

女子柔道チャンピオンの呼吸の化学感受性

大藪由夫 高橋 亨 中山勝広
佐藤宣紘 佐藤宣践 伊藤金得

Ventilatory Chemosensitivities in
Japanese Woman Judo Champion

Yoshio Ohyabu, Thoru Takahashi,
Katsuhiro Nakayama, Nobuhiro Sato,
Nobuyuki Sato and Kintoku Ito

Summary

Japan's woman judo champion, K. H, and twelve female non-athletes were measured by progressive isocapnic hypoxia and CO₂ rebreathing tests at rest.

The ventilatory responses to hypoxia were analyzed by a hyperbola equation, and ventilatory responses to hypercapnia by a linear regression equation, respectively as follows:

$$\dot{V}_E = A_{VE} / (P_{ETO_2} - 14.3) + V_o, \text{ and } \dot{V}_E = S(P_{ETCO_2} - B)$$

where \dot{V}_E is observed ventilation, A_{VE} the slope constant indicating the magnitude of hypoxic sensitivity, V_o the horizontal asymptote in ventilation for infinite end-tidal P_{O_2} (P_{ETO_2}), the constant 14.3 represents the vertical asymptote in P_{ETO_2} for infinite ventilation, S the slope of the line expressed as change in ventilation per unit change in end-tidal P_{CO_2} (P_{ETCO_2}), and B the extrapolated intercept on the abscissa (P_{ETCO_2} axis).

The absolute magnitude of hypoxic response in ventilation at P_{ETO_2} 50 mmHg was also determined as \dot{V}_{50} , calculated as:

$$\dot{V}_{50} = A_{VE} / (P_{ETO_2} 50 - 14.3) + V_o$$

The differences in A_{VE} or \dot{V}_{50} between the judo champion and non-athletes were not found to be significant. On the other hand, it seemed that S was higher for the judo champion than for non-athletes.

Ohyabuら(1985, 1986) は、陸上競技選手を対象に呼吸の化学感受性の競技種目別検討を行ってきた。その結果、低酸素感受性は、長距離及び短距離選手では一般健常群よりも顕著に低いことが認められた。しかし投てき選手では、低酸素感受性の顕著な変化をみなかった。また CO_2 感受性は、いずれの競技種目の選手においても顕著な変化を認めなかった。

さらに Oyabuら(1982a, 1984a) は、一流男子柔道選手の低酸素感受性を階級別に検討したところ、軽、中量級選手では一般男子健常群よりも有意に低い値を示した。しかし重量級選手では、逆に有意に高い値が観察された。

ところでこれまでの報告はいずれも男子運動選手を対象に研究が行なわれており、女子運動選手の呼吸の化学感受性を調べた報告は、ほとんど見られない。Miyamuraら(1979), Whiteら(1983) や大藪ら(1987a) は、一般健常者を対象に呼吸の化学感受性の性差について検討を行ない、女子のほうが男子よりも有意に低かったとしており、このような結果から運動選手においても女子と男子では、異なった呼吸の化学感受性を示す可能性も考えられる。

本研究は、第一回全日本女子柔道選手権大会(1986)で優勝した K. H. 選手の低酸素や CO_2 に対する換気応答を測定し、一般女子健常群のそれと比較することにより、女子柔道競技における身体トレーニングの呼吸の化学感受性への影響につき考察した。

研究方法

対象：第一回全日本女子柔道選手権優勝者(1986) K. H. 選手と一般女子健常群(12名)であった。また K. H. 選手は、1985年の世界柔道選手権大会の 61 kg 以下級において3位入賞を果たしている。なお対象者の形態的特徴を Table 1 に示した。

実験方法：低酸素換気応答曲線は、Weil ら(1970)の isocapnic progressive hy-

Table 1 Physical characteristics of the subjects.

	Judo champion (Subj. K. H)	Non-athletes
n	1	12
Age (yrs)	22	19.6±0.51
Height (cm)	162	160.1±4.9
Weight (kg)	60	50.3±4.8
Training experiences (yrs)	8	

Values are mean±SD

poxia 法により求めた。なおその際の終末呼気 CO_2 分圧 ($P_{ET\text{CO}_2}$) は、空気呼吸時の値よりも 5 mmHg 高い値に維持した。実験は、終末呼気 O_2 分圧 ($P_{ET\text{O}_2}$) が 40 mmHg に達したところで停止した。さらに CO_2 換気応答曲線は、Read (1967) の CO_2 rebreathing 法で測定した。

