

## 健康づくりのための運動基準に則した日常身体活動量評価における歩数の妥当性

熊原 秀晃<sup>1)</sup> Yves Schutz<sup>2)</sup> 吉岡 真由美<sup>3)</sup>  
吉武 裕<sup>4)</sup> 進藤 宗洋<sup>1)</sup> 田中 宏暁<sup>1)</sup>

Validity of the step-count for assessing the quantity of physical activity in the  
Japanese exercise and physical activity reference for health promotion

Hideaki KUMAHARA<sup>1)</sup> Yves SCHUTZ<sup>2)</sup> Mayumi YOSHIOKA<sup>3)</sup>  
Yutaka YOSHITAKE<sup>4)</sup> Munehiro SHINDO<sup>1)</sup> Hiroaki TANAKA<sup>1)</sup>

### Abstract

**OBJECTIVE** : Recently, a new reference value for the quantity of physical activity (PA) has been set in the Japanese Exercise and Physical Activity Reference for Health Promotion (EPAR2006), particularly regarding the prevention of lifestyle-related diseases. This protocol recommends 23 METs·hour per week as the target volume of PA. Assessing step counts has become very popular and it may constitute one simple and practical technique for evaluating PA in large population studies. However, the details concerning its capacity to track the volume of PA in free-living conditions still remain insufficient. Therefore, the purpose of this investigation was 1) to examine the relationship between step counting by a simple mechanical (spring-levered) pedometer vs. accelerometer-determined step-counts measured during concurrent monitoring while mimicking daily living situations; and 2) to identify the number of steps per day that could be used as a proxy for the EPAR2006 for the METs·hour per week.

**METHODS** : Sixty healthy adults participated in study 1; the subjects spent over 24 hours in a large respiratory chamber. Spring-levered pedometers (PED<sub>STEP</sub>) as well as an accelerometer (ACC<sub>STEP</sub>) were rigidly attached on their waist in order to simultaneously determine the total daily step counts. In study 2, free-living measurements over  $10.6 \pm 4.3$  continuous days were performed, while measuring steps·day<sup>-1</sup> as well as METs·hour·week<sup>-1</sup> using a validated accelerometer in 92 Japanese subjects.

**RESULTS** : In study 1, a significant relationship was observed between the PED<sub>STEP</sub> vs. ACC<sub>STEP</sub> ( $r=0.470$ ,  $p<0.001$ ). However, the PED<sub>STEP</sub> was significantly lower than the ACC<sub>STEP</sub> ( $-1888 \pm 2016$  steps·day<sup>-1</sup>,  $p<0.001$ ), thus indicating an important bias at low PA. In a multiple stepwise regression analysis including age, height, body weight, body mass index and % fat, the single parameter of age came out as a significant determinant of this absolute error ( $r^2=0.172$ ,  $p<0.001$ ).

1) 福岡大学スポーツ科学部 運動生理学研究室

Laboratory of Exercise Physiology, Faculty of Sports and Health Science, Fukuoka University

2) Lausanne 大学生物・医学部 生理学研究所

Department of Physiology, Faculty of Biology and Medicine, University of Lausanne, Switzerland

3) Laval 大学病院研究所 腫瘍・分子内分泌学研究部門

Molecular Endocrinology and Oncology Research Center, Laval University Medical Center, Canada

4) 鹿屋体育大学体育学部 スポーツライフスタイル・マネジメント系

Department for Interdisciplinary Studies of Lifelong Sport and Physical Activity, National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

In study 2, a significant relationship was observed between the steps·day<sup>-1</sup> assessed by the accelerometer and the METs·hour·week<sup>-1</sup> ( $r=0.810$ ,  $p<0.001$ ,  $SEE=5.2$  METs·hour·week<sup>-1</sup>). Moreover, a geometric mean regression between both measures revealed that approximately 10,000 steps·day<sup>-1</sup> corresponded with 20.8 METs·hour·week<sup>-1</sup>; however, the range of absolute error from the regression was relatively wide.

**CONCLUSIONS** : These results suggested that the inter-device difference of the step-counts was extended by aging. This might be due to the physical activity patterns and/or gait characteristics of some older subjects (i.e., shuffling), thus indicating that the accelerometer device should be employed to assess the number of steps taken in free-living conditions. Counting the total number of steps per day therefore does not fully provide accurate information on the volume of PA (i.e. METs·hour·week<sup>-1</sup>) but it is only a rough predictor of the general PA in terms of displacement. Further study is thus called to explore whether an independent intervention effect on health consequence exists between the different targets of PA measures.

## 緒 言

メタボリックシンドロームをはじめとした肥満関連疾患の予防や治療において、一定水準の身体活動量の保持は、エネルギー出納バランスの観点からも食事コントロールと並んで積極的に取り組むべき生活習慣の重要課題である。また、身体活動量と心血管疾患や代謝性疾患などの生活習慣病の発症の程度は密接に関連しており、日常生活や職業上の身体活動量が多いことは、疾病発症や死亡を減少させることが1980年代以降に欧米で行われた多くの縦断的疫学調査によって明らかにされてきた<sup>2, 3, 23</sup>。さらに、積極的な身体活動(運動)により高められる有酸素性作業能力が低いことは、冠動脈疾患罹患の独立した危険因子であり、さらには寿命にも関係することが明らかになってきている<sup>2, 3, 25</sup>。このように、生活習慣病対策において身体活動に対する関心が高まる中、我が国でも2006年に「健康づくりのための運動基準」<sup>36</sup>ならびに「健康づくりのための運動指針(エクササイズガイド)」<sup>37</sup>が策定された。これは、1989年に策定された「健康づくりのための運動所要量」以降に蓄積されてきた科学的エビデンスを加味したものであり、予てより重視されているスポーツやトレーニング等の体力を増進させるために目的を持って行う計画的かつ継続性のある身体動作である「運動」に、オフィスワークや家事、通勤など

の「生活活動」に関連した身体動作を加えた総量、つまり「身体活動」水準を向上させることを推奨している特徴がある。具体的には、身体活動の目標値として、年齢や性別に関係なく「中強度以上(3 METs以上)の身体活動を一週間あたり23 METs・時を目標に実施し、そのうち4 METs・時/週の運動量を確保すること」を推奨している。MET (metabolic equivalent) 値は、身体運動の強度を相対的に比較できる国際的な指標である。これに時間の要素を加味した「METs・時」は、活動の量であり、エネルギー消費量も反映する。このMETs・時は、「エクササイズ (Ex)」として本邦オリジナルの表記がされている。

ところで、身体活動を評価するポピュラーな指標の一つは、歩数である。歩数計は、操作・装着の簡便さ、比較的安価であること、通常身体活動そのものを拘束しない非侵襲的かつ客観的な簡便法としてその利用価値が期待されている<sup>16, 31</sup>。Tudor-Lockら<sup>33</sup>は、歩数が歩行の量を反映するとし、歩数を基に日常の身体活動水準を以下のようにランク分けしている：A)5000歩/日未満は“Sedentary lifestyle”の指標となる、B)5000~7499歩/日は“低レベルに相当する特別な運動やスポーツを実施しない典型的な活動量”、C)7500~9999歩/日は“中程度の活動レベル(やや活動的である)に相当し、なんらかの意図的な身体活動を有する”、D)10000歩/日以上は

“高レベル (十分に活動的である) に相当する”。先行研究で肥満度と一日の歩数の間に負の相関関係があり<sup>4)</sup>, さらに歩数の増加は体重や血圧, インスリン感受性や抵抗性を改善することが報告されている<sup>10, 29, 32)</sup>。しかし, 歩数のカウントのみで正確に一日の活動量 (エネルギー消費量) を反映できるかどうかは議論が続いている<sup>7, 8, 17)</sup>。2つの先行研究<sup>7, 17)</sup> で, 歩数は, 身体活動エネルギー消費量との間に関連性がないことが報告されている。一方, 他の研究では歩数がエネルギー消費量の有意な説明変数となることが示唆されており<sup>9)</sup>, 一定の見解は未だ存在しない。健康づくりのための運動基準・指針において, 23Ex/週に相当する簡易指標として, 歩数で8000~10000歩/日が示されている<sup>36, 37)</sup> が, 確固たるエビデンスはない。しかし, 歩数が Ex の代替指標となり得るのであれば, 運動基準の一般化や実際の指導現場での応用に有用となろう。

ところで, 日常生活下で代表的な身体動作である歩行の量を歩数として評価する上で, 計測の正確度は高い方が望ましいが, 技術的側面から, 近年, 加速度計を応用した歩数計が注目されている。これは, 加速度信号を基に正確に歩数を判定できることが期待されている。従来の歩数計の機械的な歩数計測原理は, 一定レベル以上の振動が加わることによってバネが伸縮し, それに伴ってバネに連結した振り子 (spring-lever) が上下に動き, 歩数をカウントするメカニズムである<sup>16, 31)</sup>。一方で, 加速度計法では, 連続して重心加速度変化を計測し, 歩数を評価するものである。先行研究において, spring-levered 式歩数計は, 67m/分未満の低速度の歩行中の歩数を過小評価することが報告されている<sup>5, 18)</sup>。一方で, 加速度計法では, 速度変化に関わらず, そのような低い強度の歩行中でも歩数計測の正確性を有することが報告されている<sup>5, 18, 21)</sup>。一般人の日常生活下の一日の身体活動量の多くは, 低強度の活動で構成されているので<sup>20)</sup>, spring-levered 式の歩数計では, 日常生活下の歩数を低く見積もる可能性がある。一方, 加速度計法は, 身体活動パターン (活動強度と継

続時間) を客観的に評価でき, エネルギー消費量の計算も可能であるなどといった, 日常身体活動量の客観的評価法としての有用性が期待されている<sup>16)</sup>。

