

## 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

マツバラ タケシ ヤナガワ マミ ヤマグチ ヤスヨ  
 松原 建史\*,2\* 柳川 真美\*,2\* 山口 靖子\*,2\*  
 オオトウ ナオコ シンドウ ムネヒロ コイケ ジョウジ  
 大藤 直子\*,4\* 進藤 宗洋<sup>3\*</sup> 小池 城司\*,4\*,5\*

**目的** 本研究は、一般日本人成人における二重積屈曲点 (以下, DPBP; double product break point) 相当の代謝当量 (単位は METs) から評価した最大下有酸素性作業能力レベルを調べ、安全かつ効果的に行える平均的な運動強度を明らかにすることを目的とした。

**方法** DPBP による運動処方コースを受診した438人 (男性123人, 平均年齢 $53.5 \pm 17.0$ 歳, 女性315人,  $52.8 \pm 12.5$ 歳) を本研究の対象とした。DPBP の測定は自転車エルゴメータによる漸増運動負荷試験を行い、運動負荷試験中の心拍数と収縮期血圧の積である二重積 (DP) が、仕事率の増加に伴い急増する点を DPBP とした。

**結果** DPBP 相当の代謝当量は男性と女性で、それぞれ $5.3 \pm 0.9$  METs と $4.9 \pm 0.7$  METs であり、研究対象者のうち87.2%が6 METs を下回っていた。

**結論** 本研究により一般日本人成人では、中等強度であっても階段上がり (8 METs) など種類によっては健康づくりとしては不適當な運動になることが示唆された。心疾患のリスクが疑われる者などに、健康づくりを目的とした運動の強度を設定する際は、6 METs を上限強度とし、運動時 HR や自覚的運動強度 (RPE; ratings of perceived exertion) も目安に総合的な判断が必要であると考えられた。

**Key words** : 二重積屈曲点, 代謝当量, 最大下有酸素性作業能力, 健康づくり

### I 緒 言

生活習慣病の予防と改善を目的に「健康づくりのための運動指針2006 (以下, エクササイズガイド)」が厚生労働省から発表され、活発な身体活動と運動の習慣化に向けた取り組みが国を挙げて推し進められている<sup>1)</sup>。エクササイズガイドではこれまでの計画的・意図的に実施する運動に加えて、日常の身体活動量を高めることに重点が置かれている点が大きな特徴で、3 METs 以上の中等強度以上の身体活動と運動が推奨されており、その例として3 METs の“普通歩行”から15 METs の“ランニングでの階段上がり”までが紹介されている。エクササイズガイドでも体力には個人差があり、それによって適正な

運動強度が異なるため、健康であっても歩行より強い運動を開始する際は注意するよう促されているが、健康づくり運動の現場では、その点についての認識が十分ではなく、対象者に対して一律に3 METs 以上の身体活動を推奨している場合もある。仮に7 METs の“ランニング”や8 METs の“階段上がり”の運動を一律に推奨した場合、体力レベルが低い者にとっては相対的に高強度の運動になってしまい、運動実施に際して危険を伴うこともある。

そこで、運動の安全性を確保するために、対象者の身体条件を考慮したテーラーメイド的な運動様式、強度および時間を設定することが必要になってくる。とくに低体力者や有患者は運動実施に対する自由度 (運動の有効限界と安全限界の幅) が狭く、過負荷にならないようにしなければならないため<sup>2)</sup>、対象者の身体条件を把握する目的で診察と種々の体力測定を実施するのが望ましい<sup>2,3)</sup>。しかしながら、多人数を対象とするポピュレーションアプローチによる運動指導では、必須項目としてこれらを実施するのは困難なことも事実である。以上のことから、安全かつ効果的な運動強度として認められ

