

# 歩行速度が女性の無酸素性作業閾値 (AT) に与える背景 — とくに 20 歳代と 40 歳代及び 50 歳代の年齢的な相違について —

川上 雅之・山野 力・荒木 直彦

甲斐 千尋・白川 梨紗・友滝 佳子・猪木原孝二

倉敷芸術科学大学生命科学部健康科学科

(2016 年 10 月 1 日 受理)

## I. 緒言

無酸素性作業閾値 (Anaerobic Threshold: 以下 AT と称す) は、有酸素運動 (以下 Aero. と称す) の運動耐容能指数として、心疾患、生活習慣病の運動療法、また健康運動等に活用されている<sup>1,3,5,7-11,14,17</sup>)。1964 年、Wassermann 等は酸素摂取量 (以下  $VO_2$  と称す) と二酸化炭素産出量 (以下  $VCO_2$  と称す) のガス交換比 (Respiratory Exchange Ratio: 以下 RER と称す) から AT を嫌気性作業閾値、また換気性作業閾値 (Ventilator Threshold: VT) と定義した<sup>5,6</sup>)。これは、血中乳酸の増加が始まる乳酸性作業閾値 (以下 LT と称す) から急増する点 (Onset of Blood Lactate Accumulation: 以下 OBLA と称す) までである<sup>4-8,12,19,20</sup>)。AT は、一般的には運動負荷テスト (以下 CPX テストと称す) によって測定される<sup>8-10,12,13,20</sup>)。それは、分時換気量 (以下 VE と称す) と  $VO_2$  の関係、 $VO_2$  と  $VCO_2$  の関係等、によって決定される<sup>3,5,12,17</sup>)。とくに、 $VCO_2$  に対する  $VO_2$  の上昇点 (V-Sloop method)、 $VO_2$  に対する RER の上昇点、終末呼気二酸化炭素濃度 (以下  $PetCO_2$  と称す) に対する終末呼気酸素濃度 (以下  $PetO_2$  と称す) の上昇点、二酸化炭素換気量 (以下  $VE/VCO_2$  と称す) に対する酸素換気量 (以下  $VE/VO_2$  と称す) の上昇点、VE の  $VO_2$  に対する上昇点、等である<sup>1,3,4-12</sup>)。最近では、予測最高心拍数と安静時の心拍数 (以下 HRrest と称す) から AT を求める簡易的な方法もある<sup>3,8,13,16,18</sup>)。カルボネンは、年齢から最高心拍数 (以下 HRmax と称す) を予測した<sup>16</sup>)。また、適正な運動強度を年齢と心拍数 (以下 HR と称す) から推定した<sup>16</sup>)。それが、Karvonen formula といわれるものである<sup>16</sup>)。とくに、Aero. と年齢、HR との関連性は大きい<sup>1,3,5,7-11,14,16,17,20</sup>)。

本研究は、既報の AT を決定する因子<sup>5-7,10-13</sup>) を基に AT と年齢の関係を検証する目的で実験した。とくに 20 歳代、40 歳代及び 50 歳代の女性における AT の決定因子、また歩行速度 (運動強度) と AT の関係について検証した。

## II. 実験

### 1. 被験者

被験者は、20歳代（以下 G1 と称す）、40歳代（以下 G2 と称す）及び50歳代（以下 G3 と称す）の健康な女性30名である。表1は、身体的特性である。

表 1. 被験者の身体的特性

	Group 1	Group 2	Group 3
Number	10	10	10
Age(y)	22.3±1.3	45.4±2.3	54.3±2.8
Height (cm)	158.5±3.0	156.8±4.2	158.8±5.5
Weight (kg)	52.2±4.8	52.4±5.4	52.1±5.8

### 2. 方法

実験は、倉敷芸術科学大学生命科学部健康科学科の運動科学実験室で実施した。

運動負荷テスト（以下テストと称す）は、トレッドミルを歩行する負荷実験である。テストは、2分間の座位安静（以下 Rest と称す）、1分間のウォーミングアップ（30m/min.）、3分間の緩歩（60m/min.：以下 S1 と称す）、3分間の通常歩（80m/min.：以下 S2 と称す）、3分間の速歩（100m/min.：以下 S3 と称す）、1分間のクーリングダウン（30m/min.）と2分間の回復期（以下 Rec. と称す）である。呼気ガス代謝は、ドイツ Cortex 社の Metalyzer3 によって測定した。また心電図（以下 ECG と称す）及び血圧（以下 BP と称す）は、米国 GE 社の Case15 で測定した。

本実験は、倉敷芸術科学大学の倫理委員会（2014年度）を経て、実施した実験である。被験者には、インフォームドコンセントを行い、実験参加の意志を確認のうえ実施した。