測定項目：一回換気量 (V_T)、呼吸数 (f)、分時換気量 (\dot{V}_E) は、熱線流量計 (ミナト) により、 $P_{ET\text{O}_2}$ 及び $P_{ET\text{CO}_2}$ は、呼気ガスモニター (三栄) によりそれぞれ連続測定した。

データーの定量的解析：Fig. 1 は、データーの定量的解析方法を示したものである。低酸素換気応答は、Lloyd and Cunningham (1963) の双曲線法、 $\dot{V}_E = A_{VE} /$

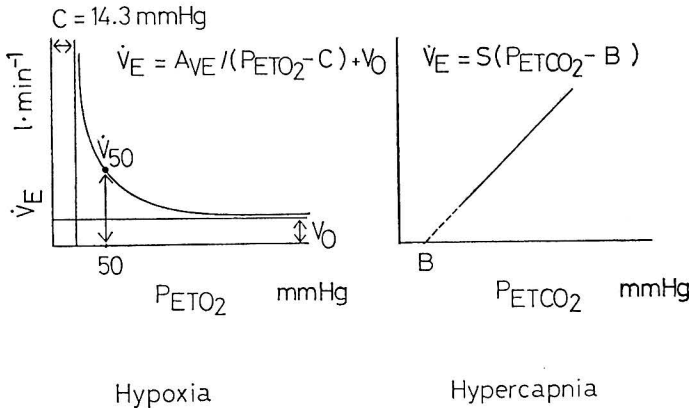


Fig. 1 Data analysis

($P_{ET\text{O}_2} - C$) + V_0 を応用して解析した。但し $A_{VE} (\text{l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mmHg})$ は、双曲線の形状を示す値であり、低酸素に対する換気感受性の大きさを示す指標である。また C (mmHg) 及び $V_0 (\text{l} \cdot \text{min}^{-1})$ は、y 軸 (\dot{V}_E)、x 軸 ($P_{ET\text{O}_2}$) 方向へのそれぞれの漸近線の値である。なお解析にあたって C を 14.3 mmHg に固定した。さらに、 $P_{ET\text{O}_2}$ が 50 mmHg に達したときの分時換気量 (\dot{V}_{50}) を $\dot{V}_{50} = A_{VE} / (P_{ET\text{O}_2} - 50 - C) + V_0$ の式により求めた。次に CO_2 換気応答は、最小自乗法により、直線回帰式 $\dot{V}_E = S(P_{ET\text{CO}_2} - B)$ の S と B を求めた。 $S (\text{l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mmHg}^{-1})$ は、 CO_2 に対する換気感受性の大きさを示す指標である。また B は、 $\dot{V}_E = 0$ としたときの $P_{ET\text{CO}_2}$ の値 (mmHg) である。

結果

Table 2 及び Fig. 2, 3 は、本研究結果を示したものである。

Table 2 Ventilatory responses to hypoxia and hypercapnia.

	Judo champion (Subj. K. H.)	Non-athletes
Hypoxic response		
A_{VE} ($l \cdot \min^{-1} \cdot \text{mmHg}$)	385.1	265.4 ± 123.6
A_{VEN} ($l \cdot \min^{-1} \cdot \text{mmHg}$)	432.3	342.6 ± 156.8
V_O ($l \cdot \min^{-1}$)	9.9	11.7 ± 3.5
\dot{V}_{50} ($l \cdot \min^{-1}$)	20.7	19.1 ± 2.9
\dot{V}_{50N} ($l \cdot \min^{-1}$)	23.2	24.6 ± 3.5
Hypercapnic response		
S ($l \cdot \min^{-1} \cdot \text{mmHg}^{-1}$)	1.86	0.73 ± 0.37
S_N ($l \cdot \min^{-1} \cdot \text{mmHg}^{-1}$)	2.09	0.94 ± 0.45
B (mmHg)	41.8	32.7 ± 10.7

Values are mean \pm SD

A_{VE} is the slope constant indicating hypoxic sensitivity, V_O the horizontal asymptote in ventilation, A_{VEN} the normalized A_{VE} for 70 kg body mass using an allometric coefficient, $BW^{0.75}$ (BW : body weight), and \dot{V}_{50} the ventilation at P_{ETO_2} 50 mmHg obtained from the hyperbola equation. S is the slope of the line expressed as change in ventilation per unit change in P_{ETCO_2} , B is the extrapolated intercept on the abscissa, S_N the normalized S for 70 kg body mass using an allometric coefficient, $BW^{0.75}$.

