常値を示すオッズ比と CRFs の異常値を 1 つ以上有するオッズ比を表 15 に示した。肥満度については、全ての CRFs に対して肥満度が高いほど異常値を示すオッズ比が高く、体力レベルについては、SBP, DBP, FBS が異常値を示すオッズ比と CRFs の異常値を 1 つ以上有するオッズ比が有意に低かった。

考察

1. 研究 I-① : DPBP と PWV

研究 I-①により、高血圧症、心臓病、脂質異

常症や糖尿病の治療・服薬中でない健康な女性において、年齢、身長、体重、mBP と日常生活の身体活動状態を調整した上でも、DPBP 相当 METs と baPWV との間に有意な負の相関性を認め、DPBP 相当 METs が高いほど baPWV は遅く、DPBP 相当 METs から評価した最大下有酸素性作業能力が動脈スティフネスの独立した影響因子であることが明らかになった。

有酸素性作業能力と動脈スティフネスの関係について、Boreham et al. (2004) は本研究よりも若年成人を対象に検討している。そして、年齢、身長、体重、mBP と身体活動レベルや飲酒・喫煙習慣、脂肪摂取量、体脂肪率に関係なく、 $VO_2\max$ が高い者ほど PWV は遅く、最大有酸素性作業能力が動脈スティフネスの独立した影響因子であることを報告している。Gando et al. (2010) も閉経後の高齢女性において peak $VO_2\max$ が高い群では低い群よりも baPWV が有意に遅かったことを報告している。さらに、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 VO_2 と頸動脈の血管コンプライアンスとの間に有意な正の相関性があり、最大下有酸素性作業能力が血管の伸展性と関連があることを明らかにしている。そこで、本研究の新たな知見は、 $VO_2\max$ のような有酸素性作業の最大能力ではなく、LT や VT よりも簡便に測定可能な DPBP 相当 METs から評価した有酸素性作業の最大下能力が、年齢、身

表14. 研究 II-③ : 肥満群と標準体重群におけるCRFs平均値の比較

	肥満群		標準体重群		主効果		交互作用
	低体力群 (259人)	高体力群 (70人)	低体力群 (745人)	高体力群 (834人)	肥満度	体力 レベル	
SBP (mmHg)	125±15	119±15	116±15	110±12	$p<0.001$	$p<0.001$	$p=0.990$
DBP (mmHg)	81±10	77±9	75±9	71±8	$p<0.001$	$p<0.001$	$p=0.858$
TC (mg/dl)	215±33	216±37	212±38	198±35	$p<0.001$	$p<0.05$	$p<0.01$
TG (mg/dl)	107±62	96±63	84±58	71±39	$p<0.001$	$p<0.01$	$p=0.705$
HDL (mg/dl)	62±13	64±15	70±15	70±14	$p<0.001$	$p=0.213$	$p=0.464$
FBS (mg/dl)	100±16	95±8	95±10	91±8	$p<0.001$	$p<0.001$	$p=0.378$
HbA1c (%)	5.1±0.6	4.9±0.4	4.9±0.4	4.8±0.4	$p<0.01$	$p<0.001$	$p=0.269$

長、体重、mBPと日常生活における身体活動状態から独立したbaPWVの影響因子であることを明らかにした点である。DPBPは運動負荷試験中のHRとSBPを測定することで求めることができることから、健康づくり運動の指導現場における実用性は比較的高いと考えた。

最大下有酸素性作業能力とCRFsとの関係については、Tanaka et al. (1997)は肥満女性においてLT相当のVO₂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関係があることを報告しており、本研究結果も含めて最大下有酸素性作業能力が、CRFsと関係があり、最大下有酸素性作業能力が健康関連体力指標になり得る可能性が示唆された。

また、有酸素性運動トレーニングによりPWVは改善することが、いくつかの報告により明らかにされている(Hayashi et al., 2005; Tanaka et al., 1998; 2000)。改善の機序は不明な点が残されているもの(Maeda et al., 2005)、Hayashi et al. (2005)は、Karvonen (1957)の予備心拍数の70%に相当する中等強度での歩行・走行トレーニングにより、大動脈のPWVが66cm/分低下したことを報告しており、身体活動量が高めることがPWVの改善に繋がると考えられている(Vaitkevicious et al., 1993)。そして、一般的に運動を含めた日常の身体活動量が多いほど、有酸素性作業能力は高い(Withers et al., 1998)。このためbaPWVに対して身体活動量と有酸素性作業能力は相互に関連していると推察されるが、本研究では日常の身体活動状態に関係なく、DPBP相当METsがbaPWVの独立した影響因子であることが明らかになり、Boreham et al. (2004)の報告と同様の結果を得た。

身体活動量に関係なくDPBP相当METsが高い者ほどbaPWVが低くなる機序については、一つの可能性として、日常生活の身体活動時における交感神経活動状態の関与が考えられている。交

感神経活動が高まると血管の緊張が高まることで、動脈ステイフネスが高まることが知られている(Izzo et al., 1999)。また、レジスタンストレーニングにより、中心動脈や末梢動脈のステイフネスが増加することが報告されている(Collier et al., 2008; Devan et al., 2005; Miyachi et al., 2004)、これはレジスタンス運動中に交感神経活動が高まるためと考えられている(Collier et al., 2008)。このため、DPBP相当METsが低い者では、階段昇りや登り坂の歩行など、日常生活の身体活動においてDPBPを超える機会、つまり交感神経活動が高まる機会が、DPBP相当METsが高い者よりも頻繁にあると推察され、そのためDPBP相当METsが低い者ほどbaPWVが速くなるという機序が考えられた。

2. 研究I-②: 最大下有酸素性作業能力および中等強度以上の身体活動量と体脂肪分布

研究I-②では、最大下有酸素性作業能力、中等強度以上の身体活動量と内臓脂肪の相対的な蓄積レベルとの横断的關係について検討した。その結果、内臓脂肪レベル／体脂肪率が、低体力+低Ex群に比べて有意に低値を示したのは、高体力+高Ex群のみであった。このことから、DPBP相当METsから評価した最大下有酸素性作業能力と3METs以上の身体活動量のどちらか一方ではなく、両方が高い群で、内臓脂肪の相対的な蓄積レベルが小さいことが明らかになった。

