筋電図積分値による高齢者の Anaerobic threshold の決定

岡田 修一* 平川 和文* 高田 義弘* 小田 慶喜**

DETERMINATION OF ANAEROBIC THRESHOLD IN THE ELDERLY USING INTEGRATED ELECTROMYOGRAPHIC SIGNALS

SHUICHI OKADA, KAZUFUMI HIRAKAWA, YOSHIHIRO TAKADA
and YOSHINOBU ODA

Abstract

A study was conducted to examine the feasibility and validity of using integrated electromyographic signals (IEMG) for determination of anaerobic threshold (AT) in the elderly. Twenty-nine healthy elderly subjects (aged 67.6 ± 7.7 yr) and twelve young males (aged 23.2 ± 7.9 yr) performed ramp cycle exercise to exhaustion, increasing at a rate of 12.5 W/min for the elderly group and 25.0 W/min for the young group, following 3 min of exercise at zero work load. Myoelectrical signals were measured continuously from the vastus lateralis muscle, and values in terms of IEMG were computed every 10 s throughout the test with A/D conversion at 500 Hz. For the criterion of IEMG threshold, the breakpoint in the relationship between power output and IEMG was determined by two-segmental linear regression. VT was defined as the $\dot{V}O_2$ at the onset of a nonlinear increase in $\dot{V}E$ and/or a sustained rise in $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ without a rise in $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$. It was found that the value of $\dot{V}O_2$ in terms of IEMGT was similar to VT in both groups, 16.3 and 18.1 ml/kg/min for the elderly group and 33.5 and 36.3 ml/kg/min for the young group, respectively. Furthermore, IEMGT was correlated significantly ($p < 0.001$) with VT in both groups ($r = 0.871$ for the elderly group and $r = 0.925$ for the young group). It is concluded that the IEMGT method for determination of AT in the elderly is simple and useful.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1992, 41: 183~189)

key words : Elderly, Anaerobic threshold, Integrated EMG threshold, Ventilatory threshold

I. 緒 言

Anaerobic threshold (AT) は、最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) とともに、有酸素的作業能力を示す有効な生理学的指標と考えられている^{4, 28, 29)}。また、AT は最大下の作業で測定されることから、安全面からも高齢者や虚血性心疾患者に応用でき^{7, 15, 27)}、運動処方の有効な指標となっている^{6, 30)}。

従来、AT の決定には血中乳酸から決定する乳酸性閾値 (Lactate threshold : LT)^{6, 18)} と呼吸ガ

スパラメーターから判定する換気性閾値 (Ventilatory threshold : VT)^{2, 3)}が多く用いられている。この両者の値は多少の議論はあるものの、ほぼ一致することが報告されている^{8, 12, 26, 29)}。近年においては、非観血的方法である利点から VT の測定が盛んに行われるようになり、高齢者も含めて VT に関する報告が増加している^{3, 6, 15, 30)}。しかし、VT 法においては、呼吸ガスパラメーターの変化閾値がはっきりみられない被験者もみられ、また高齢者の中には、測定用のガスマスクを装着した

*神戸大学教養部

〒657 神戸市灘区鶴甲1-2-1

**姫路獨協大学一般教育部

〒670 姫路市上大野7-2-1

College of Liberal Arts, Kobe University, 1-2-1 Tsurukabuto, Nada,
Kobe, 657 Japan

College of Liberal Arts, Himeji-Dokkyo University, 7-2-1 Kamiohno,
Himeji, 670 Japan

だけで心拍数や血圧が急に上昇する者もみられる。

VT 同様, 非観血的な AT 決定方法として EMG パラメーターを用いた方法が報告されている^{13,14,25)}。それらによると, 青年において EMG 積分値 (Integrated EMG : IEMG) の急激な増加点から決定した AT(IEMGT)は, LT および VT とほぼ同様な値を示し, IEMGT の妥当性を報告している。しかし, いままで高齢者について IEMGT の妥当性を検討した報告はほとんどみられない。

IEMG による方法は, 被験者に測定器具装着の不快感をほとんど与えることなくかつ容易に実施できるため, 高齢者の AT 測定に適した方法と思われる。もし加齢による筋の諸変化^{11,16,17,19,21,23)}が推測される高齢者においても, 青年の結果と同様 IEMG からの AT 決定が可能ならば, 高齢者の運動処方注目される現在, 大変意義あるものと思われる。

