

日本人の健康関連体力指標最大酸素摂取量の基準値

東京慈恵会 医科大学	鈴木政登
(共同研究者) 筑波大学大学院	田中喜代次
ソニー健康保険組合	須藤美智子
東京ガス株式会社	澤田 亨
東京医科大学	小田切 優子

Reference Interval of Maximal Oxygen Uptake ($\dot{V}O_{2max}$) as One of the Determinants of Health-Related Physical Fitness in Japanese

by

Masato Suzuki

*Department of Laboratory Medicine,
The Jikei University School of Medicine*

Kiyoji Tanaka

*Graduate School of Comprehensive Human Sciences,
Division of Health and Sport Medicine University of Tsukuba*

Michiko Sutoh

Sony Health Insurance Society

Susumu Sawada

Health Promotion Center, Tokyo Gas Co., Ltd.

Yuko Odagiri

*Department of Preventive Medicine and Public Health,
Tokyo Medical University*

ABSTRACT

Maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$) is an important determinant of health-related physical fitness. In 2006, the Japan Ministry of Health officially announced a reference value and reference interval of $\dot{V}O_{2max}$. However, the values were established on the basis of a systematic review of reports published in the Western countries and was not based on the $\dot{V}O_{2max}$ data of the Japanese population. Therefore, we conducted a study entitled "The study on a minimum zone of $\dot{V}O_{2max}$ as one of the determinants of health-related physical fitness in Japan" from 2004 to 2006 as a project of the Japanese Society of Physical Fitness and Sports Medicine (JSPFSM). In addition, we collected the already published $\dot{V}O_{2max}$ data of the Japanese population from the JSPFSM website. In the present study, we attempted to determine the reference interval of $\dot{V}O_{2max}$ with regard to age, gender, and different methods of exercise. Further, we established a cutoff value of $\dot{V}O_{2max}$ for determining metabolic syndrome (MS).

1. Reference interval of maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$)

For treadmill exercise, 325 and 364 values and for cycle ergometer exercise, 1175 and 2178 values were collected for men and women, respectively. There was balanced distribution of $\dot{V}O_{2max}$ with regard to age among the laboratories which provided data to the present project. The collected data that satisfied the $\dot{V}O_{2max}$ criterion were adopted for the analysis. These data were regressed to age on gender and methods of exercise. The percentage of $\dot{V}O_{2max}$ was calculated using the following equation: $\% \dot{V}O_{2max} = \text{measured } \dot{V}O_{2max} \times 100 / \text{age-estimated } \dot{V}O_{2max}$. Iterative truncation method was used to calculate the reference interval of $\dot{V}O_{2max}$ (70%~130% $\dot{V}O_{2max}$) from the crude data of $\% \dot{V}O_{2max}$, and converted to $\dot{V}O_{2max}$. Thus, the reference interval of $\dot{V}O_{2max}$ for healthy Japanese was determined with regard to age, gender, and different methods of exercise.

2. Cutoff value of $\dot{V}O_{2max}$ for determining metabolic syndrome (MS)

Using the $\dot{V}O_{2max}$ data of subjects with body mass index (BMI) of ≥ 25 and with ≥ 2 MS risk factors and that of subjects with normal BMI and no risk factors, we calculated the sensitivity and specificity. The cutoff value was determined using the receiver operating characteristic curve (ROC). This cutoff value was defined as the critical value of $\dot{V}O_{2max}$ for avoiding MS and maintaining healthy conditions.

要 旨

最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) は健康に関連する体力要素の1つとして重視されている。平成18年、

厚労省から $\dot{V}O_{2max}$ の基準値および範囲が提示された。しかし、それは外国論文を系統的に検索して設定された値であり、日本人の値による基準値ではない。そこで、我々は平成16~18年度に日本

体力医学会プロジェクト研究“日本人のための健康関連体力指標 $\dot{V}O_{2max}$ の標準化およびMinimum zone設定に関する研究”を行った。さらに、体力医学会ホームページ等を介して、既に公表された日本人の $\dot{V}O_{2max}$ 値を公募し、その基準域およびメタボリックシンドローム (MS) 判別のための $\dot{V}O_{2max}$ のカットオフ値を設定した。

1. $\dot{V}O_{2max}$ の基準域

トレッドミルによる $\dot{V}O_{2max}$ データ数は男性325例、女性364例、自転車エルゴメータによるデータ数は男性1,175例、女性2,178例であった。提供データに施設間の偏りが無いことを確認した。次いで、 $\dot{V}O_{2max}$ 採用基準を満たしているデータを男女別に年齢回帰させ、 $\% \dot{V}O_{2max}$ (=実測 $\dot{V}O_{2max}$ × 100/年齢予測 $\dot{V}O_{2max}$) を算出し度数分布図を描いた。これに反復切断法を適用し、 $\% \dot{V}O_{2max}$ 値の基準域 ($\bar{X} - 1.96SD \sim \bar{X} + 1.96SD$) 算出後、実測 $\dot{V}O_{2max}$ 値に変換し、健康日本人の性別・年齢および自転車・トレッドミル別 $\dot{V}O_{2max}$ 基準域を算出した。

2. MS判別のための $\dot{V}O_{2max}$ のカットオフ値

BMI25以上でMS危険因子2個以上保持している者の $\dot{V}O_{2max}$ 値と非保持者の値を用いて感度、特異度を求め、ROC曲線 (receiver operating characteristic curve) を描き、カットオフ値を求め、それを健康のために維持すべき $\dot{V}O_{2max}$ 値とした。

緒言

最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) は最も重要な健康体力指標とされている。平成元年、厚生省“健康づくりのための運動所要量策定委員会”はアクティブ80ヘルスプラン事業の一環として、“健康のために維持すべき年代別 $\dot{V}O_{2max}$ 目標値”を提示した。さらに、平成18年度には厚労省“運動所要量・運動指針の策定委員会”は $\dot{V}O_{2max}$ 基準値およびその分布範囲¹⁾を公表した。しかし、我々が行った平成16～18年度日本体力医学会プロジェクト

研究“健康関連体力指標 $\dot{V}O_{2max}$ のMinimum zone設定に関する研究”結果とは乖離していた。当該策定検討会によって設定された $\dot{V}O_{2max}$ 基準値やその範囲は、肥満の判定基準などが異なる (BMI > 30) 欧米諸国の人々を対象とした論文をレビューした結果に基づいたものである。一方、当プロジェクト研究班による成果はすべて日本人を対象に測定された $\dot{V}O_{2max}$ 値であり、当該策定検討会が提示した数値をそのまま日本人に適用し得るか否かが懸念される。