\* 福岡市健康づくりセンター

2\* 株式会社健康科学研究所

3\* 福岡大学スポーツ科学部運動生理学研究室

4\* 財団法人福岡市健康づくり財団

5\* 九州大学大学院医学研究院循環器内科学

連絡先: 〒810-0073 福岡市中央区舞鶴2丁目5番1号あいでふ4階

福岡市健康づくりセンター 小池城司

ている相対的な最大下有酸素性作業能力レベル（嫌気性代謝の亢進がなく、疲労困憊を伴わないで実施できる有酸素性作業能力の程度を指す）が、一般的な成人でどの程度なのかを明らかにすることは、健康づくり運動を指導する際の重要な基礎情報になると考えた。

相対的な最大下有酸素性作業能力を評価できる有効な方法として、二重積屈曲点（以下、DPBP; double product break point）が田中らにより報告されている<sup>4,5)</sup>。DPBPとは運動負荷試験中の心拍数（以下、HR; heart rate）と収縮期血圧（以下、SBP; systolic blood pressure）の二重積（以下、DP; double product）における屈曲点であり、運動強度の増加に伴う生体反応において、血中乳酸濃度が急増する乳酸閾値（以下、LT; lactate threshold）<sup>4,5)</sup>や、酸素摂取量よりも二酸化炭素排出量が上回る換気閾値（以下、VT; Ventilatory threshold）<sup>6,7)</sup>に近似して出現することが明らかにされている。そして、DPBPを超えた運動強度では交感神経の活動が高まり、生体に対する負担が大きくなるため<sup>8,9)</sup>、DPBP相当の運動強度は事故や障害を起こすことなく運動が実施できる安全限界の一つと考えられる。また、DPBPが近似するLT強度での運動により、降圧効果<sup>10)</sup>、糖代謝<sup>11)</sup>や脂質代謝<sup>12)</sup>の改善などが認められていることから、良好な運動適応を引き起こす有効限界の一つとも考えられ、DPBPは健康づくり運動の条件である安全性と有効性を満たした強度と言える。

そこで本研究では、10歳代～80歳代までの日本人における相対的な最大下有酸素性作業能力レベルをDPBP相当の代謝当量（単位はMETs）により評価し、一般的な成人が安全かつ効果的に運動が行える平均的な運動強度を明らかにすることを目的とした。

## Ⅱ 方 法

### 1. 対象者

平成18年7月から平成22年3月に、当センターのDPBPによる運動処方コースに自主的に参加し、当日の診察で運動実施に支障がないと判断された573人のうち、運動に対する血圧や心拍数の反応に影響を及ぼす降圧薬を服用している94人とDPBP測定において屈曲点の判別ができなかった41人を除いた男性123人、女性315人の計438人（年齢幅；19～86歳）を本研究の対象とした（表1）。

全ての対象者へはコース受診受付時に、測定の方法と求められた測定値を研究目的で使用することを口頭で説明し、文書にて同意を得た。また、本研究は福岡市健康づくり研究委員会の承認を得て実施

表1 対象者の特性

| 項目                      | 男性（123人）   | 女性（315人）   |
|-------------------------|------------|------------|
| 年齢（歳）                   | 52.4±16.8  | 52.6±12.4  |
| 29歳以下（人）                | 15         | 19         |
| 30歳代（人）                 | 17         | 27         |
| 40歳代（人）                 | 15         | 65         |
| 50歳代（人）                 | 20         | 103        |
| 60歳代（人）                 | 40         | 85         |
| 70歳以上（人）                | 16         | 16         |
| 身長（cm）                  | 168.0±6.6  | 155.9±6.0  |
| 体重（kg）                  | 67.2±10.0  | 55.8±9.4   |
| BMI（kg/m <sup>2</sup> ） | 23.8±2.7   | 22.9±3.5   |
| 腹囲；臍（cm）                | 84.8±7.7   | 82.9±9.6   |
| SBP（mmHg）               | 123.7±14.2 | 119.4±17.0 |
| DBP（mmHg）               | 74.6±8.9   | 73.2±10.0  |

データは平均値±標準偏差で示した。

BMI, body mass index; SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure

した。

### 2. 形態・安静時血圧測定

形態指標として、デジタル身長計（DNS-90, KDS）を用いて0.1 cm単位で身長を、体重計（TBF-641, タニタ）を用いて0.1 kg単位で体重の測定を行った。また、求めた体重（kg）を身長（m）の2乗で除することによりbody mass index（BMI）を算出した。腹囲（へそ囲）はメタボリックシンドローム診断基準に基づき、立位、軽呼吸時に臍の高さで非伸縮性のメジャーを用いて、0.1 cm単位で測定した。