本研究の目的は, 1) 日常生活下における歩数の計測に関して従来の歩数計 (spring-levered) と加速度計内蔵の歩数計を比較した上で, 2) 「健康づくりのための運動基準2006」における Ex による身体活動量の目標値と簡易指標である歩数の関係について加速度計法を用いて検討した。

## 方 法

### 1. 対象者

研究1の対象者は, 健康な男性32名, 女性28名であった (内訳は, 日本人44名, ヨーロッパ人16名)。本対象者は, エネルギー代謝とその評価法に関する研究プロジェクト<sup>13, 14, 15)</sup> に参加した者を一部含み, 本研究の検討に必要なデータが得られている (下述する2種類の機器を装着した) 者を採用した。被検者の身体的特性は, 次のとおりであった。年齢:  $39.5 \pm 12.5$  歳 (21~64歳), 身長:  $167.2 \pm 9.5$  cm (149.9~193.6cm), 体重:  $63.1 \pm 12.9$  kg (39.9~95.8kg), body mass index:  $22.4 \pm 3.2$  kg/m<sup>2</sup> (17.0~29.0kg/m<sup>2</sup>), 体脂肪率:  $20.8 \pm 6.6$  % (9.3~37.8%)。体脂肪率は, 皮下脂肪厚法とインピーダンス法 (Model-HBF-302, オムロン社製, 東京) および空気置換法を用いて測定され, 全ての測定値の平均値を採用した。測定は, 先行研究<sup>13)</sup> の手順と同様に実施した。空気置換法は, BODPOD (Life Measurement, Inc, Concord, Canada) を用い, Brozek の式により体脂肪率が求められた。

研究2の対象は, 邦人成人92名 (男性36名, 女性56名) であった。対象者の年齢, 身長, 体重, body mass index は,  $38.6 \pm 12.1$  歳 (18~66歳),  $163.6 \pm 8.5$  cm (149.5~189.7cm),  $59.7 \pm 12.7$  kg (39.9~95.8kg),  $22.1 \pm 3.3$  kg/m<sup>2</sup> (17.0~32.5 kg/m<sup>2</sup>) であった。なお, この内80名は, 6ヶ月以上スイス連邦に在住している者であった。

被検者にはあらかじめ、実験の目的と内容についての詳細な説明を実施し、同意書に署名を得た上で測定を開始した。本研究は、スイス連邦ローザンヌ大学の倫理委員会の承認を受け実施した。

## 2. 測定項目および方法

研究1において、被検者は、24時間レスピラトリーチャンバー内（面積：13m<sup>2</sup>，体積：31m<sup>3</sup>）<sup>11</sup>に滞在し、その間の身体活動は制限することなく、自発的なものとした。本法は、一日のエネルギー消費量測定法ゴールドスタンダードの一つであり、日常生活下の身体活動もトレッドミルウォーキング等の付加的な運動により模倣でき、先行研究<sup>30</sup>でチャンバー内の身体活動レベルは、日常生活でのそれをよく反映することが示唆されている。実験手順は、先行研究<sup>13, 14</sup>と同様の標準的なプロトコルであり、2種の速度によるトレッドミル歩行（傾斜0%で、それぞれ3.9km/h, 5.1km/hの速度で30分間ずつ）のみを義務づけた。チャンバー内での主な身体活動は、テレビ鑑賞、読書、デスクワーク、洗面（トイレ含）、趣味の活動、部屋を歩き回る等の通常の日常生活に含まれているものであった。なお、義務とされた歩行運動以外でトレッドミルを使用することは禁じた。総エネルギー消費量および睡眠時代謝量は測定し、身体活動によるエネルギー消費量は、先行研究<sup>13, 14</sup>と同様の方法を用いて算出した。被検者は、日中（16時間）2種類の機器を腰部にベルトを用い固定し一日の歩数を計測された。一つは、多メモリー加速度計（piezoelectric）内蔵歩数計（Lifecorder, スズケン社製, 名古屋：6.2×4.6×2.6cm, 40g）（ACC<sub>STEP</sub>）であり、身体動作による0.06から1.94 Gの範囲の鉛直方向の加速度を32Hzで検知し、歩数を計測する。なお、本機の歩行中の歩数計測の精度は先行研究において確認されている<sup>6, 27</sup>。もう一方は、spring-levered 式の歩数計（Model JM-280, 山佐時計計器社（Yamax 社）製, 東京：4.0×3.7×1.0cm, 14g）（PED<sub>STEP</sub>）を用いた。当製造社の歩数計は、0.35G以上の重心加速度を検知し<sup>31</sup>、本研究で用いたモデルと同様の機器の歩行中の歩数計測の妥当性が検討されてい

る<sup>5, 26, 27</sup>。なお、上記2つの機器の歩数計測の機械的な精度は、日本工業規格（JIS）に認定されている。JIS 規程では、振動試験装置により2.4 m/s<sup>2</sup>（0.24G）もしくは4.9m/s<sup>2</sup>（0.5G）の加速度で1000回動作させ、その時の歩数計の歩数表示が±3%以内であるとされている<sup>39</sup>。上記2つの機器で測定された歩数（ACC<sub>STEP</sub> および PED<sub>STEP</sub>）は、測定終了直後にディスプレイ上で確認し、記録した。

研究2において、日常生活下の歩数と Ex の評価は、研究1で用いた多メモリー加速度計内蔵歩数計（Lifecorder）を用いた。全対象者は、歩数計を7日間以上（10.6±4.3日（7～32日））、入浴と睡眠時を除き終日腰部に装着した。日常身体活動状況を評価する際に、十分な正確性と信頼性を保つためには、歩数計を用いた場合、最低7日間のデータが必要とされている<sup>10</sup>。本機は、身体動作による加速度信号の大きさに応じて、4秒毎に歩数ならびにエネルギー消費量を評価すると同時に、独自のアルゴリズムにて活動強度を0～9の10段階の加速度指示強度に分類する。先行研究<sup>13, 14, 24, 40</sup>において、加速度指示強度は、レスピラトリーチャンバー法や二重標識水法で測定されたエネルギー消費量や呼気ガス分析により測定された歩行中の METs 値をよく反映することが報告されている。本研究では、先行研究<sup>13</sup>の結果に基づき、10段階の加速度指示強度のうち、健康づくりのための運動基準の身体活動量として評価する中強度以上（3 METs 以上）に対応する4～9以上の加速度指示強度をそれぞれ、3.6, 4.3, 5.2, 6.1, 7.1, 8.3 METs として換算した。測定値は、測定期間終了後コンピュータへ転送し、専用の解析ソフトを介して、一日あたりの歩数（歩/日）および加速度指示強度毎の時間を得た。さらに、得られた加速度指示強度毎の時間に対応する METs 定数を乗じて Ex を算出した。これら測定値は、個人毎に測定期間で平均化した。

## 3. 統計処理

2種の歩数計の出力データ（ACC<sub>STEP</sub> および PED<sub>STEP</sub>）の関連性は、回帰分析を行い Pearson

の相関係数 ( $r$ ) を算出した。両者の差の検討には対応のある  $t$ -tests を用い、年齢、体重、身長、body mass index、体脂肪率の影響について単相関分析、およびそれらを説明変数としたステップワイズ重回帰分析を用い検討した。

日常生活下の歩数 (歩/日) と身体活動水準 (Ex/週) の関係性の評価は、回帰分析を行った。加えて、両者間の幾何平均回帰式 (geometric mean regression; 標準主軸回帰式) を算出した。これは、両者それぞれを従属変数とした2つの一次回帰式の傾きの幾何平均として傾きを得た回帰式であり、回帰直線までの独立変数  $x$ 、従属変数  $y$  方向の距離の積和  $\sum \Delta x \Delta y$  が最小となる性質を持ち、2変数それぞれを推定する際の独立・従属変数依存による誤差の影響を除外できる。

全ての統計処理は、StatView ソフトウェア (version 5.0.1, SAS Institute, Cary, NC) を用い、データは、平均値および標準偏差 (平均値  $\pm$  SD) で示した。また、有意水準は、5%未満とした。

## 結 果

研究1において、レスピラトリーチャンバー法で測定された一日の総エネルギー消費量は、 $2140 \pm 365$  kcal/日であった。また、身体活動エネルギー消費量は、 $464 \pm 137$  kcal/日であり、TEE の  $21.7 \pm 5.6\%$  を占めた。PED<sub>STEP</sub> と ACC<sub>STEP</sub> の間に有意な相関関係が認められた ( $r=0.470$ ,  $p<0.001$ )。しかし、PED<sub>STEP</sub> が有意に低く ( $-1888 \pm 2016$ ,  $p<0.001$ )、計測された歩数 (歩/日) が少ないほど差が大きくなるという特徴が認められた (図1)。この差と年齢 ( $r=-0.432$ ,  $p<0.001$ ) および体脂肪率 ( $r=-0.296$ ,  $p<0.05$ ) の間に有意な負の相関関係が認められた。さらに、年齢、体重、身長、body mass index、体脂肪率を説明変数としたステップワイズ分析の結果、年齢のみが有意な説明変数として採用された ( $r^2=0.172$ ,  $p<0.001$ )。

研究2において、日常生活下で測定された平均歩数 (ACC<sub>STEP</sub>) は、 $9042 \pm 2610$  歩/日 (男性：

$8951 \pm 2446$ , 女性： $9100 \pm 2731$  歩/日) であり、 $17.5 \pm 8.8$  Ex/週 (男性： $17.8 \pm 7.9$  Ex/週, 女性： $17.4 \pm 9.4$  Ex/週) であった。歩数と Ex/週の間には有意な正の相関関係が認められた ( $r=0.810$ ,  $p<0.001$ ; SEE= $5.2$  Ex/週) (図2)。さらに、両者間の幾何平均回帰式により10000歩に相当するエクササイズは、平均20.8 Ex/週に相当し、一方、23.0 Ex/週に相当する歩数は、平均10652歩/日と推定された。