本研究では, 高齢者と青年を対象として, 自転車運動時の呼気ガスパラメーターおよび主働筋の EMG から VT ならびに IEMGT を決定し, 両者の関係から高齢者の AT 決定方法としての IEMGT の妥当性について検討するものである。

II. 方 法

A. 被験者

被験者は, 事前にメディカルチェックを受け, 呼吸循環系に異常のないことが確かめられた, 60歳以上の高齢者29名 (以下高齢者群と呼ぶ)と, 定期的に運動を行っていない青年12名 (以下青年群と呼ぶ)である。なお, 高齢者群は, 高齢者大

学において週1日の頻度で軽スポーツを実施している。

B. 実験方法

被験者に対して, 室温21度, 湿度60%に設定した人工気候室内で, アイスパワー自転車エルゴメーター (竹井機器製ハイパワーエルゴメーター)を用いて, ランプ負荷法による最大作業テストを行った。作業終了は, 高齢者群においては symptom limited 法¹⁾により, また青年群には疲労困憊までの exhaust 法¹⁾により決定した。ランプ負荷の割合は, 回転数を 50 rpm と規定し, 3分間無荷重で運動した後先行研究に従って¹⁵⁾, 高齢者群では 12.5 watts/min, 青年群では 25 watts/min に設定した。運動中は, 血圧 (日本コーリン STBP-680) と心電図 (日本光電 cardiofax) を連続的に測定しながら監視した。

呼気ガスパラメーターは, エアロモニター (ミナト医科学 AE-280) を用いて breath-by-breath 法により運動中連続的に測定し, 10秒毎の各パラメーターの平均値を算出した。得られた酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) および心拍数 (HR) の最大値をもって, peak $\dot{V}O_2$ および peak HR とした。両群の身体特性ならびに peak $\dot{V}O_2$ と peak HR は, Table 1 に示す通りである。

EMG は, 先行研究に従って^{5,14,25)}, 大きな筋力値を示す側の脚の外側広筋からテレメーター (日本電気三栄511)を用いて表面双極誘導法により導出した。電極 (直径 10 mm) は Zipp の方法³¹⁾に従って, 20 mm 間隔で筋線維の走行方向と一致するように装着し, 電極間抵抗は 5 k Ω 以下とした。得られた EMG 信号はデータレコーダー (TEAC R 81) に収録するとともに, コンピューター (HP

Table 1. Physical characteristics of the subjects.

	N	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	Peak $\dot{V}O_2$ (ml)	Peak HR (bpm)
Elderly	29	67.6 $\pm$ 7.7	160.6 $\pm$ 7.5	57.5 $\pm$ 8.6	25.5 $\pm$ 4.0	148.7 $\pm$ 21.2
Young	12	23.2 $\pm$ 7.9	171.1 $\pm$ 9.2	66.5 $\pm$ 10.9	48.2 $\pm$ 7.2	189.1 $\pm$ 19.7
Diff.		44.4***	10.5***	9.0**	22.7***	40.4***

Values are mean $\pm$ SD.

Diff.: Difference between the elderly and the young groups.

** : p<0.01, *** : p<0.001, ml : ml/kg/min, bpm : beats/min.

9000)によりオンラインでA/D変換(500Hzのサンプリング周期)した後、運動終了までガスパラメーターと同様、10秒毎に全波整流した後積分値を計算した。

C. VT の決定方法

VTの決定は、ATについて熟知した2人の検者によって、Davisたち⁴⁾およびWassermanたち²⁶⁾の報告に基づき、1) 負荷の増加に対して $\dot{V}E$ 、 $\dot{V}CO_2$ が非直線的に増加する時点、2) $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ の増加を伴わずに $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ が増加する時点、3) 呼気終末 PCO_2 ($PETCO_2$)の減少を伴わずに呼気終末 PO_2 ($PETO_2$)の増加する時点、4) 呼吸商(RQ)の急激な増加を示す時点から、総合的に判定し、その時の $\dot{V}O_2$ をもってVTとした。

D. IEMGT の決定方法

IEMGTの決定は、Fig.1に示すように、運動開始4分後から終了までのデータを、最小二乗法により2つの回帰直線でフィッティングし、その標準推定誤差の和が最小となる交点を求め、その

