

日本人の換気性閾値

—健康づくりの運動処方指標として—

三浦 孝仁*

健康づくりを目的とした有酸素運動の運動処方の目安を作るために、日本人健康者610人（男性305人：45.1±15.8歳，女性305人：44.3±16.0歳）を対象とし、年代・男女別の換気性閾値（Ventilatory Threshold: VT）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。breath by breath法によりVTを測定し、これを指標として年齢・男女別に酸素運動の基準を作成した。

- 1) VT時の酸素摂取量(Y)は、年齢(X)の増加とともに低下し、男性では $Y=22.4-0.16X$ ($r=-0.626$, $p<0.001$)、女性では $Y=18.1-0.10X$ ($r=-0.578$, $p<0.001$)の単回帰式で近似された。
- 2) VTには性差があり、女性に比べ男性が有意 ($p<0.01$) に高値を示した。
- 3) VT時の仕事率も男性が有意 ($p<0.01$) に高値を示した。
- 4) VT時の心拍数には性差は認められず、30代では115拍/分、40代では110拍/分、50代では105拍/分、60代では100拍/分であった。
- 5) VT時の主観的運動強度 (Rating of Perceived Exertion: RPE) は年齢差や性差の影響を受けず、13程度であった。
- 6) 日常生活が可能なVTの最低水準は、3 METs程度であった。
- 7) 1日の平均歩数とVTには、有意な正の相関が得られた。

以上より、VT時の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$)、心拍数、仕事率は、年齢の増加にともない低下する。しかし心拍数においては男女差が無く、RPEには年齢差も性差もみられなかった。これらのことより健康づくりの運動処方では「RPE13」以下で、男女同一年齢であれば心拍数を基に、有酸素運動を実施することができる。

Key words : 換気性閾値, 主観的運動強度, 運動処方, 健康増進, 有酸素運動

I 緒 言

運動生理学者のÅstrandは、もともと人間の身体は石器時代の運動・身体活動に適するようにできている、と指摘している¹⁾。しかし、近代文明の急速な進歩がわずか半世紀の間に人々の生活様式や労働形態を一変させ、肥満、糖尿病、高血圧症などの「成人病」が増加し「運動不足病」といった言葉も生まれた²⁾。我が国でも、厚生省が「第四次改定日本人の栄養所要量」³⁾に加えて、「運動所要量」を指針として提示する時代である⁴⁾。これらの「成人病」の予防対策としての運動は持久性の有酸素運動が安全かつ有効であるといわれている^{2~5)}。

従来、有酸素能力の指標として、最大酸素摂取

量 ($\dot{V}O_{2max}$) が利用されてきた。しかし、 $\dot{V}O_{2max}$ の直接測定は被検者の最大努力を必要とするため、本人の意欲に左右され安定した値が得られにくいという欠点があり、正確な測定は困難である。さらに、中高年層では、呼吸循環器系に動脈硬化症など隠された異常や疾患を有している者も多く、最大運動負荷試験を実施することはリスクが高い⁶⁾。また、中年男性における $\dot{V}O_{2max}$ は必ずしも日常生活の身体活動様式を反映せず、各人の遺伝的要因により決定されるという報告もある⁷⁾。いずれにしても、中高年者に最大努力の運動を課すことには危険が大きい。そのため、一般的には年齢毎に最高心拍数 (HR_{max}) が推定され、さらに運動したときの心拍数の増加から推定された $\dot{V}O_{2max}$ の40%または50%に相当する心拍数を有酸素運動の強度の目安として設定されてきた^{3,8,9)}。

他方最近では、Wassermanら^{10,11)}により提唱さ

* 岡山大学教育学部
連絡先: 〒700 岡山市津島中3-1-1
岡山大学教育学部 三浦孝仁

れた無酸素性作業閾値 (Anaerobic Threshold:AT) の概念に基づく, 最大下運動で実測可能な換気性閾値 (Ventilatory Threshold: 以下 VT)^{12,13)}が, 有酸素運動の強度の指標として用いられるようになってきた。つまり, VTは最大強度の運動を課さずに有酸素能力を直接的に測定する方法といえる。しかしながら, VTの測定は高価な呼吸ガス分析機等設備を必要とし, 広い年齢層を測定した研究は, Posnerらの171人¹⁴⁾, 高橋¹⁵⁾, 三浦ら¹⁶⁾の49人, 田村らの213人¹⁷⁾と500人を越えるような多人数の測定を行った報告はない。

そこで, 今回は, 610人のVTを実測し, 男女, 年齢別に日本人健常者のVTの平均値を求め, 有酸素運動の目安を得るとともに日常生活の運動量との関連を調べることを目的とした。

II 研究方法

1. 対象

被検者は, 20歳から86歳までの日本人健常者610人である。このうち男性は305人, 年齢の平均と標準偏差は45.1±15.8歳で, 女性が305人, 年齢44.3±16.0歳である。被検者の内訳は表1に示した。身長・体重はともに平均的な日本人値であった¹⁸⁾。一般的な日本人の標準値を求めるため, 競技選手は除外した。

今回の被検者のうち, 喫煙習慣のある者は, 男性では59人 (20代:7人, 30代:13人, 40代:19人, 50代:15人, 60代:5人, 70代:0人, 80代:0人), 女性では11人 (20代:4人, 30代:4人, 40代:0人, 50代:1人, 60代:2人, 70代:0人, 80代:0人)であった。全体に対する割合は, 男

性が19%, 女性が4%であった。

2. 運動負荷試験

被検者には事前に実験の目的ならびに方法について同意を得た後, メディカル・チェックを実施した。運動負荷試験当日は, アルコール, タバコ, コーヒー, 紅茶, 喫食を禁じ, 食後3時間以上経過後に運動負荷試験を開始した。