## 考 察

### 1. 従来の歩数計および加速度計法による歩数の計測

本研究の低身体活動レベルの対象では、従来の spring-levered 式歩数計により計測された歩数 (PED<sub>STEP</sub>) は、加速度計による計測値 (ACC<sub>STEP</sub>) に比して有意に低値を示した。先行研究<sup>5, 27)</sup> で、本研究で用いた加速度計は、歩行中の歩数計測に関して、spring-levered 式歩数計よりも優れた精度を有することが報告されている。spring-levered 式歩数計は、センサー部に一定レベル以上の振動が加わった際のみ歩数をカウントする仕組みである。一方、加速度計は、より低い強度の重心加速度の変化も連続的に測定できるので、信頼性の高い正確な歩数計測が可能であると考えられる。本研究で用いた国際的に信頼性の高い Yamax (山佐時計計器) 社の歩数計は、トレッドミルを用いた一定速度の連続した平地歩行 (67~107m/分) 時の歩数計測では高い正確度を有するが、67m/分未満の低速時の歩行の際に発生する重心加速度は、spring-lever に対して不十分であり、歩行速度が低くなるほど歩数を過小評価することが報告されている<sup>5, 18, 21)</sup>。日常生活下の歩数計測に関して、Tudor-Locke ら<sup>30)</sup> は、spring-levered 式歩数計と加速度計 (本研究の製造社と異なる機器) の両者間に本研究で認められた誤差 ( $1888 \pm 2016$  歩/日) と同様の平均差を報告している ( $1845 \pm 2116$  歩/日)。このように、従来の spring-levered 式歩数計は、加速時計内蔵の歩数計に比して日常生活下の歩数を実質的に過小評価

することが考えられる。この一つの要因として、身体動作による垂直方向の加速度を検知する両機器の計測閾値の相違（つまり、本研究の機器では 0.35G vs. 0.06G）が考えられ、日常生活下の様々な強度の断続的な身体動作による歩数を spring-levered 式では十分に計測できない可能性が示唆された。

さらに、単相関分析ならびにステップワイズ分析により、両機の計測値の差は、加齢が影響していることが示唆された。高齢者に代表されるように、加齢により歩行スタイルは低速度かつ 'shuffling gait（摺り足歩行）' 様の特徴となる。これは、歩行中の垂直方向の加速度を鈍らせると考えられる。先行研究<sup>17)</sup> で、shuffling gait の歩行の場合は、歩数計で計測された歩数はかなり過小評価されることが示唆されている。歩行中の歩数計測の精度は加齢により低下することが示唆されており<sup>21)</sup>、一定の精度を維持するためには、小さい加速度変化も計測可能な加速度計による歩数計測を推奨している。このように、現状の多くの spring-levered 式歩数計は、歩数計測の精度に不十分な点があり、高齢者に代表される不活動もしくは低速度の歩行が特徴となるような対象に関しては、使用の制限を踏まえる必要がある。さらに、最新の研究<sup>1)</sup> で、日常生活における加速度計と spring-levered 式歩数計の計測値の差は、低強度の活動時間に影響されており、同じ高齢者でも活動的な者は、不活動の者に比して機器間の計測値の差が小さく、若年者と同等の差であるという興味深い報告がある。つまり、計測精度は、加齢よりもむしろ一日の身体活動に占める低強度の活動時間の割合が影響している可能性を示唆している。

また、本研究で、単相関分析において歩数計測値の差と体脂肪率に負の相関関係が認められている ( $r=-0.296$ )。Crouter et al<sup>6)</sup> は、ウエスト周径囲と body mass index が歩数計測の誤差と関連することを報告しており、本来はウエスト上に計測部が鉛直方向となるよう装着すべき歩数計が、腹部の脂肪などにより傾くため、身体運動に

よる重心加速度が機器に正しく伝達されないことが原因と考えられている。一方、加速度計については、同じ肥満者でも正確に計測できたことも報告されている。先行研究<sup>5, 26, 27)</sup> で、本研究で用いた加速度計は、様々な製造社の機器と比較して優れた歩数の計測の精度を有することが示唆されている。また、多メモリ加速度計は、連続して身体活動の強度、頻度と時間を評価できるという利点があり、エネルギー消費量の評価も可能である<sup>10)</sup>。

以上のように、加速度計法を応用した機器は、従来の spring-levered 式歩数計に比して日常生活下の歩数を正確に計測する上で望ましい方法と考えられる。しかし、本研究では、日常生活下の歩数を正確に計測しておらず、あくまでも両機器の計測値差より検討したという研究の限界がある。また、先行研究<sup>1)</sup> で、本加速度計は、40m/分以下の超低速度の歩数を過小評価することが報告されており、本法においても日常生活下の歩数を過小評価していた可能性がある。

近年の技術開発の進歩により、従来法でも測定制度の高い機器も開発されはじめているようである。しかし、重要なこととして、このような機器を使用する際は、使用の事前に精度検定を行い、その測定限界などの特徴を把握しておく必要がある。

## 2. 身体活動量エクササイズ(Ex)と歩数の関連性

一日あたりの歩数と Ex/週の間に関連性があることが認められた。さらに、両者間で算出された幾何平均回帰式により従来からの健康づくりの目標値である10000歩に相当するエクササイズは、平均20.8Ex/週であり、一方、新しい健康づくり基準である23Ex/週<sup>36, 37)</sup> に相当する歩数は、10652歩/日と10000歩に近似した平均値を示した。ただし、その個人差は大きく、例えば、10000歩を達成している者でも、おおよそ10~30Ex/週と幅広く、半数以上の者は、23Ex/週を充足していない（図2）。また、本研究の対象者の平均歩数は、男性が8951±2446、女性が9100±2731歩/日

であり、「健康日本21」中間評価報告書<sup>38)</sup>に示された現代成人の平均値(男性7532歩/日, 女性6446歩/日)より平均的に高く, かつ女性については「健康日本21」の目標値(男性: 9200歩/日, 女性: 8300歩/日)を充足していたにも関わらず, 週当たりのExは, 男性:  $17.8 \pm 7.9Ex/週$ , 女性:  $17.4 \pm 9.4Ex/週$ であり, ガイドライン<sup>36, 37)</sup>の目標活動水準に満たなかった。つまり, 歩数は必ずしも正確にExを反映せず, 例えば週当たり平均10000歩/日であっても, 必ずしも $23Ex/週$ を充足しているとは限らないことを示唆している。本研究で用いた加速度計内蔵の歩数計は, 加速度のサイズと頻度(歩数の判定に用いられる)を基に運動強度を判定するアルゴリズムを有しているため, ここでのExの測定に密接に関連していることに留意すべきである。つまり, より精密にExを測定した場合には, 歩数による推定誤差はより大きくなる可能性が推察できる。先行研究において, 歩数は, 「移動」に関連する一般的な身体活動(つまり歩行)の量を反映するが, 個々人の身体活動の質(エネルギー消費量)を判定するための有効な指標とはならないことが示唆されている<sup>7, 17)</sup>。

近年, 日常生活の身体活動水準を高めることが健康の保持増進に有益であることを示唆するエビデンスが集積され, 国際的に運動習慣形成を主にした健康づくり策が啓蒙されている。その中では, 本邦の健康づくりのための運動基準でも採用されているように, 中等度(3 METs)以上の強度の身体活動の機会を増やすことが推奨されている<sup>9)</sup>。乳酸閾値強度を代表とした中強度の運動は, 生活習慣病予防, リスクの改善から疾病治療にまで有効であることが多くの研究で明らかになっている<sup>12, 22, 28)</sup>。このような点からも, 身体活動の強度, 時間, 頻度を併せて評価することが, 実際の運動指導の現場においても重要と考えられる。本研究で用いた歩数計は加速度計が内蔵されており, 歩数と同時に活動の強度と時間, 頻度を連続的に測定できるよう設計されており, その妥当性も検証されている<sup>13, 14, 24, 40)</sup>。

以上のように, 現状の健康づくりの為の身体活動の目標の第一基準は, 活動の総量(強度×時間: つまり, Ex)であり, 歩数はあくまでも簡易的な指標であるという制限を有する。一方, いくつかの身体活動介入研究において, 歩数は, 健康増進に関連する指標であることが示唆されている<sup>4, 10, 29, 32, 35)</sup>。今後, 歩数とExについて, 各種検査項目や体力などを基準として実際の介入効果の比較を行い, それぞれの指標の意義を明らかにする必要がある。

## 結 語

日常生活の歩数の計測に関して, 従来のspring-leveredシステムの歩数計は, 加速度計に比して低値を示すことが示唆された。これは, 身体動作による重心加速度の計測閾値の両機器間の相違によるものであり, 特に加齢による歩行スタイルの変化(例えば, 摺り足様の歩行)や, 低強度の断続的な活動に影響を受け, 計測値の差が大きくなる可能性が推察された。このように, 日常生活下の歩数をより正確に計測する為には, 加速度計法を応用した機器を使用することが望ましいと考えられた。

歩数は, 「健康づくりのための運動基準・指針2006」で推奨されている身体活動量 $23Ex/週$ を必ずしも正確に反映しないので, 健康づくりの指導現場で応用する際には留意すべきである。また, 評価法の選択は慎重にすべきであるが, 加速度計法は, 歩数の計測と同時に, 身体活動の強度, 時間, 頻度を評価し, Exの算出が可能であるなどといった運動処方に必要なインフォメーションを得ることができるという利点を有している。

## 謝 辞

本研究の一部は, 厚生労働省厚生科学補助金(H13-21th-31)により実施された。対象者のリクルーティングにご助力をいただいたスイス連邦在住の協力者ならびに The Japan Club of Geneva, The Swiss-Japanese Journal Gruezi, The

