

剣道選手における最大酸素摂取量の pedalling 速度からの検討

大 藪 由 夫 (工学院大学)

金 木 悟 (東海大学)

大 藪 五百子 (東海大学)

渡 辺 隆 嗣 (産能大学)

Comparison of maximal oxygen uptake and ventilatory
responses during exercise by bicycle ergometry
at different pedal rate in kendo athletes

Yoshio OHYABU (Kogakuin University)

Satoru KANAKI (Tokai University)

Ihoko OHYABU (Tokai University)

Takashi WATANABE (Sangyodoritu University)

Summary

Twelve male and fourteen female kendo athletes performed maximal exercise with pedaling rate of 40 and 80 rpm on a bicycle.

The highest oxygen uptake attained in each test was measured and compared between the exercises of two different pedal rate.

No significant difference in male athletes was noted between maximal oxygen uptake determined at any pedal rate.

However in female athletes, it was confirmed that maximal oxygen uptake during 40 rpm is significantly less than maximal oxygen uptake attained in 80 rpm exercise.

On the other hand, alveolar ventilatory response to submaximal exercise (oxygen uptake=1 l/min) with 80 rpm was significantly different from that of 40 rpm.

はじめに

最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) は、全身持久性能力の指標とされ、身体トレーニングにより変動することはよく知られている。本研究では、剣道選手を対象に自転車エルゴメーターを用い

表 1. 被検者の身体的特徴

	Male	Female
n	12	14
Age (yrs)	19.2 ± 0.7	19.3 ± 1.3
Height (cm)	170.9 ± 6.3	159.6 ± 4.3
Weight (kg)	66.3 ± 6.6	55.9 ± 4.6
Training experiences		
(yrs)	10.1 ± 2.7	9.4 ± 2.6

Values are mean ± SD.

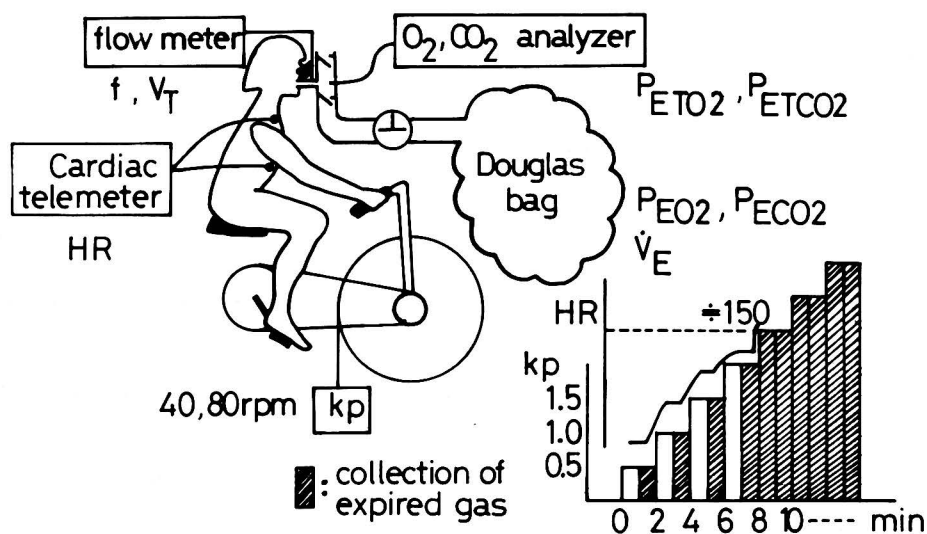
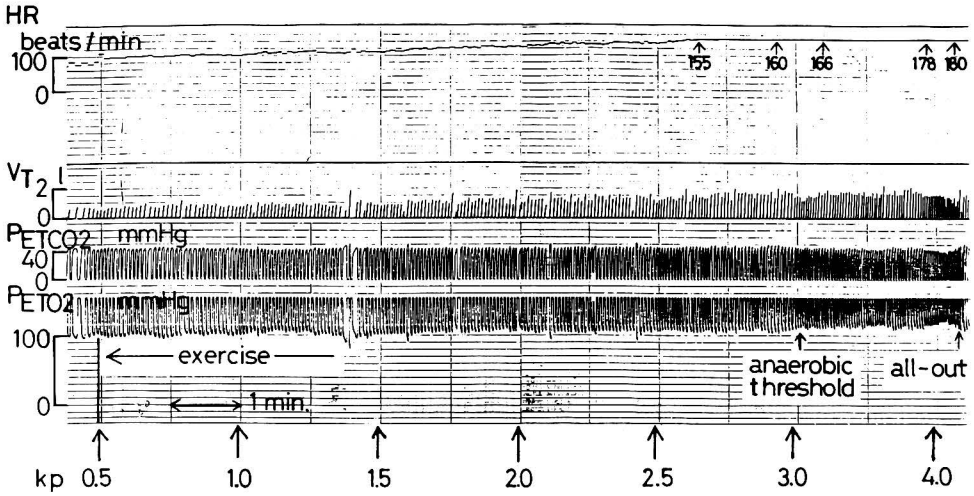


