

² 副論文

研究発表

加齢と運動習慣が換気性閾値に及ぼす影響

三浦孝仁^{*1}, 高橋香代^{*2}, 鈴木久雄^{*1}, 平田敏彦^{*3}
吉田総一郎^{*4}, 吉良尚平^{*5}, 太田善介^{*4}

蹠スポーツ医学 第10巻 第4号 別刷

(平成5年4月)

加齢と運動習慣が換気性閾値に及ぼす影響

三浦孝仁*¹, 高橋香代*², 鈴木久雄*¹, 平田敏彦*³
吉田総一郎*⁴, 吉良尚平*⁵, 太田善介*⁴

はじめに

「健康づくり」には、有酸素運動が有用といわれている¹⁾。しかし、個人個人の有酸素能力を実測して、健康づくりの運動処方として役立つことは、あまり普及していない。Wassermanら²⁻⁴⁾が提唱した無酸素性作業閾値(anaerobic threshold: AT)は、有酸素エネルギーでまかなえる最大の運動強度を意味しており、呼気ガス諸変量の測定による換気性閾値(ventilatory threshold: VT)⁵⁻⁷⁾や血中乳酸の急増点により判定される乳酸性閾値(lactate threshold: LT)⁸⁻¹⁰⁾が指標として用いられている。

今回われわれは個人個人の有酸素能力の評価を非観血的なVTを指標に、健康増進のための運動処方の目安としての有用性について検討したいと考えた。そこで、広い年齢層の男性を対象として、加齢と運動習慣がVTに及ぼす影響を検討したので報告する。

方法

1. 対象

被検者には事前に実験目的ならびに方法について説明し同意を得た。全被検者のメディカルチェック実施後、測定に移った。

VTの再現性の検討は、平均年齢 23.8 ± 4.8 歳の健康な被検者10名(男性3名、女性7名)を対象

とした。ランブ負荷増加率(ランブ傾斜)の影響については、平均年齢 25.3 ± 4.9 歳の健康な被検者11名(男性6名、女性5名)を対象とした。

VTに及ぼす加齢と運動習慣の影響は、15~83歳の男性49名を対象として行った。被検者の年齢構成ならびに身体的特性は、表-1に示した。被検者49名のうち、28名は日頃から1日1時間以上、週4日以上の運動習慣を有する者で、active群(以下A群とする)とした。他の21名は座業的な仕事に従事し、運動習慣のない者で、sedentary群(以下S群とする)とした。A群の平均年齢は、 45.1 ± 19.8 歳、平均身長 167.4 ± 5.1 cm、平均体重 59.3 ± 6.6 kg、でS群はそれぞれ 43.9 ± 14.2 歳、 167.5 ± 6.9 cm、 61.9 ± 7.9 kgであった。キャリパー法により求めた体脂肪率(% fat)は、A群: $14.9 \pm 3.59\%$ 、S群: $19.4 \pm 6.13\%$ で、S群が有位に高値であった($P < 0.01$)。

2. 運動負荷試験

運動負荷試験当日は、タバコ、コーヒー、薬の喫食を禁じ、食後3時間以上経過後に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、ランブ負荷法により負荷漸増運動を行った。

VTの再現性は、男性ではランブ傾斜を15W/分で60回転/分、女性は15W/分で50回転/分のランブ負荷法で、日を変えて2週間以内に被検者ごとに計3回実施した。

ランブ傾斜の影響は、10W、15W、20W、40W/分の4段階のランブ負荷を男性は60回転/分、女性は50回転/分で、日を変えて3週間以内に実施した。なお、異なるランブ傾斜の実施順序はラン

表-1 Characteristics of subjects

(M $\pm$ SD)

age group (years)	15~29	30~39	40~49	50~59	60~83
active (n)	7	3	8	5	5
age (years)	19.9 ± 3.4	34.0 ± 2.9	46.5 ± 1.7	54.2 ± 2.7	74.0 ± 5.9
height (cm)	169.3 ± 5.6	167.7 ± 4.0	169.4 ± 5.0	165.6 ± 2.9	163.2 ± 5.1
weight (kg)	58.4 ± 6.9	61.7 ± 5.1	60.4 ± 7.3	62.6 ± 4.9	54.0 ± 6.2
fat (%)	12.9 ± 0.7	18.3 ± 1.1	16.5 ± 4.9	16.5 ± 1.5	15.9 ± 3.1
sedentary (n)	2	6	8	2	3
age (years)	22.0 ± 2.0	34.4 ± 3.2	44.0 ± 1.7	52.0 ± 1.4	72.3 ± 3.9
height (cm)	171.1 ± 6.2	168.8 ± 6.1	168.4 ± 7.0	165.7 ± 3.1	158.7 ± 2.1
weight (kg)	63.0 ± 2.8	66.2 ± 8.5	62.8 ± 7.3	59.3 ± 9.6	57.0 ± 7.0
fat (%)	12.9 ± 1.6	19.7 ± 8.2	21.8 ± 4.0	19.0 ± 1.8	14.9 ± 3.6