体重、体脂肪率、腹囲や内臓脂肪レベルの絶対値に対する運動や身体活動の影響については、エネルギー出納バランスを踏まえた検討が必要である。このため、摂取エネルギー量の調査を行っていない本研究からは、体組成の絶対値に対するDPBP相当METsと3METs以上の身体活動量の影響を明らかにすることはできない。そこで、体脂肪率に対する内臓脂肪の相対的な蓄積レベルを検討するために、本研究では内臓脂肪レベル

／体脂肪率を算出した。この指標の有効性については、Riechman et al. (2002) も測定方法と指標に用いた構成因子は異なるものの、腹部 CT で測定した内臓脂肪量と体脂肪量の比をとることで、相対的な体脂肪の蓄積分布を評価できることを提案している。これは、エネルギー出納バランスが同等であった場合は、体脂肪量や体脂肪率は同等であるのに対して、消費エネルギーの違いで相対的な体脂肪分布には差が生じるとの考えに立った指標である。そして、本研究における内臓脂肪レベル／体脂肪率は低体力＋低 Ex 群に比べて、高体力＋高 Ex 群のみ有意に低値を示し、DPBP 相当 METs と 3METs 以上の身体活動量の両方が高い群では、内臓脂肪の相対的な蓄積レベルが小さいことが明らかになった。これは、メタボリックシンドロームの予防・改善においては中等強度以上の身体活動量を増やし、全身持久力を高める必要性を示唆する結果と考えた。ただし、腹囲、体脂肪率や内臓脂肪レベルの絶対値にも群間で有意差を認めた。先に述べたエネルギー出納バランスを調査できていない理由から、この因果関係を明らかにすることはできないものの、腹囲と内臓脂肪レベルが、低体力＋低 Ex 群や低体力＋高 Ex 群に比べて、高体力＋高 Ex 群が低値を示したことは、全身持久力と 3METs 以上の身体活動量を高めることで、絶対的な内臓脂肪の蓄積レベルを抑制できる可能性を示唆する結果と考えることもできる。

O' Donovan et al. (2009) も、質問紙法という調査方法の信頼性に限界はあるものの、中等強度以上 (4METs 以上) の身体活動量、 VO_{2max} と内臓脂肪量との関係性を検討している。その結果、中等強度以上の身体活動量と VO_{2max} の両方が高い群では、両方が低い群に比べて内臓脂肪量が少なかったことを報告しており、腹囲、体脂肪率と内臓脂肪レベルの絶対値では、本研究でも同等の結果を得た。一方、Brock et al. (2011) は DLW 法で測定した身体活動量に関係なく、

VO_{2max} が高い群は低い群よりも内臓脂肪面積は小さかったことを報告している。この様に、身体活動量が及ぼす影響に異なる結果が導かれた要因として、エネルギー出納バランスが考慮できていないことに加えて、DLW 法では身体活動における一日の総消費エネルギー量を評価しているため、活動強度別の身体活動量の影響については考慮できていない点が挙げられる。つまり、本研究結果も踏まえた場合、内臓脂肪の蓄積レベルの抑制には、運動や身体活動の強度が大きな影響因子になる可能性があることを示唆するものと考えた。中等強度以上の運動では、成長ホルモンやカテコラミンの分泌が高まることで脂質の分解が促進される (Irving et al., 2009; Pritzlaff et al., 1999; 2000)。実際に、運動時エネルギー消費量が同等であった場合、低強度トレーニング群よりも高強度トレーニング群の方が、内臓脂肪の減少量が大きく (Irving et al., 2008)、高強度の身体活動量が高い群ほどウエスト／ヒップ比が小さいことが報告されている (Tremblay et al., 1990)。

全身持久力と内臓脂肪の蓄積レベルを検討した報告はいくつかあり、 VO_{2max} が高いほど、BMI が同等であった場合は、腹囲や内臓脂肪レベルは小さいことが明らかにされている (Arsenault et al., 2007; 2010)。そこで、本研究の新しい知見は、 VO_{2max} と同様に最大下有酸素性作業能力の指標である DPBP 相当 METs も、内臓脂肪レベルに影響を及ぼしている可能性があることを明らかにした点であり、研究 I - ①の結果と合わせて、最大下有酸素性作業能力が健康関連体力指標として有効である可能性が示唆された。

そして、 VO_{2max} が高いほど内臓脂肪レベルが低い理由としては、 VO_{2max} が高い者は日常身体活動が活発なため、一般的傾向として必然的に内臓脂肪の蓄積レベルが抑制されると推察されている (Janssen et al., 2004; Wong et al.,

2004). しかし, VO_2max は遺伝的な影響も受けており (Bouchard et al., 1986), 運動習慣は無いにも関わらず, VO_2max が高い者も存在する (Lee et al., 1999; Hein et al., 1992). そして, この様な“先天性の高体力者”では, 疫学研究等で報告されている全身持久力を高く保つことでもたらされる疾病の予防効果は望めない可能性が高い (Hein et al., 1992; Lee et al., 1999; O'Donovan et al., 2009). 本研究でも, 高体力+低 Ex 群では低体力+低 Ex 群と比較して, 内臓脂肪レベル/体脂肪率に差を認めず, DPBP 相当 METs が高いだけでは, 内臓脂肪の相対的な蓄積レベルに影響を及ぼさない可能性が示唆された. これは, 先行研究で示されている“先天性の高体力者”の類型であると推察された. また, 低体力+高 Ex 群と低体力+低 Ex 群にも内臓脂肪レベル/体脂肪率に差を認めなかった. これは, DPBP 相当 METs で二分位に群分けした後, さらに低体力群を Ex で二分位に群分けしたときの基準が 13.8Ex であり, エクササイズガイド 2006 で奨励されている 23Ex よりも低いことが要因の一つと考えられた. 我々は先の報告で, 全身持久力は考慮せず, 23Ex を基準に群分けした場合, 内臓脂肪レベル/体脂肪率は低 Ex 群よりも高 Ex 群で有意に低値を示したことを確認している (松原ほか, 2011c). このため, 今後は, 対象者数を増やして Ex 基準の群分けを見直した上で, 検討を重ねる必要がある. ただし, 3METs という絶対的な運動強度は, 全身持久力レベルが高い者にとっては, 体力面の運動適応を引き起こすには十分な強度ではない. そして, 本研究結果を踏まえて考えると, 今後の運動支援では, 個々人の体力レベルに合わせて, 有酸素性作業能力が高まる水準の強度における運動や身体活動の実施を個別に指導することが, 効率的なメタボリックシンドローム予防・改善に繋がると考えた.