Swiss Happy Net (<http://www.swippy.ch/>)をはじめとした現地日本人会、また、本研究実施において研究機材の準備等で多大なるご尽力いただいた、福岡大学スポーツ科学部運動生理学研究室関係者各位、特に八尋拓也氏、細谷誠子氏、山内美代子氏にこの場をお借りして深く感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) Ayabe M, Ishii K, Takayama K, Aoki J, Shindo M & Tanaka H: Comparison of inter-device measurement difference of pedometers in younger and older adults. *Br J Sports Med*, 2008 [Epub ahead of print]
- 2) Blair SN, Goodyear NN, Gibbons LW & Cooper KH: Physical fitness and incidence of hypertension in healthy normotensive men and women. *JAMA* 252: 487-490, 1984
- 3) Blair SN, Kohl HW 3rd, Paffenbarger RS Jr, Clark DG, Cooper KH & Gibbons LW: Physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy men and women. *JAMA* 262, 2395-2401, 1989
- 4) Chan CB, Spangler E, Valcour J & Tudor-Locke C: Cross-sectional relationship of pedometer-determined ambulatory activity to indicators of health. *Obes Res* 11: 1563-1570, 2003
- 5) Crouter SE, Schneider PL & Karabulut M & Bassett DR, Jr.: Validity of 10 electronic pedometers for measuring steps, distance, and energy cost. *Med Sci Sports Exerc* 35: 1455-1460, 2003
- 6) Crouter SE, Schneider PL & Bassett DR Jr: Spring-levered versus piezo-electric pedometer accuracy in overweight and obese adults. *Med Sci Sports Exerc* 37:1673-1679, 2005
- 7) Fogelholm M, Hiilloskorpi H, Laukkanen R, Oja P, Van Marken Lichtenbelt W & Westerterp K: Assessment of energy expenditure in overweight women. *Med Sci Sports Exerc* 30: 1191-1197, 1998
- 8) Gardner AW & Poehlman ET: Assessment of free-living daily physical activity in older claudicants: Validation against the doubly labeled water technique. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 53: M275-280, 1998
- 9) Haskell WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, Macera CA, Heath GW, Thompson PD & Bauman A: Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc* 39:1423-1434, 2007
- 10) Iwane M, Arita M, Tomimoto S, Satani O, Matsumoto M, Miyashita K & Nishio I: Walking 10,000 steps/day or more reduces blood pressure and sympathetic nerve activity in mild essential hypertension. *Hypertens Res* 23: 573-580, 2000
- 11) Jequier E & Schutz Y: Long-term measurements of energy expenditure in humans using a respiration chamber. *Am J Clin Nutr* 38: 989-998, 1983
- 12) Kiyonaga A, Arakawa K, Tanaka H & Shindo M: Blood pressure and hormonal responses to aerobic exercise. *Hypertension* 7: 125-131, 1985
- 13) Kumahara H, Schutz Y, Ayabe M, Yoshioka M, Yoshitake Y, Shindo M, Ishii K & Tanaka H: 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, 2004
- 14) Kumahara H, Tanaka H, Terrier P, Ishii K, Oppert JM, Guy-Grand B, & Schutz Y: Comparison of 2 accelerometers for assessing daily energy expenditure in adults. *Journal of Physical Activity and Health* 1: 270-280, 2004
  - 15) Kumahara H, Tanaka H & Schutz Y: Daily physical activity assessment: what is the importance of upper limb movements vs whole body movements?. *Int J Obes Relat Metab Disord* 28: 1105-1110, 2004
  - 16) Kumahara H, Ishii K & Tanaka H: Physical Activity Monitoring for Health Management: Practical Techniques and Methodological Issues. *Int. J Sport. Health Sci* 4: 380-393, 2006
  - 17) Leenders NY, Sherman WM, Nagaraja HN & Kien CL: Evaluation of methods to assess physical activity in free-living conditions. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1233-1240, 2001
  - 18) Le Masurier GC & Tudor-Locke C: Comparison of pedometer and accelerometer accuracy under controlled conditions. *Med Sci Sports Exerc* 35: 867-871, 2003
  - 19) Matthews CE, Ainsworth BE, Thompson RW & Bassett DR, Jr.: Sources of variance in daily physical activity levels as measured by an accelerometer. *Med Sci Sports Exerc* 34:1376-1381, 2002
  - 20) Meijer EP, Goris AH, Wouters L & Westerterp KR: Physical inactivity as a determinant of the physical activity level in the elderly. *Int J Obes Relat Metab Disord* 25: 935-939, 2001
  - 21) Melanson EL, Knoll JR, Bell ML, Donahoo WT, Hill JO, Nysse LJ, Lanningham-Foster L, Peters JC & Levine JA: Commercially available pedometers: considerations for accurate step counting. *Prev Med* 39: 361-368, 2004
  - 22) Nishida Y, Tokuyama K, Nagasaka S, Higaki Y, Shirai Y, Kiyonaga A, Shindo M, Kusaka I, Nakamura T, Ishibashi S & Tanaka H: 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.
  - 23) Paffenbarger RS Jr, Hyde RT, Wing AL & Hsieh CC: Physical activity, all-cause mortality, and longevity of college alumni. *N Engl J Med* 314: 605-613, 1983
  - 24) Rafamantanantsoa HH, Ebine N, Yoshiooka M, Higuchi H, Yoshitake Y, Tanaka H, Saitoh S & Jones PJH: Validation of three alternative methods of measuring total energy expenditure against the doubly labeled water method in older Japanese men. *J Nutr Sci Vitaminol* 48: 517-523, 2002
  - 25) Sawada S, Tanaka H, Funakoshi M, Shindo M, Kono S & Ishiko T: Five year prospective study on blood pressure and maximal oxygen uptake. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 20, 483-487, 1993
  - 26) Schneider PL, Crouter SE & Bassett DR: Pedometer measures of free-living physical activity: comparison of 13 models. *Med Sci Sports Exerc* 36: 331-335, 2004
  - 27) Schneider PL, Crouter SE, Lukajic O & Bassett DR, Jr.: Accuracy and reliability of 10 pedometers for measuring steps over a 400-m walk. *Med Sci Sports Exerc* 35: 1779-1784, 2003
  - 28) Sunami Y, Motoyama M, Kinoshita F,

- Mizooka Y, Sueta K, Matsunaga A, Sasaki J, Tanaka H & Shindo M: Effects of low-intensity aerobic training on the high-density lipoprotein cholesterol concentration in healthy elderly subjects. *Metabolism* 48: 984-988, 1999
- 29) Swartz AM, Strath SJ, Bassett DR, Moore JB, Redwine BA, Groer M & Thompson DL: Increasing daily walking improves glucose tolerance in overweight women. *Prev Med* 37: 356-362, 2003
- 30) Tudor-Locke C, Ainsworth BE, Thompson RW & Matthews CE: Comparison of pedometer and accelerometer measures of free-living physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 34: 2045-2051, 2002
- 31) Tudor-Locke C, Williams JE, Reis JP & Pluto D: Utility of pedometers for assessing physical activity: convergent validity. *Sports Med* 32: 795-808, 2002
- 32) Tudor-Locke C, Bell RC, Myers AM, Harris SB, Ecclestone NA, Lauzon N & Rodger NW: Controlled outcome evaluation of the First Step Program: a daily physical activity intervention for individuals with type II diabetes. *Int J Obes Relat Metab Disord* 21: 21, 2003
- 33) Tudor-Locke C & Bassett DR Jr: How many steps/day are enough? Preliminary pedometer indices for public health. *Sports Med* 34: 1-8, 2004
- 34) Westerterp KR & Kester AD: Physical activity in confined conditions as an indicator of free-living physical activity. *Obes Res* 11, 865-868, 2003
- 35) Zhang JG, Ohta T, Ishikawa-Takata K, Tabata I & Miyashita M: Effects of daily activity recorded by pedometer on peak oxygen consumption (VO<sub>2</sub>peak), ventilatory threshold and leg extension power in 30- to 69-year-old Japanese without exercise habit. *Eur J Appl Physiol* 90, 109-113, 2003
- 36) 運動所要量・運動指針の策定検討会: 健康づくりのための運動基準2006 — 身体活動・運動・体力 — 報告書, 2006
- 37) 運動所要量・運動指針の策定検討会: 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 — エクササイズガイド2006, 2006
- 38) 厚生科学審議会地域保健健康増進栄養部会: 「健康日本21」中間評価報告書, 2007
- 39) 日本工業標準調査会. 歩数計. *JIS S-7200*, 1993
- 40) 樋口博之, 綾部誠也, 進藤宗洋, 吉武裕, 田中宏暁. 加速度センサーを内蔵した歩数計による若年者と高齢者の日常身体活動量の比較. *体力科学* 52: 111-118, 2003

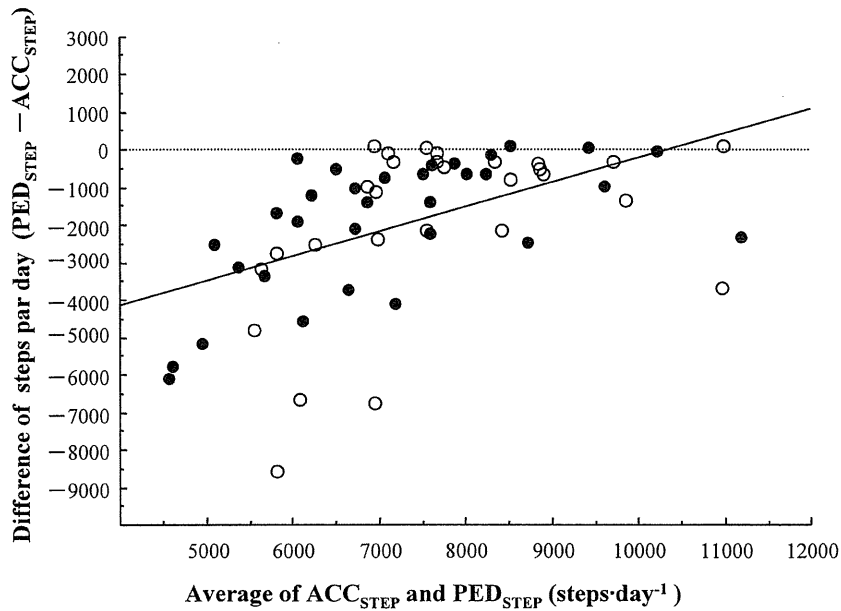


Figure 1. Difference between the number of daily steps estimated by the Yamax pedometer ( $PE_{STEP}$ ) and that measured by the accelerometer ( $ACC_{STEP}$ ; y axis), plotted against the mean steps per day of the two methods (x axis;  $n=60$ : male=closed circles; female=open circles). The pedometer determined step counts was significantly lower than that based on accelerometer ( $-1888 \pm 2016$  steps  $\cdot$  day $^{-1}$ , range  $-8555$  to  $133$ ), and an important bias was found below approximately 7,000 steps per day ( $r=0.508$ ,  $p<0.001$ ).