図 1. 実験装置の概略

て漸増負荷法による all-out test を行い、剣道鍛錬の最大酸素摂取量への影響の有無につき検討した。またその際の pedalling 速度が $\dot{V}O_{2\max}$ 及び運動時換気応答に影響を及ぼすか否かについて性差に着目し、検討を行った。

研究方法

① 対象：大学剣道選手男子 12 名、女子 14 名の計 26 名を選定した。なお、対象者の身体



Subj. Y. N (female, 40rpm)

図 2. 記録波形

HR; 心拍数, VT; 一回換気量,
PETCO₂; 終末呼気 CO₂ 分圧,
PEO₂; 終末呼気 O₂ 分圧,
KP; 自転車エルゴメーター抵抗負荷

的特徴及び剣道による鍛錬経験年数を表 1 に示した。

② 実験方法：自転車エルゴメーターを用いて漸増負荷法による all-out test を行った。すなわち被検者には、いずれも 0.5 kp の抵抗負荷で 2 分間の pedalling を行わせ、その後 2 分経過毎に 0.5 kp ずつ抵抗を増大させ、all-out に達するまで運動を持続させた。なおその際の pedalling 速度は、いずれの被検者も 40 rpm と 80 rpm の 2 種類で計 2 回行わせた。また、図 1 に実験装置の概略を示した。

③ 測定項目：運動中の呼吸は、ダグラスバッグに採集し、分時換気量 (\dot{V}_E)、酸素摂取量 (\dot{V}_{O_2})、CO₂ 排出量 (\dot{V}_{CO_2})、呼気 O₂ 分圧 (PEO₂) 及び CO₂ 分圧 (PECO₂) を求めた。また、一回換気量 (VT)、呼吸数 (f) は、熱線流量計 (ミナト医科学) により連続測定した。さらに終末呼気 O₂ 分圧 (PEO₂) 及び CO₂ 分圧 (PETCO₂) は、呼気ガスモニター (三栄測器) により、心拍数は、cardiotelemeter (三栄測器) を用い胸部誘導から導出した。図 2 に実際の記録波形を示した。

④ Submaximal exercise における換気応答の定量的解析： \dot{V}_E は、肺泡換気量 (VA) と死腔量 (VD) に分けられる ($\dot{V}_E = VA + VD$)。また、VD は Bohr の式、 $VD = (PETCO_2 - PECO_2) / PETCO_2 \times \dot{V}_E$ により求めることができる。なお、 \dot{V}_{O_2} と \dot{V}_E 、VA 及び VD のそれぞれの相関係数は、anaerobic threshold 以下の範囲では、 $r = 0.95 \sim 1.00$ と極めて高い値が得られた。従って、それぞれの関係における直線回帰式を最小二乗法により求め、これらの直線