時点の $\dot{V}O_2$ をもってIEMGTとした。なお、同個人のIEMGTの再現性をみるために、青年群の中の6名に対し、実験期日を改めて同じ実験を行い、1回目と2回目のIEMGTの相関関係について検討した。

E. 統計処理

高齢者群と青年群の平均値の差検定は、対応のないStudentのt-testを適用した。また、相関関係はピアソンの相関分析により検討した。すべての有意水準の決定は、危険率が5%以下をもって有意とした。

III. 結 果

1回目と2回目のIEMGTの相関関係をFig.2に示した。1回目と2回目のIEMGTの間には、 $r=0.99$ という有意($P<0.001$)に高い相関係数が得られた。

青年群と高齢者群のVTおよびIEMGTの平均値と標準偏差、ならびに両群のVTとIEMGTの差の検定結果をTable2に示した。高齢者群の

Fig. 1. An example of the determination of integrated electromyographic threshold (IEMGT).

Fig. 2. The relationship between $\dot{V}O_2$ in integrated electromyographic threshold (IEMGT) at first and second experiment.

Table 2. Comparison of $\dot{V}O_2$ values between VT and IEMGT in the elderly and the young groups.

	$\dot{V}O_2$ at VT (ml)	$\dot{V}O_2$ at IEMGT (ml)	Diff. ^a (ml)
Elderly	18.1 ± 4.3	16.3 ± 4.4	1.8^{NS}
Young	33.5 ± 9.7	36.3 ± 9.9	2.8^{NS}
Diff. ^b	15.4^{***}	20.0^{***}	

Values are mean $\pm$ SD.

Diff.^a: Difference between $\dot{V}O_2$ at VT and IEMGT.

Diff.^b: Difference between $\dot{V}O_2$ in the elderly and the young groups.

***: $p < 0.001$, ^{NS}: No Significance, ml: ml/kg/min.

Fig. 3. The relationship between $\dot{V}O_2$ in ventilatory threshold (VT) and integrated electromyographic threshold (IEMGT). Left panel: the young group (●), Right panel: the elderly group (○).

VT と IEMGT は、青年群より有意 ($P < 0.001$) に小さな値を示した。VT と IEMGT の比較では、両群ともにわずかな違いがみられたが、いずれも有意な差異ではなかった。

Fig. 3 に青年群および高齢者群の VT と IEMGT との相関図を示した。両者の関係は、青年群においては $Y = 0.940X + 5.384$ ($r = 0.925$, $P < 0.001$), 一方高齢者群においては $Y = 0.921X - 1.511$ ($r = 0.871$, $P < 0.001$) で、両群とも有意な相

関関係が認められた。

IV. 考 察

本研究では、IEMG による AT 決定の妥当性を、Wasserman たち²⁸⁾の報告による「代謝性アシドーシスか、それに伴うガス交換の変化が起こる直前の運動強度または $\dot{V}O_2$ のレベル」を AT とする立場から、近年 AT 決定によく用いられている VT^{15, 29, 30)}との対応性に基づき検討を行った。

VT および IEMGT の出現について、青年を対象にした先行研究^{14,25)}によると、負荷増大に伴う fast twitch (FT) 線維の動員によって生ずる乳酸の蓄積に起因する、代謝性アシドーシス補償のための呼気ガスパラメーターの大きな変化と、筋収縮力低下を補うための motor units (MUs) の発火頻度増加および新しい MUs の動員による IEMG の大きな増加によって、VT と IEMGT が決定されると説明されている。さらにこれらの研究は、本研究の結果と同様、VT と IEMGT の間に有意な相関関係が認められることを報告している。

一方、高齢者の VT 決定に関しては、青年と同様なメカニズムで出現することが多く報告されているが^{6,15,30)}、高齢者の IEMGT に関する研究は、ほとんどみられない。しかも高齢者の筋特性として、筋量の減少^{16,23)}、FT 線維の選択的萎縮^{11,21)}、筋から血中への乳酸拡散能力の減少²⁴⁾、CO₂ 感受性の低下¹⁰⁾などが報告されており、これらの加齢に伴う筋の質的・量的変化は、高齢者の VT と IEMGT の関係に何らかの影響を及ぼし、青年との間に差異を生じさせることが予想される。本研究において、先行研究^{3,15)}と同様、高齢者群の VT が青年群より有意に小さい値を示したことは、高齢者と青年の筋量あるいは筋線維組成の相違を反映した結果と考えられる^{15,20)}。