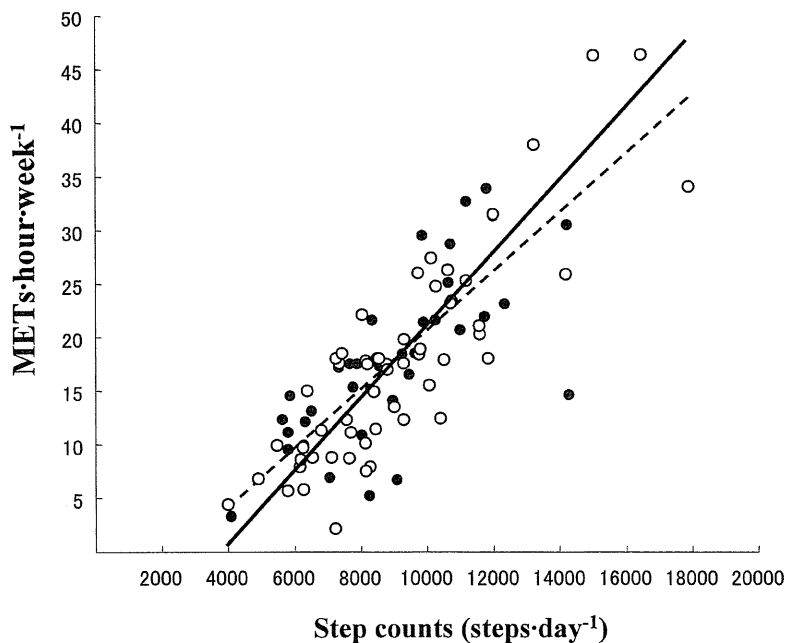


Figure 2. Relationship between the number of daily steps measured by the accelerometer ( $ACC_{STEP}$ : steps  $\cdot$  day $^{-1}$ ) and the volume of physical activity in METs  $\cdot$  hour  $\cdot$  week $^{-1}$  ( $n=92$ ; male=closed circles; female=open circles). There was a significant correlation between both indices (dotted line:  $r=0.810$ ,  $p<0.001$ ). The bold line represents a geometric mean regression:  $y=0.0034x-13.06$ .

(平成20年 3月17日受理)

## 日本人の最高酸素摂取量，換気性閾値および脚伸展パワーの標準値策定の試み

オオタ トシキ チャン ジェン 国\* 石川 和子\*  
 タバタ イズミ\* ヨシタケ ユタカ\* ミヤシタ ミツマサ\*  
 太田 壽城\* 張 建 國\* 石川 和子\*  
 田畑 泉\* 吉武 裕\* 宮下 充正\*<sup>2\*</sup>

**目的** 職域と地域の健診時に最高酸素摂取量，換気性閾値時酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$  at Ventilatory Threshold: 以下 VT)，脚伸展パワーを測定し，健康との関連で注目されている全身持久力と筋力の指標について日本人の標準値を作成することを試みた。

**方法** 全国4健診施設で健診を受けた30歳代～60歳代の健常成人832人(男421人，女411人)を対象とし，同一プロトコールで最高酸素摂取量，換気性閾値時酸素摂取量および脚伸展パワーを実測した。運動負荷試験は自転車エルゴメーターを用いたランブ負荷法で実施した。

**結果** 1. 最高酸素摂取量は男女とも加齢とともに減少し，男では  $Y$  (ml/kg/min) =  $46.6 - 0.36 \times AGE$  ( $r=0.447$ ,  $p<0.001$ )，女では  $Y$  (ml/kg/min) =  $35.3 - 0.23 \times AGE$  ( $r=0.407$ ,  $p<0.001$ )の一次回帰式が成立した。また，男女の一次回帰式の勾配に有意 ( $p<0.001$ ) な差が認められた。

2. VTは加齢とともに低下し，男では  $Y$  (ml/kg/min) =  $22.6 - 0.13 \times AGE$  ( $r=0.371$ ,  $p<0.001$ )，女では  $Y$  (ml/kg/min) =  $20.0 - 0.10 \times AGE$  ( $r=0.336$ ,  $p<0.001$ )の一次回帰式が成立した。加齢に伴うVTの低下はゆるやかだった。男女の一次回帰式の勾配に有意 ( $p<0.001$ ) な差が認められた。

3. 脚伸展パワーは男女とも加齢とともに低下し，男では  $Y$  (W/kg) =  $31.9 - 0.27 \times AGE$  ( $r=0.539$ ,  $p<0.001$ )，女性： $Y$  (W/kg) =  $20.9 - 0.18 \times AGE$  ( $r=0.510$ ,  $p<0.001$ )の一次回帰式が成立した。男女の一次回帰式の勾配に有意 ( $p<0.001$ ) な差が認められた。

本研究の対象者は全員外見上健常で，その体格と1日の歩数は厚生省の国民栄養調査とほぼ同じ値を示した。また，本研究で得られた3つのパラメーターを個々のパラメーターを検討した先行研究と比較すると，対象に偏りが少ないと考えられる先行研究とはよく似た結果を示した。

**結論** 本研究で測定した最高酸素摂取量，VT，脚伸展パワーの標準値はある程度日本人の平均的な集団の値を示す可能性が高く，一般日本人の体力の評価基準として地域や職域で使用する上で，妥当かつ有用と考えられた。

**Key words** : 最高酸素摂取量，換気性閾値，脚伸展パワー，健常成人

### I 緒 言

体力と健康に関する多くの研究によって，全身持久力と臨床検査データ<sup>1)</sup>や生命予後<sup>2)</sup>との関係

や筋力とQOLとの関係が明らかにされてきた<sup>3)</sup>。その結果，健康関連体力という概念が構築され，体力と健康の深い関係が従来にも増して注目されるようになった<sup>4)</sup>。

一方，日本人の全身持久力と筋力の標準値に関する先行研究<sup>1,5~8)</sup>は多くのものがあるが，偏りの少ない対象について行われたものは極めて少ない。本研究では職域と地域の健診時に最高酸素摂

\* 国立健康・栄養研究所

<sup>2\*</sup> 東洋英和女学院大学

連絡先：〒162-8636 東京都新宿区戸山1-23-1

国立健康・栄養研究所 太田壽城

表1 対象者の身体的特徴と歩数

年齢 (歳)	男				女			
	対象者数	身長 (cm)	体重 (kg)	歩数 (歩/日)	対象者数	身長 (cm)	体重 (kg)	歩数 (歩/日)
30-39	134	170.2±5.5	67.2±9.8	8,154±2,992	132	157.9±5.1	52.8±7.3	7,211±2,954
40-49	120	168.2±6.0	65.4±7.1	7,559±3,540	108	155.8±4.6	53.8±6.7	6,691±2,761
50-59	103	165.6±5.7	65.1±7.1	8,010±3,037	98	154.3±4.0	53.6±5.5	6,718±2,813
60-69	64	164.0±5.8	62.9±8.2	7,406±3,610	73	151.1±7.8	52.3±6.4	6,196±2,984

平均値±標準偏差

取量, 換気性閾値時酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$  at Ventilatory Threshold: 以下 VT), 脚伸展パワーを測定し, 健康との関連で注目されている全身持久力と筋力の指標について日本人の標準値を作成することを試みた。

## II 研究方法

### 1. 対象者

本研究では東京都, 千葉県, 石川県および愛媛県の合計4つの健診施設において同一のプロトコールのもとにデータ収集を行った。対象者は平成5年10月から平成6年2月までの間に, 各健診施設で健康診断を受診した7つの企業の健診受診者と4つの地域の健診受診者のうち30歳代~60歳代の健常成人832人(男421人, 女411人)である(表1)。このうち, 加療中の者は78人(男47人, 女31人)であった。各集団毎に健診受診者のほぼすべてを対象とするようにした。データ収集はインフォームドコンセントを得た上で行った。

### 2. 体力測定

体力測定を実施した4健診施設は, 医師および運動指導者が常勤しており, 後述の測定項目を正確に測定することが可能な健診施設である。それぞれの施設で各体力測定が正確に行えるように事前に研修を行った。

最高酸素摂取量, VTの測定は自転車エルゴメーター(コンビ社製RS232C), 運動負荷コントロールシステム(フクダ電子社製ML-2000), 呼気分析器(ミナト医科学社製AeromoniterAE-280S)を用いて直線的漸増(ランプ)負荷で行った<sup>5)</sup>。対象者は1~4分間の安静の後, 準備運動として20Wの運動を1~4分を行い, 引き続き, 20Wより1W3秒の割合でランプ状に負荷を漸増した。ペダルの回転数は50回転/分と一定とし

た。運動終点は心電図異常, 血圧異常上昇や胸痛等の危険な徴候が見られない限り実施者の随意的判断にまかせた。負荷テスト中は連続して心電図のモニターを行い, 心拍数, 血圧は1分毎に測定した。負荷後少なくとも1分間の回復運動(クーリングダウン)を行った。