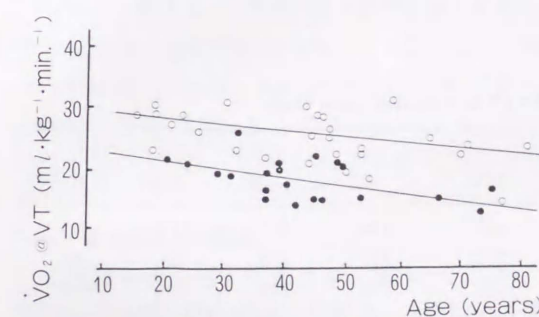


図-1 Relationship between $\dot{V}O_2$ at ventilatory threshold ($\dot{V}O_2$ @ VT) and age.
○: active subjects ($Y = 30.0 - 0.13X$, $r = 0.590$, $P < 0.001$)
●: sedentary subjects ($Y = 24.1 - 0.16X$, $r = 0.628$, $P < 0.01$)

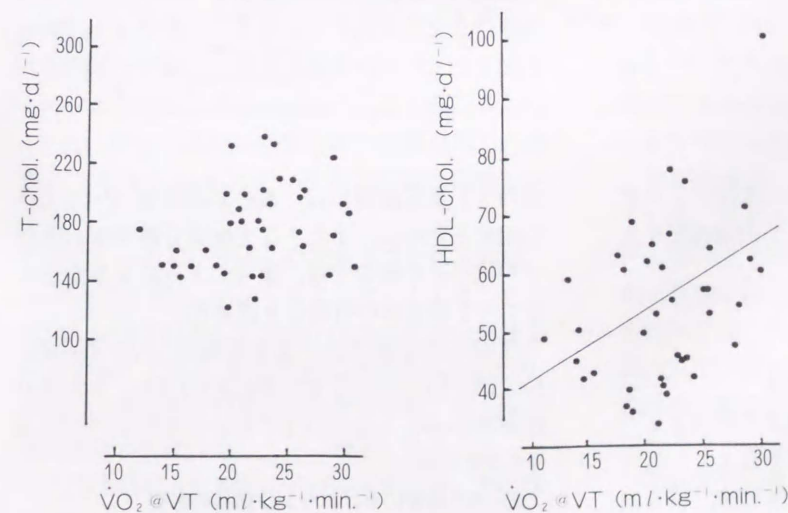


図-2 Relationship between $\dot{V}O_2$ @ VT and serum cholesterol.
HDL-C: $Y = 29.8 + 1.2X$ ($r = 0.406$, $P < 0.01$)

*¹ 岡山大学教養部
*² 岡山大学教育学部
*³ 岡山県立短期大学
*⁴ 岡山大学医学部 第3内科
*⁵ 岡山大学医学部 公衆衛生

表-2 Comparison of test-retest for each subject.

subj.	sex	age (yr.)	$\dot{V}O_2$ @ VT (ml/min.)			CV (%)	WR@ VT (W)			CV (%)
			1 st.-T	2 nd.-T	3 rd.-T		1 st.-T	2 nd.-T	3 rd.-T	
1.	M	34	1361	1354	1389	1.3	125.6	133.1	140.6	5.6
2.	M	22	1262	1233	1212	2.0	84.4	99.4	95.6	8.4
3.	F	25	1437	1675	1676	8.6	155.6	140.6	133.1	8.0
4.	F	21	669	664	640	2.4	65.6	65.6	61.9	3.4
5.	F	21	921	957	950	2.1	76.9	80.6	80.6	2.7
6.	F	21	1119	980	1093	7.0	84.4	80.6	80.6	2.7
7.	F	21	588	594	572	2.1	46.9	69.4	69.4	21.0
8.	F	23	934	942	978	2.5	79.9	79.9	95.6	10.7
9.	F	27	1445	1425	1387	2.1	133.1	133.1	129.4	1.7
10.	F	23	1169	1248	1106	6.1	107.0	111.0	103.1	3.7
mean		23.8	1091	1107	1100	3.6	96.2	99.3	99.0	6.8
±SD		4.10	305.3	340.7	340.0	2.6	32.4	28.4	27.5	5.8