研究 I の限界として, 第一に喫煙・飲酒習慣の影響を考慮できていない点が挙げられる. PWV

と体脂肪の蓄積分布は喫煙習慣 (Komiya et al., 2006; Li et al., 2006; Mahmud et al., 2003; Molenaar et al., 2009) と飲酒習慣 (Shafer et al., 2009; Sierksma et al., 2004) の影響を受ける. 内臓脂肪レベルに対しては, 他の研究で年齢, 食事, 喫煙, ホルモン代替療法や社会経済的地位よりも身体活動の方が及ぼす影響は大きいとの報告があるものの (Samaras et al., 1999), 慎重な検討を行わなければならない. また, PWV に関しては, 年齢, mBP, BMI, 降圧薬服用・喫煙・経口避妊薬服用・ホルモン治療の有無で調整した後でも, 閉経者は有経者に比べて有意に PWV が速いことが報告されており (Staessen et al., 2001), 月経の有無を考慮できていない点も研究の限界である. ただし, 身体活動が多い者同士では閉経群と有経群において, PWV に有意な差がなかったことが報告されており (Tanaka et al., 1998), 特に VO_2max が高ければ動脈ステイフネスに対する閉経の負の作用を抑制できる可能性が示唆されていることから, DPBP 相当 METs でも同様の関係が成り立つ可能性は高いとも考えられたものの, 今後の検討が必要である. 研究 I -②に関しては, 内臓脂肪レベルには性差が認められており, 女性よりも男性の方が内臓脂肪面積は大きく (Demerath et al., 2007), 同一 BMI で検討した場合でも同様の結果であることが報告されている (Camhi et al., 2011). このため, 本研究結果は女性に限った現象であることを否定することはできない. さらに, 例数が 56 名であること, 年齢に大きな幅があること, 高血圧症, 糖尿病と脂質異常症の治療中の者が含まれていることなどが, 本研究の結果に影響を及ぼしている可能性も考慮しておく必要がある. 加えて, AB-101 に限らず, 生体インピーダンス法は, 測定時間や体水分量の影響を強く受けるとされており, このため測定の再現性には十分に注意を払う必要があるものの, この点に関しても明らかにできていない.

3. 研究Ⅱ-①: 3点法・推定 50%VO₂max/wt と CRFs

ロジスティック回帰分析を行った結果、飲酒習慣、喫煙習慣や月経状態に関係なく、推定 VO₂max/wt で評価した体力水準が低い者ほど、CRFs 異常値保有のオッズ比が高いことが明らかになり、先行研究と同様に最大有酸素性作業能力と CRFs の関係性が確認された。次に、本研究による新たな知見は、最大下有酸素性作業能力の指標である 3 点法・推定 50%VO₂max/wt で評価した場合でも、その体力水準が低い者ほど CRFs 異常値保有のオッズ比が高くなっており、50%VO₂max に相当する HR (1 分間値=138-年齢/2) から求めた 3 点法・推定 50%VO₂max/wt が、推定 VO₂max/wt と同様に、CRFs と関係性があることが明らかになった点である。

推定 VO₂max/wt と 60%VO₂max 相当の WR の変化と CRFs の変化との関係について検討した先行研究において、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 VO₂max/wt と 60%VO₂max 相当の WR で大きな違いがなかったことが報告されている (Wilmore et al., 2001)。これは、最大下有酸素性作業能力が最大有酸素性作業能力と同等の健康関連体力指標になり得ることを示唆するものと考えられた。LT (Tanaka et al., 1995) や VT (Otsuki et al., 2006) 相当の VO₂ と健康度との関係や研究 I の結果も含めて、改めて最大下有酸素性作業能力の健康関連体力指標としての有用性が示唆された。また、生理学的指標としては、その信頼性に多くの限界があることが分かっている運動時 HR を用いた場合でも、健康度を評価できることが示唆されたことから、支援現場において簡便性が高く、実用化しやすい指標であると考えた。

4. 研究Ⅱ-②: 1点法・推定 50%VO₂max/wt と CRFs

研究Ⅱ-②では、飲酒・喫煙習慣や月経の有無

に関係なく、3 階層それぞれの運動時 HR から求めた 1 点法・推定 50%VO₂max/wt が高いほど、3 点法・推定 50%VO₂max/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%VO₂max/wt の健康関連体力指標としての有用性が示唆された。1 点法・推定 50%VO₂max/wt は、自転車エルゴメータ運動の一つの WR とそれに対応する運動時 HR、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 VO₂max を測定するための運動負荷試験の実施が困難な支援現場でも、日々のトレーニングの運動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変化を評価することが可能になることから、その実用性は高いと考えた。さらに、推定 50%VO₂max/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、VO₂max と同様に、1 点法・推定 50%VO₂max/wt 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である。