最高酸素摂取量は運動が上記の医学的な所見によって強制的に中止されず, 対象者が最大努力を行った時に測定された酸素摂取量の最高値とした。最大努力の有無について対象者の運動負荷中のガス交換率(RER, Respiratory Exchange Ratio)について検討すると, 全体で80%以上の対象者は運動終了前1分間の平均RERが1.00を超え, 男女別では男87.2%, 女73.2%がRER1.0を超えた。VTの判定基準は日本循環器学会の基準を用いた<sup>5,9,10)</sup>。すなわち, (1)VTは $\dot{V}O_2$ - $\dot{V}CO_2$ 平面での $\dot{V}O_2$ に対する $\dot{V}CO_2$ の増加開始点(V slope method)および(2) $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ の増加無しに $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ が増加開始する点, または呼気終末二酸化炭素濃度が減少せずに呼気終末酸素濃度が増加する点とした。VTの測定値はVT測定に精通した専門家がチェックした。

脚伸展パワーは脚伸展パワー測定装置(コンビ社製アネロプレス)を用いて行った。測定前に対象者にストレッチ運動を行わせ, シートに深く座り, 腰部はベルトでしっかり固定した。膝の角度が直角まで, シートをスライドさせ, 両足で一氣にけり出すように指示した。試行は5回, 15秒おきに行い, 高い測定値2つの平均値を各対象者の脚伸展パワー値とした。

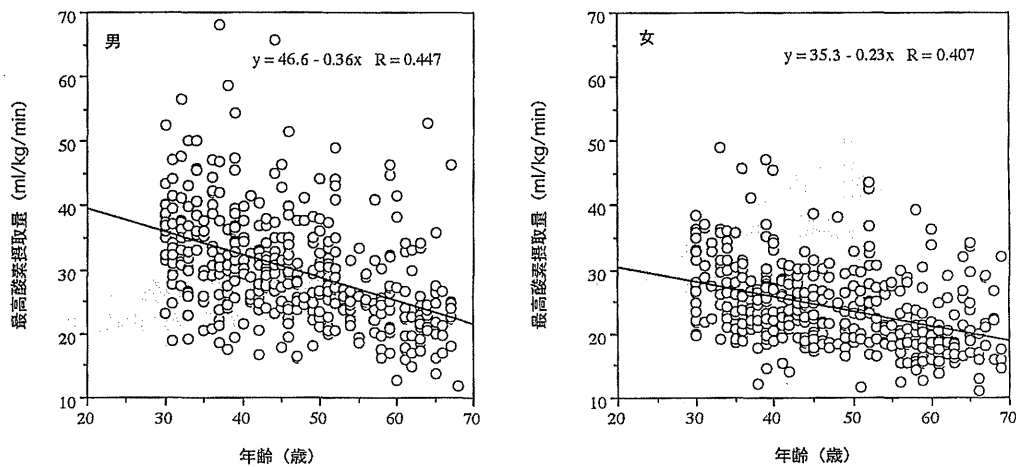
### 3. データの分析と統計処理

最高酸素摂取量, VT, 脚伸展パワーの平均値と標準偏差を性別, 年代層別に分析した。次に, 性別, 年代別に分布の正規性を検討した。脚伸展パ

表2 最高酸素摂取量, VT および脚伸展パワーの測定値

年齢 (歳)	最高酸素摂取量 (ml/kg/min)		VT(ml/kg/min)		脚伸展パワー (W/kg)	
	対象者数	平均値±標準偏差	対象指数	平均値±標準偏差	対象指数	平均値±標準偏差
男性						
30-39	132	34.6±8.6	122	18.2±4.2	132	22.1±5.3
40-49	117	30.3±7.1	110	16.5±3.5	119	20.3±4.8
50-59	103	27.5±6.9	98	15.3±3.1	101	17.6±4.2
60-69	62	24.1±7.7	61	14.4±2.9	64	14.1±3.2
女性						
30-39	128	27.1±6.3	121	16.3±3.4	132	14.4±3.8
40-49	106	24.3±5.3	97	15.4±3.6	107	13.2±3.3
50-59	95	22.6±6.2	86	14.2±2.6	96	11.0±3.5
60-69	72	20.8±5.5	70	13.9±3.2	71	9.4±2.5

図1 年齢と最高酸素摂取量



ワー値は男女とも各年代毎に正規分布を示したが、他の測定値は正規分布を示さなかった。したがって、体力区分の参考値はパーセンタイル値で示した。男女別に最高酸素摂取量, VT, 脚伸展パワーと年齢の一次回帰式を求めた。男女の一次回帰式の差の検定は勾配, 切片の順で共分散分析により行った。統計処理の有意水準は0.05とした。計算はすべて統計パッケージソフト SPSSを使用した。

### III 研究結果

#### 1. 最高酸素摂取量

対象832人のうち,  $\beta$ -ブロッカー内服者5人と

医学的な所見によって随意的最大運動まで到達しなかった者12人の合計17人を除く815人について最高酸素摂取量を検討した(表2, 図1)。最高酸素摂取量は男女とも加齢とともに減少し, 男では  $Y$  (ml/kg/min) =  $46.6 - 0.36 \times \text{AGE}$  ( $r = 0.447$ ,  $p < 0.001$ ), 女では  $Y$  (ml/kg/min) =  $35.3 - 0.23 \times \text{AGE}$  ( $r = 0.407$ ,  $p < 0.001$ ) の一次回帰式が成立し(図1), 一次回帰式の勾配には男女で有意な差 ( $p < 0.001$ ) が認められた。

#### 2. VT

最高酸素摂取量の測定ができた815人のうち, 50人についてはVTの判定ができなかった。VTの測定が可能であった765人について検討した(表

図2 年齢とVT

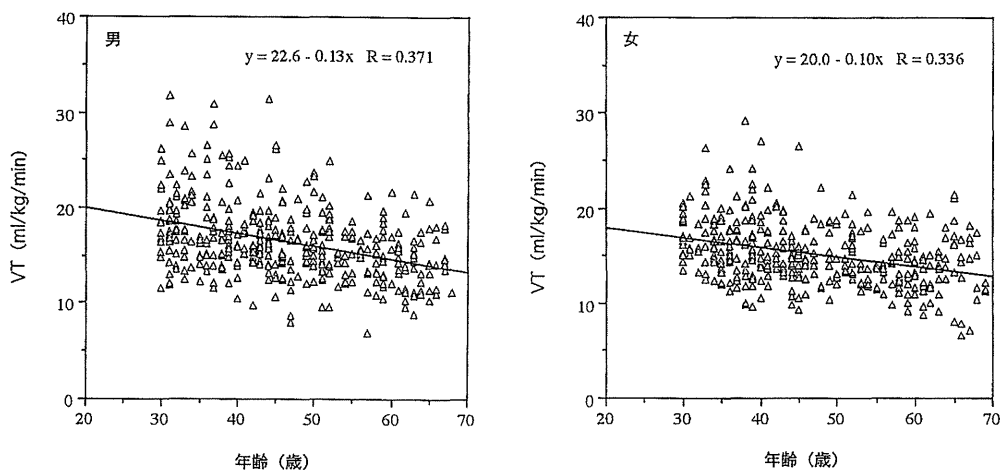
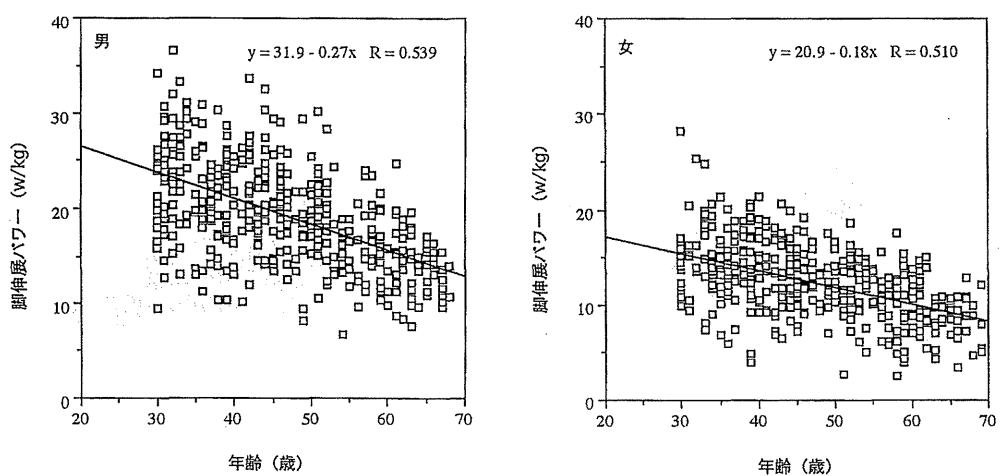


図3 年齢と脚伸展パワー



2, 図2)。VTは男女とも加齢とともに低下し、男では $Y(\text{ml/kg/min}) = 22.6 - 0.13 \times \text{AGE}$ , ( $r = 0.371$ ,  $p < 0.001$ ), 女では $Y(\text{ml/kg/min}) = 20.0 - 0.10 \times \text{AGE}$  ( $r = 0.336$ ,  $p < 0.001$ ) の一次回帰式が成立し、一次回帰式の勾配には男女で有意な差 ( $p < 0.001$ ) が認められた (図2)。なお、加齢に伴うVTの低下は最高酸素摂取量よりゆるやかだった。

### 3. 脚伸展パワー

対象者832人のうち、測定に参加しなかった者(5人)と全力が発揮できなかったと判断された者(5人)を除く822人で脚伸展パワーについて

検討した (表2, 図3)。脚伸展パワーは男女とも加齢とともに低下し、男では $Y(\text{W/kg}) = 31.9 - 0.27 \times \text{AGE}$  ( $r = 0.539$ ,  $p < 0.001$ ), 女性: $Y(\text{W/kg}) = 20.9 - 0.18 \times \text{AGE}$  ( $r = 0.510$ ,  $p < 0.001$ ) の一次回帰式が求められ (図3), 一次回帰式の勾配には男女で有意な差 ( $p < 0.001$ ) が認められた。