表-3 Comparison of $\dot{V}O_2$ @ VT and WR@ VT to individual ramp slope.

subj.	sex	age (yr.)	$\dot{V}O_2$ @ VT (ml/min.)				WR@ VT (W)			
			10W	15W	20W	40W	10W	15W	20W	40W
1.	M	32	1435	1431	1451	1357	106	111	123	165
2.	M	24	1493	1521	1492	1504	124	118	118	145
3.	M	22	1495	1530	1532	1518	110	133	138	145
4.	M	34	1369	1361	1409	1461	134	126	123	165
5.	M	31	1359	1374	1347	1434	99	107	108	136
6.	M	22	1221	1221	1189	1287	86	96	93	105
7.	F	21	657	664	714	670	76	66	88	115
8.	F	21	955	980	853	964	79	81	73	105
9.	F	21	593	595	601	628	59	69	73	65
10.	F	23	988	942	984	999	84	80	88	105
11.	F	27	1457	1425	1479	1442	134	133	148	155
mean		25.3	1184	1186	1187	1206	99.2	101.8	106.6	127.7
±SD		4.9	333.7	337.4	340.9	333.3	24.8	24.9	25.5	31.3
							* _____			
							_____ *			
							_____ *			

* : p<0.05

する酸素摂取量($\dot{V}O_2$)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。

結 果

1. ランプ負荷法によるVTの再現性

今回の測定法によるVTの再現性を検討するために、10名の被検者にそれぞれ日を変えて3回のVT測定を行った。この第1回、第2回、第3回

目のVT測定値間には、おのおの有意(P<0.01)な相関を認めた。また、二元配置分散分析および平均値の差の検定では、表-2のように有意な差はなくVT測定値の再現性を認めた。

3回の測定値における変動係数(CV=SD/M×100)は、 $\dot{V}O_2$ @VTで平均3.6±2.6%、VT時の仕事率(work rate at VT:WR@VT)は平均6.8±5.8%であった。

2. VT測定におけるランプ傾斜の影響

ランプ傾斜に対する $\dot{V}O_2$ @VTとWR@VTの結果を表-3に示した。全被検者の $\dot{V}O_2$ @VTとWR@VTの平均値は、ランプ傾斜が増すにつれ大きくなる傾向を示した。しかし、 $\dot{V}O_2$ @VTは二元配置分散分析と平均値の差の検定の結果、10W/分から40W/分までのランプ傾斜間では有意差はみられなかった。一方、WR@VTでは40W/分のランプ傾斜と他のランプ傾斜との間にはみ有意な差を認めた。

被検者11名を4段階のランプ傾斜で測定した $\dot{V}O_2$ @VTは、それぞれテスト間にr=0.9前後の高い相関係数をもって有意な相関を認めた。

3. 加齢と運動習慣の影響

A群、S群ともに、 $\dot{V}O_2$ @VTと年齢との間には有意な負の相関が認められた。A群では、 $\dot{V}O_2$ @VT=30-0.13・Age(r=-0.590, p<0.001)。S群では、 $\dot{V}O_2$ @VT=25.0-0.16・Age(r=-0.628, p<0.01)の回帰式が得られた。

4. 血清脂質との関連

安静時血液生化学検査と $\dot{V}O_2$ @VTについて検討した結果、図-2のように総コレステロール値とは相関はみられなかったが、安静時のHDLコレステロール値とは有意(P<0.01)な正の相関を得た。

考 察

これまで、有酸素能力の評価や相対的運動強度の指標として、一般の最大酸素摂取量($\dot{V}O_2$ max)が用いられてきた。しかし、中高年者を含む幅広い年齢層を対象に、最大運動負荷テストを実施するリスクは高い。Wasserman²⁾により提唱されたATは、最大下運動で実測できる有酸素能力の指標として $\dot{V}O_2$ maxに比べ安全で正確な指標といえる。

今回われわれが使用した呼気ガス分析装置は、O₂アナライザー、CO₂アナライザーともそれぞれ375ms以下で応答し、誤差0.02%以内の分解能を有するものである。高価である欠点はあるものの、呼気ガス諸変量が即座にモニターされ、多人数の連続測定が可能であるという長所がある。

実際今回のVT判定における再現性は、他の報

告¹¹⁻¹³⁾と同等かそれ以上の結果が得られた。再現性が良好であった大きな理由は、精度の高い測定機器を使用したことによるといえる。

VTの変動係数については、3回以上の測定により再現性を検討した報告が他になく比較できないが、今回実験結果では $\dot{V}O_2$ @VTで3.2±2.0%であった。VTの運動処方への利用を考える場合には、この程度の誤差を考慮する必要があるだろう。