### 3. 統計処理

統計処理は、すべて5%水準で有意性を判定した。

## III. 実験結果

### 1. %HRmax 及び Mets と血圧（BP）について

%HRmax は、本実験の運動強度を観察するために算出した。%HRmax は、運動中の HR からカルボネン法によって計算した<sup>16)</sup>。Mets は、安静時のエネルギー代謝を1として、消費エネルギー量を計算した<sup>2,3,5,6,14,20)</sup>。

%HRmax は、G1 が 64.8%、G2 が 73.6%、G3 が 79.5% であった。%HRmax は、年齢の高い方が高い値を示した（ $p < 0.05$ ）。Mets は、G1 が 3.24、G2 が 3.27、G3 が 3.72 であった。Mets も、年齢の高い方が高い値を示した（ $p < 0.05$ ）。最高血圧（以下 SBP と称す：mmHg）は、G1 が 143.0、G2 が 157.0、G3 が 150.4 であった。最低血圧（以下 DBP と称す：mmHg）は、G1 が 69.9、G2 が 82.8、G3 が 71.5 であった。

脈圧 (以下 PP と称す : mmHg) は、G1 が 73.6、G2 が 84.1、G3 が 78.9 であった。SBP、DBP 及び PP は、年齢による有意差はなかった。

2. VO<sub>2</sub> 及び VCO<sub>2</sub> と RER について

図 1 は、VO<sub>2</sub> (l/min.) 及び VCO<sub>2</sub> (l/min.) と RER について示した。図は、左から G1、G2 及び G3 である。VO<sub>2</sub> 及び VCO<sub>2</sub> と RER は、歩行速度の増加により、直線的に上昇した (p<0.05)。VO<sub>2</sub> の安静値 (以下 RL と称す) と最高値 (以下 ML と称す) は、G1 が 3.53 倍、G2 が 3.37 倍、G3 が 4.01 倍を示した。AT は、G1 が 0.592、G2 が 0.602、G3 が 0.682 であった。AT/ML は、G1 が 0.767、G2 が 0.878、G3 が 0.995 である。AT/ML は、年齢の高い方が低い方に比較して上昇した (p<0.05)。とくに、G3 は G1 及び G2 に比較して有意差を示した (p<0.05)。VCO<sub>2</sub> の ML/RL は、G1 が 3.71 倍、G2 が 3.84 倍、G3 が 5.01 倍を示した。ML に対する増加率は、全体的に VCO<sub>2</sub> が高い割合を示している。また年齢は、高い方が低い方に比較して高い値を示した (p<0.05)。AT 値は、G1 が 0.488、G2 が 0.501、G3 が 0.610 であった。AT/ML は、G1 が 0.737、G2 が 0.809、G3 が 0.956 であった。G3 は、G1 及び G2 に比較して有意に高い値を示した (p<0.05)。VO<sub>2</sub> と VCO<sub>2</sub> の間には、G1 が r=0.936、G2 が r=0.972、G3 が r=0.930 という高い相関関係が確認された (p<0.05)。また VO<sub>2</sub> と VE は、G1 が r=0.778、G2 が r=0.787、G3 が r=0.787 であった (p<0.05)。VCO<sub>2</sub> と VE も、G1 が r=0.862、G2 が r=0.833、G3 が r=0.787 の相関関係が確認された (p<0.05)。

表 2 は、RER について示した。RER の ML/RL は、G1 が 1.06 倍、G2 が 1.12 倍、G3 が 1.25 倍を示した。AT は、G1 が 0.820、G2 が 0.828、G3 が 0.884 であった。年齢の高い方が低い方に比較して上昇した (p<0.05)。AT/ML は、G1 が 0.953、G2 が 0.920、G3 が 0.969 であった。G1 と G3 は、同程度の割合を示したが、G2 は低い割合であった。これは、VO<sub>2</sub> と VCO<sub>2</sub> の相関関係が関連している。なぜなら、G2 には