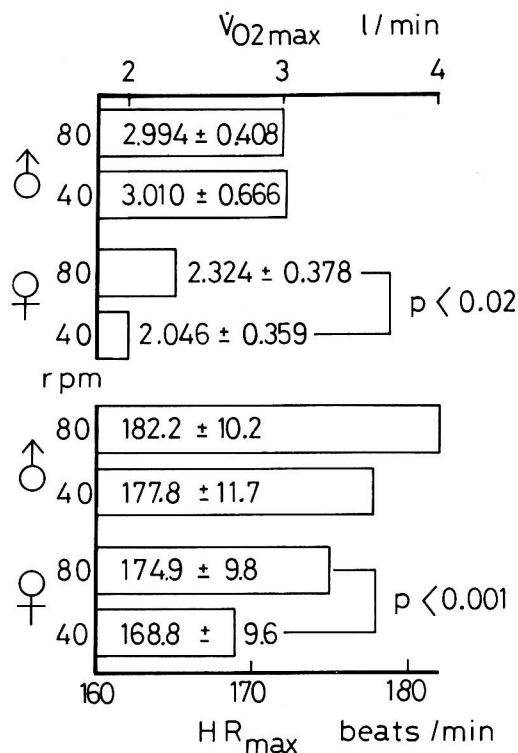
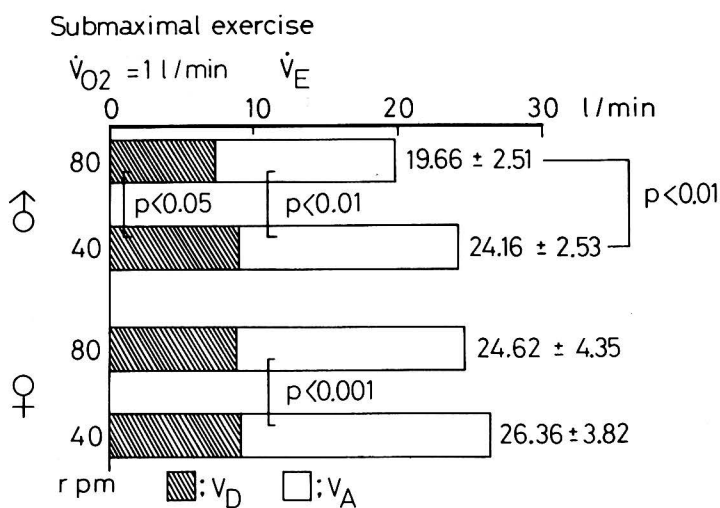


図 3. 最大酸素摂取量と最高心拍数

図 4. 最大下運動 ($\dot{V}O_2 = 1$ l/min.) 時の分時換気量, 死腔量並びに肺胞換気量

$\dot{V}O_2$: 酸素摂取量, \dot{V}_E : 分時換気量,
 V_D : 死腔量, V_A : 肺胞換気量

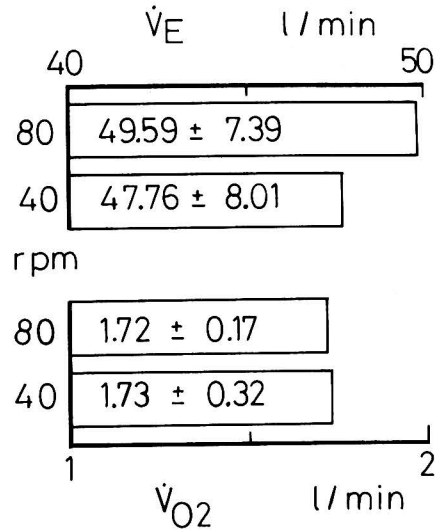


図 5. 換気性作業閾値
 \dot{V}_E : 分時換気量
 \dot{V}_{O_2} : 酸素摂取量

回帰式から $\dot{V}_{O_2}=1$ l/min. 時の \dot{V}_E , V_A , V_D を算出した。

結 果

図 3 は, $\dot{V}_{O_2\max}$ とその際の最高心拍数 (HRmax) 示したものである。男子選手の $\dot{V}_{O_2\max}$ (l/min.) は, それぞれ 2.994 ± 0.408 (80 rpm), 3.010 ± 0.666 (40 rpm) であり, 両群間に有意差を認めなかった。また, 女子選手の $\dot{V}_{O_2\max}$ (l/min.) は, それぞれ 2.324 ± 0.378 (80 rpm), 2.046 ± 0.359 (40 rpm) であり, 80 rpm 時のほうが有意 ($p < 0.02$) に大きな値を示した。