そこで、平成16～18年度日本体力医学会プロジェクト研究成果を基盤とし、さらに日本人を対象に実測され、しかも既に論文や学会等で公表された最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) 測定値を体力医学会機関誌“体力科学”や体力医学会ホームページ (HP) を介して公募し、性別・年齢別 $\dot{V}O_{2max}$ の基準域 (reference interval) の設定を試みた。また、メタボリックシンドローム (MS) 判定基準に基づいて、MS罹患・非罹患を判別し、ROC曲線を用いて $\dot{V}O_{2max}$ のカットオフ (cutoff value) を算出し、健康のために維持すべき $\dot{V}O_{2max}$ 値 (臨界値) を求めた。

1. 研究方法

本研究は、平成16～18年度に行われた日本体力医学会プロジェクト研究成果²⁻⁸⁾を基盤としており、“体力科学”や体力医学会HPを介して $\dot{V}O_{2max}$ データを公募し、それに加えた。さらに、新たに健康男女を対象にトレッドミルと自転車エルゴメータを用いて $\dot{V}O_{2max}$ および換気性作業閾値 (VT) を測定し、それらの測定値間の互換性を調べた。

1. 1 最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) データ公募方法

- 1) 公募期間:平成19年11月1日～20年7月31日
- 2) 公募条件:①明らかな病気に罹患していな

い、健康人から得られたデータを対象とする、②被検者を匿名化し個人を特定できないようにする、③運動負荷装置（自転車エルゴメータ、トレッドミル）、④運動負荷方法（漸増負荷、固定負荷、ramp負荷、その他）、⑤呼気ガス分析方法（ダグラスバック法、全自動ガス分析装置（ミキシングチャンバー方式、breath-by-breath方式））の申告を条件とした。

3) $\dot{V}O_{2max}$ の採用基準：①呼吸交換比（RR）1.10～、②年齢予測最高心拍数（220-年齢）の95%～、③ $\dot{V}O_2$ の leveling off、④血中乳酸濃度7mM～、⑤その他、のうち2つ以上満たした場合に $\dot{V}O_{2max}$ として採用した。

1. 2 最大酸素摂取量（ $\dot{V}O_{2max}$ ）の基準値設定法

提供データおよび当教室で実測した $\dot{V}O_{2max}$ データについて、 $\dot{V}O_{2max}$ 採用基準を適用し、採択されたデータを男女別、トレッドミルおよび自転車エルゴメータ別に年齢回帰させ、その回帰式から年齢予測 $\dot{V}O_{2max}$ 値を求めた。年齢の影響を除くため、次式より% $\dot{V}O_{2max}$ 値を算出し、% $\dot{V}O_{2max}$ 値の度数分布図を描いた。度数分布図において、 $\pm 2.6SD$

$$\begin{aligned} \% \dot{V}O_{2max} \text{ 算出式} &: \% \dot{V}O_{2max} (\%) \\ &= (\text{実測} \dot{V}O_{2max} \times 100 / \text{予測} \dot{V}O_{2max}) \end{aligned}$$

から外れる値を除去し、はずれ値が無くなるまでこの操作を繰り返す（2～6回）反復切断法⁹⁾を適用し、% $\dot{V}O_{2max}$ の基準域（ $\bar{X} - 1.96SD \sim \bar{X} + 1.96SD$ ）を設定した。基準域内の% $\dot{V}O_{2max}$ 値を回帰式に代入し再び各被検者の実測 $\dot{V}O_{2max}$ 値に変換し、性別、年齢別、運動負荷様式別 $\dot{V}O_{2max}$ の基準値（reference value）および基準域（reference interval）を算出した。

1. 3 最高心拍数（ HR_{max} ）の年齢予測式算出法

年齢予測最高心拍数（220-年齢）¹⁰⁾ の95%

～を満たすことを $\dot{V}O_{2max}$ 採用基準の1つとして $\dot{V}O_{2max}$ データを採択し、その基準値や基準域を設定した。ここで採択された $\dot{V}O_{2max}$ 値に付随した最高心拍数（ HR_{max} ）を性別、運動負荷様式別に年齢回帰させ、 $\bar{X} - 2.6SD$ 以下のデータを除去し再び回帰分析し、年齢予測 HR_{max} の1次回帰式および基準域（ $\bar{X} - 1.96SD \sim \bar{X} + 1.96SD$ ）を設定した。

1. 4 メタボリックシンドローム（MS）判別のための $\dot{V}O_{2max}$ のカットオフ値の設定

MS診断基準として、BMI ≥ 25 であることを前提に、①収縮期血圧 ≥ 130 mmHg and/or 拡張期血圧 ≥ 85 mmHg、②血清TG ≥ 150 mg/dl and/or HDL-コレステロール < 40 mg/dl、③空腹時血糖値 ≥ 110 mg/dlを用い、このうち2つ以上を満たした者をMS罹患患者、MS危険因子を保持しないものを正常者とした。MS罹患患者および正常者の自転車エルゴメータによって得られた $\dot{V}O_{2max}$ 値を用いて感度、特異度を求め、ROC曲線を描き、カットオフ値（cutoff value）を算出¹¹⁾し、それを健康のために維持すべき $\dot{V}O_{2max}$ 値（臨界値）とした。

1. 5 トレッドミルと自転車エルゴメータによる $\dot{V}O_{2max}$ の互換性および $\dot{V}O_{2max}$ と換気性作業閾値（VT）との関連

運動負荷装置の違いによる $\dot{V}O_{2max}$ の互換性、や病態を有する者および高齢者、虚弱者の有酸素性作業能指標として汎用されている換気性作業閾値（VT）との関連が不明瞭である。そこで、健康男性39名（21～59歳）、女性40名（20～52歳）を対象にして、トレッドミル（Aeromill STM-1500、日本光電）および自転車エルゴメータ（Aerobic Exercise Ergometer、日本光電）を用いて負荷漸増法およびramp負荷法により最大運動を負荷し、同一被検者の $\dot{V}O_{2max}$ およびVTを測定した。呼気

ガス分析にはbreath-by-breath方式 (AE 300S, ミナト医科学) を用い, 運動負荷中連続測定した。また, 安静時・運動時および回復期に心電図双極誘導法 (Life Scope B, 日本光電) により心電図を連続モニターし, 最高心拍数 (HR_{max}) を記録した。さらに, 運動負荷前後に指尖採血し, 乳酸濃度 (Lactate Pro, アークレイ) を測定した。尚, 本研究は東京慈恵会医科大学倫理委員会の審査 (17-031 4451) を経て行われた。

1. 6 統計処理

性別・年齢別・運動負荷様式別 $\dot{V}O_{2max}$ の基準域の設定には反復切断法⁹⁾ を適用した。同一被検者による自転車エルゴメータとトレッドミルによる $\dot{V}O_{2max}$ 値の互換性およびVT値との関連解析には1次回帰式を適用し, Pearsonの相関係数検定法を用いた。また, MS判別のための $\dot{V}O_{2max}$ のカットオフ値の設定に際し, $\dot{V}O_{2max}$ の感度, 特異度およびROC曲線の作成には帝京大学エビデンス医療センターで開発された“EBMのための統計解析パッケージ「SPBS」¹¹⁾ を用いた。