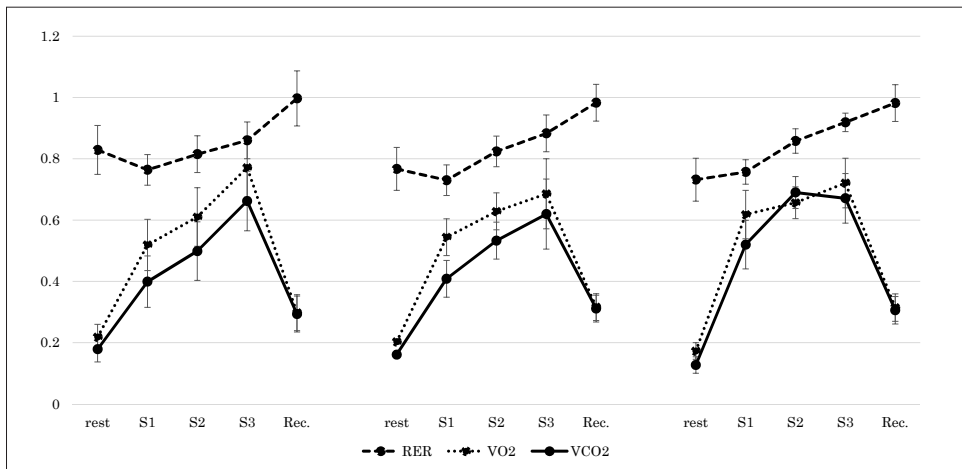


図 1. VO<sub>2</sub> 及び VCO<sub>2</sub> と RER

表 2. テストにおける RER について

N=30

	Rest	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Rec.
Group 1	0.810±0.09	0.776 ± 0.06	0.816±0.07	0.860±0.06	0.993±0.09
Group 2	0.797±0.04	0.749±0.56	0.848±0.04	0.900±0.07	0.994±0.06
Group 3	0.732±0.07	0.757±0.04	0.858±0.04	0.919±0.03	0.982±0.06

VO<sub>2</sub> と VCO<sub>2</sub> の間に相関関係が確認できなかった。RER 及び VO<sub>2</sub> の間には、G1 が r=0.611、G3 が r=0.930 の相関関係が確認された (p<0.05)。とくに、AT 決定において RER と VO<sub>2</sub> の関係は非常に高いといえる。また VCO<sub>2</sub> も、G1 が r=0.844、G3 が r=0.879 という相関関係が確認された (p<0.05)。しかし G2 は、相関関係が確認されなかった。

3. PetO<sub>2</sub> 及び PetCO<sub>2</sub> について

図 2 は、PetO<sub>2</sub> (mmHg) 及び PetCO<sub>2</sub> (mmHg) について示した。図は、左から G1、G2 及び G3 である。PetO<sub>2</sub> は、歩行速度の増加とともに低下する傾向が確認された (p<0.1)。ただし、G3 は上昇した。AT 値は、G1 が 103.1、G2 が 104.9、G3 が 107.4 であった。S3 に対する AT は、G1 が 0.996、G2 が 0.976、G3 が 0.991 であった。PetO<sub>2</sub> は、年齢とともに高くなる傾向が確認された (p<0.1)。G3 は、G1 と G2 に比較して有意差が確認された (p<0.05)。PetCO<sub>2</sub> は、歩行速度の増加により上昇した (p<0.05)。AT 値は、G1 が 38.8、G2 が 37.5、G3 が 36.5 であった。AT/S3 は、G1 が 1.267、G2 が 1.005、G3 が 0.943 であった。PetCO<sub>2</sub> は、年齢とともに低くなる傾向が確認された (p<0.1)。G3 は、G1 と G2 に比較して有意差が確認された (p<0.05)。PetO<sub>2</sub> と PetCO<sub>2</sub> の間には、G1 が r=0.939、G2 が r=0.861、G3 が r=0.866 の相関関係が確認された (p<0.05)。また PetCO<sub>2</sub>-PetO<sub>2</sub>slope は、G1 が 0.376、G2 が 0.357、G3 が 0.339 であった。PetCO<sub>2</sub>-PetO<sub>2</sub>slope は、年齢の増加に伴い低下する傾向を確認した (p<0.1)。年齢的には、50 歳代と 50 歳以下という境界領域のあることが確認された (p<0.05)。

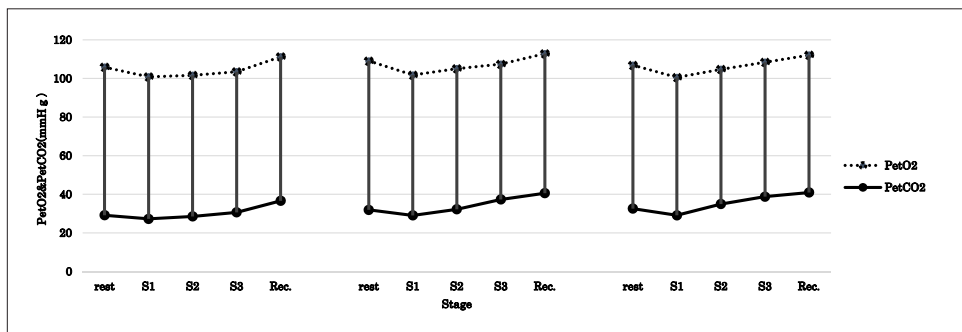
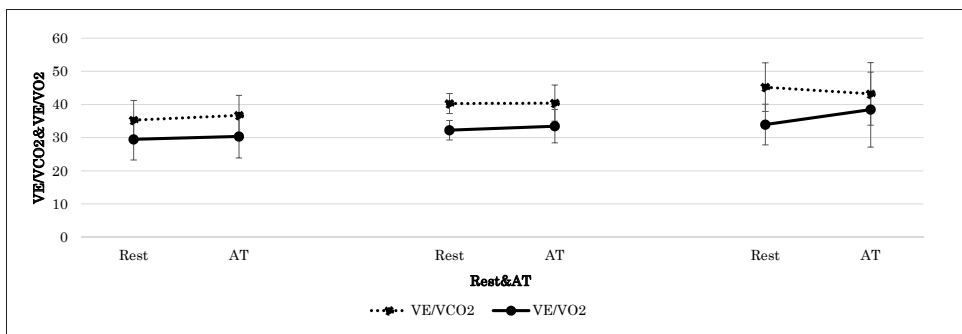