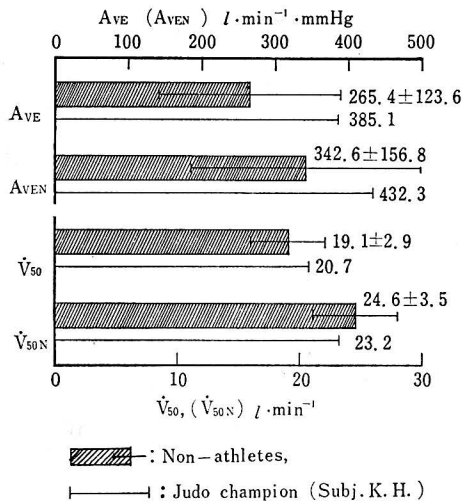


Fig. 2 Hypoxic ventilatory response

女子柔道チャンピオンの呼吸の化学感受性

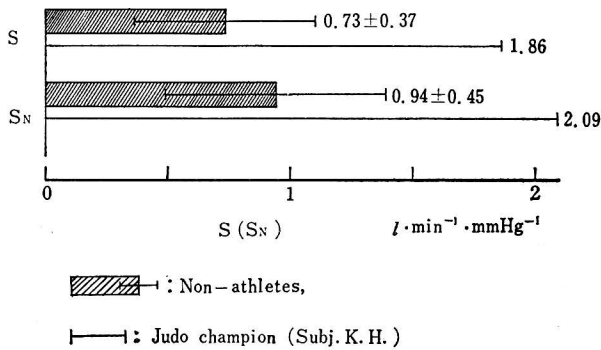


Fig. 3 Hypercapnic ventilatory response

1) 低酸素換気応答: A_{VE} ($l \cdot \min^{-1} \cdot \text{mmHg}$) は, それぞれ 385.1 (K.H.), 265.4 ± 123.6 (一般女子健常群) であった。体重の違いをなくすために $(70/\text{体重})^{0.75}$ で標準化した A_{VE} の値 (A_{VEN} , $l \cdot \min^{-1} \cdot \text{mmHg}$) は, それぞれ 432.3 (K.H.), 342.6 ± 156.8 (一般女子健常群) であった。また V_o ($l \cdot \min^{-1}$) は, それぞれ 9.9 (K.H.), 11.7 ± 3.5 (一般女子健常群) であった。

2) CO_2 換気応答: S ($l \cdot \min^{-1} \cdot \text{mmHg}^{-1}$) は, それぞれ 1.86 (K.H.), 0.73 ± 0.37 (一般女子健常群) であった。また体重の違いをなくすために $(70/\text{体重})^{0.75}$ で標準化した S の値 (S_N , $l \cdot \min^{-1} \cdot \text{mmHg}^{-1}$) は, それぞれ 2.09 (K.H.), 0.94 ± 0.45 (一般女子健常群) であった。さらに B (mmHg) は, それぞれ 41.8 (K.H.), 32.7 ± 10.7 (一般女子健常群) であった。

考 察

全日本女子柔道選手権者, K. H 選手の低酸素感受性は, 一般女子健常群に比して著差を示さなかった。これまで Ohyabu ら (大藪ら) (1982a, 1984b, 1985, 1986, 1987b) は, 身体トレーニング内容と低酸素感受性の関係につき検討を加えてきた。その結果, 主として有酸素パワー及び無酸素パワー向上を意図したトレーニングを行なっている選手 (長距離, 短距離) の低酸素感受性は, 一般健常者のそれよりも有意に低い値を示した。しかし主として筋力増強を意図したトレーニングを行なっている投てき選手の低酸素感受性は, 一般健常群との間に有意差を認めなかった。また男子柔道の軽量級選手の低酸素感受性は, 一般健常群よりも有意に低い値を示したが, 重量級選手では逆に有意に高い値を認めた。このように低酸素感受性は, 体重の影響を

受けるとともに、身体トレーニング内容の違いによっても異なった影響を受けることが推察される。

これまで安静時の低酸素感受性を増大させる因子として、1) 体重増加 (Hirshman と Weil 1976)、2) 肥満 (Nishibayashi ら 1986)、代謝活動亢進 (Zwillich 1975: Stockley と Bishop 1977: Levis と Huckabee, 1975)、4) 筋力トレーニング (筋量増大) (Ohyabu ら, 1982a, 1984a) が考えられている。さらに低酸素感受性を減少させる因子として、1) 長期にわたる高所トレーニング (Milledge と Lahiri 1967; Weil ら 1971)、2) 有酸素パワートレーニング (Byrne-Quinn ら 1971; Scoggin ら 1978; Ohyabu ら, 1985, 1986)、3) 無酸素パワートレーニング (大藪 ら 1982b; Ohyabu ら 1986)、等が考えられる。一般女子健常群に比して K. H 選手の低酸素感受性が著差を示さなかったのは、1) K. H 選手の体重は 60 kg であり、中量級に属する。また体型的にも著しい肥満を示していない。2) K. H 選手の柔道トレーニング内容が、有酸素パワー、無酸素パワーさらに筋力トレーニングの多岐にわたっているため、トレーニングによる低酸素感受性への影響が相殺された。等の理由が考えられる。