2. 研究結果

2. 1 最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) の基準値 (reference value) および基準域 (reference interval)

平成16~18年度日本体力医学会プロジェクト研究成果^{2~8)} および新たに提供された実測 $\dot{V}O_{2max}$ データ^{12~26)} 数は, トレッドミルデータ男女合計689例, 自転車エルゴメータデータ4212例であり, 総合計数は4901例であった。病気治療中の者や $\dot{V}O_{2max}$ 採用基準を満たさない者のデータは除去したが, BMI ≥ 25 で, MS危険因子保持者でも $\dot{V}O_{2max}$ 採用基準を満たしている場合には採択した。これらのデータを用いて, 性別, 年齢別, 運動負荷様式別 $\dot{V}O_{2max}$ 基準値および基準域を設定した。

基準域設定対象として採択された $\dot{V}O_{2max}$ データを運動負荷様式別, 男女別に年齢回帰させ, % $\dot{V}O_{2max}$ 値に変換し度数分布図を描いた。図1は自転車エルゴメータによる % $\dot{V}O_{2max}$ の分布図である。反復切断を5~6回行い, すべてのデータが $\bar{X} \pm 2.6SD$ の範囲に収まった後に改めて平均値

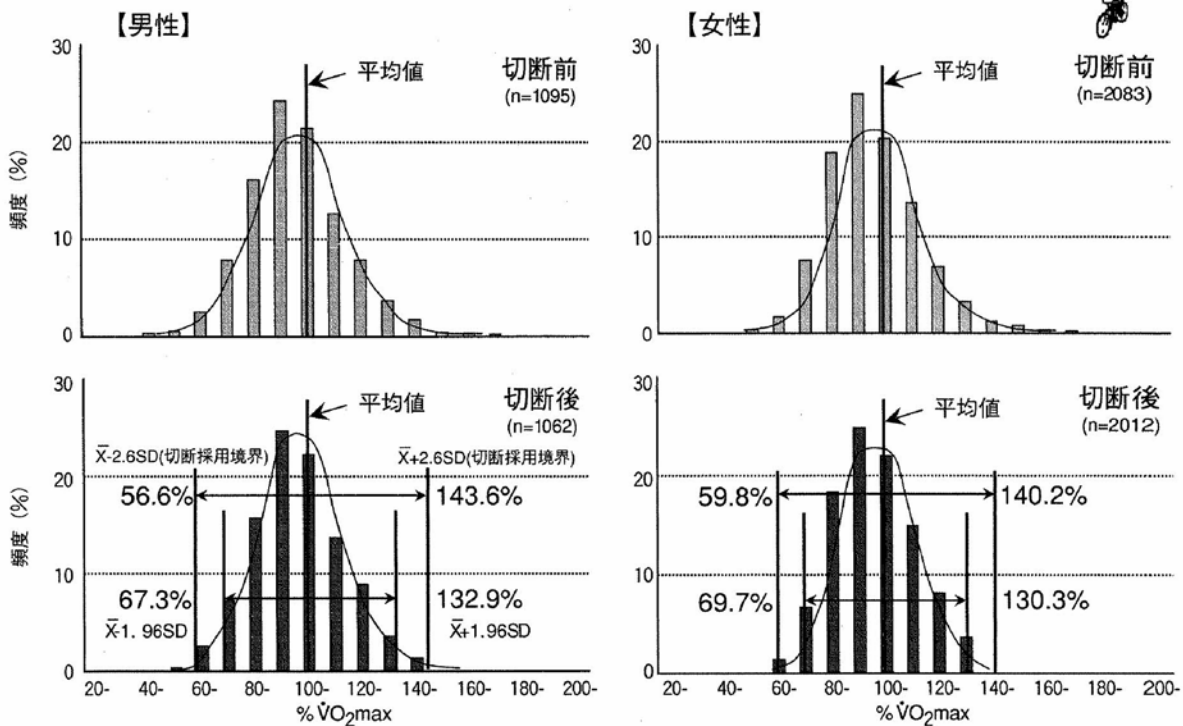


図1 反復切断前後の% $\dot{V}O_{2max}$ 度数分布 (自転車エルゴメータ)