図 2. PetO<sub>2</sub> (mmHg) 及び PetCO<sub>2</sub> (mmHg)

4. VE/VO<sub>2</sub> 及び VE/VCO<sub>2</sub> について

VE/VO<sub>2</sub> は、歩行速度の増加により上昇した ( $p < 0.05$ )。ただし、G1 は低下した。AT 値は、G1 が 30.3、G2 が 33.4、G3 が 38.4 であった。AT/S3 は、G1 が 0.878、G2 が 0.816、G3 が 0.914 であった。年齢とともに高い値を示した ( $p < 0.05$ )。G3 は、G1 と G2 に比較して有意差が確認された ( $p < 0.05$ )。VE/VCO<sub>2</sub> については、歩行速度の増加とともに低下した ( $p < 0.05$ )。AT 値は、G1 が 36.7、G2 が 40.3、G3 が 43.1 であった。年齢とともに高くなることが確認された ( $p < 0.05$ )。VE/VCO<sub>2</sub> は、年齢の高い方が低い方に比較して高い値を示した ( $p < 0.05$ )。AT/S3 は、G1 が 0.948、G2 が 0.961、G3 が 0.947 であった。Rest の VE/VCO<sub>2</sub>-VE/VO<sub>2</sub> slope は、G1 が 0.835、G2 が 0.801、G3 が 0.751 であった。AT の VE/VCO<sub>2</sub>-VE/VO<sub>2</sub> slope は、G1 が 0.826、G2 が 0.828、G3 が 0.890 であった。VE/VCO<sub>2</sub>-VE/VO<sub>2</sub> slope は、G1 と G2 には大きな相違はないが、G3 は VE/VCO<sub>2</sub> の増加があった。VE/VCO<sub>2</sub> の増加は、VE に対する VCO<sub>2</sub> の増加である。VE/VCO<sub>2</sub> と VE/VO<sub>2</sub> の間には、G1 が  $r = 0.937$ 、G2 が  $r = 0.892$ 、G3 が  $r = 0.920$  の相関関係が確認された ( $p < 0.05$ )。図 3 は、VE/VO<sub>2</sub> と VE/VCO<sub>2</sub> の安静値と AT 値について示した。図は、左から G1、G2 及び G3 である。安静値と AT 値は、年齢の高い方が低い方に比較して VE/VO<sub>2</sub> が増加した。また PetCO<sub>2</sub> と VE/VCO<sub>2</sub> は、G1 が  $r = 0.916$ 、G3 が  $r = 0.84$  という相関関係が確認された ( $p < 0.05$ )。しかし、G2 に相関関係はなかった。

図 3. VE/VO<sub>2</sub> と VE/VCO<sub>2</sub>

## 5. VD/VT 及び V'max について

図 4 は、VD/VT 及び V'max の関係について示した。VD/VT 及び V'max は、歩行速度の増加により上昇した ( $p < 0.05$ )。AT は、G1 が 0.274、G2 が 0.306、G3 が 0.336 であった。G3 は、G1 及び G2 に比較して有意差が確認された ( $p < 0.05$ )。しかし、G1 と G2 に有意差はなかった。また AT/ML は、G1 が 0.996、G2 が 0.944、G3 が 0.994 であった。ここにおいては、年齢による相違は確認できなかった。V'max は、歩行速度の増加により直線的に上昇した。AT は、G1 が 0.843、G2 が 0.982、G3

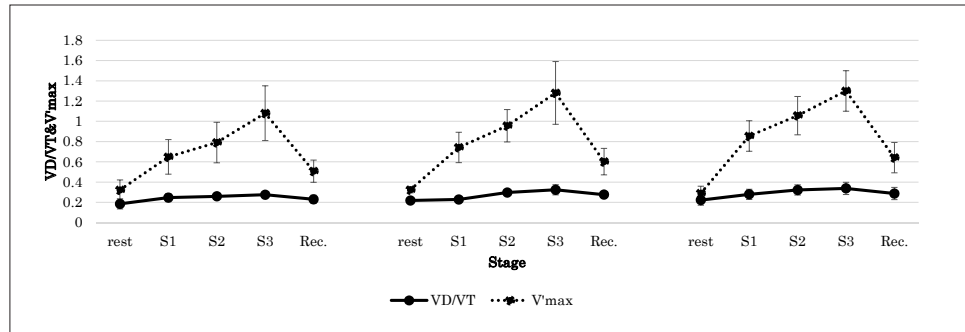


図 4. VD/VT 及び V'max

が 1.307 であった。年齢とともに高い値を示した ( $p < 0.05$ )。AT/ML は、G1 が 0.774、G2 が 0.764、G3 が 1.001 であった。G3 は、G1 及び G2 に比較して有意差が確認された ( $p < 0.05$ )。しかし、G1 と G2 に有意差はなかった。VD/VT と V'max は、G1 に相関関係 ( $r = 0.72$ ) が確認された ( $p < 0.05$ ) が、G2 と G3 は確認できなかった。