運動負荷には, ロード社製の電気制御式自転車エルゴメーターを用い, 3分間の無負荷ペダリングの後ランプ負荷法により負荷漸増運動を行った。自転車の回転数は予備テストと先行研究をもとに, 女性が毎分50回転, 男性が60回転とした^{15,19)}。負荷漸増率は, 相対的負荷量がほぼ同量になるように, Jonesら²⁰⁾の方法により身長, 年齢, 体重から $\dot{V}O_2\max$ (ml/min.)を予測し, 10分間以内で最大値に達するよう1/10を乗じた値を毎分負荷量に見立て, 負荷漸増率を決定した。運動中は, 心電図, 心拍数を連続的に, 血圧を3分毎に測定した。

運動中の呼吸ガス諸変量の測定は, センサーメディクス社製MMC4400tcを用い, breath by breath法で行った。VTの判定は, 測定された呼吸ガス諸変量を15秒毎に積算し, Wasserman¹¹⁾, Davis²¹⁾の基準および Beaver¹²⁾らのV-slope法を用いて総合的に判定した。さらに, VT時の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$ at Ventilatory Threshold: 以下 VT と略す) は, ランプ負荷開始2分後からVT出現時点までの時系列に対する酸素摂取量の値を最小二乗法により直線回帰式に近似させた後, 再びVT出現時間を代入して求めた。

被検者の自覚的疲労度を知るために小野寺・宮

Tab. 1 Characteristics of subjects

Age (years)	Male					Female				
	Height (cm)		Weight (kg)		n	Height (cm)		Weight (kg)		
	n	mean	S.D.	mean		S.D.	n	mean	S.D.	mean
20-29	65	173.2	7.7	68.2	11.3	78	157.6	5.6	52.4	7.1
30-39	52	169.5	4.6	67.1	10.1	41	157.4	5.4	54.6	9.5
40-49	59	168.2	5.0	67.1	9.7	59	154.7	5.1	54.0	7.4
50-59	70	164.7	5.5	65.3	8.4	72	152.4	4.6	54.8	7.9
60-69	39	161.6	6.0	61.2	9.1	39	151.1	5.1	54.4	8.6
70-79	17	160.2	3.4	54.1	5.1	13	148.1	5.9	48.2	8.1
80-89	3	154.9	2.6	52.3	4.7	3	147.7	6.4	44.7	7.4

下²²⁾が日本語訳した主観的運動強度 (Rating of perceived exertion: RPE) の尺度を用い、運動中は1分毎に RPE 尺度を指し示すよう指示した。

3. 日常生活活動量の測定

日常の身体活動量を定量化するために、被検者のうち21歳から62歳までの女性60人 (平均年齢 32.3 ± 12.6 歳) に、YAMASA 社製の電子カロリー消費計 EC500 (万歩計) を装着させ活動量計測を行った。被検者に万歩計と記録用紙を配布し、使用説明を行った後、1日の装着・脱着時刻と歩数、行動等を記入させた。各々1週間の活動

量計測を行い、1日の平均歩数で示した。

被検者の年齢差を補正するため、305人の女性被検者の年齢と VT の回帰式 (図2) を用い、同一年齢の平均値に対する百分率 (%VT) を用いて評価した。

4. 統計処理

男女の年齢と VT 諸変量間の回帰式の差の検定は共分散分析により行った。年齢との回帰式が成立しなかった RPE については、一元配置分散分析により男女の差の検定を行った。喫煙の有無による差の検定は、independent t 検定を用いた。

Fig. 1 Ventilatory threshold related to age in males (n=305).

Regression of VT on age is described by the equation; $\dot{V}O_2$ at VT in males = $22.4 - 0.16$ age; $r = -0.626$, $p < 0.001$.

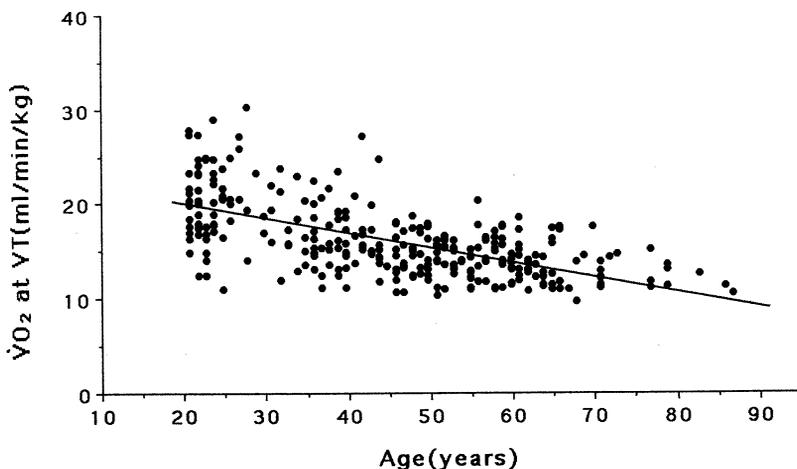
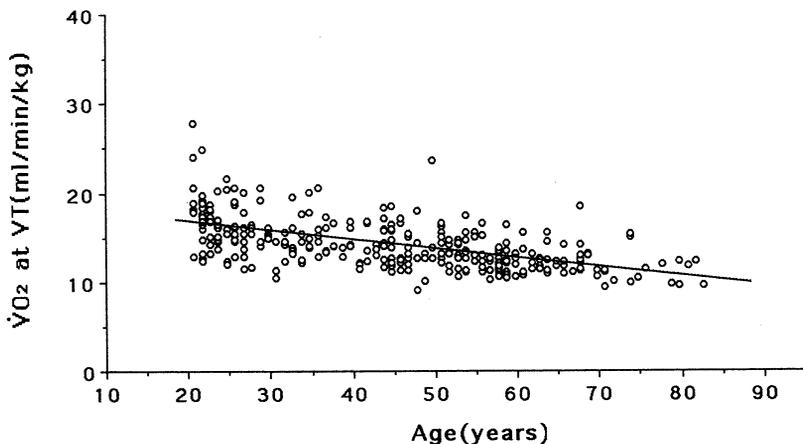


Fig. 2 Ventilatory threshold related to age in females (n=305).