しかし、Fig. 1 に示したように本研究の高齢者群においても、青年群と同様、負荷漸増に伴う IEMG の非直線的増加点は出現することが確認されるとともに、IEMGT と VT の間には有意な差異はみられず (Table 2)、高い正の相関関係が認められた (Fig. 3)。

これらのことは、加齢による筋の質的・量的変化は、VT および IEMGT の絶対値に影響を与えるが、両者の関係には影響を及ぼさないことを示唆するものであり、高齢者の VT と IEMGT は上述の青年と同様のメカニズムで出現することが推察される。

以上のことから、高齢者の AT を非侵襲的に測定できる信頼性の高い方法として、本研究で示したような IEMG を用いる方法の有効性が示唆された。しかし、この結果は、VT との相関におい

てその妥当性を示したもので、AT 真値の決定に関してまでは議論できない。今後、筋中および血中の乳酸測定も導入した検討が必要であろう。

V. ま と め

高齢者の AT 決定における IEMGT の妥当性について検討するために、高齢者29名および青年12名の男性を対象にして、自転車エルゴメーターによるランプ負荷運動時の呼気ガスパラメーターおよび主働筋の EMG の測定から、VT と IEMGT を求め、それらの関係を分析した。その結果、VT と IEMGT は高齢者群および青年群とも同様な値を示し、統計的に有意差は認められなかった。また、両者の相関係数は、高齢者群で $r=0.871$ 、青年群で $r=0.925$ で、いずれも有意な正の相関関係がみられた。これらの結果は、高齢者の AT 決定における IEMGT の妥当性を示唆するものである。

本研究は、昭和63年度文部省科学研究費 (課題番号 63780160) の補助によって行われたものである。

(受付 平成3年3月25日)

文 献

- 1) American college of sports medicine (1975) : Guidelines for exercise stress testing, Philadelphia, Lea & Febiger.
- 2) Caiozzo, V., Davis, J. A., Ellis, J. F., Azuz, J. L., Vandagriff, R., Prietto, G. A. and McMaster, W. C. (1982) : Comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold, *J. Appl. Physiol.*, **53**, 1490-1496.
- 3) Cunningham, D. A., Nancekieve, E. A., Paterson, D. H., Donner, A. P. and Rechnitzer, P. A. (1985) : Ventilation threshold and aging, *J. Gerontol.*, **40**, 703-707.
- 4) Davis, J. A., Vodak, P., Wilmore, J. H., Vodak, J. and Kurtz, P. (1976) : Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise, *J. Appl. Physiol.*, **41**, 544-550.
- 5) Ericson, M. O., Bratt, A., Nisell, R., Arborelius, U. P. and Ekholm, J. (1986) : Power output and