#### IV. 考 察

##### 1. %HRmax について

%HRmax は、運動強度の指標として活用されている<sup>2-4,8,12,13,14,16</sup>)。本実験における %HRmax は、20 歳代が 65%、40 歳代が 75%、50 歳代が 80% という結果であった。これは、50 歳代には比較的運動強度が高い歩行運動である<sup>16</sup>)。Mets は、20 歳代 3.24、40 歳代 3.27、50 歳代 3.72 であった。これは、年相応の運動ストレス反応といえる。Mets は、国立健康・栄養研究所の 2012 年改定版によると、散歩から早歩きに相当する歩行運動といえる<sup>2</sup>)。今回の負荷テストは、AT ポイントの確認のための歩行運動であり、年齢の異なる被験者に対して、軽運動から、中間、そして強運動とスムーズな AT 誘導であったと考える。しかし、50 歳代が 80%HRmax を記録したことは有酸素運動域から無酸素運動域の運動強度であったと考える<sup>2,8,12,14,16,20</sup>)。しかし、20 歳代及び 40 歳代は、中程度の有酸素運動域といえる<sup>8,12,16,20</sup>)。今後の課題は、各ステージの時間設定を延長して時間との関連性から AT ポイントが検証できれば、AT 誘導のトレッドミルプロトコールとして活用できる可能性があると考えている。

##### 2. VO<sub>2</sub> 及び VCO<sub>2</sub> と RER について

VCO<sub>2</sub> に対する VO<sub>2</sub> の上昇点、また RER に対する VO<sub>2</sub> の上昇点は、AT を決定する主要因子である<sup>3-8</sup>)。本実験の VO<sub>2</sub> 及び VCO<sub>2</sub> は、歩行速度の増加により直線的に上昇した。既報では、運動開始 3 分から 6 分間で定常状態を形成するといわれる<sup>1,3,8</sup>)。本実験でも、運動開始 4 分から 7 分で AT が確認された<sup>1,3,8,14,19</sup>)。これは、既報の AT ポイントの到達時間とはほぼ同様の結果であった<sup>1,4,8,12,14,16,20</sup>)。VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>=RER は、20 歳代が 0.488/0.592=0.824、40 歳代が 0.501/0.602=0.832、50 歳代が 0.610/0.682=0.894

という結果であった。年齢とともに上昇するということである ( $p < 0.05$ )。既報においても、同様の報告がみられる<sup>8,14,19,20</sup>)。今回の実験で、50 歳代と 50 歳以下に有意差が確認された ( $p < 0.05$ )。これは、運動に対する呼気ガス代謝の体力年齢、また年齢による境界領域といえる<sup>8,14,19,20</sup>)。VO<sub>2</sub>/RER は、RER に対する VO<sub>2</sub> の割合である。これは、ガス交換比と酸素摂取量の効率化の確認である<sup>1,4,8,12,16,20</sup>)。VO<sub>2</sub>/RER は、運動強度の増加により当然上昇する。VO<sub>2</sub>/RER が上昇すれば、運動負荷によるストレスも大きいといえる<sup>19,20</sup>)。VO<sub>2</sub>/RER は、20 歳代 0.721、40 歳代 0.727、50 歳代 0.771 であった。年齢的には、50 歳代と 50 歳以下に有意差が確認された ( $p < 0.05$ )。しかし、20 歳代と 40 歳代に有意差はなかった。これは、RER に対する VO<sub>2</sub> の増加が 50 歳以上において上昇することを意味する。つまり、運動ストレスの増加といえる<sup>1,12,16,20</sup>)。

以上のことから、RER における AT ポイントは、年齢とともに高くなる。とくに、50 歳代と 50 歳以下には有意差のあることが確認された。歩行速度は、通常歩行の 80m/min. で、運動強度は 3.5Mets 前後、時間は個体差があるが運動開始後 4 分から 7 分間という結果であった<sup>3-5,8</sup>)。