次に, $\dot{V}_{O_2}=1$ l/min. での \dot{V}_E (l/min.) は, それぞれ 19.66 ± 2.51 (80 rpm, 男子), 24.16 ± 2.53 (40 rpm, 男子), 24.62 ± 4.35 (80 rpm, 女子), 26.36 ± 3.82 (40 rpm, 女子) であった。また, $\dot{V}_{O_2}=1$ l/min. での V_A (l/min.) は, それぞれ 12.40 ± 2.42 (80 rpm, 男子), 15.02 ± 1.76 (40 rpm, 男子), 15.64 ± 2.59 (80 rpm, 女子), 17.18 ± 2.35 (40 rpm, 女子) であった。男女いずれも 40 rpm のほうが有意 ($p < 0.01$) に大きな値を示した (図 4 参照)。

さらに, 換気応答より求めた anaerobic threshold 時の \dot{V}_{O_2} (l/min.) は, それぞれ 1.72 ± 0.17 (80 rpm, 女子), 1.73 ± 0.32 (40 rpm, 女子) であり, 両群間に有意差を認めなかった (図 5 参照)。

考 察

異ら (1984, 1988)⁸⁾⁹⁾ は、大学男子剣道選手の $\dot{V}O_2\text{max}$ (l/min.) は、 3.90 ± 0.41 であったと報告している。本研究の男子選手の値はいずれも異の報告よりも小さな値を示した。

Åstrand and Saltin (1961)¹⁾ は、トレッドミルによる running と bicycling での $\dot{V}O_2\text{max}$ を求め、bicycling での値が running の値よりも若干小さいことを示唆している。さらに Glasford ら (1965)²⁾ や Hermansen and Saltin (1969)³⁾ も同様の報告を行っている。今回著者らの $\dot{V}O_2\text{max}$ が異ら (1984, 1988)⁸⁾⁹⁾ の報告する値よりも小さかったのは、おそらく運動の種類による差異と解される。

先に著者ら (1989)⁶⁾ は、剣道選手の $\dot{V}O_2\text{max}$ につき、同年齢の長距離ランナーや一般健常者の値と比較した。その結果、剣道選手の $\dot{V}O_2\text{max}$ は、長距離ランナーのそれよりも有意に小さかった。また、一般健常者との間には有意差を認めなかった。剣道鍛錬による $\dot{V}O_2\text{max}$ への影響は、あまり顕著ではないように推察される。

ところで今回女子選手の $\dot{V}O_2\text{max}$ は、40 rpm での値が 80 rpm の値よりも有意に小さく、測定時の pedalling 速度が $\dot{V}O_2\text{max}$ に影響することが明らかになった。Hermansen and Saltin (1969)³⁾ は、55 名の男子健常者を対象に bicycling による $\dot{V}O_2\text{max}$ を求め、60 及び 70 rpm での測定値は、50 及び 40 rpm での値を 0.10 l/min. 上回ったとしている。また、Mckay and Banister (1976)⁴⁾ も 5 名の男子健常者を対象に同様の検討を行い bicycling では、60 及び 80 rpm での測定が望ましいとしている。なお、これら Hermansen and Saltin (1969)³⁾ Mckay and Banister (1976)⁴⁾ の報告は、いずれも男子健常者を対象にしており、女子を対象とした報告はみられない。

今回女子剣道選手を対象に検討を行ったところ、男子剣道選手とは傾向を異にし、性による差異が認められた。すなわち女子剣道選手では、より大きな筋力発揮を要する 40 rpm での $\dot{V}O_2\text{max}$ の測定は適当ではないことが示唆された。またその理由に女子選手では、脚筋量及び脚筋力が男子選手に比して劣ることがあげられる。