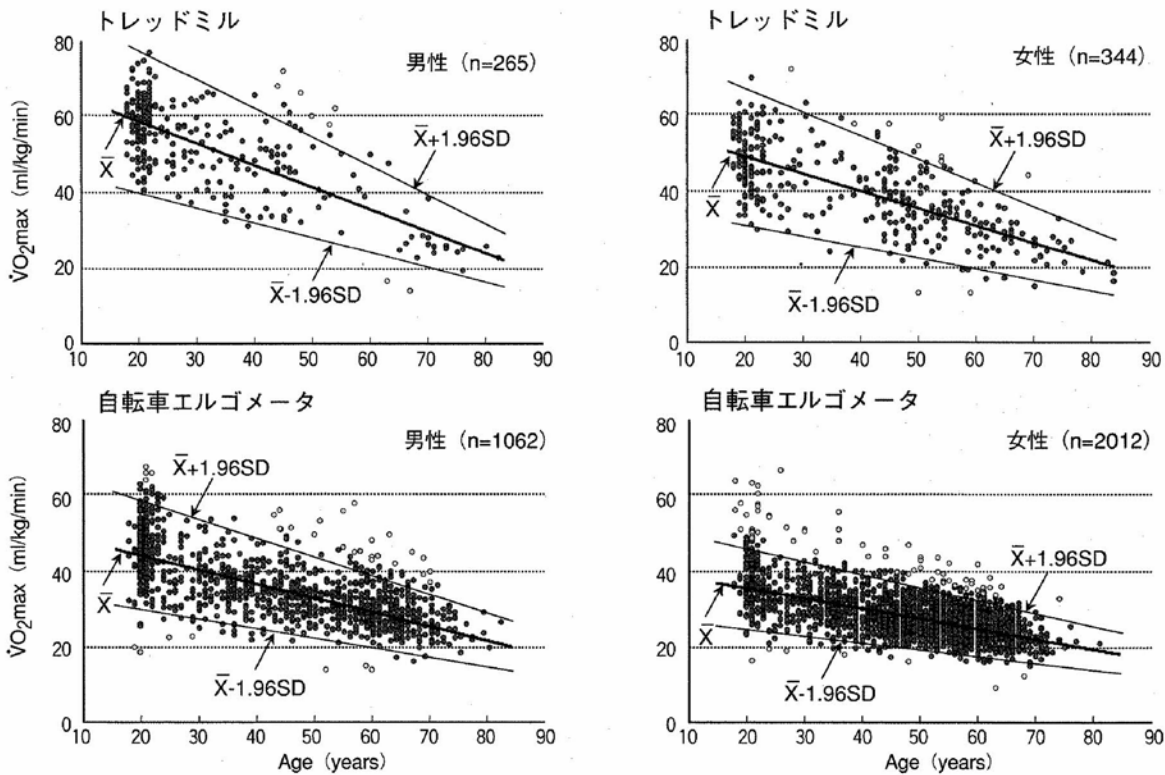


図2 最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) の加齢変化

(\bar{X}), 標準偏差 (SD) を計算し, 基準値 (\bar{X}) および基準域 ($\bar{X} - 1.96SD$ (下限値) $\sim \bar{X} + 1.96SD$ (上限値)) を決めた. 反復切断後の $\dot{V}O_{2max}$ データ (図1の下段の分布図) を元の $\dot{V}O_{2max}$ 値に戻し, 男女別に年齢回帰させたものが図2である. 図2の回帰線上の値 (\bar{X}) が年齢予測 $\dot{V}O_{2max}$ 値 (基準値) であり, $\bar{X} - 1.96SD$, $\bar{X} + 1.96SD$ がそれぞれ基準域上限, 下限値に相当する. $\dot{V}O_{2max}$ 値の基準値, 基準域を5歳刻みで, 男女別, 運動負荷様式別に表1, 表2に示した. 自転車エルゴメータによる $\dot{V}O_{2max}$ の加齢減少は, 男性の場合 $3.7ml/10$ 年, 女性では $2.5ml/10$ 年であった. 一方, トレッドミルによる $\dot{V}O_{2max}$ の加齢減少

は著しく, 男性の場合 $5.8ml/10$ 年, 女性では $4.6ml/10$ 年であった. 自転車エルゴメータとトレッドミルの $\dot{V}O_{2max}$ データの提供施設も被検者も異なるが, 敢えて比較した結果, 男性の場合トレッドミル値が $15 \sim 24\%$ 高く, 女性では $11 \sim 26\%$ 高値であった. トレッドミルによる $\dot{V}O_{2max}$ の加齢減少が顕著なため高齢になる程自転車エルゴメータによる値との差は僅少化し, $65 \sim 70$ 歳代では男女それぞれ $15, 11\%$ の差であった.

2. 2 最高心拍数 (HR_{max}) 予測式

最大酸素摂取量の採用基準を満たした値に付随している心拍数を最高心拍数 (HR_{max}) として,

表1 最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) の基準域

【男性】 (ml/kg/min)	トレッドミル (n = 265)										
	年齢 (歳: 以上-未満)	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70
基準域上限値 $\bar{X} + 1.96SD$	76.3	72.4	68.6	64.8	61.0	57.2	53.3	49.5	45.7	41.9	38.0
基準値	57.9	55.0	52.1	49.2	46.3	43.4	40.5	37.6	34.7	31.8	28.9
基準域下限値 $\bar{X} - 1.96SD$	39.4	37.4	35.4	33.5	31.5	29.5	27.5	25.6	23.6	21.6	19.6

【女性】 (ml/kg/min)	(n = 344)										
	年齢 (歳: 以上-未満)	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70
基準域上限値 $\bar{X} + 1.96SD$	63.2	60.1	57.0	53.8	50.7	47.6	44.5	41.3	38.2	35.1	32.0
基準値	46.3	44.0	41.7	39.4	37.1	34.9	32.6	30.3	28.0	25.7	23.4
基準域下限値 $\bar{X} - 1.96SD$	29.4	28.0	26.5	25.1	23.6	22.2	20.7	19.3	17.8	16.3	15.0

表2 最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) の基準域



【男性】 (ml/kg/min)		自転車エルゴメータ (n = 1062)										
年齢 (歳: 以上-未満)		20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-
基準域上限値 $\bar{X}+1.96SD$		58.5	56.0	53.5	51.0	48.5	46.1	43.6	41.1	38.6	36.1	33.6
基準値		43.8	42.0	40.1	38.2	36.4	34.5	32.6	30.8	28.9	27.1	25.2
基準域下限値 $\bar{X}-1.96SD$		29.8	28.5	27.3	26.0	24.7	23.5	22.2	20.9	19.7	18.4	17.1

【女性】 (ml/kg/min)		自転車エルゴメータ (n = 2012)										
年齢 (歳: 以上-未満)		20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-
基準域上限値 $\bar{X}+1.96SD$		44.8	43.2	41.5	39.8	38.2	36.5	34.8	33.2	31.5	29.8	28.2
基準値		34.3	33.0	31.8	30.5	29.2	27.9	26.6	25.4	24.1	22.8	21.5
基準域下限値 $\bar{X}-1.96SD$		24.1	23.2	22.3	21.4	20.5	19.6	18.7	17.8	16.9	16.0	15.0