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回の測定値の平均を用いた。

### 3. 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。運動様式は自転車エルゴメータとし、自転車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た。運動負荷の漸増方法は、最初10 wattsで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 watts/分～20 watts/分で個別に設定した。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。そしてSBPとHRから自動計算されたDPと仕事率との関係をモニター画面上で確認しながら、仕事率の増加に伴い

DPの増加が急増する屈曲点であるDPBPが目視にて確認されてから、最低でも5つのDPデータがとれた後(所要時間としては約3分)、または主観的尺度(Borg指数)が17の“かなりきつい”に達した時点で、Ramp負荷を終了した。

DPBPの決定では、Ramp負荷時の仕事率(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の判別不能と判断した。

そして、研究対象者537人のうち、DPBPを判別できなかった者は41人であり、その理由と内訳は、DPBPを求めた際の2つの回帰直線で、仕事率が低いプロット群の傾きに対して、仕事率が高いプロット群の傾きの増加率が10%未満であった者が29人(傾きの平均:  $-62.0 \pm 160.3\%$ , 幅:  $-873.3 \sim 6.0\%$ )、求められた2つの回帰直線の交点が外挿になった者が8人、仕事率の増加に伴うSBPの値に直線性を全く認めなかったため、DPの値が大きく変動した者が4人であった。

#### 4. DPBP相当の代謝当量の算出

求められたDPBP相当の仕事率と体重から、アメリカスポーツ医学会・運動処方指針の代謝計算式<sup>13)</sup>を用いて酸素摂取量(以下、 $\dot{V}O_2$ )を算出し、代謝当量へ換算した。なお、ペダル回転数は50回転/分として計算した。

代謝計算式:  $\dot{V}O_2(\text{ml/kg/分}) = 1.8 \times \text{仕事率}(\text{kg} \cdot \text{m/分}) / \text{体重}(\text{kg}) + 3.5(\text{ml/kg/分}) + 3.5(\text{ml/kg/分})$

なお、この代謝計算式は定常状態に達した酸素摂取量の推定式であり、定常状態に達する前に仕事率が連続的に高くなるRamp負荷時の仕事率に対する酸素摂取量は過大評価となることから、本研究で求められたDPBP相当の代謝当量も過大評価になっている可能性が高い。

#### 5. DPBP相当のHRの算出

Ramp負荷時のDPBP以下の仕事率(独立変数)とHR(従属変数)の一次回帰式にDPBP相当の

仕事率を代入し、DPBP相当のHRを算出した。

#### 6. 統計処理

データは平均値±標準偏差で示した。統計処理として、2群における有意差検定には対応のないt検定を用い、年齢階級間の有意差検定には一元配置分散分析を用いた。全ての検定処理はSPSS(15.0J)で行い、P値5%未満をもって統計学的に有意と判定した。

### III 結 果

DPBP相当の仕事率と代謝当量は男性が $69.4 \pm 18.4$  wattsと $5.3 \pm 0.9$  METs、女性が $51.4 \pm 12.1$  wattsと $4.9 \pm 0.7$  METsで男女間に有意差を認めた(それぞれ、 $P < 0.001$ )。

DPBP相当の代謝当量から評価した相対的な最大下有酸素性作業能力の1 METs階級ごとの男女別の人数分布では、6 METs未満の者が男女合わせて全体の87.2%(382人/438人)であった(表2)。

Ramp負荷の漸増幅は、対象者の年齢を考慮して決定したため、同性の年齢階級間で有意差を認めた(男女とも $P < 0.001$ )。DPBP相当の代謝当量にも同性の年齢階級間に有意差を認め(男女とも $P < 0.001$ )、若年齢階級層ほど高値を示していた。但し、これはRamp負荷の漸増幅が影響している可能性が高いことから、同性の年齢階級間におけるDPBP相当の代謝当量の差について、Ramp負荷の漸増幅を調整因子に加えて、一元配置共分散分析を行った。その結果、同性の年齢階級間でDPBP相当の代謝当量に有意差を認めなくなった。そして、Ramp負荷の漸増幅を調整因子に加えた平均値は全ての性・年齢階級において6 METsを下回っていた(表3)。