### 3. PetCO<sub>2</sub> 及び PetO<sub>2</sub> について

AT の決定に、PetCO<sub>2</sub> が上昇しないで PetO<sub>2</sub> が増加する点、という終末呼気ガス濃度との関連性があげられる<sup>5,8,15</sup>)。これは、動脈血の酸素飽和度 (SaO<sub>2</sub>) と静脈血の酸素飽和度 (SvO<sub>2</sub>)、また動静脈血酸素較差 (a-VO<sub>2</sub>diff) との関係が非常に高い終末呼気ガス濃度である<sup>8,12</sup>)。既報では、PetCO<sub>2</sub> と SvO<sub>2</sub> は、ほぼ同じといわれる<sup>8,12,19</sup>)。本実験の PetCO<sub>2</sub> は、運動開始後の定常状態から、運動強度の増加により急上昇した。とくに、S3 では 40 歳代と 50 歳代は有意な上昇が確認された ( $p < 0.05$ )。これは、PetCO<sub>2</sub> が 40 歳代及び 50 歳代に高くなるという結果である。PetCO<sub>2</sub> の上昇は、SvO<sub>2</sub> の上昇と VO<sub>2</sub> の増加による結果といえる<sup>14,19,20</sup>)。反対に、PetO<sub>2</sub> は歩行速度の増加に伴って軽微な上昇を示すが、大きな上昇ではなかった。AT の PetCO<sub>2</sub>/PetO<sub>2</sub> は、20 歳代が 38.8/103.1=0.376、40 歳代が 37.5/104.9=0.357、50 歳代が 36.5/107.4=0.379 という結果が確認された。PetCO<sub>2</sub>/PetO<sub>2</sub> においては、年齢による有意差は確認されなかった。これは、本実験が AT 確認という点に絞っているため、比較的低いレベルの運動強度であるためと考えている<sup>13,20</sup>)。ただし、AT 誘導には重要な因子となるものであり、今後は運動強度を変えながら究明の必要があると考えている<sup>8,12,19,20</sup>)。

### 4. VE/VCO<sub>2</sub> 及び VE/VO<sub>2</sub> について

AT と VE の関係から、VE/VCO<sub>2</sub> が増加しないで VE/VO<sub>2</sub> が増加する点、という VE に対する VO<sub>2</sub> と VCO<sub>2</sub> の割合がある<sup>13,15,18</sup>)。VE は、運動強度の増加に比例して上昇する。VO<sub>2</sub> 及び VCO<sub>2</sub> も、同時に増加する。VE/VO<sub>2</sub> は、歩行速度の増加と

もに上昇した。また  $VE/VCO_2$  は、歩行速度の増加とともに低下した。これは、運動強度の増加による  $VE$  に対する  $VO_2$  と  $VCO_2$  の割合を示す指数である。つまり、 $VE/VCO_2$  の低下は  $VCO_2$  の増加を指している<sup>13,17)</sup>。 $VE/VCO_2$ - $VE/VO_2$  slope は、20 歳代 0.826、40 歳代 0.828、50 歳代 0.890 という結果が確認された。年齢とともに上昇している。 $VE$  に対する  $VO_2$  と  $VCO_2$  の割合も、50 歳以上と 50 歳以下には、有意差が確認された ( $p<0.05$ )。これは、50 歳以上が  $VE$  に対して  $VCO_2$  の割合が上昇していることを示す結果である。また、運動強度の増加と運動ストレス上昇を意味するものといえる。今回は、AT ポイントと  $VE/VO_2$  及び  $VE/VCO_2$  の関係について詳細な究明はできなかったが、運動強度と年齢との関係から、 $PetO_2$  及び  $PetCO_2$  と同様に、AT ポイント解明の重要な因子になると考えている<sup>8,12,19,20)</sup>。

#### 5. $VD/VT$ と $V'max$ について

$VD/VT$  は、 $VT$  に対する  $VD$  の割合である<sup>19,20)</sup>。 $VD$  は、生理学的な呼吸死腔である<sup>20)</sup>。 $VD$  は、基本的には変化しない<sup>12,19,20)</sup>。解剖学的には、0.3 といわれている<sup>12,20)</sup>。 $VD/VT$  は、歩行速度の増加に伴って上昇した。これは、歩行速度の増加によって  $VT$  が上昇したためである。また、運動強度の増加による肺胞換気量の増加といえる<sup>19,20)</sup>。 $VD/VT$  は、年齢の高い方が、低い方に比較して有意に上昇した ( $p<0.05$ )。年齢的には、50 歳代は 50 歳以下に比較して大きく上昇した ( $p<0.05$ )。AT 値も、年齢の高い方が高くなった。これは、運動強度の増加による  $VT$  の増加といえる。

$V'max$  は、歩行速度の増加により直線的に増加を示した。 $V'max$  は、年齢の高い方が有意な上昇を示した ( $p<0.05$ )。AT ポイントも、年齢の高い方が有意に高い数値を示した。 ( $p<0.05$ )。これは、運動強度の増加による換気速度の増加といえる<sup>12,19,20)</sup>。