Regression of VT on age is described by the equation; $\dot{V}O_2$ at VT in females = $18.1 - 0.10$ age; $r = -0.578$, $p < 0.001$.



Ⅲ 結 果

1. 換気性閾値と年齢

図1・図2は、男女別にVTと年齢の関係を示したものである。VT (Y) は年齢 (X) とともに低下し、男性では、 $Y=22.4-0.16X$ ($r=-0.626$, $p<0.001$), 女性では、 $Y=18.1-0.10X$ ($r=-0.578$, $p<0.001$) の一次回帰式が成立した。

性差を検討するためにVTと年齢の男女別の回帰式の差の検定の結果、1%水準 ($F=89.50$) で男性のVTと女性のVTには有意の差を認めた。

各年代のVTの平均値は、表2に示す通りである。これを安静時代謝 (3.5 ml/kg/min.) を基準としたMetabolic Equivalent (METs) 単位に換算すると、男性では20歳代が5.6 METs, 30歳

Tab. 2 Means of $\dot{V}O_2$ at VT according to age and sex

Age (years)	$\dot{V}O_2$ (ml/min/kg)	
	Male	Female
20~29	19.7±4.2	15.9±3.0
30~39	16.3±3.3	14.3±2.3
40~49	14.7±3.0	13.4±2.5
50~59	13.6±2.1	12.4±1.7
60~69	13.1±2.3	11.8±1.6
70~79	12.0±1.4	10.7±2.0
80~89	10.9±1.1	10.6±1.5

mean±S.D.

代が4.6 METs, 40歳代が4.2 METs, 50歳代が3.9 METs, 60歳代が3.7 METs, 70歳代が3.4 METs, 80歳代が3.1 METsであり、女性ではそれぞれ

Fig. 3 Heart rate at VT related to age in males (n=305).

Regression of VT on age is described by the equation; HR at VT in males = $124 - 0.36 \text{ age}$, $r = -0.519$, $p < 0.001$.

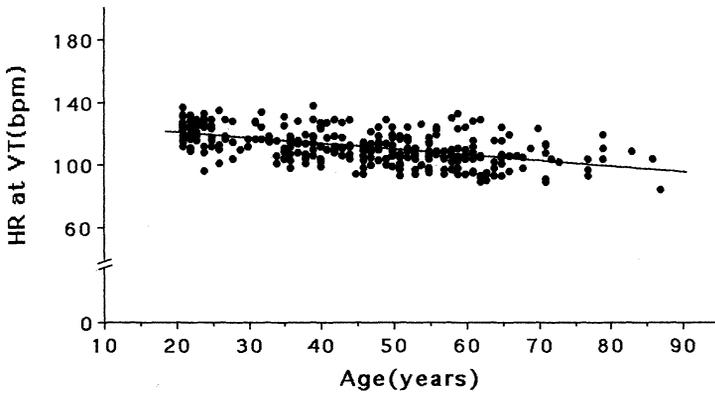
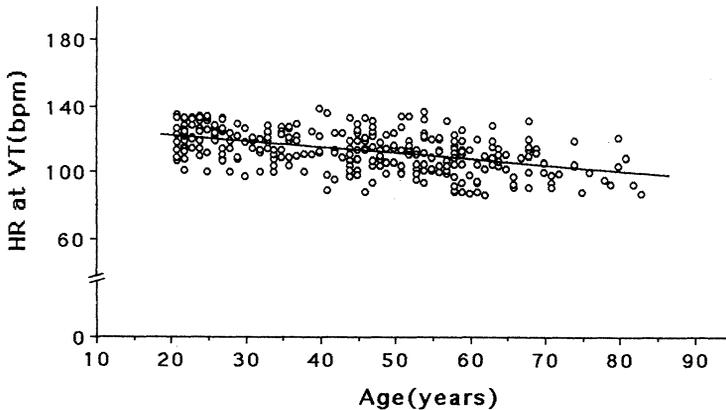


Fig. 4 Heart rate at VT related to age in females (n=305).

Regression of VT on age is described by the equation; HR at VT in females = $126 - 0.36 \text{ age}$; $r = -0.492$, $p < 0.001$.



4.5 METs, 4.1 METs, 3.8 METs, 3.5 METs, 3.4 METs, 3.1 METs, 3.0 METs であった。

本研究で得られた各年代の VT の最低値は、男性では9.1 ml/kg/min. から11.9 ml/kg/min. の範囲にあり、女性では8.4 ml/kg/min. から10.8 ml/kg/min. であった。年代をまとめて平均すると男性では、 10.2 ± 0.9 ml/kg/min., 女性では 9.5 ± 0.8 ml/kg/min. であり、2.7 METs から2.9 METs に相当した。

2. 換気性閾値と心拍数

図3・図4には、男女別に VT 時の心拍数 (Y) と年齢 (X) の関連を示した。VT 時の心拍数も、

男性では $Y = 124 - 0.36X$ ($r = -0.519$, $p < 0.001$), 女性では $Y = 126 - 0.37X$ ($r = -0.492$, $p < 0.001$) の回帰式が示された。回帰式の差の検定の結果、心拍数は VT と異なり男女に差 ($F = 3.38$) を認められなかった。VT 時心拍数の年齢別平均値は表3に示す通りである。

3. 換気性閾値と仕事率

図5・図6には、体重当たりの VT 時の仕事率 (WR/Wt) : (Y) と年齢 (X) の関連を示した。単回帰分析の結果、男性では $Y = 1.94 - 0.015X$ ($r = -0.649$, $p < 0.001$), 女性では $Y = 1.95 - 0.017X$ ($r = -0.686$, $p < 0.001$) の関係式が得られた。回

Fig. 5 WR/Wt at VT related to age in males (n=305).