DPBP相当のHRは、全対象者の中央値が103拍/分、25パーセント点と75パーセント点は、それぞれ94拍/分と111拍/分であった。各年齢階級の中央値と25パーセント点、75パーセント点については表4に示した。

### IV 考 察

本研究により、降圧薬を服用していない日本人の一般成人(年齢幅: 19~86歳)におけるDPBP相当の代謝当量から評価した相対的な最大下有酸素性作業能力レベルは、6 METs未満の者が全体の87.2%と大多数を占めていることが明らかになった。つまり、“ジョギング(7 METs)”や“階段上がり(8 METs)”のような身体活動・運動は、多くの者にとってDPBP以上の高強度の運動に相当することになる。エクササイズガイドでも階段上がり

表2 DPBP から評価した最大下有酸素性作業能力の代謝当量階級の人数分布

| 代謝当量階級   | 日常身体活動様式      | 男性<br>人数 (%) | 女性<br>人数 (%) | 全体<br>人数 (%) |
|----------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| 3METs 台  | 普通歩行          | 0( 0.0)      | 26( 8.3)     | 26( 5.9)     |
| 4METs 台  | 速歩            | 49( 39.8)    | 139( 44.1)   | 188( 42.9)   |
| 5METs 台  | 活発に子供と遊ぶ      | 51( 41.5)    | 117( 37.1)   | 168( 38.4)   |
| 6METs 台  |               | 15( 12.2)    | 33( 10.5)    | 48( 11.0)    |
| 7METs 台  | 家具・家財道具の移動・運搬 | 7( 5.7)      | 0( 0.0)      | 7( 1.6)      |
| 8METs 台  | 階段を上がる        | 0( 0.0)      | 0( 0.0)      | 0( 0.0)      |
| 9METs 以上 |               | 1( 0.8)      | 0( 0.0)      | 1( 0.2)      |
| 計        |               | 123(100.0)   | 315(100.0)   | 438(100.0)   |

DPBP, double product break point

注：本研究で用いた代謝計算式は定常状態に達した酸素摂取量の推定式で、定常状態に達する前に仕事率が連続的に高くなる Ramp 負荷試験時の仕事率に対する酸素摂取量は過大評価してしまうため、求められた DPBP 相当の代謝当量も過大評価している可能性が高い。

表3 年齢階級別の Ramp 負荷漸増幅と DPBP 相当の代謝当量の比較

|       | Ramp 負荷漸増幅<br>(watts/分) |          | DPBP 相当の代謝当量<br>(METs) |         | 調整 DPBP 相当の代謝当量 <sup>†</sup><br>(METs) |         |
|-------|-------------------------|----------|------------------------|---------|--|---------|
|       | 男性                      | 女性       | 男性                     | 女性      | 男性                                     | 女性      |
| 全体    | 13.6±3.5                | 10.3±1.8 | 5.3±0.9                | 4.9±0.7 |  |         |
| 29歳以下 | 18.8±2.4                | 13.7±1.9 | 6.2±1.3                | 5.6±0.6 | 5.8±0.3                                | 5.3±0.2 |
| 30歳代  | 15.7±2.3                | 11.4±1.5 | 5.4±0.9                | 5.1±0.8 | 5.3±0.2                                | 5.0±0.1 |
| 40歳代  | 14.7±2.6                | 11.0±1.4 | 5.2±0.6                | 5.0±0.7 | 5.1±0.2                                | 4.9±0.1 |
| 50歳代  | 14.1±3.1                | 10.0±1.3 | 5.2±0.7                | 4.9±0.6 | 5.2±0.2                                | 4.9±0.1 |
| 60歳代  | 11.6±1.5                | 9.3±1.3  | 5.1±0.7                | 4.9±0.8 | 5.3±0.1                                | 5.0±0.1 |
| 70歳以上 | 9.8±1.6                 | 7.9±1.3  | 4.8±0.5                | 4.5±0.8 | 5.1±0.2                                | 4.7±0.2 |
| P 値   | <0.001                  | <0.001   | <0.001                 | <0.001  | ns                                     | ns      |