自転車エルゴメータを用いたトレーニングの経時的変化に限った場合、WR が増加したとしても、運動時 HR 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 VO₂/wt が増加したとの判断には至らない。このため、運動時 HR 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%VO₂max に対する運動時 HR は高齢ほど低値を示すことから (Higginbotham et al., 1986; Ogawa et al., 1992)、年齢を考慮した運動時 HR の相対評価も必要となる。以上のことから、本研究では、WR に対する運動時 HR 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、運動時 HR と年齢推定 50%HR の比を求め、そこから運動時 HR 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、ACSM 編・運動処方指針（2000）の代謝計算式から VO_2/wt を求めた。

さらに、運動時 HR に相当する $\%VO_2max$ 値には個体差があることと、運動トレーニングにおける運動時 HR 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、運動時 HR は時間の経過とともに Cardiovascular drift により増加し (Rowell, 1974)、およそ $60\%VO_2max$ 強度における運動時 HR 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、 $50\%VO_2max$ 強度程度でも運動時 HR は約 10% 変動することを想定しておく必要があると考え、研究 II - ②では 1) $39.9\%VO_2max$ 以下 (低強度)、2) $40 - 60\%VO_2max$ (中等強度)、3) $60.1\%VO_2max$ 以上 (高強度) の 3 階層の運動時 HR を用いて、1 点法・推定 $50\%VO_2max/wt$ 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 $50\%VO_2max/wt$ 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 $50\%VO_2max/wt$ も 3 点法・推定 $50\%VO_2max/wt$ 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った。なお、年齢と各推定 $50\%VO_2max/wt$ 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。ただし、低強度 ($39.9\%VO_2max/wt$ 相当以下)、中等強度 ($40.0 - 60.0\%VO_2max/wt$ 相当)、あるいは高強度 ($60.1\%VO_2max/wt$ 相当以上) のいずれの運動時 HR を用いて算出するかで、同一対象者でも 1 点法・推定 $50\%VO_2max/wt$ 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 $50\%VO_2max/wt$ の算出では、用いる運動時 HR の $\%VO_2max$ 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。

5. 研究 II - ③ : 1 点法・推定 $50\%VO_2max/wt$, BMI と CRFs

対象者全体で、BMI は $22.3 \pm 2.9 \text{ kg/m}^2$ 、1 点法・推定 $50\%VO_2max/wt$ は $4.0 \pm 0.8 \text{ METs}$ であった。研究 II - ③では、BMI を評価尺度とした肥満度と 1 点法・推定 $50\%VO_2max/wt$ を評価尺度とした体力レベルが、CRFs に及ぼす影響について横断的に検討した。その結果、肥満度と体力レベルで分類した 4 群の比較において、全 CRFs の中で異常値を一つ以上有するオッズ比は、肥満+低体力群に対して残りの 3 群では有意に低いことが明らかになった。また、全 CRFs の中で異常値を一つ以上有する体力レベルにおけるオッズ比は、調整因子に年齢、喫煙・飲酒習慣、月経状態と BMI を含めて分析したところ、体力レベルが高いほどオッズ比は小さいという関係性を認め、 VO_2max と同様に、1 点法・推定 $50\%VO_2max/wt$ が肥満度から独立した健康関連体力指標であることが示唆された。

最大有酸素性作業能力の指標である VO_2max 、体重や体脂肪分布と CRFs 異常値保有オッズ比との関係について検討した先行研究では、 VO_2max が体重や体脂肪分布から独立した CRFs の影響因子であることを報告しているものが多数ある (Hunter et al., 2010; Jago et al., 2010; O'Donovan et al., 2012; Wei et al., 1999)。その中で、O'Donovan et al. (2012) は腹囲と推定 VO_2max で分類した群間比較において、腹部肥満+低体力群に比べ、腹部肥満+高体力群、非腹部肥満+低体力群と非腹部肥満+高体力群では、CRFs が正常な状態に保たれていたことを報告している。本研究でも、影響因子を調整しなかった場合は、肥満+低体力群に対して、残りの 3 群では CRFs 異常値保有オッズ比が有意に小さ

く、O'Donovan らの報告と同等の結果を得た。ただし、VO₂max よりも体重や体脂肪分布の方が CRFs に及ぼす影響は大きいとの報告もあり (Berman et al., 1999; Christou et al., 2005), 議論の余地が残されている。本研究でも、年齢、喫煙・飲酒習慣と月経状態を調整因子にとった分析結果では、肥満群同士では体力レベルの違いによる差を認めなかった (図 5)。また、肥満度と体力レベルで分類した 4 群における各 CRFs の平均値の比較では、TC は肥満度と体力レベルの交互作用が有意であり、標準体重群では体力レベルの影響を認めたが、肥満群では認めなかったことや、HDL は肥満度の影響を認めたが、体力レベルの影響は認めなかった (表 15)。さらに、各 CRFs が異常値を示す肥満度におけるオッズ比では、一点法・推定 50%VO₂max/wt を調整因子に含めた場合でも、全ての CRFs に有意性を認めたのに対して、体力レベルにおけるオッズ比では、BMI を調整因子に含めた場合は、TC, TG, HDL と HbA1c に有意性を認めなかった。これらの結果は、本研究で検討した CRFs の中で、特に脂質プロフィールに関しては、体力レベルよりも肥満度の影響の方が大きいことを示唆するものであり、肥満度と体力レベルの影響は CRFs ごとに異なる可能性があるかと推察された。

これまでのコホート研究の多くは、ベースライン時の測定で全身持久力と体重や体脂肪率を評価し、その後の死亡率を追跡調査している。この研究デザインでは、測定後の全身持久力や体重の変化を考慮することができないため、ここに研究手法の限界があるとされてきた。そこで、Lee et al. (2011) は 2 回の測定を約 6 年間隔で行い、そこから評価した VO₂max と BMI の変化を基に対象者を階層化した上で、その後の冠動脈疾患による死亡率を追跡調査している。その結果、VO₂max が 1 回目から 2 回目の測定にかけて低下した者に比べて、向上あるいは維持していた者では死亡率が低く、これは BMI の変化の影響を

受けないことが明らかにされており、全身持久力と体重、健康度との関係について新たな知見が報告されている。本研究で用いた一点法・推定 50%VO₂max/wt は、継続的な測定が VO₂max よりも容易なため、今後、測定を継続することで、先行研究と同様の知見を健康づくり運動の支援現場からも提供できる可能性がある。