## V. 要 約

実験結果は、以下に要約される。

1. 本実験における %HRmax は、20 歳代が 65%、40 歳代が 75%、50 歳代が 80% であった。これは、年齢の高い方が運動に対するストレス反応も高いという結果である。年齢的には、50 歳以上と 50 歳以下に有意差のあることが確認された。しかし、20 歳代と 40 歳代に有意差はなかった。
2. AT は、歩行運動が開始して 20 歳代が 5.58 分、40 歳代が 7.16 分、50 歳代が 6.83 分で確認された。確認時間と年齢の関係は、個体差が大きいため、一概に年齢を区分することができなかった。Mets の AT は、20 歳代 3.24、40 歳代 3.27、50 歳代 3.72 であった。Mets は、年齢とともに上昇した。とくに、50 歳以上と 50 歳以下には有意差のあることが確認された。



3.  $\text{VO}_2$  (L/min.) の AT は、20 歳代 0.592、40 歳代 0.602、50 歳代 0.682 であった。 $\text{VCO}_2$  (L/min.) の AT は、20 歳代 0.487、40 歳代 0.501、50 歳代 0.610 であった。 $\text{VO}_2$  及び  $\text{VCO}_2$  は、年齢とともに上昇した。とくに、50 歳以上と 50 歳以下には有意差のあることが確認された。しかし、20 歳代と 40 歳代に有意差はなかった。
4. RER の AT は、20 歳代 0.820、40 歳代 0.828、50 歳代 0.884 であった。 $\text{VO}_2/\text{RER}$  は、20 歳代 0.721、40 歳代 0.727、50 歳代 0.771 であった。年齢とともに上昇した。とくに、50 歳以上と 50 歳以下には有意差のあることが確認された。しかし、20 歳代と 40 歳代に有意差はなかった。
5. VE (L/min.) の AT は、20 歳代 20.4、40 歳代 22.1、50 歳代 28.7 であった。年齢とともに上昇した。とくに、50 歳以上と 50 歳以下には有意差のあることが確認された。しかし、20 歳代と 40 歳代に有意差はなかった。
6.  $\text{PetCO}_2$  (mmHg) の AT は、20 歳代 38.9、40 歳代 37.4、50 歳代 36.5 であった。 $\text{PetCO}_2$  は、年齢の高い方が低い値であった。 $\text{PetO}_2$  (mmHg) の AT は、20 歳代 102.8、40 歳代 104.9、50 歳代 107.1 であった。 $\text{PetO}_2$  は、年齢の高い方が高い値であった。とくに、50 歳代と 20 歳代に有意差のあることが確認された。しかし、40 歳代と 50 歳代に有意差はなかった。
7.  $\text{VE}/\text{VCO}_2$  の AT は、20 歳代 36.7、40 歳代 40.4、50 歳代 43.1 であった。 $\text{VE}/\text{VO}_2$  の AT は、20 歳代 30.3、40 歳代 33.4、50 歳代 38.4 であった。 $\text{VE}/\text{VCO}_2$ - $\text{VE}/\text{VO}_2$  slope は、20 歳代 0.825、40 歳代 0.826、50 歳代 0.890 であった。年齢とともに上昇した。とくに、50 歳以上と 50 歳以下には有意差のあることが確認された。しかし、20 歳代と 40 歳代に有意差はなかった。
8.  $\text{VD}/\text{VT}$  の AT は、20 歳代 0.323、40 歳代 0.306、50 歳代 0.336 であった。年齢による有意差はなかった。 $V'_{\text{max}}$  の AT は、20 歳代 0.843、40 歳代 0.982、50 歳代 1.307 であった。年齢とともに上昇した。 $\text{VD}/\text{VT}-V'_{\text{max}}$  は、20 歳代 0.383、40 歳代 0.311、50 歳代 0.257 であった。年齢とともに低下した。
9. 以上の結果、歩行運動における AT は、年齢とともに AT ポイントも高くなる。とくに 50 歳以上と 50 歳以下には、体力年齢の境界領域のあることが示唆された。それは、加齢に伴う生体機能の低下、あるいは体力の低下によるものと考えられる。また 20 歳代と 40 歳代には、有意差が確認されなかった。つまり、体力的にはほぼ同等の呼気ガス代謝が運営されているといえる。

#### 参考文献

1. 根本勇, 宮下充正: Aerobic threshold と Anaerobic threshold, 体育の科学, 834-840, 1980.
2. 中江悟司, 田中茂穂, 宮地元彦: 改定「身体活動のメッツ (METs) 表」国立栄養・研究所, 39-41, 2012.
3. 山崎元: 体力指数—最大酸素摂取量と無酸素性作業閾値—, 慶応保健, 7-1, 1-16, 1988.