Regression of VT on age is described by the equation; WR/Wt at VT in males = $1.94 - 0.015$ age; $r = -0.649$, $p < 0.001$.

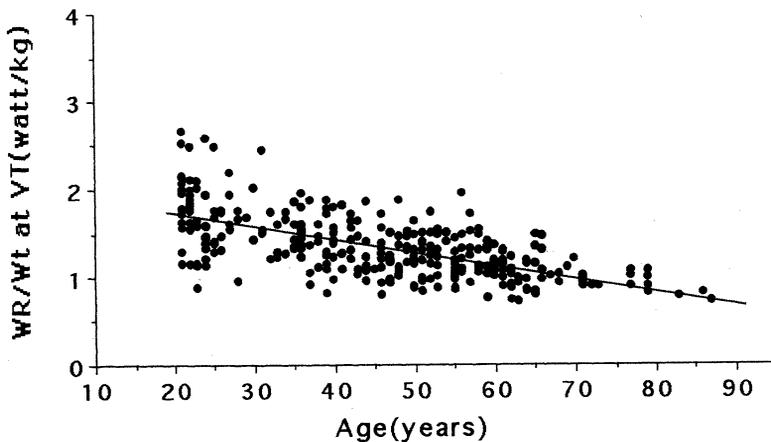
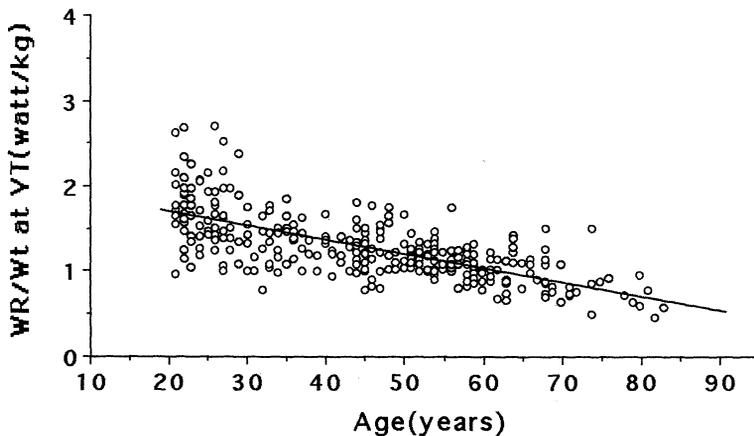


Fig. 6 WR/Wt at VT related to age in females (n=305).

Regression of VT on age is described by the equation; WR/Wt at VT in females = $1.95 - 0.017$ age; $r = -0.686$, $p < 0.001$.



Tab. 3 Means of HR at VT according to age and sex

Age (years)	HR (bpm)	
	Male	Female
20~29	117 ± 8.4	117 ± 9.0
30~39	111 ± 9.8	113 ± 8.8
40~49	107 ± 8.6	110 ± 11.3
50~59	104 ± 9.5	106 ± 11.6
60~69	101 ± 10.8	103 ± 11.9
70~79	99 ± 10.4	97 ± 9.8
80~89	95 ± 12.7	93 ± 11.0

mean ± S.D.

Tab. 4 Means of WR at VT according to age and sex

Age (years)	WR (watt)	
	Male	Female
20~29	109.2 ± 24.4	83.1 ± 18.0
30~39	91.7 ± 15.2	67.8 ± 11.7
40~49	80.3 ± 16.3	62.5 ± 11.2
50~59	74.5 ± 14.6	57.6 ± 9.6
60~69	60.6 ± 11.9	50.1 ± 11.9
70~79	47.7 ± 5.3	35.4 ± 11.2
80~89	36.7 ± 5.8	23.2 ± 5.8

mean ± S.D.

婦式の差の検定の結果では 5% 水準 ($F=8.97$) で、WR/Wt に男女差が認められた。各年齢別の平均値は表 4 に示す通りである。

絶対値で表わした VT 時の仕事率は、男性が $Y=134.3-1.15X$ ($r=-0.735, p<0.001$)、女性が $Y=101.0-0.83X$ ($r=-0.711, p<0.001$) であった。回帰式の差の検定の結果では両者に 1% 水準 ($F=254.71$) で有意の差を認めた。

4. 換気性閾値と主観的運動強度

図 7 には、VT 時の RPE を年齢毎に平均と標準偏差で示した。VT 時の RPE は、男性では 20 歳代が 13.1 ± 1.5 、30 歳代が 13.1 ± 1.3 、40 歳代が 12.9 ± 1.3 、50 歳代が 13.0 ± 1.3 、60 歳代が 13.2 ± 1.6 、70 歳代が 13.1 ± 1.2 、80 歳代が 13.0 ± 1.0 であ

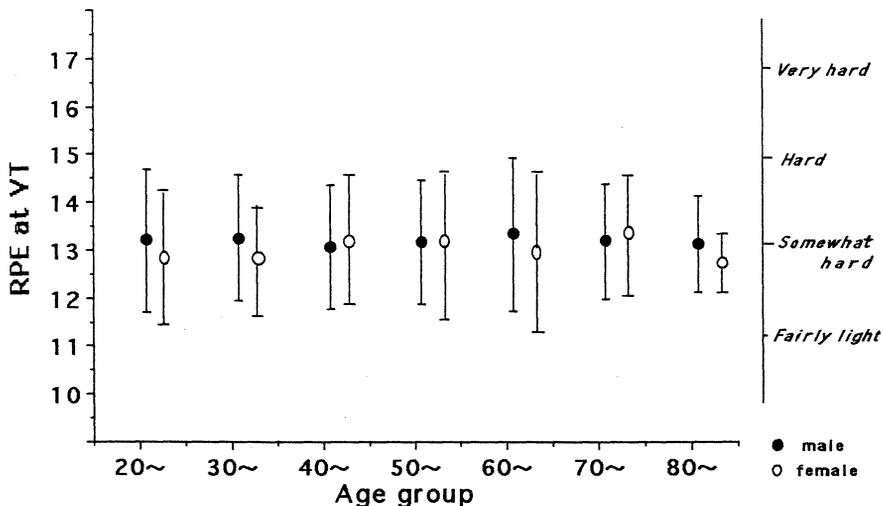
り、女性では 20 歳代が 12.9 ± 1.4 、30 歳代が 13.0 ± 1.1 、40 歳代が 13.1 ± 1.3 、50 歳代が 13.0 ± 1.4 、60 歳代が 12.9 ± 1.6 、70 歳代が 13.2 ± 1.0 、80 歳代が 12.7 ± 0.6 であった。RPE 尺度は、各年代を通じて男女ともに平均で 13 前後の「ややきつい」程度であった。一元配置分散分析の結果、VT 時の RPE には、年齢差も男女差も認められなかった。