本研究では、BMI が 25 kg/m² 以上を肥満群として分類した。これは、日本肥満学会が定めた肥満症の診断基準に沿ったものである (松澤ほか, 2000)。また、体力群の分類は、一点法・推定 50%VO₂max/wt が 4 METs 未満と以上とで行った。4 METs 未満の者は先で示したように、60 歳代女性における健康の維持・増進に必要な VO₂max/wt の基準値を満たしていないことに加えて、4 METs は時速 4-5 km の歩行に相当することから (Ainsworth et al., 2011)、低体力群は、これを VO₂max の 50%強度で実行できない体力レベルということになる。体力群の分類方法については客観的な裏付けはないものの、全対象者における一点法・推定 50%VO₂max/wt の平均値は 4.0±0.8 METs であったことや、一点法・推定 50%VO₂max/wt と単純な比較はできないものの、平均年齢が 52.6 歳の一般健康女性 315 人を対象にした研究で、DPBP は 9 割以上の者が 4 METs 以上であることが報告されていることを考えると (松原ほか, 2011b)、4 METs 未満を低体力と定義したことは妥当と考えた。

研究 II の限界として、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ことや (Claremont et al., 1975; Mayuzumi et al., 1979)、個人内であっても全身持久力の変化に伴い相対的同一強度における HR は変化する可能性が指摘されているため (Ayabe et al., 2006; 松原ほか, 2012)、一点法・推定 50%VO₂max/wt にはある程度の誤差が生じることを考慮しておく必要がある。また、本研究は横断的な関係を明らかにしたに過ぎない。前向きコホート研究にお

いて、VO₂max の初期値と疾病発症率との関係や (Blair et al., 1989; Katzmarzyk et al., 2005; Sawada et al., 2003), VO₂max の変化量と CRFs との変化量との関係が検討されているように (Wilmore et al., 2001), 一点法・推定 50%VO₂max/wt についても縦断的な検討を行っていく必要がある。対象者についても、健康度診断一日コースに自主的に参加した健康意識が高い集団と見なすことができ、本研究結果には様々なバイアスがある可能性を踏まえておかなければならない。さらに、CRFs は食習慣 (Fønnebo, 1988) や日常身体活動量 (Suzuki et al., 1998) の影響も受けるが、本研究ではこの点が考慮できていないため、研究結果については慎重な解釈が必要である。

結論

研究 I では DPBP 相当 METs が、動脈ステイフネスと内臓脂肪レベルの独立した影響因子であることが示唆された。研究 II では 3 点法・推定 VO₂max/wt と 1 点法・推定 VO₂max/wt が CRFs の独立した影響因子であることが示唆された。以上のことから、最大下有酸素性作業能力が、VO₂max/wt と同様に健康関連体力因子になり得ることが明らかになった。また、研究 II で考案した 1 点法・推定 VO₂max/wt は、日々の運動トレーニングデータから算出可能なことから、トレーニングそのものが体力と健康度の測定を兼ねられること、毎回のトレーニングデータを用いて算出することで、細かな全身持久力の推移を観察できる等の利点を有しており、今後、健康づくり運動の支援現場で有効性と実用性が高い指標になり得ると考える。

謝辞

本研究をまとめるにあたり、多大なるご指導・

ご鞭撻を賜りました福岡大学スポーツ科学部の田中宏暁教授、進藤宗洋名誉教授と福岡市医師会成人病センター・九州大学大学院医学研究院循環器内科学の小池城司先生、本研究の実施にあたり協働していただいた元福岡市健康づくりセンターの神宮純江理事長と職員の方々、ならびに株式会社健康科学研究所社員の方々に感謝致します。また、私が株式会社健康科学研究所に入社し、特に最初の 5 年間ほど、進藤弘子 (株) 健康科学研究所前代表取締役からは、私の研究や仕事に取り組み姿勢の甘さに対して、幾度となく暖かい叱咤激励をしていただき、それが現在の研究活動の礎となりました。ここに故人のご冥福をお祈りするとともに、改めて深謝申し上げます。

平成 26 年 2 月 14 日

引用文献

- Ainsworth, B.E., Haskell, W.L., Herrmann, S.D., Meckes, N., Bassett, D.R.Jr., Tudor-Locke, C., Greer, J.L., Vezina, J., Whitt-Glover, M.C., Leon, A.S. (2011) 2011 Compendium of physical activities: A second update of codes and MET values. *Med Sci Sports Exerc*, 43: 1575–1581.
- 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) (2011) 運動処方 の指針原著第 8 版, 東京:南江堂.
- Arsenault, B.J., Lachance, D., Lemieux, I., Alméras, N., Tremblay, A., Bouchard, C., Pérusse, L., Després, J.P. (2007) Visceral adipose tissue accumulation, cardiorespiratory fitness, and features of the metabolic syndrome. *Arch. Intern. Med.*, 167: 1518–1525.
- Arsenault, B.J., Rana, J.S., Lemieux, I., Després, J.P., Kastelein, J.J., Boekholdt, S.M., Wareham, N.J., Khaw, K.T. (2010) Physical inactivity, abdominal obesity and risk of coronary heart disease in apparently healthy men and women. *Int. J. Obes.*, 34: 340–347.
- Åstrand, P.O., Ryhming, I. (1954) A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J. Appl. Physiol.*, 7: 218–221.
- Ayabe, M., Ishii, K., Takayama, K., Shindo, M. and Tanaka, H. (2006) Alterations in heart rate, blood lactate accumulation and perceived exertion at lactate threshold as a consequence of exercise training in the elderly. *International*