4. 塩野谷明, 橋本哲雄: 運動負荷漸進に伴う酸素摂取量と心拍数の関係—AT (無酸素性作業閾値) との関連から—, 長岡技術科学大学研究報告, 12, 63-70, 1990.
5. Wasserman, K: Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise, *Am. J. Cardiol.*, 14: 844-852, 1964.
6. Wasserman, K., Whipp, B. J., Koyal, S. N., and Cleary, M. G.: Effect of carotid body resection on ventilator and acid-base control during exercise, *J. Appl. A. Physiol.*, 39, 354-358, 1975.
7. Wasserman, K., et. al: Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise, *J. Appl. Physiol.*, 35: 236~243, 1973.
8. 谷口興一, 吉田敬義他: 運動負荷テストとその評価法, 運動生理学, 南江堂, 4-33, 1990.
9. 先住秀明, 佐藤豪, 安永尚美: 運動負荷に対する心肺機能の反応 (第 2 報) 坂道の傾斜角度・歩行速度, 長崎大学医療短期大学部紀要, 2, 105-116, 1989.
10. 長山雅俊: 心臓リハビリテーション実践マニュアル, 中山書店, 142-154, 2010.
11. 坂口喜郎: 炭酸ガスモニターの解釈, 日臨麻会, 35-1, 130-137, 2015.
12. 斉藤宗晴: 心臓病と運動負荷試験, 中外医学社, 1-28, 1990.
13. 道場信孝, 西脇要, 日野原重明: 運動処方における Target heart Rate (THR) に関する検討—Karvonen 法の有用性について—, 体力科学, 37, 245-253, 1988.
14. 勝田茂: 運動生理学 20 無酸素性作業閾値, 朝倉書店, 80-100, 1994.
15. Chua TP, Ponikowski P, Harrington D, Anker SD, Webb-Peploe K, Clark AL, Poole-Wilson PA, Coats AJ. Clinical correlates and prognostic significance of the ventilatory response to exercise in chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol.* 1997 Jun; 29 (7) : 1585-90.
16. Karvonen, M. J., Kenta, E. and Mustala, O.: The effect of training on heart rate., *Ann. Med. Exp., Ferm.*, 35, 307-315, 1957.
17. Mancini DM, Eisen H, Kussmaul W, Mull R, Edmunds LH Jr, Wilson JR. Value of peak exercise oxygen consumption for optimal timing of cardiac transplantation in ambulatory patients with heart failure. *Circulation.* 1991 Mar; 83 (3) : 778-86.
18. Itoh H, Nakamura M, Ikeda C, Yanagisawa E, Hatogai F, Iwadare M, Taniguchi K. Changes in oxygen uptake-work rate relationship as a compensatory mechanism in patients with heart failure. *Jpn Circ J.* 1992 May; 56 (5) : 504-508.
19. Stelken AM, Younis LT, Jennison SH, Miller DD, Miller LW, Shaw LJ, Kargl D, Chaitman BR. Prognostic value of cardiopulmonary exercise testing using percent achieved of predicted peak oxygen uptake for patients with ischemic and dilated cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol.* 1996 Feb; 27 (2) : 345-52.
20. Astrand, P. O. and Rhyning, I: Normogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J. Appl. Physiol.* 7, 218-221. 1954.

# The influence that the difference in walking speed gives to the Anaerobic Threshold (AT) of the woman — The difference that is 20s in particular and one of a woman in 40s and 50s —

Masayuki KAWAKAMI, Chikara YAMANO, Naohiko ARAKI,  
Chihiro KAI, Risa SHIRAKAWA, Kako TOMOTAKI and Koji INOKIHARA

*Department of Health and Sport Science,  
College of Life Science,  
Kurashiki University of Science the Art  
2640 Nishinoura Tsurajima-cho, Kurashikishi, Okayama 712-8505, Japan*

(Received October 1, 2016)

The purpose of this study is inspection of the influence that a walking speed gives to the AT of the woman. A subject is 20 years old, healthy woman 30 in her 40 years old and 50 years old. An experiment is a campaign for 60m/min., 80m/min. and 100m/min. walking load test by consecutive walks. The expiration gas exchange ratio rose with the increase of the walking speed. As for the oxygen-related work threshold, Mets was confirmed at 3.73 from 3.24 after 80m per minute, an exercise start a walking speed for six minutes from four minutes. RER was within 0.884 from 0.820. Significant difference was confirmed in 50s and 50 years old or younger in terms of age. It is a boundary line of the age to decide campaign for aerobic exercise strength, and this can say that it is physical fitness age at the same time.

However, 20s and 40s did not have the significant difference.  $\text{PetCO}_2\text{-PetO}_2$  slope and  $\text{VE}/\text{VCO}_2\text{-VE}/\text{VO}_2$  slope and RER become the role that is demand.

Key Words:  $\text{VO}_2$  (Oxygen uptake)/AT (Anaerobic threshold) /RER (Respiratory exchange ratio)