- work in different muscle groups during ergometer cycling, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **55**, 229-235.
- 6) Foster, V. L., Hume, J. E., Dickinson, A. L., Chatfield, S. J. and Byrnes, W. C. (1986) : The reproducibility of $\dot{V}O_2$ max, ventilatory, and lactate thresholds in elderly women, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **18**, 425-430.
 - 7) Goodman, L. S., McKenzie, J. E., Taunton, J. E. and Walters, M. B. (1988) : Ventilatory threshold and training heart rate in exercising cardiac patients, *Can. J. Sport. Sci.*, **13**, 220-224.
 - 8) Green, H. J., Hughson, R. L., Orr, G. W. and Ranney, D. A. (1983) : Anaerobic threshold, blood lactate, and muscle metabolites in progressive exercise, *J. Appl. Physiol.*, **54**, 1032-1038.
 - 9) Gutmann, E. and Hanzlikova, V. (1976) : Fast and slow motor units in aging, *Gerontology*, **22**, 280-300.
 - 10) Kronenberg, N. L. and Drage, C. W. (1973) : Attenuation of the ventilatory and heart rate responses to hypoxia and hypercapnia with aging in normal men, *J. Clin. Invest.*, **52**, 1812-1819.
 - 11) Larsson, L. (1983) : Histochemical characteristics of human skeletal muscle during aging, *Acta Physiol. Scand.*, **117**, 469-471.
 - 12) McLellan, T. M. and Gass, G. C. (1989) : The relationship between the ventilation and lactate thresholds following normal, low and high carbohydrate diets, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **58**, 568-576.
 - 13) Miyashita, M., Kanehisa, H. and Nemoto, I. (1981) : EMG related to anaerobic threshold, *J. Sports Med.*, **21**, 209-217.
 - 14) Nagata, A., Muro, M., Moritani, T. and Yoshida, T. (1981) : Anaerobic threshold determination by blood lactate and myoelectric signals, *Jap. J. Physiol.*, **31**, 585-597.
 - 15) Posner, J. D., Gorman, K. M., Klein, H. S., and Cline C. J. (1987) : Ventilatory threshold, measurement and variation with age, *J. Appl. Physiol.*, **63**, 1519-1525.
 - 16) Rowe, R. W. D. (1969) : The effect of senility on muscles in the mouse, *Exp. Gerontol.*, **4**, 119-126.
 - 17) Sato, T., Akatsuka, H., Kito, K., Tokoro, Y., Tauchi, H. and Kato, K. (1984) : Age changes in size and number of muscle fibers in human minor pectoral muscle, *Mech. Ageing Dev.*, **28**, 99-109.
 - 18) 竹島伸生, 小林章雄, 田中喜代次, 新畑茂充, 渡辺丈真, 鷺見勝博, 鈴木雅裕, 小村 晃, 宮原満男, 上田一博, 加藤孝之 (1989) : 中高年ランナーの最大酸素摂取量と乳酸性閾値—加齢に伴う変化—. *体力科学*, **38**, 197-207.
 - 19) Tauchi, H., Yoshioka, T. and Kobayashi, H. (1971) : Age changes of skeletal muscles of rats, *Gerontologia*, **17**, 219-227.
 - 20) Thomas, S. G., Cunningham, D. A., Thompson, J. and Rechnitzer, P. A. (1985) : Exercise training and ventilation threshold in elderly, *J. Appl. Physiol.*, **59**, 1472-1476.
 - 21) Tomonaga, M. (1977) : Histochemical and ultrastructural changes in senile human skeletal muscle, *J. Am. Geriatr. Soc.*, **25**, 125-131.
 - 22) Tucek, S. and Gutmann, E. (1973) : Choline acetyltransferase activity in muscles of old rats, *Expl. Neurol.*, **38**, 349-360.
 - 23) Tzankoff, S. P. and Norris, A. H. (1977) : Effect of muscle mass decrease on age-related BMR changes, *J. Appl. Physiol.*, **43**, 1001-1006.
 - 24) Tzankoff, S. P. and Norris, A. H. (1979) : Age-related differences in lactate distribution kinetics following maximal exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **42**, 35-40.
 - 25) Viitasalo, J. T., Luhtanen, P., Rahkila, P. and Rusko, H. (1985) : Electromyographic activity related to aerobic and anaerobic threshold in ergometer bicycling, *Acta Physiol. Scand.*, **124**, 287-293.
 - 26) Wasserman, K. and Whipp, B. J., Koyal, S. H. and Beaver, W. L. (1973) : Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise, *J. Appl. Physiol.*, **35**, 236-243.
 - 27) Wasserman, K. and Whipp, B. J. (1975) : Exercise physiology in health and disease, *Am. Rev. Respir. Dis.*, **112**, 219-249.
 - 28) Weltman, A. and Katch, V. I. (1979) : Relationship between the onset of metabolic acidosis (anaerobic threshold) and maximal oxygen uptake, *J. Sports Med.*, **19**, 135-142.

- 29) Yoshida, T. (1987) : Current topics and concepts of lactate and gas exchange thresholds. *J. Human Ergol.* **19**, 103-121.
- 30) 吉田敬義, 有働正夫, 玉木伸和, 千田 守, 市岡正彦, 江口淳一(1989) : 中高年の適正な体力評価ならびに運動処方としての Gas Exchange Threshold. *体力研究*, **72**, 169-179.
- 31) Zipp, P. (1982) : Recommendations for the standardization of lead positions in surface electromyography, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **50**, 41-54.