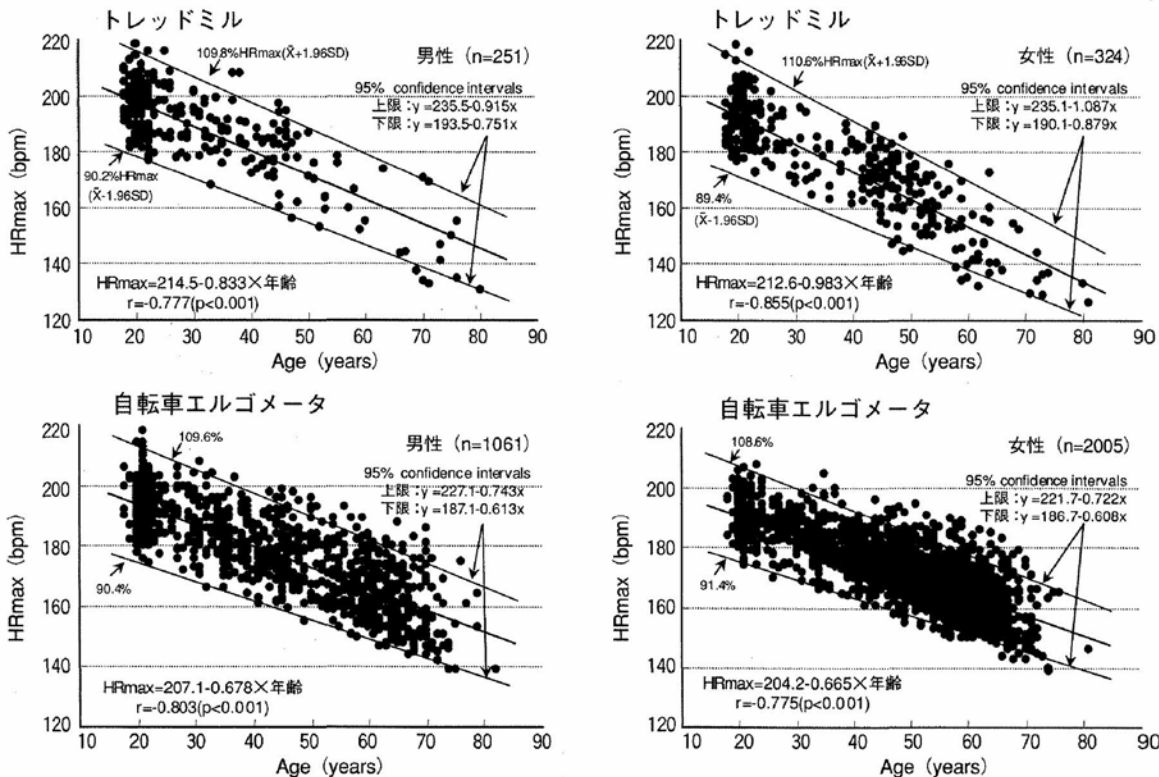


図3 最高心拍数の加齢変化

性別、運動負荷様式別に年齢回帰させ、図3に示した。 $\bar{X} - 2.6 SD$ 以下のデータを除去し再び回帰分析し、年齢予測 HR_{max} の1次回帰式および基準域 ($\bar{X} - 1.96SD \sim \bar{X} + 1.96SD$) を設定した。わが国においては、年齢予測最高心拍数 (HR_{max}) の算出には“ $220 - \text{年齢}$ ”の式¹⁰⁾ が長く使われてきたが、日本人を対象とした本研究結果とは明らかに異なった。さらに、運動負荷様式によっても異なった。20～60歳の年齢範囲において、従来式¹⁰⁾ を用いた場合と本研究結果との差異は男性トレッドミルでは1.5～3.4拍/分、自転車エルゴメータでは5.4～6.9拍/分の差があった。一方、

女性トレッドミルでは6.2～6.7拍/分、自転車エルゴメータでは3.8～9.4拍/分の差が認められた。

2.3 メタボリックシンドローム (MS) 判別のための $\dot{V}O_{2max}$ のカットオフ値

自転車エルゴメータによる $\dot{V}O_{2max}$ 値を有する者にMS診断基準を適用した結果、MS罹患者は男性75例、女性84例が該当し、MS危険因子非保持者は男性136例、女性608例であった。これらの者の $\dot{V}O_{2max}$ 値を% $\dot{V}O_{2max}$ 値に変換し、感度、特異度算出後、ROC曲線を描き、図4に示した。男性の% $\dot{V}O_{2max}$ カットオフ値 (cutoff value)¹¹⁾

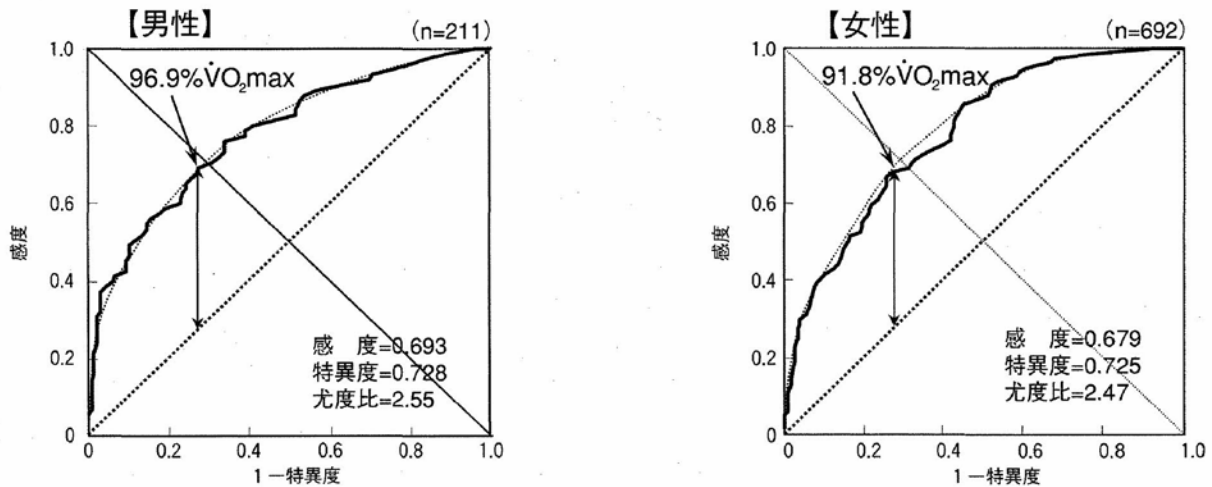


図4 メタボリック症候群判別のための $\dot{V}O_{2max}$ カットオフ値の設定

* % $\dot{V}O_{2max}$ は、実測 $\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min) を年齢で1次回帰し、その回帰式から年齢推定値に対する%値とした
 * メタボリック症候群罹患患者 (BMI \geq 25 + 危険因子2個以上保持; 男性75名, 女性84名)
 * 危険因子非保持者 (男性136名, 女性608名)

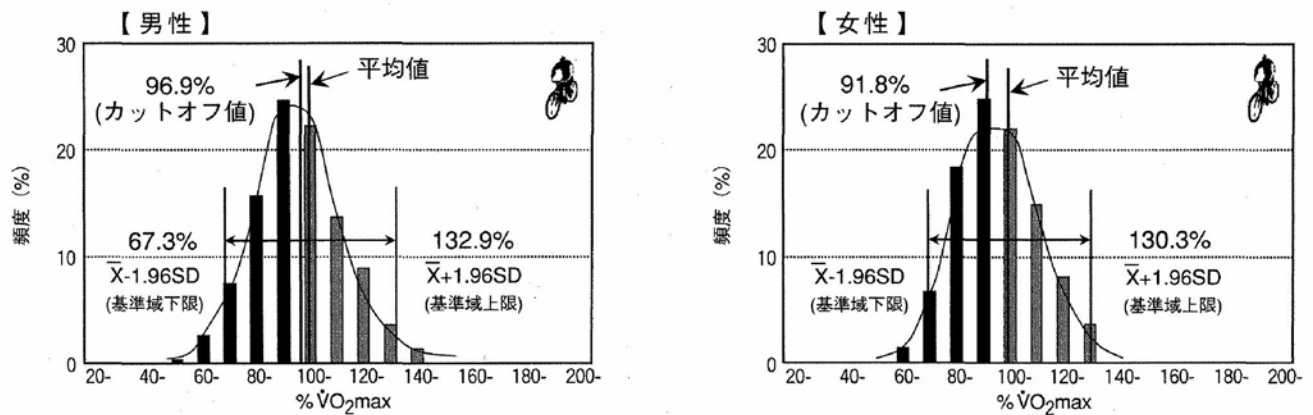


図5 メタボリック症候群判別のためのカットオフ値 (% $\dot{V}O_{2max}$, 自転車エルゴメータ)

は96.9%, 女性の値は91.8%であった. 図5には、男女別に% $\dot{V}O_{2max}$ の度数分布図を描き、それぞれのカットオフ値を図示した. さらに、% $\dot{V}O_{2max}$ を元の $\dot{V}O_{2max}$ 値に変換後年齢回帰させ、5歳刻みで基準値、基準域下限値、カットオフ値を男女別に表3に示した.