- Journal of Sport and Health Science, 4: 536-543.
- Berman, D.M., Rogus, E.M., Busby-Whitehead, M.J., Katzel, L.I., Goldberg, A.P. (1999) Predictors of adipose tissue lipoprotein lipase in middle-aged and older men: relationship to leptin and obesity, but not cardiovascular fitness. *Metabolism*, 48: 183–189.
- 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.
- Boreham, C.A., Ferreira, I., Twisk, J.W., Gallagher, A.M., Savage, M.J., Murray, L.J. (2004) Cardiorespiratory fitness, physical activity, and arterial stiffness: the Northern Ireland young hearts project. *Hypertension*, 44: 721–726.
- Bouchard, C., Lesage, R., Lortie, G., Simoneau, J.A., Hamel, P., Boulay, M.R., Pérusse, L., Thériault, G., Leblanc, C. (1986) Aerobic performance in brothers, dizygotic and monozygotic twins. *Med. Sci. Sports Exer.*, 18: 639–646.
- Brock, D.W., Irving, B.A., Gower, B., Hunter, G.R. (2011) Differences emerge in visceral adipose tissue accumulation after selection for innate cardiovascular fitness. *Int. J. Obes.*, 35: 309–312.
- Camhi, S.M., Bray, G.A., Bouchard, C., Greenway, F.L., Johnson, W.D., Newton, R.L., Ravussin, E., Ryan, D.H., Smith, S.R., Katzmarzyk, P.T. (2011) The relationship of waist circumference and BMI to visceral, subcutaneous, and total body fat: sex and race differences. *Obesity*, 19: 402-408.
- 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 Exer.*, 32: 1080–1087.
- Christou, D.D., Gentile, C.L., DeSouza, C.A., Seals, D.R., and Gates, P.E. (2005) Fatness is a better predictor of cardiovascular disease risk factor profile than aerobic fitness in healthy men. *Circulation*, 111: 1904–1914.
- Church, T.S., LaMonte, M.J., Barlow, C.E., Blair, S.N. (2005) Cardiorespiratory fitness and body mass index as predictors of cardiovascular disease mortality among men with diabetes. *Arch. Intern. Med.*, 165: 2114–2120.
- Claremont, S.D., Nagle, F., Reddan, W.D., 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.
- Cooper, K.H., Pollock, M.L., Martin, R.P., White, S.R., Linnerud, A.C., Jackson, A. (1979) Physical fitness levels vs selected coronary risk factors. A cross-sectional study. *JAMA*, 236: 166–169.
- Demerath, E.W., Sun, S.S., Rogers, N., Lee, M., Reed, D., Choh, A.C., Couch, W., Czerwinski, S.A., Chumlea, W.C., Siervogel, R.M., Towne, B. (2007) Anatomical patterning of visceral adipose tissue: race, sex, and age variation. *Obesity*, 15: 2984–2993.
- Ekelund, L.G. (1967) Circulatory and respiratory adaptation during prolonged exercise. *Acta. Physiol. Scand.*, 70: 1–38.
- Fønnebo, V. (1988) The Tromsø Heart Study: diet, religion, and risk factors for coronary heart disease. *Am. J. Clin. Nutr.*, 48: 826–9.
- Gando, Y., Kawano, H., Yamamoto, K., Sanada, K., Tanimoto, M., Oh, T., Ohmori, Y., Miyatani, M., Usui, C., Takahashi, E., Tabata, I., Higuchi, M., Miyachi, M. (2010) Age and cardiorespiratory fitness are associated with arterial stiffening and left ventricular remodeling. *J. Hum. Hypertens.*, 24: 197–206.
- Gibbons, L.W., Blair, S.N., Cooper, K.H., Smith, M. (1983) Association between coronary heart disease risk factors and physical fitness in healthy adult women. *Circulation*. 67: 977–983.
- 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.
- Glasser, S.P., Arnett, D.K., McVeigh, G.E., Finkelstein S.M., Bank A.J., Morgan D.J., Cohn J.N. (1997) Vascular compliance and cardiovascular disease: a risk factor or a marker? *Am. J. Hypertens.*, 10: 1175–1189.
- Hayashi, K., Sugawara, J., Komine, H., Maeda, S., Yokoi, T. (2005) Effects of aerobic exercise training on the stiffness of central and peripheral arteries in middle-aged sedentary men. *Jpn. J. Physiol.*, 55: 235–239.
- Hein, H.O., Suadicani, P., Gyntelberg, F. (1992) Physical fitness or physical activity as a predictor of ischaemic heart disease? A 17-year follow-up in the Copenhagen Male Study. *J. Intern. Med.*, 232: 471–479.
- 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.
- Hunter, G.R., Chandler-Laney, P.C., Brock, D.W., Lara-Castro, C., Fernandez, J.R., and Gower, B.A. (2010) Fat distribution, aerobic fitness, blood lipids, and insulin sensitivity in African-American and European-American Women. *Obesity*, 18(2): 274. doi: 10.1038/oby.2009. 2009