5. 換気性閾値と日常生活活動量・喫煙習慣

VT (Y) と一日の平均歩数 (X) には、有意な正の相関が認められ、 $Y=11.6+0.00030X$, ($r=0.347, p<0.01$) の関係式が得られた。

さらに図 8 には、%VT (Y) と一日の平均歩数 (X) との関係を示した。この関係式は、 $Y=77.1+0.0023X$ ($r=0.453, p<0.001$) となり、被検者の

Fig. 7 Means of RPE at VT according to age and sex.



年齢差を消去すると、0.1%水準でより高い相関が得られた。

喫煙習慣の有無による影響は、t検定の結果、男女とも各年代で有意な差は認められなかった。

IV 考 察

1. 換気性閾値の測定意義

運動中に動員されるエネルギー機構は、体内に摂取した酸素量 ($\dot{V}O_2$)、排出された二酸化炭素量 ($\dot{V}CO_2$)、血中に放出された乳酸 (La) 濃度などにより推定される。

$\dot{V}O_2$ と $\dot{V}CO_2$ の比は呼吸商 (Respiratory Quotient: RQ) または呼吸交換比 (R) といわれ運動中に炭水化物が燃焼すると R は 1.0 となり、脂肪が燃焼すると R は 0.71 となる。運動強度の増加にともないある時点から血中乳酸濃度が急激に上昇する。このとき R は 1 に近くなっている。これは、筋細胞への酸素供給が間に合わなくなり、エネルギーをグルコースに依存する割合が高くなってきたことを示している。つまり、エネルギー供給機構が、有酸素性機構から無酸素性機構へ移り変わることがわかる。Wasserman らは、このようなエネルギー供給機構の変換点を AT と名づけ、AT を有酸素運動の限界強度として、高血圧患者、肥満者や腎炎患者の運動処方に応用されている^{23~25}。

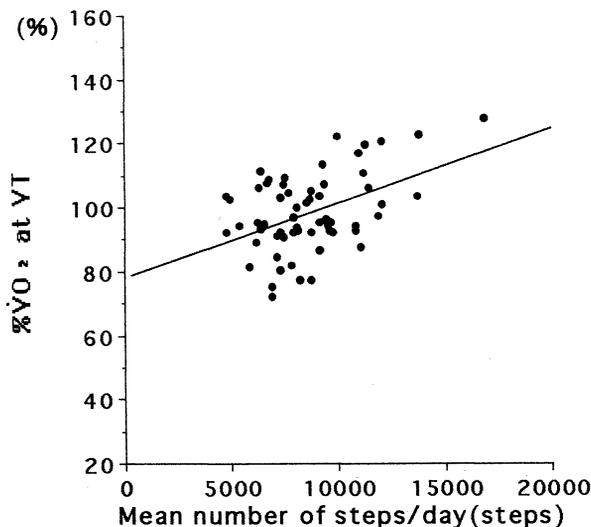
AT の測定方法には、運動負荷試験中に採血を行い、血液中の乳酸値から求める方法と、呼気ガス分析法から判定する方法がある。Ivy らは前者により得られた AT 時点の運動強度を乳酸性閾値 (Lactate threshold: LT)²⁶ とし、後者を用いた Jones らは VT と定義した¹³。さらに Conconi らは、HR の変化からも屈曲点を見出すことが可能で、生理学的にいわれる AT と意味を同じにするかどうかは明言できないが、スポーツ・トレーニングの指標として用いることが可能であると報告している²⁷。

その後、有酸素条件下でも乳酸は蓄積されていることを実証し、AT が無酸素性の閾値であるという Wasserman らの概念に対する反証論文^{28,29} が出現し、LT と VT は必ずしも一致しないという報告^{30,31} がみられるようになった。これは、乳酸の蓄積が直接呼吸の変化を引き起こすという Wasserman の仮説への疑問であり、あまりにも有名となった AT という用語であるが、一定の見解が得られていない現時点では使用を控えたいと考えた。

そこで我々は、VT を骨格筋の酸素需要に呼吸・循環器系の酸素供給が間に合わなくなった時期ととらえ、運動処方でも重要な呼吸・循環器系の能力を反映する有効な指標であると考えた。

従来、有酸素能力の指標としては、 $\dot{V}O_{2max}$ が

Fig. 8 Relationship between $\% \dot{V}O_2$ at VT (Y) and mean number of steps per day (X).
 $Y = 77.1 + 0.0023X$, $r = 0.453$, $p < 0.001$



使用されてきた。しかしその判定基準は、酸素摂取量の Leveling off, 最高心拍数の出現, 呼吸商が1.15以上, 血中乳酸が70~80 mg/dl 以上であることを必要とし^{6,32)}, 正確な $\dot{V}O_2\max$ の測定は, 競技選手でも困難な場合がありリスクも高い。したがって, $\dot{V}O_2\max$ の測定報告の多くはその推定値であったり, peak $\dot{V}O_2\max$, あるいは symptom limited $\dot{V}O_2\max$ といわれるものである^{3,8,9,25)}。また間接法で得た $\dot{V}O_2\max$ には, 10~15%以上の誤差^{33,34)}があり, 最高心拍数の推定では1標準偏差12拍/分という大きなばらつきがあると報告されている³⁵⁾。