2.4 トレッドミルと自転車エルゴメータによる $\dot{V}O_{2max}$ の互換性および $\dot{V}O_{2max}$ と換気性作業閾値 (VT) との関連

1) 測定施設、被検者および例数が異なる場合の $\dot{V}O_{2max}$ 値の比較

表1, 表2に示されたトレッドミルおよび自転車エルゴメータで測定された $\dot{V}O_{2max}$ 値を20-25~

表3 メタボリック症候群判別のための最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) のカットオフ値 (自転車エルゴメータ)

【男性】												(ml/kg/min)
年齢 (歳: 以上-未満)	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-	
基準値	43.8	42.0	40.1	38.2	36.4	34.5	32.6	30.8	28.9	27.1	25.2	
基準域下限値	29.8	28.5	27.3	26.0	24.7	23.5	22.2	20.9	19.7	18.4	17.1	
カットオフ値	39.2	37.9	36.6	35.2	33.9	32.6	31.2	29.9	28.6	27.2	25.9	

【女性】												(ml/kg/min)
年齢 (歳: 以上-未満)	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-	
基準値	34.3	33.0	31.8	30.5	29.2	27.9	26.6	25.4	24.1	22.8	21.5	
基準域下限値	24.1	23.2	22.3	21.4	20.5	19.6	18.7	17.8	16.9	16.0	15.0	
カットオフ値	31.6	30.5	29.3	28.2	27.1	25.9	24.8	23.7	22.5	21.4	20.3	

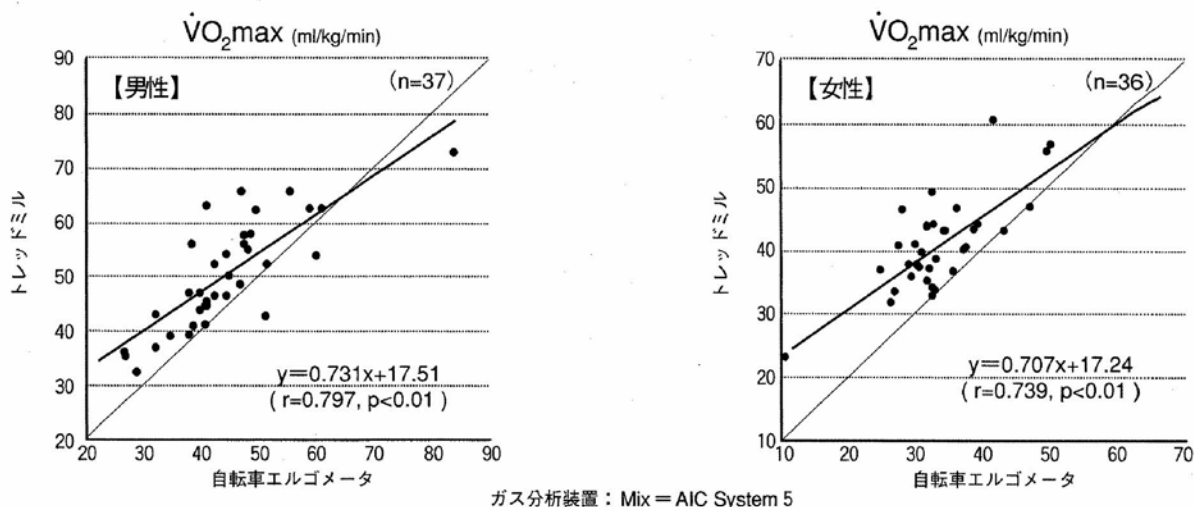


図6 同一施設による同一被験者，同一ガス分析装置（ミキシングチャンバー方式）によるトレッドミルと自転車エルゴメータによる最大酸素摂取量の比較

70- の範囲で男女別に比較すると，男性の場合 1.32～1.15，女性の場合 1.35～1.09倍トレッドミルによる値が高値であった。

2) 同一施設，同一被検者，同例数による場合の $\dot{V}O_{2max}$ 値の比較

図6に示したように，男女共トレッドミルによる $\dot{V}O_{2max}$ 値が高く，男性では 14.6%，女性では 21.6%の高値であった。施設，被検者等が異なった1) の場合の全被検者間（20-25～70-）の平均値の比較では男女共 24%の高値であったが，それよりも僅少化した。

3) 最大酸素摂取量（ $\dot{V}O_{2max}$ ）と換気性作業閾値（VT）との関連

①男女共同一被検者によるミキシングチャンバー方式ガス分析装置を用いたトレッドミルおよび自転車エルゴメータによる $\dot{V}O_{2max}$ 値と，breath-by-breath方式（ramp 負荷法）による VT 値との関連を調べた結果，トレッドミルにおける男女其々の相関係数は $r=0.641, 0.716$ ($p<0.01$)，自転車エルゴメータの場合は $r=0.639, 0.533$ ($p<0.01$) であった。

②男女共同一被検者による breath-by-breath 方式ガス分析装置を用いた自転車エルゴメータによる $\dot{V}O_{2max}$ 値と VT 値との関連を調べた結果，男

女其々の相関係数は $r=0.738, 0.801$ ($p<0.01$) でやや高かった。

3. 考 察

蒐集されたトレッドミルおよび自転車エルゴメータによる実測最大酸素摂取量（ $\dot{V}O_{2max}$ ）データ数は男女合計 4901 例であった。これらのデータの付帯測定項目（ HR_{max} ，呼吸交換比，他）に $\dot{V}O_{2max}$ 採用基準を適用し，採択された $\dot{V}O_{2max}$ 値を男女別，運動負荷装置別に年齢回帰させた結果，データ提供施設間の偏りが殆どなかった。其々の施設で用いた呼気ガス分析装置の精度・正確度が高かったことや $\dot{V}O_{2max}$ 採用基準を満たしたデータのみを解析対象にしたことが大きな要因と思われる。

図2，表1，表2に男女別，運動負荷装置別に $\dot{V}O_{2max}$ の加齢変化および基準値や基準域を示した。トレッドミルに比較し自転車エルゴメータによる $\dot{V}O_{2max}$ の加齢減少はやや緩徐であり，20～80歳の年齢範囲ではトレッドミルによる $\dot{V}O_{2max}$ 値が 10～30% 高値であり，高齢になる程その差は僅少化した。スポーツ選手を対象にした比較⁴⁾ では自転車エルゴメータとトレッドミルによる $\dot{V}O_{2max}$ 間に殆ど差異がない。平素激しい運動をすること