ところで運動中にみられる換気亢進は、どのようなメカニズムによるのかに関して種々の検討が行われてきた (宮本⁵⁾, 1990)。特に anaerobic threshold 以下での換気亢進に関しては、未解決な点が多い。本研究では pedalling 速度の換気亢進への関与の有無につき検討する目的で、 $\dot{V}O_2=1$ l/min. での換気量を比較した。その結果、男女いずれも 40 rpm 時のほうが 80 rpm 時に比較して有意な VA の増大を認め、pedalling 速度の換気応答への関与がうかがわれた。Takano (1988)⁷⁾ は、女子健常者を対象に 30 rpm と 60 rpm での bicycling 時の換気応答 ($\dot{V}E$) を比較している。回転数の多い 60 rpm 時のほうが、 $\dot{V}E$ は有意に増大したとし、本研究と異なった結果を報告している。しかし、Takano (1988)⁷⁾ の報告は、比較した pedalling 速度が本研究の場合と若干異なる。なお、VA の検討は行っていない。運動時の呼吸活動に適した pedalling 速度が存在する可能性も考えられる。今後の課題であろう。

要 約

剣道選手男女の最大酸素摂取量について剣道鍛錬の影響の有無につき検討した。さらに運動時の換気応答につき pedalling 速度による差異が認められるか否かを検討した。

その結果、

- 1) 男子選手では、40 rpm と 80 rpm での最大酸素摂取量に有意差を認めなかった。しかし女子選手では、40 rpm 時の最大酸素摂取量が、80 rpm 時の値に比して有意に小さかった。また剣道選手の最大酸素摂取量は、一般健常者に比して有意に大きな値を示さなかった。
- 2) 最大酸素摂取量で観察された上記のような性差は、女子選手の脚筋量及び脚筋力が男子選手に比較して劣ることが大きな要因であるように推察された。
- 3) なお、submaximal exercise ($\dot{V}O_2=1\text{ l/min.}$) での分時換気量は、男子剣道選手では 40 rpm 時の方が 80 rpm 時に比して有意に大きな値を認めた。さらに肺胞換気量は、男女共に 40 rpm 時の方が 80 rpm 時に比して大きな値を示した。

(本研究は、平成 5 年度工学院大学特別研究費による研究成果の一部である。)

参考文献

- 1) Åstrand, P-O., and Saltin, B., Maximal oxygen uptake and heart rate in various types muscular activity : J. Appl. Physiol., 16 : 977-981, 1961.
- 2) Glassford, R.G., Baycroft, G.H.I, Sedgwick, A.W., and Macnab, R.B.J., Comparison of maximal oxygen uptake values determined by predicted and actual methods, J. Appl. Physiol., 20 : 509-513, 1965.
- 3) Hermansen, L., and Saltin, B., Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise, J. Appl. Physiol., 26 : 31-37, 1969.
- 4) McKay, G.A., and Banister, E.W., A comparison of maximum oxygen uptake determination by bicycle ergometry at various pedalling frequencies and by treadmill running at various speeds, Europ. J. Appl. Physiol., 35 : 191-200, 1976.
- 5) 宮本嘉己, 運動時換気昂進の成因, 体育の科学, 40(9) : 711-717, 1990.
- 6) 大藪由夫, 金木 悟, 大藪五百子, 本田良行, 剣道選手における安静時低酸素換気応答の最大酸素摂取量からの検討, 第 44 回日本体力医学会抄録, p. 95, 1989.
- 7) Takano, N., Effects of pedal rate on respiratory responses to incremental bicycle work, Journal of Physiology, 396 : 389-397, 1988.
- 8) 巽申直, 服部恒明, 青年期の剣道競技者の体格・体力について, 茨城大学教養部紀要, 16 : 219-226, 1984.
- 9) 巽申直, 剣道の科学 (運動効果 II), 剣道日本, 147 : 72-73, 1988.