データは平均値±標準偏差で示した。BMI body mass index。P 値 年齢階級間の比較

<sup>†</sup> Ramp 負荷漸増幅を調整した上で、各年齢階級における DPBP 相当の代謝当量の平均値±標準誤差と P 値を求めた。  
注：本研究で用いた代謝計算式は定常状態に達した酸素摂取量の推定式で、定常状態に達する前に仕事率が連続的に高くなる Ramp 負荷試験時の仕事率に対する酸素摂取量は過大評価してしまうため、求められた DPBP 相当の代謝当量も過大評価している可能性が高い。

表4 各年齢階級における DPBP 相当の HR の中央値、25パーセント点と75パーセント点

|       | 中央値 | [25%, 75%] |
|-------|-----|------------|
| 全体    | 103 | [ 94, 111] |
| 29歳以下 | 107 | [103, 114] |
| 30歳代  | 104 | [ 98, 112] |
| 40歳代  | 106 | [ 98, 114] |
| 50歳代  | 104 | [ 94, 112] |
| 60歳代  | 99  | [ 91, 108] |
| 70歳以上 | 98  | [ 91, 104] |

単位は拍/分

は下肢筋力を向上させる方法として紹介されているように、たとえば、ビルの1階から10階まで休息を挟まずに上がり続けるような運動を行う場合は注意が必要であることが明らかになった。また、代謝当量の算出に用いた代謝計算式<sup>13)</sup>は、定常状態に達した酸素摂取量の推定式であることから、Ramp 負荷から求めた本研究の DPBP 相当の代謝当量は過大評価になっている可能性が高い。さらに、本研究の対象は自主的に DPBP 測定コースを受診した者で、無作為抽出ではない。このため、比較的健康意識と体力レベルが高い集団を対象にしていると推察された。以上のことから、相対的な最大下有酸素性作業能力レベルが 6 METs 未満の者の割合は、実際にはさらに多い可能性もあり、健康づくりの運動を指導する際は、このことを考慮に入れておく必要が

ある。

体重や体脂肪量を減少させるために、エネルギー出納バランスにおける消費エネルギーを大きくするという観点だけからすると、対象者の体力レベルに関係なく、絶対的な運動強度を推奨しても問題はない。実際に、有酸素性運動による減量効果について検討した報告では、体重と体脂肪量の変化に実施した運動強度は関係がなく、運動量に依存して減少することが明らかにされている<sup>16,17)</sup>。

しかし、健康づくり運動では安全性の確保が必須であり<sup>4)</sup>、DPBPよりも高い強度の運動や身体活動の実施には注意を払う必要がある。DPBPとLT<sup>4,5)</sup>、LTとカテコラミン閾値<sup>18,19)</sup>は近似して出現することが確認されており、DPBPよりも高い運動強度では交感神経活動が亢進した状態と考えられている<sup>4)</sup>。そして、運動がLTやDPBPよりも高い強度に達すると、血圧の急上昇や<sup>20)</sup>運動誘発性心筋虚血の心電図を呈する狭心症患者ではSTレベルの低下が報告されている<sup>9)</sup>。このようなことから、心疾患の無いことが分かっているリスクの低い者には、DPBPよりも高い強度の運動を制限する必要はないものの、メタボリックシンドローム該当者のように何かしらのリスクを有している可能性が高い場合は、DPBP相当の代謝当量は大多数の者で6 METs未満ということを念頭に置いた指導が必要と考えられた。アメリカスポーツ医学会<sup>21,22)</sup>や国際肥満会議<sup>23)</sup>が推奨している身体活動強度の上限強度も6 METs(下限強度は3 METs)であり、これらの運動指針は、本研究結果を支持するものと考えられた。