の少ない対象者では高強度運動時心肺機能よりも脚筋機能が運動継続の制限要因になっており、若年者程自転車エルゴメータとトレッドミルによる $\dot{V}O_{2max}$ 値の差が大きいのかも知れない。一方、高齢になる程脚筋力が低下するため自転車、トレッドミルの区別なく高強度運動の遂行が困難になり、両者間の差が僅少化するのかも知れない。その結果、トレッドミルに比較し、自転車エルゴメータによる $\dot{V}O_{2max}$ 値の加齢減少が緩徐になったものと思われる。本研究結果と“運動所要量・運動指針の策定委員会”による結果¹⁾との乖離原因は、日本人を対象とした実測データであるか否かや基準値算出法の相違に帰する。また、同策定委員会の基準値には運動負荷装置の区別は記されていないが、本研究結果と照合すれば自転車エルゴメータによる値にやや近似している。

最高心拍数 (HR_{max}) の予測には Blackburn の式 ($220 - \text{年齢}$)¹⁰⁾ が繁用されているが、本研究によって算出された予測式とは異なっていた。とくに、女性の値の乖離が大きかった。ある種の生理機能の最大値は検出手段を問わず同一であるべきであろう。しかし、ヒト健康指標としての $\dot{V}O_{2max}$ や HR_{max} のような場合には実用性を重視した対応が望ましいと思われる。現在、簡易運動強度指標として“ $220 - \text{年齢}$ ”の式による予測 HR_{max} が自転車エルゴメータ、トレッドミルの区別なく汎用されているが、本研究によって算出された男女別、運動負荷様式別最高心拍数 (HR_{max}) 予測式を用いるのが望ましいと思われる。

最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) は種々の生理機能が相乗的に関与した結果発揮される機能の包括的指標と考えられる。一方、健康状態も多くの要因に影響され、 $\dot{V}O_{2max}$ 値と“健康状態”とは1対1の対応関係にはなく、“健康のために維持すべき $\dot{V}O_{2max}$ の臨界値”設定は論理的に困難と思われる。しかし、敢えて臨床検査領域で汎用されている“カットオフ値”算出法をこれに適用したのは須

藤たち²⁷⁾であった。カットオフ値は病気に罹患しているか否かを判別する判別値¹¹⁾であり、それを本研究に適用した。この場合の $\dot{V}O_{2max}$ カットオフ値は健康であるか否かの境界値であり、健康維持のための臨界値とした。実測 $\dot{V}O_{2max}$ 値を $\% \dot{V}O_{2max}$ に変換し、その感度、特異度を算出し、ROC曲線を描いた結果、カットオフ値が明瞭に示された(図4)。それに基づいて“健康のために維持すべき $\dot{V}O_{2max}$ の臨界値”を算出し、性別、年齢別に表3に示した。本研究で示された $\dot{V}O_{2max}$ のカットオフ値が他の臨床検査値のそれと大きく異なった点は、図5に示したように、平均値よりやや低値ではあるが、概ねその近傍に存在したということである。例えば、空腹時血糖の基準域を60~110mg/dlとした場合、それより多少高値でも異常というわけではなく、126 mg/dl (カットオフ値) 以上になった場合に糖尿病と診断される。つまり、基準域とカットオフ値の間に幅が存在するのが一般的である。しかし、本研究で算出された $\dot{V}O_{2max}$ のカットオフ値は基準域下限値よりも遙かに高値の平均値近傍に位置した。 $\dot{V}O_{2max}$ は多くの生理機能の包括的指標であることは上述したが、個々の生理機能が低下若しくは障害され、異常の顕在化(発病)寸前の機能が集積した状態が“半病人”であり、MS危険因子保持の有無と紙一重に陥っている状態が $\dot{V}O_{2max}$ のカットオフ値レベルと理解される。“MS判別のための $\dot{V}O_{2max}$ のカットオフ値”を“健康のために維持すべき $\dot{V}O_{2max}$ の臨界値”と定義したことを鑑みれば、他の臨床検査のカットオフ値とは異なり、 $\dot{V}O_{2max}$ 平均値近傍に位置したことは強ち考えられないことではない。これらのことを考慮すれば、カットオフ値を $\dot{V}O_{2max}$ の基準域下限値に設定するのが妥当であったかも知れない。

次いで、自転車エルゴメータとトレッドミルによる $\dot{V}O_{2max}$ 値の互換性について調べ、その差は若年者程大きいことが示された。 $\dot{V}O_{2max}$ や HR_{max} 値

の評価に際しては、運動負荷様式別基準値の適用が必要と思われる。また、病態を有する者や高齢者および虚弱者の有酸素性作業能指標として汎用されているVTと $\dot{V}O_{2max}$ との関連性を吟味したが、例数が少なく十分な知見は得られなかった。さらに、糖尿病²⁶⁾や高血圧症など運動療法の適用とされる生活習慣病のVTカットオフ値の算出も求められる。

4. まとめ

健康日本人を対象に実測された最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)および最高心拍数(HR_{max})を用いて、性別、年齢別、運動負荷様式別(トレッドミル、自転車エルゴメータ) $\dot{V}O_{2max}$ および HR_{max} の基準値および基準域を算出した。さらに、メタボリックシンドローム(MS)判定基準を適用し、MS罹患・非罹患を判別するための $\dot{V}O_{2max}$ のカットオフ値を設定し、性別、年齢別“健康のために維持すべき $\dot{V}O_{2max}$ の臨界値”を提示した。

謝辞

本研究の遂行にあたり、研究助成を賜りました財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚くお礼申し上げます。本研究報告書は平成16～18年度日本体力医学会プロジェクト研究成果²⁻⁸⁾を基盤とし、次に挙げる方々から新たに提供された実測最大酸素摂取量データに基づいて作成されました。名前を記して深謝申し上げます。

最大酸素摂取量データ提供者および所属施設(敬称略、右肩数値は既に公表された論文または発表学会名であり、本報告書参考文献番号に一致する。)

1) 田中喜代次(筑波大学大学院人間総合科学研究科)¹²⁻¹⁸⁾、2) 小田切優子(東京医科大学公衆衛生学講座)⁷⁾、3) 田中宏暁(福岡大学スポーツ科学部)¹⁹⁻²¹⁾、4) 西尾信也(パシフィックホスピタル、パシフィックメディカルフィットネスデサントスポーツ科学 Vol. 30