- Irving, B.A., Davis, C.K., Brock, D.W., Weltman, J.Y., Swift, D., Barrett, E.J., Gaesser, G.A., Weltman, A. (2008) Effect of exercise training intensity on abdominal visceral fat and body composition. *Med. Sci. Sports Exerc.* 40: 1863–1872.
- Irving, B.A., Weltman, J.Y., Patrie, J.T., Davis, C.K., Brock, D.W., Swift, D., Barrett, E.J., Gaesser, G.A., Weltman, A. (2009) Effects of exercise training intensity on nocturnal growth hormone secretion in obese adults with the metabolic syndrome. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 94: 1979–1986.
- Izzo, Jr. J.L., Taylor, A.A. (1999) The sympathetic nervous system and baroreflexes in hypertension and hypotension. *Curr. Hypertens Rep.*, 1: 254–263.
- Jago, R., Drews, K.L., McMurray, R.G., Thompson, D., Volpe, S.L., Moe, E.L., Jakicic, J.M., Pham, T.H., Bruecker, S., Blackshear, T.B., Yin, Z. (2010) Fatness, fitness, and cardiometabolic risk factors among sixth-grade youth. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 42: 1502–1510.
- Janssen, I., Katzmarzyk, P.T., Ross, R., Leon, A.S., Skinner, J.S., Rao, D.C., Wilmore, J.H., Rankinen, T., Bouchard, C. (2004) Fitness alters the associations of BMI and waist circumference with total and abdominal fat. *Obes. Res.*, 12: 525–537.
- Jetté, M., Sidney, K., Quenneville, J., Landry, F. (1992) Relation between cardiorespiratory fitness and selected risk factors for coronary heart disease in a population of Canadian men and women. *CMAJ*, 146(8): 1353–60.
- Karvonen, M., Kentala, K., Mustala, O. (1957) The effects of training heart rate: a longitudinal study. *Ann. Med. Exp. Biol. Fenn.*, 35: 307–315.
- 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.
- Komiya, H., Mori, Y., Yokose, T., Tajima, N. (2006) Smoking as a risk factor for visceral fat accumulation in Japanese men. *Tohoku J. Exp. Med.*, 208: 123–132.
- Kumahara, H., Ishii, K., and Tanaka, H. (2000) Physical activity monitoring for health management: practical techniques and methodological issues. *Int. J. Sports Health Sci.*, 4: 380–393.
- Kumahara, H., Schutz, Y., Ayabe, M., Yoshioka, M., Yoshitake, Y., Shindo, M., Ishii, K., Tanaka, H. (2004) The use of uniaxial accelerometry for the assessment of physical-activity-related energy expenditure: a validation study against whole-body indirect calorimetry. *Br. J. Nutr.*, 91: 235–243.
- 厚生労働省健康局 (2007) 標準的な健診・保健指導プログラム(確定版). <http://www.mhlw.go.jp/bunya/shakaihoshou/iryouseido01/info03a.html>
- 厚生労働省 (2010) 平成 22 年国民健康・栄養調査. <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000020qbb.html>
- 国際糖尿病連合 (2012) Diabetes Atlas 2012 update. <http://www.dm-net.co.jp/calendar/2013/020027.php>
- Lee, C.D., Blair, S.N., Jackson, A.S. (1999) Cardio-respiratory fitness, body composition, and all-cause and cardiovascular disease mortality in men. *Am. J. Clin. Nutr.*, 69: 373–380.
- Lee, D.C., Sui, X., Artero, E.G., Lee, I-M., Church, T.S., McAuley, P.A., Stanford, F.C., Kohl III, H.W., and Blair, S.N. (2011) Long-term effects of changes in cardiorespiratory fitness and body mass index on all-cause and cardiovascular disease mortality in men: the aerobics center longitudinal study. *Circulation*, 124: 2483–2490.
- Li, H., Srinivasan, R.S., Berenson, G.S. (2006) Comparison of measures of pulsatile arterial function between asymptomatic younger adult smokers and former smokers: the Bogalusa Heart Study. *Am. J. Hypertens.*, 19: 897–901.
- Mahmud, A., Feely, J. (2003) Effect of smoking on arterial stiffness and pulse pressure amplification. *Hypertension*, 41:183-187.
- 松澤佑次・井上修二・池田義雄・坂田利家・斎藤 康・佐藤祐造・白井厚治・大野 誠・宮崎 滋・徳永勝人・深川光司・山之上国男・中村 正 (2000) 新しい肥満の判定と肥満症の診断基準. *肥満研究*, 6: 11–18.
- 松原建史・柳川真美・小池城司 (2011a) 日常生活での相対的中等強度の身体活動が体重, 体脂肪率, 最大下有酸素性作業能力と脚力の変化に及ぼす影響. *体育学研究*. 56: 105–113.
- 松原建史・柳川真美・山口靖子・大藤直子・進藤宗洋・小池城司 (2011b) 日本人成人における二重積屈曲点 (DPBP) から評価した最大下有酸素性作業能力. *日本公衛誌*, 58: 168–175.
- 松原建史・峰祐子・柳川真美・樋口ゆう子・山口靖子・江上薫・肘井千賀・松永里香・出口美華・久保邦子・小池城司 (2011c) 腹部脂肪計 AB-101 の実用性と 3METs 以上の身体活動量が体組成に及ぼす影響について. *肥満研究*, 17: 112–118.
- 松原建史・前田龍・樋口慶亮・柳川真美・樋口ゆう子・山口 靖子・出口美華・久保邦子・進藤宗洋・小池城司 (2012) 全身持久力向上に伴う二重積屈曲点相当の心拍数の変化と年齢推定 50%VO₂max 相当の心拍数の妥当性. *体力科学*, 61: 319–326.
- Mayuzumi, M., Tsujita, J., Tanaka, N., 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.
- Miyachi, M., Kawano, H., Sugawara, J., Takahashi, K., Hayashi, K., Yamazaki, K., Tabata, I., Tanaka, H. (2004) Unfavorable effects of resistance training on central arterial compliance: a randomized intervention study. *Circulation*, 110: 2858–2863.
- Molenaar, E.A., Massaro, J.M., Jacques, P.F., Pou, K.M., Ellison, R.C., Hoffmann, U., Pencina, K., Shadwick, S.D., Vasan, R.S., O'Donnell, C.J., Fox, C.S. (2009) Association of lifestyle factors with abdominal subcutaneous and visceral adiposity. *Diabetes Care*, 32: 505–510.
- O'Donovan, G., Thomas, E.L., McCarthy, J.P., Fitzpatrick, J., Durighel, G., Mehta, S., Morin, S.X., Goldstone, A.P., Bell, J.D. (2009) Fat distribution in men of different waist girth, fitness level and exercise habit. *Int. J. Obes.*, 33: 1356–1362.
- O'Donovan, G., Kearney, E., Sherwood, R., Hillsdon, M. (2012) Fatness, fitness, and cardio-metabolic risk factors in middle-aged white men. *Metabolism*, 61: 213–220.
- 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.
- O'Rourke, M. (1995) Mechanical principles in arterial disease. *Hypertension*, 26: 2–9.
- 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.