DPBP相当の代謝当量は同性の年齢階級間で差を認め、最大下有酸素性作業能力も最大酸素摂取量<sup>24~26)</sup>や他の体力要素<sup>27)</sup>と同様に、加齢とともに低下することが示唆された。しかし、本研究境界の一つでもあるが、Ramp負荷の漸増幅を若年齢階級ほど大きく設定しており、それが原因で若年齢階級ほどDPBP相当の代謝当量を過大評価している可能性が高い。そこで、Ramp負荷の漸増幅を調整因子に加えて、再度、共分散分析により各年齢階級におけるDPBP相当の代謝当量の差について解析したところ、有意差を認めなくなった。このことから、若年齢階級ほどDPBP相当の代謝当量を過大評価している可能性が示唆され、調整後のDPBP相当の代謝当量の平均値は、全ての年齢階級で3~6 METsの範囲内であった。

本研究結果から健康づくり運動では、身体活動の上限強度の目安を6 METsにすることが妥当と考えられたものの、これだけで安全性を確保することはできない。そこで、代謝当量の絶対的な指標に加え

て、運動時HRや自覚的運動強度(以下、RPE; ratings of perceived exertion)<sup>28)</sup>などの相対的な指標も目安にしながら、複合的に運動強度の調節を行う必要がある<sup>29)</sup>。健康づくりに有効な運動時HRに関しては、50%  $\dot{V}O_2\max$ 相当のHRを年齢から推定する式;  $138 - \text{年齢}/2$ <sup>30)</sup>やKarvonenの予備心拍数<sup>31)</sup>などがある。我々は先の報告で、一般健常者において $138 - \text{年齢}/2$ で求めたHRとDPBP相当のHRとの差が±10%以内の者は全体の68%を占め、 $138 - \text{年齢}/2$ から求めたHRが健康づくり運動の指導に有効であることを明らかにした<sup>32)</sup>。さらに、本研究でも各年齢階級におけるDPBP相当のHRの75パーセント点が明らかにしており、運動強度の設定を行う際の上限強度の目安として用いることができると考えられた。また、RPEに関しては、長距離ランナーや運動習慣のない者でも、LTに相当するRPEが平均値では約13であることや<sup>33)</sup>、運動習慣のある高齢者のVT相当のRPEは、男性で $12.4 \pm 0.9$ 、女性で $12.7 \pm 1.3$ であったことが報告されており<sup>34)</sup>、健康づくり運動ではRPEが13になるように運動強度を調節することも有効な方法の一つと考えられた。

先に述べた以外の本研究の限界として、対象者は40歳以上の者が83%と大半を占めており、Ramp負荷の漸増幅の問題と併せて、若年齢層を正しく評価できていない可能性が高いことが挙げられる。今後はさらに分析を進めて、これらの点を検討していく必要がある。

## V 結 語

降圧薬を服用していない日本人の一般成人では、DPBP相当の代謝当量が6 METsを下回っている者が、大多数を占めていることが明らかになった。このため、健康づくり運動では、運動実施に当たり何かしらのリスクを疑った方が望ましい者に対しては、安全性を確保できる運動の上限強度として6 METsを一つの目安とし、これに加えて運動時のHRやRPEを考慮した指導が必要と考えられた。

本研究は平成19~21年度厚生労働科学研究費補助金(循環器疾患等生活習慣病対策総合研究事業)の助成を受け、地域・職域における生活習慣病予防活動・疾病管理による医療費適正化に関する研究(主任研究者:津下一代)の一部として実施した。

(受付 2010. 4.19)  
(採用 2010.12. 9)