クラブ)²²⁻²⁵⁾、5) 藤沼宏彰(太田西ノ内病院運動指導室)²⁶⁾

最後に、本研究成果報告書作成にあたり、データ整理から図・表作成に到るまでの作業は國學院栃木短期大学石山育朗教授の労に依存する処甚大であった、記して感謝申し上げます。

文献

- 1) 宮地元彦. 生活習慣病予防のための体力. 体力科学, 56 (8), 608-614 (2006)
- 2) 鈴木政登, 石山育朗, 形本静夫, 澤田享, 須藤美智子, 小田切優子, 田中喜代次. 日本人のための健康関連体力指標 $\dot{V}O_{2max}$ の標準化およびMinimum zone (MZ) の設定. 体力科学, 57, 71-73 (2008)
- 3) 石山育朗, 鈴木政登. 異なる測定法による最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)の互換性, 換気性作業閾値(VT)との関連および推定法による $\dot{V}O_{2max}$ 値の信憑性. 体力科学, 57, 74-76 (2008)
- 4) 形本静夫, 志村祥. 自転車エルゴメータ運動およびトレッドミル走行による実測最大酸素摂取量の比較. 体力科学, 57, 77 (2008)
- 5) 澤田 享. 東京ガス・スタディ(コホート研究)からみた最大酸素摂取量のMinimum Zone (MZ). 体力科学, 57, 78 (2008)
- 6) 須藤美智子. 健康関連体力指標 $\dot{V}O_{2max}$ のMinimum zone (MZ) の設定に関する研究. 体力科学, 57, 79 (2008)
- 7) 小田切優子, 大谷由美子, 高宮朋子, 井上茂, 村瀬訓生, 長田卓也, 下光輝一. 地域健康増進施設利用者における最大酸素摂取量とメタボリックシンドロームとの関連からみた最大酸素摂取量Minimum zone (MZ) の検討. 体力科学, 57, 80-81 (2008)
- 8) 田中喜代次, 林容市, 坂井智明, 沼尾成晴, 中田由夫. メタボリックシンドローム予防を目的とした日本人における $\dot{V}O_{2max}$ のMinimum zone (MZ) 設定の試み. 体力科学, 57, 82 (2008)
- 9) 白井敏明. 正常値計算法とその意義. 臨床病理, 30, 1165-1171 (1982)
- 10) Blackburn, HW. Development in exercise electrocardiography. Proc. of the 57th Annual Meeting of the Medical Section of the American Life Convention (1969)
- 11) 村田勝敬, 矢野栄二. VIII. 臨床検査の感度と特異

- 度, Evidence Based Medicineのための医学統計SPBSの活用方法. 南江堂, 東京, 95~101 (2002)
- 12) 片山靖富, 笹井浩行, 沼尾成晴, 新村由恵, 大河原一憲, 中田由夫, 田中喜代次. 運動介入期間中の日常生活における身体活動量の変化が活力年齢および体力年齢に及ぼす影響. 体力科学, 57 (4), 463-474 (2008)
- 13) 笹井浩行, 片山靖富, 沼尾成晴, 中田由夫, 田中喜代次. 中年肥満男性における運動実践が内臓脂肪に及ぼす影響. 食事改善との比較. 体力科学, 57 (1), 89-100 (2008)
- 14) 加藤祐介, 清野諭, 大河原一憲, 沼尾成晴, 新村由恵, 山吹啓介, 田中喜代次. 中高年男性における総合的体力および体力因子とメタボリックシンドロームとの関係. 肥満研究, 13 (3), 283-289 (2007)
- 15) Tanaka K., Okura T., Shigematsu R., Nakata Y., Lee D.J., Wee S.W., Yamabuki K. Target value of intraabdominal fat area for improving coronary heart disease risk factors. *Obesity Research*, 12, 695-703 (2004)
- 16) Tanaka K., Sakai T., Nakamura Y., Umeda N., Lee D.J., Nakata Y., Hayashi Y., Akutsu T., Okura T., Yamabuki K. Health benefits associated with exercise habituation in older Japanese men. *Aging Clinical and Experimental Research*, 16, 53-59 (2004)
- 17) 沼尾成晴, 片山靖富, 林容市, 李東俊, 田中喜代次. 有酸素性運動中の脂質代謝: 内臓脂肪面積の異なる肥満による比較. 肥満研究, 10, 183-189 (2004)
- 18) 沼尾成晴, 田中喜代次, 林容市, 中垣内真樹, 藤村透子, 佐藤進, 出村慎一. 質問紙法で推定した最大酸素摂取量の運動種目の違いによる妥当性の検討: 中高齢者を対象として. 日本生理人類学会誌, 9, 7-14 (2004)
- 19) Y. Nishida, K. Tokuyama, S. Nagasaka, Y. Higaki, Y. Shirai, A. Kiyonaga, M. Shindo, I. Kusaka, T. Nakamura, S. Ishibashi, H. Tanaka. Serial analysis of gene expression in the skeletal muscle of endurance athletes compared to sedentary men. *FASEB J.*, 17, 1812-1819, (2003)
- 20) Y. Nishida, K. Tokuyama, S. Nagasaka, Y. Higaki, Y. Shirai, A. Kiyonaga, M. Shindo, I. Kusaka, T. Nakamura, S. Ishibashi, H. Tanaka. Effect of moderate exercise training on peripheral glucose effectiveness, insulin sensitivity, and endogenous glucose production in healthy humans estimated by a two-compartment-labeled minimal model. *Diabetes*, 53, 315-320 (2004)
- 21) M. Yoshioka, H. Tanaka, N. Shono, M. Shindo, J. St-Amand. Gene expression profile of sprinter's muscle. *Int. J. Sports Med.*, 28, 1-6 (2007)
- 22) 黒田 豊, 西尾進也, 勝村俊仁. 民間病院 (いわゆる医療法42条施設) における生活習慣改善プログラム実施の試み. 体力科学, 54 (6). 695 (2005)
- 23) 黒田 豊. 三浦・横須賀地区における非運動習慣保有者の最大酸素摂取量の検討. 体力科学, 56 (6), 770 (2007)
- 24) 黒田 豊. 非運動習慣保有者の最大酸素摂取量の検討~第2報~第63回日本体力医学会大会予稿集, 115, (2008)
- 25) 西尾進也. 有疾患における最大酸素摂取量. 体育の科学, 58 (8), 560-567 (2008)
- 26) 藤沼宏彰, 山崎敏朗, 清野弘明, 菊池宏明, 阿部隆三. 糖尿病患者の嫌気性作業閾値 (Anaerobic Threshold:AT). 糖尿病, 39 (1), 9-15 (1996)
- 27) 須藤美智子, 三谷陽子, 鈴木政登. 健康関連体力の臨界レベルおよび望ましいレベルー健康診断結果および日常生活に起因した健康阻害要因に基づく設定ー. 体力科学, 48, 265-280 (1999)