今回、運動負荷法として採用したランプ負荷法は、仕事量を一挙に増加させる段階的負荷法に比べ、生体へ急激に負荷をかけることなく、テスト時間が短縮できる利点がある¹⁴⁾。VT出現までに要したランプ負荷時間は、平均6分程度であった。また、生体への負担が急激でないことは、中高年者を対象とする運動負荷法として適しているといえる。さらに、テスト時間の短縮は、多人数の測定が可能となる意味でも有用である。

ランプ傾斜が、 $\dot{V}O_2$ @VTやWR@VTに与える影響は検討を要する課題である。今回の結果からは、 $\dot{V}O_2$ @VTについては10W/分から40W/分までの4段階のランプ傾斜による差はなかった。Davisら¹⁵⁾も、50W/分以下では $\dot{V}O_2$ @VTにはランプ傾斜の影響はないと報告している。吉田ら¹³⁾は、15W、30W、60W/分とランプ傾斜を変え作業効率を測定しているが、gas exchange threshold以下ではランプ傾斜にかかわらず $\dot{V}O_2$ は一定であったことを示している。以上の報告は、今回用いたランプ傾斜の差によって $\dot{V}O_2$ @VTが影響を受けないことを示している。

加齢と $\dot{V}O_2$ @VTについての報告は $\dot{V}O_2$ max¹⁶⁾に比べ少ないが、1987年にPosnerら¹⁷⁾が男女ともに $\dot{V}O_2$ @VTは年齢と負の相関があることを報告した。田村ら¹⁸⁾は、WR@VTが年齢と相関があり、1歳ごとに0.859W減少するとしている。われわれは、active群とsedentary群の $\dot{V}O_2$ @VTを測定し、それぞれ $\dot{V}O_2$ @VTと年齢に有意な負の相関を得た。しかし、Yoshidaら¹⁹⁾の報告では、 $\dot{V}O_2$ @VTと年齢との間に相関が認められていない。この違いは、Yoshidaら¹⁹⁾の被検者の年齢層が高く、年齢幅も狭かったのに対し田村¹⁸⁾やPosnerら¹⁷⁾とわれわれの場合には幅広い年齢層を対象にしたためと考えている。

研究発表

active 群の $\dot{V}O_2$ @ VT は, sedentary 群に比べ高い値を示した。これは, $\dot{V}O_2$ @ VT が $\dot{V}O_{2\max}$ と同様に運動習慣により高い水準を維持できることを示している。Yerg ら²⁰⁾ は, 運動習慣の少ない60歳代の sedentary 群に, 12ヵ月の持久性トレーニングを行わせた結果, VT の判定因子の1つである $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ が改善したと報告している。加齢によって低下する $\dot{V}O_2$ @ VT が, 日常生活での運動習慣により高く維持されるという結果は行動体力を保つために日常生活における運動習慣が有効であることを意味するといえる。さらに, 安静時の HDL コレステロール値と $\dot{V}O_2$ @ VT が正の相関を認めたことに注目したい。HDL コレステロールは, 運動により増加する善玉コレステロールとして知られており⁷⁾¹⁶⁾, 運動が動脈硬化予防に役立つといわれてきた根拠の1つである。 $\dot{V}O_2$ @ VT と HDL コレステロールが相関を示したという知見は, 日常生活での運動習慣が, $\dot{V}O_2$ @ VT と HDL コレステロールを高く保ち, 行動体力の保持と動脈硬化の予防に役立つことを示唆していると考えられる。

われわれは実際に, 運動不足の中高年者に対し $\dot{V}O_2$ @ VT を測定し, 有酸素エネルギーでまかなえる最大の運動強度を個別に評価し運動処方を行っている。さらに, それぞれの被検者に VT レベルと同等の METS 強度をもつ運動種目を教示し, 各自の好みにあった運動を指導している。このような個人個人の有酸素能力にあわせた運動処方の指導は中高年や有疾患者にとって特に有用と考えている。

日本体育大学 石井喜八教授のご校閲に感謝いたします。

文 献

- 厚生省, 健康づくりのための運動所要量策定検討会(黒田善雄委員長): 健康づくりのための運動所要量策定検討委員会報告書, 1989.
- Wasserman, K., and McIlroy, M. B.: Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am. J. Cardiol.* 14: 844-852, 1964.
- Wasserman, K. et al.: Respiratory physiology of

exercise: Metabolism, Gas Exchange, and Ventilatory Control, *International Review of Physiology* 23: 149-211, 1981.