## 文 献

- 1) 厚生労働省. 健康づくりのための運動指針2006 (エクササイズガイド2006). 2006.
- 2) 池上晴夫. 運動処方の実際: 適正運動量はこうして決める. 東京: 大修館書店, 1987.
- 3) 進藤宗洋, 松原建史. 運動処方. 中野昭一, 監修. スポーツ医科学. 東京: 杏林書院, 1999; 489-503.
- 4) 田中宏暁, 清永 明, 鍵村昌範, 他. 多段階運動負荷時の二重積の屈曲点 (DPBP) と乳酸閾値 (LT) の関係. 呼と循 1995; 43: 495-499.
- 5) Tanaka H, Kiyonaga A, Terao Y, et al. Double product response is accelerated above the blood lactate threshold. *Med Sci Sports Exerc* 1997; 29: 503-508.
- 6) Riley M, Maehara K, Pórszász J, et al. Association between the anaerobic threshold and the break-point in the double product/work rate relationship. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1997; 75: 14-21.
- 7) Brubaker PH, Kiyonaga A, Matrazzo B, et al. Identification of the anaerobic threshold using double product in patients with coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1997; 79: 360-362.
- 8) Brubaker PH, Fox JL, Warner JG, et al. Double product break point and ischemia threshold during exercise testing: are they related? *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31: S252.
- 9) 熊原秀晃, 八尋拓也, 音成道彦, 他. 二重積屈曲点運動負荷強度の判定の安全性の検討. 体力科学 2003; 52: 177-184.
- 10) Kiyonaga A, Arakawa K, Tanaka H, et al. Blood pressure and hormonal responses to aerobic exercise. *Hypertension* 1985; 7: 125-131.
- 11) Sakamoto M, Higaki Y, Nishida Y, et al. Influence of mild exercise at the lactate threshold on glucose effectiveness. *J Appl Physiol* 1999; 87: 2305-2310.
- 12) Sasaki J, Shindo M, Tanaka H, et al. A long-term aerobic exercise program decreases the obesity index and increases the high density lipoprotein cholesterol concentration in obese children. *Int J Obes* 1987; 11: 339-345.
- 13) アメリカスポーツ医学会. 代謝計算. 運動処方の指針: 運動負荷試験と運動プログラム (原著第7版) [ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription] (日本体力医学会体力科学編集委員会, 監訳). 東京: 南江堂, 2006; 299-305.
- 14) Westerterp KR, Meijer EP. Physical activity and parameters of aging: a physiological perspective. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2001; 56: 7-12.
- 15) Johannsen DL, DeLany JP, Frisard MI, et al. Physical activity in aging: comparison among young, aged, and nonagenarian individuals. *J Appl Physiol* 2008; 105: 495-501.
- 16) Jakicic JM, Marcus BH, Gallagher KI, et al. Effect of exercise duration and intensity on weight loss in overweight, sedentary women: a randomized trial. *JAMA* 2003; 290: 1323-1330.
- 17) Slentz CA, Duscha BD, Johnson JL, et al. Effects of the amount of exercise on body weight, body composition, and measures of central obesity. *Arch Intern Med* 2004; 164: 31-39.
- 18) Mazzeo RS, Marshall P. Influence of plasma catecholamines on the lactate threshold during graded exercise. *J Appl Physiol* 1989; 67: 1319-1322.
- 19) Hughson P, Green HJ, Sharratt MT. Gas exchange, blood lactate, and plasma catecholamines during incremental exercise in hypoxia and normoxia. *J Appl Physiol* 1995; 79: 1134-1141.
- 20) Gleim GW, Zabetakis PM, DePasquale EE, et al. Plasma osmolarity, volume, and renin activity at the "anaerobic threshold". *J Appl Physiol* 1984; 56: 57-63.
- 21) Pate RR, Pratt M, Blair SN, et al. Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA* 1995; 273: 402-407.
- 22) Haskell WL, Lee IM, Pate RR, et al. 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* 2007; 39: 1423-1434.
- 23) Saris WH, Blair SN, van Baak MA, et al. How much physical activity is enough to prevent unhealthy weight gain? Outcome of the IASO 1st Stock Conference and consensus statement. *Obes Rev* 2003; 4: 101-114.
- 24) Stathokostas L, Jacob-Johnson S, Petrella RJ, et al. Longitudinal changes in aerobic power in older men and women. *J Appl Physiol* 2004; 97: 781-789.
- 25) Weiss EP, Spina RJ, Holloszy JO, et al. Gender differences in the decline in aerobic capacity and its physiological determinants during the later decades of life. *J Appl Physiol* 2006; 101: 938-944.
- 26) Lynch NA, Fleg JL, Hurley BF. Muscle quality. I. Age-associated differences between arm and leg muscle groups. *J Appl Physiol* 1999; 86: 188-194.
- 27) 松原建史, 柳川真美, 黒柳洋介, 他. 福岡市民の性別・年代別における身体機能レベルの実態と評価基準. 日本公衆衛生雑誌 2008; 55: 11-18.
- 28) Noble BJ, Borg GA, Jacobs I, et al. A category-ratio perceived exertion scale: relationship to blood and muscle lactates and heart rate. *Med Sci Sports Exerc* 1983; 15: 523-528.
- 29) 日本体力医学会体力科学編集委員会. 運動処方. アメリカスポーツ医学会, 編. 運動処方の指針: 運動負荷試験と運動プログラム (原著第7版). 東京: 南江堂, 2006; 134-178.
- 30) 進藤宗洋. 厚生省の「健康づくりのための運動所要量」について: 『身から錆を出さない, 出させない』暮らし方の原理の提案. 保健の科学 1990; 32: 139-156.
- 31) Karvonen M, Kentala K, Mustala O. The effects of training on heart rate: a longitudinal study. *Ann Med*