一方VTは, 最大下運動により被検者の意志に左右されることなく実測される点で, $\dot{V}O_2\max$ に比べより客観的な呼吸・循環器系の有酸素能力の指標である。高橋らは, VT以下の運動強度では中高年のいずれの被検者からも心電図上の陽性反応が認められなかったことを報告しており測定上リスクも少ないといえる¹⁵⁾。

VT測定の再現性についても, 平均年齢23.8±4.8歳の被検者10人(男性3人, 女性7人)を対象に各々計3回の測定を実施した結果, 変動係数(CV=SD/M×100)が平均3.6±2.6%であり¹⁶⁾, 2回のVT測定の相関係数が0.86から0.97と信頼性が高いことが知られている^{21,36)}。

負荷漸増率の影響については, 平均年齢25.3±4.9歳の被検者11人(男性6人, 女性5人)について10 Wattsから40 Wattsの4段階の負荷漸増率で実施し, two way ANOVAおよびPaired t検定の結果, 10 Wattsから30 Wattsの間ではVTとWRに有意な差は認められず, ランプ負荷法の場合には10 Wattsから30 Wattsの間では負荷法の影響を受けないことも認められている^{16,36,37)}。以上のことからVTが健康づくりを目的とした運動処方における有酸素能力の指標として有用であるといえる。

2. 年齢と性差

VTと年齢の関連については, 男女とも加齢の影響を受け, 20歳以上の被検者男女610人の測定結果では, 男性が $Y=22.4-0.16X$ ($Y: VT, X: 年齢, r=-0.626$), 女性が $Y=18.1-0.10X$ ($Y: VT, X: 年齢, r=-0.578$)の回帰式が得られた。これまでにPosnerらは白人の男性68人, 女性104人について測定し, 男性では $Y=21.6-0.083X$ ($Y:$

$VT, X: 年齢, r=-0.48$), 女性では $Y=18.4-0.073X$ ($Y: VT, X: 年齢, r=-0.34$)であると報告している¹⁴⁾。彼らの被検者は, 体格において平均的な日本人を上回るうえに, 被検者171人の中の127人が60歳以上の高齢者センターで習慣的な運動プログラムに参加しているボランティアであり, 対象に偏りがある。しかし年齢別に体重当たりのVTの平均値を求めると我々の結果とほぼ同値を示した。

日本人を対象とした報告では, 田村らが男性88人, 女性125人について, VT時の仕事率を測定している¹⁷⁾。田村らは年齢(Y)とVT時の仕事率(X)の関連について, 男性が $Y=128.0-0.859X$ ($Y: WR, X: 年齢, r=-0.434$), 女性では $Y=81.3-0.441X$ ($Y: WR, X: 年齢, r=-0.437$)の回帰式を報告している。今回の我々の測定では, 男性が $Y=134.3-1.153X$ ($Y: WR, X: 年齢, r=-0.735$), 女性が $Y=101.0-0.832X$ ($Y: WR, X: 年齢, r=-0.711$)であった。両者の若干の違いは, 田村らの被検者が20歳から60歳の213人を対象としているのに対し, 我々は20歳から86歳までの幅広い年齢層の605人を対象にしたためと推測される。

男性と女性の年齢とVTの回帰式の差の検定を実施した結果は, VT時の $\dot{V}O_2$ とWRのどちらにも1%水準で有意に性差が認められたが, HRには性差が認められなかった。Åstrandによれば, 除脂肪体重当たりの $\dot{V}O_2\max$ には性差はみられないが, 体重当たりで女性が低いのは, 脂肪量が多いことと総ヘモグロビン量の低いことが性差の要因であるとしている¹⁾。これらのことから, 運動処方にVTを用いる場合には, 男女別に指標を示す必要があるが, HRであれば男女共通の指標として用いることができるといえる。

3. 換気性閾値と日常生活活動量・喫煙習慣

今回測定した被検者のうち喫煙習慣を有する者は, 男性では全体の19%, 女性では4%に過ぎなかった。VTへの喫煙の影響が明確に表われなかったのは, 被検者数が少なかったためと思われる。我が国の20歳以上の喫煙率は男性59.0%, 女性14.8%であるといわれ, これまでの研究からは^{38,39)}喫煙習慣もVTを低下させる一因であろうことは容易に推測される。

一方, 日常生活の活動量は, 運動習慣や生活様

式によって異なる。そこで、被検者に万歩計を装着し、日常生活の活動量の定量化を試みた。被検者全員の一日の平均歩数は $8,320 \pm 1,830$ 歩で、4,413歩から16,567歩の範囲にあった。VTと1日の平均歩数の間には1%水準で有意な正の相関が得られた。さらに被検者の年齢差を消去するため、結果で得られた「VTと年齢」の関係式を基に、各年代の平均値に対する割合(%VT)で個人のVT水準を評価すると、%VTと1日の平均歩数との間にはより高い相関(0.1%水準)が認められた。この回帰式より、被検者の100%VTに相当する歩数を算出すると9,828歩/日となった。さらに「VTと1日の平均歩数」の関係式に代入すると、被検者の100%VTは、14.6 ml/kg/min. であった。これは一般的な女性の30歳代前半のVT水準に相当する。一日一万歩程度の活動は、14.6 ml/kg/min. のVT水準を維持できるといえた。