また K. H 選手の CO_2 感受性は、一般健常群の値に比して若干高いようにも見受けられた。Byrne-Quinn ら (1971) は、クロスカントリースキー、水泳及び陸上競技選手では CO_2 感受性も一般健常群より有意に低いと報告した。その後、水泳、陸上競技さらにボート選手を対象に数例の追加研究が行なわれてきたが、Byrne-Quinn らと同様、運動選手では有意に低い値を示したとする報告 (Miyamura ら 1976, Blum ら 1979)、むしろ高い値を認めたとする報告 (Kelley ら 1984)、あるいは有意差を認めなかったとする報告 (吉田 ら 1980, Ohkuwa ら 1980, 大藪 ら 1981a, 1984c, Ohyabu ら 1985, Mahler ら 1982) があり、今日未だ一定の結論に達していない。さらに大藪 ら (1981b, 1982b) は、一流男子柔道選手の CO_2 感受性を測定したところ、軽、中、重量級のいずれの選手においても一般男子健常群との間に有意差を認めなかった。なお CO_2 感受性は、遺伝性あるいは家族性因子の影響を受けることも指摘されている (Saunders ら 1976)。K. H 選手にみられた高い CO_2 感受性は、遺伝性あるいは家族性因子による可能性も考えられる。今後の課題であろう。

まとめ

第一回全日本女子柔道選手権大会 (1986) 優勝者の K. H 選手を対象に呼吸の化学感受性を測定し、女子柔道競技における身体トレーニングの呼吸の化学感受性への影響につき考察した。

その結果,

1. 低酸素感受性は、一般女子健常群に比して著差を示さなかった。これは K. H 選手の体重が中量級に属し、体型的にも著しい肥満を示していないこと、さらに柔道による身体トレーニング内容が有酸素パワー、無酸素パワー及び筋力のいずれの増強も意図していること、などが関係しているように推察された。

2. CO₂ 感受性は、一般女子健常群に比して若干高いようであった。これは柔道トレーニングによるものなのか、あるいは遺伝性及び家族性因子によるものなのか、今後さらに検討を行なう必要性が示唆された。

参考文献

1. Blum J, Kanarek D, Callahan B, Braslow N and Kazemi H (1979) The effect of training on CO₂ ventilatory responsiveness in normal subjects. *Am Rev Respir Dis* 119 (Suppl): 291
2. Byrne-Quinn E, Weil JV, Sodal IE, Filley GF and Grover RF (1971) Ventilatory control in the athletes. *J Appl Physiol* 30 (1): 91-98
3. Hirshman CA and Weil JV (1976) Letters to the editor. Hypoxic and hypercapnic ventilatory drives in man. *J Appl Physiol* 40: 1012
4. Kelley MA, Laufe M, Millman RP and Peterson DD (1984) Ventilatory response to hypercapnia before and after athletic training. *Respir Physiol* 55: 394-400
5. Levine S and Huckabee WE (1975) Ventilatory response to drug induced hypermetabolism. *J Appl Physiol* 38: 827-833
6. Lloyd BB and Cunningham DJD (1963) A quantitative approach to the regulation of human respiration. In: Cunningham DJC, Lloyd BB (eds) *The regulation of human respiration*. Blackwell Sci Publ, Oxford, pp. 331-349
7. Mahler DA, Moritz ED and Loke J (1982) Ventilatory response at rest and during exercise in marathon runners. *J Appl Physiol* 52 (2): 388-392
8. Milledge JS and Lahiri S (1967) Respiratory control in lowlanders and sherpa highlanders at altitude. *Respir Physiol* 2: 310-322
9. Miyamura M, Yamashita T and Honda Y (1976) Ventilatory responses to CO₂ re-breathing at rest and during exercise in trained subjects and athletes. *Jpn J Physiol* 26: 245-254
10. Miyamura M, Ohkuwa T, Fujitsuka N, Ando Y and Matsui H (1979) Sex difference in ventilatory response to carbon dioxide. *Nagoya J Health Phys Fitness Sports* 5 (1): 57-59
11. Nishibayashi Y, Kimura H, Maruyama R, Ohyabu Y, Masuyama H and Honda Y (1986) Differences in ventilatory responses to hypoxia and hypercapnia between normal and Judo athletes with moderate obesity. *Proceedings of the international union of physiological sciences* 16: 319