- Wasserman, K. et al.: Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.* 35(2): 236-243, 1973.
- Beaver, W. L. et al.: A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J. Appl. Physiol.* 60(6): 2020-2027, 1986.
- Orr, G. W. et al.: A computer linear regression model to determine ventilatory anaerobic threshold. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 52(5): 1349-1352, 1982.
- Reybrouck T. et al.: Ventilatory anaerobic threshold in healthy children-Age and sex differences. *Eur. J. Appl. Physiol.* 54: 278-284, 1985.
- Beaver, W. L. et al.: Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. *J. Appl. Physiol.* 59(6): 1936-1940, 1985.
- Beaver, W. L. et al.: Blood lactate concentration in exercise. *Letters to the editor. J. Appl. Physiol.* 64: 1290-1291, 1988.
- Morton, R. H.: Detection of a lactate threshold during incremental exercise. *J. Appl. Physiol.* 67(2): 885-888, 1989.
- Davis, J. A. et al.: Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. *J. Appl. Physiol.* 46: 1039-1046, 1979.
- Gaiozzo, V. J. et al.: A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 53(5): 1184-1189, 1982.
- 吉田敬義ら: 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* 72: 169-179, 1989.
- Whipp, B. J. et al.: A test to determine parameters of aerobic function during exercise. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 50: 217-221, 1981.
- Davis, J. A. et al.: Effect of ramp slope on determination of aerobic parameters from the ramp exercise test. *Med. Sci. Sports Exercise*, 14(5): 339-343, 1982.
- Hurley, B. F. et al.: Resistive training can reduce coronary risk factors without altering $\dot{V}O_{2\max}$ or percent body fat. *Med. Sci. Sports Ex-*

ercise. 20(2): 150-154, 1988.

- Posner J. D. et al.: Ventilatory threshold: measurement and variation with age. *J. Appl. Physiol.* 63(4): 1519-1525, 1987.
- 田村真一ら: 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* 39(5): 371-375, 1989.
- Yoshida, T. et al.: Anaerobic threshold of middle

加齢と運動習慣が換気性閾値に及ぼす影響

and old aged men. *Physical Fitness Research*. 20: 219-225, 1983.

- Yerg II J. E. et al.: Effect of endurance exercise training on ventilatory in older individuals. 58(3): 791-794, 1985.

(受付: 1992年1月31日, 受理: 1992年6月3日)

New Arrival

- American Academy of Orthopaedic Surgeons
Monograph Series, Vol. 4 — Postoperative Infections in Orthopaedic Surgery: Prevention & Treatment/P. A. Lotke(ed.)
1992 74pp., 42 illus.(AAOS)¥5,500
- Anatomic Variations of the Upper Extremity/C. P. Tountas & R. A. Bergman
1993 286pp.,(Churchill Liv., USA)¥30,000
- Biomechanics in Orthopedics/S. Niwa, S. M. Perren & T. Hattori(eds.)
1992 325pp.(Springer)¥19,800
- Cardiopulmonary Resuscitation/D. V. Skinner & R. I. Vincent
1993 214pp(Oxford U. P.)¥11,050
- Essentials of Sports Medicine, 2nd ed./G. R. Mclatchie, (ed.)
1993 356pp.,(Churchill Liv., UK)¥6,780
- Hand Rehabilitation — A Practical Guide/G. L. Clark, E. F. S. Wilgis, B. Aiello et al.(eds.)
1993 341p.,(Churchill Liv., USA)¥11,990
- Joint Cartilage Degradation — Basic & Clinical Aspects (Inflammatory Disease & Therapy

- Series, Vol. 12) /J. F. Woessner, Jr. & D. S. Howell(eds.)
1993 556pp.(Marcel Dekker)¥35,000
- Orthopedic Anesthesia/D. J. Wedel(ed.)
1993 441pp.(Churchill Liv., USA)18,950
- Osteoporotic Syndrome, 3rd ed.—Detection, Prevention & Treatment/L. A. Avioli(ed.)
1993 213pp.(John Wiley)¥7,700
- Paediatric Asthma/PH. Godard, J. Bousquet, F. B. Michel(eds.)
1992 61pp.(Parthenon)¥5,100
- Pediatric Rheumatology for the Practitioner, 2nd ed./J. C. Jacobs
1993 714pp.(Springer)¥23,040
- Prognosis & Risk Assessment in Cardiovascular Disease/A. S. Kapoor & B. H. Singh(eds.)
1993 578pp.(Churchill Liv., USA)¥19,190
- A Simple Guide to Orthopaedics/R. L. Huckstep
1992 450pp.(Churchill Liv., UK)¥4,060

文光堂書店調べ TEL.03(3815)3521