- Pouliot MC, Després JP, Nadeau A, Moorjani, S., Prud'Homme, D., Lupien, P.J., Tremblay, A., Bouchard, C. (1992) Visceral obesity in men. Associations with glucose tolerance, plasma insulin, and lipoprotein levels. *Diabetes*, 41: 826–834.
- Pritzlaff, C.J., Wideman, L., Weltman, J.Y., Abbott, R.D., Gutgesell, M.E., Hartman, M.L., Veldhuis, J.D., Weltman, A. (1999) Impact of acute exercise intensity on pulsatile growth hormone release in men. *J. Appl. Physiol.*, 87: 498–504.
- Pritzlaff, C.J., Wideman, L., Blumer, J., Jensen, M., Abbott, R.D., Gaesser, G.A., Veldhuis, J.D., Weltman, A. (2000) Catecholamine release, growth hormone secretion, and energy expenditure during exercise vs. recovery men. *J. Appl. Physiol.*, 89: 937–946.
- 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.
- Riechman, S.E., Schoen, R.E., Weissfeld, J.L., Thaete, F.L., Kriska, A.M. (2002) Association of physical activity and visceral adipose tissue in older women and men. *Obes. Res.*, 10: 1065–1073.
- Rowell, L.B. (1974) Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiol. Rev.*, 54: 75–159.
- Samaras, K., Kelly, P.J., Chiano, M.N., Spector, T.D., Campbell, L.V. (1999) Genetic and environmental influences on total-body and central abdominal fat: The effect of physical activity in female twins. *Ann. Intern. Med.*, 130: 873–882.
- 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.
- Shafer, K.J., Siders, W.A., Johnson, L.K., Lukaski, H.C. (2009) Validity of segmental multiple-frequency bioelectrical impedance analysis to estimate body composition of adults across a range of body mass indexes. *Nutrition*, 25: 25–32.
- 進藤宗洋・田中宏暁・北嶋久雄・森洗・吉田吉男 (1980) エルゴメトリー —有酸素的運動による負荷検査—. *臨床病理*, 28: 12–18.
- 進藤宗洋 (1990) 厚生省の「健康づくりのための運動所要量」について —『身から錆をささない, 出させない』暮らし方の原理の提案—. *保健の科学*, 32: 139–156.
- 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). —習慣的健康(ニコニコペース)の運動時間と抗動脈硬化因子などの関係—. *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. 朝倉書店:東京, pp. 337-345.
- Sierksma, A., Lebrun, C.E.I., van der Schouw, Y.T., Grobbee, D.E., Lamberts, S.W.J., Hendriks, H.F.J., Bots, M.L. (2004) Alcohol consumption in relation to aortic stiffness and aortic wave reflections: A cross-sectional study in healthy postmenopausal women. *Arterioscler Thromb. Vasc. Biol.*, 24: 342-348.
- Staessen, J.A., van der Heijden-Spek, J.J., Safar, M.E., Den Hond, E., Gasowski, J., Fagard, R.H., Wang, J.G., Struijker Boudier, H.A. and Van Bortel, L.M. (2001) Menopause and the characteristics of the large arteries in a population study. *J. Hum. Hypertens.*, 15: 511-518.
- 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.
- Suzuki, I., Yamada, H., Sugiura, T., Kawakami, N., Shimizu, H. (1998) Cardiovascular fitness, physical activity and selected coronary heart disease risk factors in adults. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 38: 149-157.
- 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.
- Tanaka, H., Kiyonaga, A., Terao, Y., Ide, K., Yamauchi, M., Tanaka, M., Shindo, M. (1997) Double product response is accelerated above the blood lactate threshold. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 29: 503-508.
- Tanaka, H., DeSouza, C.A., Seals, D.R. (1998a) Absence of age-related increase in central arterial stiffness in physically active women. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.*, 18: 127-132.
- Tanaka, H., Dinunno, F.A., Monahan, K.D., Clevenger, C.M., Desouza, C.A., Seals, D.R. (2000) Aging, habitual exercise, and dynamic arterial compliance. *Circulation*, 102: 1270-1275.
- Tremblay, A., Després, J.P., Leblanc, C., Craig, C.L., Ferris, B., Stephens, T., Bouchard, C. (1990) Effect of intensity physical activity on body fatness and fat distribution. *Am. J. Clin. Nutr.*, 51: 153-157.
- Trost, S.G., McIver, K.L., and Pate, R.R. (2000) Conducting accelerometer-based activity assessments in field-based research. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 37: S531-S543.
- 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-. <http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/undou01/pdf/data.pdf>
- 運動基準・運動指針の改定に関する検討会 (2013) 健康づくりのための身体活動基準 2013. <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002xple-att/2r9852000002xpqt.pdf>
- Vaitkevicious, P.V., Fleg, J.L., Engel, J.H., O'Connor, F.C., Wright, J.G., Lakatta, L.E., Yin, F.C.P., Lakatta, E.G. (1993) Effects of age and aerobic capacity on arterial stiffness in healthy adults. *Circulation*. 88: 1456-1462.
- Wei, M., Kampert, J.B., Barlow, C.E., Nichaman, M.Z., Gibbons, L.W., Paffenbarger, R.S. Jr., Blair, S.N. (1999) Relationship between low cardiorespiratory fitness and mortality in normal-weight, overweight, and obese men. *JAMA*, 282: 1547-1553.
- Westerhof, N., O'Rourke, M.F. (1995) Haemodynamic basis for the development of left ventricular failure in systolic hypertension and for its logical therapy. *J. Hypertens.*, 13: 943-952.
- 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.
- Withers, R.T., Smith, D.A., Tucker, R.C., Brinkman, M., Clark, D.G. (1998) Energy metabolism in sedentary and active 49- to 70-yr-old women. *J. Appl. Physiol.*, 84: 1333-1340.
- Wong, S.L., Katzmarzyk, P., Nichaman, M.Z., Church, T.S., Blair, S.N., Ross, R. (2004) Cardiorespiratory fitness is associated with lower abdominal fat independent of body mass index. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 36: 286-291.