### 4. 最高酸素摂取量, VT, 脚伸展パワーの加齢に伴う変化の比較

図1~3をもとに最高酸素摂取量, VT, 脚伸展パワーの低下率を40歳から60歳の中年期において比較検討した。最高酸素摂取量は男—11.2%/

表3 本研究の最高酸素摂取量と先行研究との比較

年齢 (歳)	本研究		市原ら <sup>1)</sup>		循環器学会 <sup>5)</sup>		田村 <sup>6)</sup>	
	対象者数	平均値±標準偏差	対象者数	平均値±標準偏差	対象者数	平均値±標準偏差	対象者数	平均値±標準偏差
男性								
30-39	132	34.6±8.6			35	29.7±6.8**	134	32.0±6.9**
40-49	117	30.3±7.1	100	31.6±5.4	52	27.4±5.8*	153	28.8±5.4*
50-59	103	27.5±6.9	99	29.9±5.2*	30	25.9±4.7	102	26.2±5.4
60-69	62	24.1±7.7	39	27.2±4.3*	21	29.5±4.4*	44	26.2±5.5
女性								
30-39	128	27.1±6.3			23	27.3±6.1	216	26.1±4.8
40-49	106	24.3±5.3	70	26.0±4.1*	14	23.6±4.7	284	24.6±4.6
50-59	95	22.6±6.2	107	24.3±4.7*	27	23.8±4.3	205	22.3±4.1
60-69	72	20.8±5.5	42	23.1±4.0**	20	22.7±4.5	53	20.5±4.0

\* : p&lt;0.05, \*\* : p&lt;0.01

表4 本研究のVTと先行研究との比較

年齢 (歳)	本研究		三浦 <sup>6)</sup>		田村 <sup>6)</sup>		循環器学会 <sup>5)</sup>		市原ら <sup>1)</sup>	
	対象者数	平均値±標準偏差	対象者数	平均値±標準偏差	対象者数	平均値±標準偏差	対象者数	平均値±標準偏差	対象者数	平均値±標準偏差
男性										
30-39	122	18.2±4.2	52	16.3±3.3**	134	19.3±5.0	33	16.1±3.1*		
40-49	110	16.5±3.5	59	14.7±3.0**	153	17.4±3.8*	52	15.1±3.0*	100	16.6±3.8
50-59	98	15.3±3.1	70	13.6±2.1**	102	16.2±3.6	30	15.3±2.9	99	15.4±3.7
60-69	61	14.4±2.9	39	13.1±2.3*	44	15.9±3.6*	20	17.5±2.9**	39	13.9±2.5
女性										
30-39	121	16.3±3.4	41	14.3±2.3**	216	16.9±3.5	21	16.6±3.6		
40-49	97	15.4±3.6	59	13.4±2.5**	284	15.8±3.3	15	16.2±2.2	70	12.7±2.5**
50-59	86	14.2±2.6	72	12.4±1.7**	205	14.5±2.8	26	16.0±2.6**	107	12.1±3.2**
60-69	70	13.9±3.2	39	11.8±1.6**	53	13.6±3.2	20	15.5±1.8*	42	12.5±2.6*

\* : p&lt;0.05, \*\* : p&lt;0.01

10年, 女—9.1%/10年, VTは男—7.5%/10年, 女—6.3%/10年, 脚伸展パワーは男—14.1%/10年, 女—13.2%/10年であった。すなわち男女ともVTでは最高酸素摂取量, 脚伸展パワーに比較して加齢に伴う低下率が小さかった。

#### IV 考 察

体力の標準値を作成しようとする場合には, 対象者の偏りをできるかぎり少なくする必要がある。健診センターの希望者や健康センターの会員

等を対象とする場合には, 健康志向が強く一定の体力水準がある対象者の割合が高くなる傾向にある<sup>8)</sup>。また, 高齢者の体力測定を行う場合, その体力測定の平均値は中年を対象とした測定値を上回る場合もみられる<sup>5)</sup>。その理由として体力測定に参加する高齢者が運動習慣を持つ者や体力に自信のある者が多い事があげられる。

本研究は職域と地域の健診時に行われ, データは4都県の7つの企業と4つの地域の健診受診者から得た。同時に測定した身長, 体重および3日



間の平均歩数を性・年代別に検討すると、どの性・年代においてもそれぞれの平均値は同時期に行われた厚生省の国民栄養調査<sup>11)</sup>の結果と大差が見られなかった(平均値の差は60歳代男性で身長2.5 cm, 体重3.0 kg, 歩数588歩/日とそれぞれの差が最大)。また、愛知県の健診センター受診者(約26,000人)のデータと身長および体重を比較すると性・年代でほとんど差が見られなかった(平均値の差は60歳代女性で身長1.1 cm, 40歳代男性で体重1.0 kgとそれぞれの差が最大)<sup>12)</sup>。以上の理由により本研究の対象者はその体格と歩数からみれば日本の平均的な集団から大きく偏っていないと考えられた。

### 1. 最高酸素摂取量

最大酸素摂取量( $\dot{V}O_2\max$ )は全身持久性の能力の有効な指標として用いられ、持久性競技種目のスポーツ選手だけでなく、外見上健常者の体力レベルの評価にも重要と考えられている<sup>1)</sup>。しかし最大酸素摂取量の測定は対象者の最大努力が求められるため、高齢者を含む外見上健常者を対象した場合には最大酸素摂取量の測定は困難な場合が多い。そのような理由から、外見上健常者を対象とした研究では、随意的最大運動時に測定した酸素摂取量を最高酸素摂取量として表わしているものが多い<sup>5,13~17)</sup>。

本研究の結果と自転車エルゴメーター運動負荷を用いた先行研究の結果とを比較し、有意差の検定も行った(表3)。性・年代別にみると本研究

表5 本研究の脚伸展パワーと先行研究との比較

年齢(歳)	本研究		平野ら <sup>7)</sup>	
	対象者数	平均値±標準偏差	対象者数	平均値±標準偏差
男性				
30-39	132	22.1±5.3	71	20.9±3.6
40-49	119	20.3±4.8	75	18.6±3.2**
50-59	101	17.6±4.2	34	17.0±3.3
60-69	64	14.1±3.2	23	13.9±2.7
女性				
30-39	132	14.4±3.8	50	14.1±3.2
40-49	107	13.2±3.3	67	12.5±2.9
50-59	96	11.0±3.5	30	11.8±2.6
60-69	71	9.4±2.5	19	9.7±2.2

\* : p<0.05, \*\* : p<0.01

の男性の酸素摂取量は循環器学会と田村の先行研究<sup>5,8)</sup>より有意に高値を示したが、市原らの先行研究<sup>1)</sup>より有意に低値を示した。市原らの先行研究は健診センターで希望者のみ対象としたため、特に60歳代でその体力レベルが平均的日本人より高かった可能性がある。また、最高酸素摂取量が増加とともに高くなる傾向が示された研究もあったが<sup>9)</sup>、本研究ではそのような現象はみられなかった。その理由の1つとして、本研究の対象者の歩数が50代(男8,010歩/日, 女6,718歩/日)より

表6 最高酸素摂取量, VT および脚伸展パワーのパーセンタイル値

年齢(歳)	最高酸素摂取量 (ml/kg/min)		VT (ml/kg/min)		脚伸展パワー (W/kg)	
	30パーセン タイル値	70パーセン タイル値	30パーセン タイル値	70パーセン タイル値	30パーセン タイル値	70パーセン タイル値
	男性					
30-39	30.4	37.6	15.6	19.7	19.1	25.0
40-49	27.0	32.7	15.0	17.6	17.7	22.4
50-59	23.9	29.6	13.5	16.7	15.3	19.8
60-69	20.1	25.1	12.8	15.7	12.2	15.5
女性						
30-39	23.1	29.5	14.7	18.2	12.5	15.8
40-49	21.3	26.4	13.9	16.3	11.5	14.9
50-59	19.3	24.8	13.0	15.3	9.5	13.4
60-69	17.6	21.7	12.8	15.3	8.3	10.7

60代(男7,406歩/日, 女6,196歩/日)で減少している事があげられる(表1)。一方, 女性については, 本研究の結果は循環器学会の結果および田村の結果とほぼ一致していた。

## 2. VT

VTは運動強度を最大まで上げずに, 安全に全身持久力を評価できる指標として注目されてきた<sup>1,5,6,8)</sup>。日本人のVTに関する先行研究には, 年齢の増加につれてVT時の酸素摂取量の値が低下する傾向を示す研究もあれば, 逆に60代で増加する傾向が見られる研究もある<sup>1,5)</sup>。本研究ではVTは男女とも加齢とともにゆるやかな低下が示され, 先行研究にも同じような傾向が見られるものが多い<sup>6,8)</sup>。

また, 本研究と先行研究のVTを性・年代別に比較すると, 本研究の結果は男女とも4つの先行研究の中で中間的な値を示し, 男性は市原らの研究, 女性は田村の結果とほぼ一致していた(表4)。各研究が異なる値を示す原因として対象の偏り, 測定機器, 各研究におけるVTを判断する基準の差異等があげられる。本研究では比較的均一な職域と地域の対象を測定し, VTの判断においては, まず統一の基準を設けて各測定施設の測定者がVTを判断し, VT測定に精通した専門家が再度チェックした。したがって, 得られたVTは信頼性の高い値と考えられる。