図1・図2にも示されるように、男女のVTの最低値は各年代を通じてほぼ10 ml/kg/min. 程度であった。これは約3 METsに当たり、毎分67 m程度の歩行を維持する時のエネルギーに相当する⁴⁰⁾。70歳以上の高齢者は、他の年代に比較し被検者数も少ないが今回の横断的な測定結果では、20歳代の成人の値を100%とすると、70歳以上のVTは男性では約61%、女性では67%に相当し、平均で約3 METsとVTの最低水準に近付く。このことは、健常者が一般的な日常生活を維持している場合には、VT水準は少なくとも約3.0 METs程度は確保されることを示唆している。

4. 換気性閾値を指標とした健康づくりの運動

VT時のRPEは、年齢差も男女差もみられず、

RPE13程度であった。これはVT水準の有酸素運動が「ややきつい」以下であることを示している。

実際の運動に際しては、一般にHRが用いられる^{3,5,8,9)}。VT時のHRには男女差がなく、運動処方上簡易で応用可能な指標と思われる。

表5は、今回我々が男女610人を実測した結果から得られた、VTを指標とした健康づくりの運動強度の目安である。成人病予防を目的とするため対象を30代から60代までとした。厚生省が推奨している「健康のための運動所要量」によれば「健康を維持するには40%から70%の運動強度が望ましい」とされている³⁾。我々の結果は厚生省の40%強度に相当していた。また、体育科学センターの基準では約45%に相当し⁹⁾、池上の報告の40%に相当する⁸⁾。今回実測により求められたVT時のHRを指標とした運動強度は、これまでの報告に比べ低値であり、安全に運動をはじめるときの指標として有効と考える。

日常生活において、運動を継続するためには楽しく実施する必要がある。そのためには「歩く」や「ジョギング」といった運動だけでなく、好みのスポーツ種目を行うことも一つの工夫である。VTを用いれば、それぞれの被検者が無理なく実施可能なスポーツ種目を選択することができ、しかも運動実施時にはRPE, HRを指標として用いることができる。

以上より、VTは日常の生活活動量を反映し、VTを基準として有酸素能力を評価するには、年齢別、男女別に行う必要がある。健康づくりのための運動種目の選択にはVT時のMETs水準が基準となり、運動の実施にあたっては、RPEや

Tab. 5 Evaluation of heart rate as the indicators(bpm)

Age (years)	Miura*	Research Center of Physical Education, 1983 ⁹⁾	Shindo and Hashimoto 1989 ³⁾	Ikegami 1990 ⁸⁾
	HR at VT	40%-50% $\dot{V}O_2$ max	40%-50% $\dot{V}O_2$ max	40%-50% $\dot{V}O_2$ max
30-39	115	110-120	115-125	115-128
40-49	110	105-115	110-120	111-123
50-59	105	100-110	105-115	107-118
60-69	100	100-110	100-110	103-113

* : Present study, ³⁾⁸⁾⁹⁾ : References

HRを指標とし、無理なく安全に行うことが可能であることが示された。

稿を終えるにあたり、御指導、御校閲を賜りました岡山大学医学部太田善介教授に謹んで感謝の意を表するとともに、直接御指導を頂いた岡山大学教育学部高橋香代助教授に深謝致します。また、本研究に御協力頂きました岡山中央病院金重哲三院長ならびに岡山大学教育学部鈴木久雄助教授、岡山大学公衆衛生学教室吉良尚平講師、倉敷中央病院吉田総一郎医師、岡山県立大学平田敏彦教授に厚く御礼申し上げます。

(受付 '95. 8. 2)
採用 '96. 1. 19)

文 献

- 1) P.-O. オストランド, K. ラダール著. 朝比奈一男, 浅野勝巳訳. 運動生理学. 東京:大修館書店. 1976; 204-462.
- 2) H. クラウス, W. ラーブ著. 広田公一, 石川 且訳. 運動不足病第1版. 東京:ベースボール・マガジン社. 1979; 15-21.
- 3) 進藤宗洋, 橋本 勲. 健康のための運動所要量. 東京:新企画出版社. 1989; 4-63.
- 4) 厚生省保健医療局健康増進栄養課監修. 第四次改定日本人の栄養所要量. 東京:第一出版. 1989.
- 5) アメリカスポーツ医学協会. 運動処方指針. 第2版. 東京:南江堂. 1983; 25.
- 6) 樋口 満, 他. 最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$) は中高年男性において, 冠動脈心疾患の危険度判定のよい指標となりうるか?— $\dot{V}O_2\max$ と血中脂質・リポ蛋白ばくプロフィールの関連についての検討—. 動脈硬化 1989; 16(8): 1171-1177.
- 7) Sobolski, J. C., et al. Physical fitness does not reflect physical activity patterns in middle-aged workers. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1988; 20: 6-13.
- 8) 池上晴夫. 運動処方理論と実際. 東京:朝倉書店. 1990; 218-219.
- 9) 体育科学センター編. スポーツによる健康づくり運動カルテ. 東京:講談社. 1983; 16-33.
- 10) Wasserman, K. and M. B. McIlroy. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am. J. Cardiol.* 1964; 14: 844-852.
- 11) Wasserman, K. et al. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.* 1973; 35(2): 236-243.
- 12) Beaver, W. L., K. Wasserman and B. J. Whipp. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J. Appl. Physiol.* 1986; 60(6): 2020-2027.
- 13) Jones, N. L. and R. E. Ehsarsam. The anaerobic threshold. *Exerc. Sports Sci. Rev.* 1982; 10: 49-83.
- 14) Posner, J. D. et al. Ventilatory threshold: measurement and variation with age. *J. Appl. Physiol.* 1987; 63(4): 1519-1525.
- 15) 高橋香代, 他. 中高年者におけるVTレベルの運動の生体に与える影響. *臨床スポーツ医学* 1990; 7: 374-376.
- 16) 三浦孝仁, 他. 加齢と運動習慣が換気性閾値に及ぼす影響. *臨床スポーツ医学* 1993; 10(4): 482-487.
- 17) 田村真一, 他. 一般健康人のATの標準値および身体活動レベルの差がATに及ぼす影響. *体育の科学* 1989; 39(5): 371-375.
- 18) 東京都立大体育学研究室編. 日本人の体力標準値第四版. 東京:不昧堂出版. 1989; 21-374.
- 19) 石井喜八, 他. 人体の運動中の機械的効率—効率値算出の再評価—. *日本体育大学紀要*. 1984; 14(1): 7-15.
- 20) Jones, N. L. et al. Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer test¹⁻³. *Am. Rev. Resp. Dis.* 1985; 131: 700-708.
- 21) Davis, J. A. et al. Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. *J. Appl. Physiol.* 1979; 46: 1039-1046.
- 22) 小野寺孝一, 宮下充正. 全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性~Rating of perceived exertionの観点から~. *体育学研究* 1976; 21: 191-203.
- 23) 小池日登美, 他. 高血圧患者におけるATを基準とした運動療法. *臨床スポーツ医学* 1992; 9(9): 1027-1031.
- 24) 田中喜代次, 他. AT水準以上の強度を基準とした完全監視型持久性運動療法および不完全監視型食事療法の併用が肥満者の健康・体力に及ぼす効果. *体力研究* 1986; 62: 26-40.
- 25) 吉田総一郎. 換気性閾値を指標にした慢性腎炎患者における全身持久力の評価. *日本腎臓学会誌* 1993; XXXV(6): 695-703.
- 26) Ivy, J. L. et al. Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *J. Appl. Physiol.* 1980; 48: 523-527.
- 27) Conconi, F. et al. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *J. Appl. Physiol.* 1982; 52: 869-873.
- 28) Anderson G. S. and Rhodes E. C. A review of blood lactate and ventilatory methods of detecting transition thresholds. *Sports Med.* 1989; 8: 43-55.
- 29) Hagberg, J. M. et al. Exercise hyperventilation in patients with McArdle's disease. *J. Appl. Physiol.* 1982; 52(4): 991-994.
- 30) Hughes, E. F., S. C. Turner and G. A. Brooks. Effect of glycogen depletion and pedalling speed on "anaerobic threshold". *J. Appl. Physiol.* 1982; 52(6):