- Exp Biol Fenn 1957; 35: 307-315.
- 32) 松原建史, 柳川真美, 赤木ゆう子, 他. 二重積屈曲点に相当する心拍数と年齢から推定した最大酸素摂取量の50%に相当する心拍数の比較・検討. 体力科学 2010; 5: 513-520.
- 33) Demello JJ, Cureton KJ, Boineau RE, et al. Ratings of perceived exertion at lactate threshold in trained and untrained men and women. Med Sci Sports Exerc 1987; 19: 354-362.
- 34) Deruelle F, Nourry C, Mucci P, et al. Optimal exercise intensity in trained elderly men and women. Int J Sports Med 2007; 28: 612-616.
-

## Evaluation of sub-maximal aerobic capacity level determined by double product break point (DPBP) among Japanese adults

Takeshi MATSUBARA<sup>\*,2\*</sup>, Mami YANAGAWA<sup>\*,2\*</sup>, Yasuko YAMAGUCHI<sup>\*,2\*</sup>,  
Naoko OHTO<sup>\*,4\*</sup>, Munehiro SHINDO<sup>3\*</sup> and George KOIKE<sup>\*,4\*,5\*</sup>

**Key words** : double product break point, metabolic equivalent, sub-maximal aerobic capacity, health promotion

**Objectives** The purpose of this study was to determine sub-maximal aerobic capacity levels evaluated by metabolic equivalents (unit is METs) at the double product break point (DPBP) and elucidate the safe and effective average exercise intensity among Japanese adults.

**Methods** A total of 438 subjects (123 males and 315 females) who participated in the exercise prescription course with measurement of the DPBP during a continuous incremental exercise test with a bicycle ergometer were enrolled in this study. The DP (heart rate-systolic blood pressure product) featured rapid increase with increasing exercise load during the continuous incremental exercise test.

**Results** The metabolic equivalents at the DPBP level for males and females were  $5.3 \pm 0.9$  METs and  $4.9 \pm 0.7$  METs, respectively. Interestingly, the metabolic equivalent at the DPBP level in 87.2% of the study subjects was less than 6 METs.

**Conclusions** This study indicated that some physical activities above moderate intensity, such as the stair climbing (8 METs), might be inappropriate as health promotion exercises. Thus, the upper limit of exercise intensity for health promotion was 6 METs, especially if the subject was at cardiovascular risk. In addition, it was found necessary to make synthetic judgments in consideration of heart rate and rating of perceived exertion (RPE) during exercise.

---

\* Fukuoka Health Promotion Center

2\* Laboratory of Physical Science Inc.

3\* Fukuoka University, Faculty of Sport and Health Science

4\* Fukuoka Health Promotion Foundation

5\* Kyushu University Graduate School of Medical Sciences, Department of Cardiovascular Medicine