## 3. 脚伸展パワー

一定の筋力水準は特に高齢者では自立した生活を営むために極めて重要である<sup>3,10)</sup>。脚伸展パワーは脚筋力を実測する有力な指標として評価されてきた<sup>7)</sup>が, 日本人の脚伸展パワーの標準値に関する先行研究は極めて少ない。平野らは東京都内に在住あるいは東京近郊の製造会社に勤務する健康成人519人について脚伸展パワーを測定した<sup>7)</sup>。性・年代別に本研究と平均値を比較すると比較的よく似た結果が認められた(表5)。その理由として, 平野らの対象が本研究と同様に地域と職域の健康成人からなっている事が考えられる。

## 4. 最高酸素摂取量, VT, 脚伸展パワーの加齢に伴う変化の比較

最高酸素摂取量, VT, 脚伸展パワーの低下率を40歳から60歳の間で比較すると, 最高酸素摂取量は男—11.2%/10年, 女—9.1%/10年, VTは男—7.5%/10年, 女—6.3%/10年, 脚伸展パワーは

男—14.1%/10年, 女—13.2%/10年であった。低下率を先行研究で算出すると, Posnerらは最高酸素摂取量が男—9.4%/10年, 女—9.8%/10年, VTが男—4.6%/10年, 女—4.7%/10年<sup>21)</sup>, 田村は最高酸素摂取量が男—8.9%/10年, 女—6.5%/10年, VTが男—8.3%/10年, 女—5.8%/10年と報告した<sup>8)</sup>。また, 平野らは男—11.2%/10年, 女—9.9%/10年<sup>7)</sup>と報告した。Posnerらと平野らの結果は, VTの低下率が最高酸素摂取量, 脚伸展パワーの低下率より小さいという本研究の結果を支持するものであった。VTは中等度の強度の運動やトレーニングで増加するとの報告がある<sup>19,20)</sup>。加齢に伴うVTの低下がゆるやかな理由として, 日常での生活活動を維持するだけでVTの低下が抑制される可能性が考えられる<sup>21)</sup>。一方, 田村の結果は最高酸素摂取量とVTの低下率の比較では必ずしも本研究と一致していなかった。今後, 偏りの少ない中高年を含む対象での研究が重要となろう。

健康保持・増進を目的とした運動指導が職域や地域において実施され, 運動指導のプログラム作成や指導効果の評価をするために, 健康と関連するとされている体力について, 日本人の標準値が必要とされている。本研究は全国4ヶ所の健診施設で健診をうけた7つの職域と4つの地域の外見上健康人832人を対象に, 最高酸素摂取量, VT, 脚伸展パワーを実測した。本研究の対象者の体格と1日の歩数は厚生省の国民栄養調査の平均値とほぼ同じ値を示し, 得られた3つのパラメーターを先行研究で報告された値と比較すると, 対象に偏りが少ないと考えられる先行研究とよく一致していた。したがって本研究で測定した最高酸素摂取量, VT, 脚伸展パワーの標準値はある程度日本人の平均的な集団の値を示す可能性が高く, 一般日本人の体力の評価基準として地域や職域で使用する上で, 妥当かつ有用と考えられた。本研究の対象者を体力測定値で3~4等分すると, 冠動脈性心疾患危険因子の平均値と異常率に有意差がみられた。しかし, 本研究の対象者数は性・年齢別では61~132と必ずしも多くないため, 表6に最高酸素摂取量, VT, 脚伸展パワーの30および70パーセンタイル値を参考値として示した。

本研究の対象者は性・年代別にみると100人前後で, 対象者の抽出は無作為には行われていなか

った。日本人の体力の標準値やその評価基準を決定するには、さらに対象者数を増やし、その偏りをより少なくし、統一プロトコールによる共同研究が必要と考えられる。

本研究は平成5年度老人保健健康増進等事業として行われた。本研究を企画された健康保険組合連合会および健康・体力づくり事業財団の関係者と検討委員の方々に深謝すると共に、本研究において測定の実施にご協力いただいた各施設のスタッフに謝意を表す。

(受付 '98. 6.22)  
(採用 '99. 2.15)

## 文 献

- 1) 市原義雄, 安野尚史, 大熊 攻, 他. 中高年の Aerobic power と冠動脈疾患危険因子との関連. 日健診誌 1994; 21: 110-117.
- 2) Blair SN, Kohl HW, Paffenbarger RS, et al. Physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of health men and women. J.A.M.A. 1989; 262(17): 2395-2401.
- 3) Wolfson L, et al. Strength is a major factor in balance, gait, and the occurrence of falls. J. Gerontol. Series A. 1995; 50A: 64-67.
- 4) 田畑 泉. 健康に関連する体力. 体育の科学. 1997; 47: 852-857.
- 5) 日本循環器学会・運動に関する診療基準委員会. 日本人の運動時呼吸循環指標の標準値. Jpn. Circ. J. 1992; 56: 1514-1523.
- 6) 三浦孝仁. 日本人の換気性閾値—健康づくりの運動処方指標として—. 日本公衛誌 1995; 43: 220-230.
- 7) 平野裕一, 野口秋実, 宮下充正. 加齢にともなう脚伸展パワー値の変化とその評価. 体力科学 1994; 43: 113-120.
- 8) 田村真一. 一般成人における自転車エルゴメーターを負荷法とした換気閾値と最大有酸素性パワーの年齢別標準値. 体育科学 1997; 25: 150-159.
- 9) Wasserman K. The anaerobic threshold measurement to evaluate exercise performance. Am. Rev. Respir. Dis. 1984; 129: suppl S35-S40.
- 10) Beaver WL, Wasserman K, Whipp RJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. J. Appl. Physiol. 1986; 60(6): 2020-2071.
- 11) 厚生省保健医療局健康増進栄養課監修. 国民栄養の現状—平成5年国民栄養調査成績—. 東京: 第1出版, 1995; 146.
- 12) 愛知県総合保健センター. 愛知県総合保健センター年報. 1994; 23: 34-35.
- 13) Meyer K, Hajric R, Samek L, et al. Cardiopulmonary Exercise Capacity in Healthy Normal of Different Age. Cardiology 1994; 85: 341-351.
- 14) Coggan AR, Kohrt WM, Spina RJ, et al. Plasma glucose kinetics during exercise in subjects with high and low lactate thresholds. J. Appl. Physiol. 1992; 73(5): 1873-1880.
- 15) Toth MJ, Goran MI, Ades PA, et al. Examination of data normalization procedures for expression peak  $\dot{V}O_2$  data. J. Appl. Physiol. 1993; 75(5): 2288-2292.
- 16) Rowell LB. Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. 1974. Physiol. Rev. 54: 75-103.
- 17) Mutton DL, Loy SF, Rogers DM, et al. Effect of run vs combined cycle/run training on  $\dot{V}O_{2max}$  and running performance. Med. Sci. Sports Exerc. 1993; 25: 1393-1397.
- 18) Buchner DM, Gress ME, Lateur BJ, et al. The effect of strength and endurance training on gait, balance, fall risk, and health services use in community-living older adults. 1997; J. Gerontol. Med. Sci. 52A(4): M218-M224.
- 19) Davis JA, Frank MH, Whipp BJ, et al. Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. J. Appl. Physiol. 1979; 46(6): 1039-1046.
- 20) Poole DC, Gaesser GA. Response of ventilatory and lactate thresholds to continuous and interval training. 1985; J. Appl. Physiol. 58(4): 1115-1121.
- 21) Posner JD, Gorman KM, Klein HS, et al. Ventilatory threshold: measurement and variation with age. J. Appl. Physiol. 1987; 63(4): 1519-1525.

## PEAK OXYGEN UPTAKE, VENTILATORY THRESHOLD AND LEG EXTENSION POWER IN APPARENTLY HEALTHY JAPANESE

Toshiki OHTA\*, Jianguo ZHANG\*, Kazuko ISHIKAWA\*,  
Izumi TABATA\*, Yutaka YOSHITAKE\*, Mitsumasa MIYASHITA<sup>2\*</sup>

**Key words:** Peak oxygen uptake, Ventilatory threshold, Leg extension power, Apparently healthy Japanese

Peak oxygen uptake, ventilatory threshold (VT) and leg extension power were measured in 832 apparently healthy subjects (421 males, 411 females) aged 30~60 decades who performed medical examination at 4 health check up facilities.

1) Peak oxygen uptake was greater in male than female, and decreased with age in both sexes. Single regression formula on age were  $Y$  (ml/kg/min) =  $46.6 - 0.36 \times \text{AGE}$ , ( $r=0.447$ ,  $p<0.001$ ) in male and  $Y$  (ml/kg/min) =  $35.3 - 0.23 \times \text{AGE}$ , ( $r=0.407$ ,  $p<0.001$ ) in female.

2) VT was greater in male than female, and less decreased with age compared to maximal aerobic power. Single regression formula on age were  $Y$  (ml/kg/min) =  $22.6 - 0.13 \times \text{AGE}$ , ( $r=0.371$ ,  $p<0.001$ ) in male,  $Y$  (ml/kg/min) =  $20.0 - 0.10 \times \text{AGE}$ , ( $r=0.301$ ,  $p<0.001$ ) in female.

3) Leg extension power was greater in male than female, and decreased with age in both sexes. Single regression formula on age were  $Y$  (W/kg) =  $31.9 - 0.27 \times \text{AGE}$ , ( $r=0.539$ ,  $p<0.001$ ) in male and  $Y$  (W/kg) =  $20.9 - 0.18 \times \text{AGE}$ , ( $r=0.510$ ,  $p<0.001$ ) in female.

Subjects in the present study showed height, weight and walk steps per day similar to those in National Nutrition Survey. Comparison of Peak oxygen uptake, ventilatory threshold and leg extensor power to previous studies revealed that these parameters were quite similar to the counterparts in the previous studies with less selection bias.

It was suggested that subjects in this study were quite similar to normal Japanese population, and that Peak oxygen uptake, VT and leg extension power in the present study were of value for the evaluation of health related fitness in community and workplace.

---

\* The National Institute of Health and Nutrition

<sup>2\*</sup> Toyo Eiwa Women's University