- 1598-1607.
- 31) Davis, H. A. and G. C. Grass. The anaerobic threshold as determined before and during lactic acidosis. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1981; 47: 141-149.
- 32) 大楠哲朗. $\dot{V}O_2$ maxの判定基準. *体育の科学* 1977; 27(5): 360-364.
- 33) Davies, C. T. M. Limitations to the prediction of maximum oxygen intake from cardiac frequency measurements. *J. Appl. Physiol.* 1968; 24: 700-706.
- 34) 形本静夫. 最大酸素摂取量の間接測定. *体育の科学* 1980; 30: 823-827.
- 35) Johrson, J. H. and A. Prins. Predicting of maximal heart rate during a submaximal work test. *J. Sports Med. Phy. Fitness.* 1991; 31: 44-47.
- 36) 吉田敬義, 他. 中高年者の適切な体力評価ならびに運動処方としての Gas Exchange Threshold. *体力研究* 1989; 72: 169-179.
- 37) Davis, J. A. et al. Effect of ramp slope on determination of aerobic parameters from the ramp exercise test. *Med. Sci. Sports Exercise* 1982; 148(5): 339-343.
- 38) 厚生省. 喫煙と健康—喫煙と健康問題に関する報告書第2版. 東京: 保健同人社, 1993; 109-123.
- 39) 大久保隆男, 西川正憲, 鈴木俊介. 喫煙の呼吸機能に及ぼす影響. *最新医学* 1989; 44(7): 1377-1382.
- 40) Howley, E. T. and B. D. Franks. *Health/Fitness instructor's handbook*. USA: Human Kinetics Publishers, Inc. 1986; 158.

VENTILATORY THRESHOLD IN JAPANESE

—as the basis for exercise prescription for health promotion—

Koji MIURA*

Key words: Health promotion, Ventilatory threshold, Exercise prescription, Aerobic exercise, Rating of perceived exertion

Oxygen consumption ($\dot{V}O_2$) at ventilatory threshold (VT) was measured in 610 healthy Japanese with differing ages (305 men: 45.1 ± 15.8 years; 305 women: 44.3 ± 16.0 years) to develop a scale for exercise prescription with the ultimate purpose of health promotion. Ramp exercise test using a bicycle ergometer was used as an exercise loading test. VT was determined using the breath by breath method.

Standard aerobic capacity was determined according to age and sex using VT as the indicator.

- 1) $\dot{V}O_2$ at VT(Y) decreased with age (X), and closely approximated a single regression formula, $Y = 22.4 - 0.16X$ ($r = -0.626$, $p < 0.001$) for men and $Y = 18.1 - 0.10X$ ($r = -0.578$, $p < 0.001$) for women.
- 2) There was a sex difference in VT being significantly ($p < 0.01$) higher in men than in women.
- 3) The work rate (WR) at VT was also significantly higher in men.
- 4) There was no sex difference in heart rate (HR) at VT; 115 beats/min. in subjects in their 30 s, 110 beats/min. in those in their 40 s, 105 beats/min. in those in their 50 s, and 100 beats/min. in those in their 60 s.
- 5) Rating of perceived exertion (RPE) at VT was not influenced by age or sex differences, and was about 13.
- 6) The minimum level of VT, at which daily living activities was possible was about 3 METs.
- 7) There was a significant positive correlation between mean number of steps per day and VT.

$\dot{V}O_2$, HR and WR at VT decreased with age although there was no sex difference in HR, and there was no age or sex difference in RPE. These results suggest that health promoting exercise can be prescribed on the basis of HR which would be identical figures for men and women of the same age, and also by RPE specified as less than "somewhat hard".

* Faculty of Education, Okayama University