12. Ohkuwa T, Fujitsuka N, Utuno T and Miyamura M (1980) Ventilatory response to hypercapnia in sprint and long-distance swimmers. *Eur J Appl Physiol* 43: 235-241
13. 大藪由夫, 吉田明夫, 林 文明, 本田良行 (1981 a) 運動選手の CO₂ 換気応答。日胸会誌大会号: 163
14. 大藪由夫, 佐藤宣踐, 佐藤宣紘, 松永義雄, 白瀬英春, 小俣幸嗣, 西林腎武, 高橋邦郎 (1981 b) 柔道選手における炭酸ガスに対する換気応答。武道学研究 14 (2): 96-97
15. Ohyabu Y, Yoshida A, Hayashi F, Sato N and Honda Y (1982 a) High ventilatory response to hypoxia observed in obese judo athletes. *Jpn J Physiol* 32: 655-665
16. 大藪由夫, 宇佐美彰朗, 佐藤宣踐, 佐藤宣紘, 柏崎克彦, 松永義雄, 高橋邦郎 (1982 b) 運動選手の換気化学感受性。日本体育学会大会号: 276
17. Ohyabu Y, Yoshida A, Hayashi F, Nishibayashi Y, Sakakibara Y, Sato N and Honda Y (1984 a) Ventilatory and heart rate responses to hypoxia in well-trained judo athletes. *Eur J Appl Physiol* 52: 451-456
18. 大藪由夫, 本田良行 (1984 b) 呼吸機能からみた体力。からだの科学 115: 70-75
19. 大藪由夫, 宇佐美彰朗 (1984 c) 陸上中長距離選手における全身持久性トレーニングの CO₂ 換気感受性への影響。日本体育学会大会号: 275
20. Ohyabu Y, Usami A and Honda Y (1985) Effects of endurance training to ventilatory chemosensitivities in long distance runners. *J Physiol Soc* 47: 601
21. Ohyabu Y, Usami A, Ishida Y, Miyagawa C, Arai T, Ohyabu I and Honda Y (1986) Ventilatory and heart rate responses to hypoxia in track and field athletes. *J Physiol Soc* 48: 590
22. 大藪由夫, 金木 悟, 大藪五百子, 藤田洋一 (1970 a) 剣道選手における低酸素換気応答の性差からの検討。日本体育学会第38回大会号
23. 大藪由夫, 本田良行 (1987 b) 運動選手における呼吸の化学感受性の競技種目別検討。第22回日本医学会総会日本体力医学会シンポジウム
24. Read DJC (1967) A clinical method for assessing the ventilatory to CO₂. *Aust Ann Med* 16: 20-32
25. Saunders NA, Leeder SR and Rebuck AS (1976) Ventilatory response to carbon dioxide in young athletes. *Am Rev Respir Dis* 113: 459-502
26. Stockley RA and Bishop JM (1977) Effect of thyrotoxicosis on the relax hypoxic respiratory drive. *Clin Sci Mol Med* 53: 93-100
27. Scoggin CH, Doekel RD, Kryger MH, Zwillich CW and Weil JV (1978) Familial aspects of decreased hypoxic drive in endurance athletes. *J Appl Physiol* 44 (3): 464-468.
28. 吉田 稔, 関 雅彦 (1980) 水泳選手並びに健常者の換気, ガス交換動態。日胸会誌 18 (10): 675-684
29. Weil JV, Byrne-Quinn E, Sodal IE, Filley GF and Grover RF (1971) Acquired attenuation of chemoreceptor function in chronically hypoxic man at high altitude. *J Clin Invest* 50: 186-196
30. Weil JV, Bryne-Quinne E, Sodal IE, Friesen WD, Underhill B, Filley GF, Grover KF (1970) Hypoxic ventilatory drive in normal man. *J Clin Invest* 49: 1061-1072.

31. White DP (1983) Sexual influence on the control of Breathing. J App Physiol 54: 874-879
32. Zwillich CW, Piersen DJ, Hoffdt FD, Lufkin EG and Weil JV (1975) Ventilatory control in myxedema and hypothyroidism. N Engl J Med 292: 662-665

本研究の概要は、第19回日本武道学会 (1986)
において、口頭で発表した。

おおやぶ よしを (本学助教授 保健体育)

たかはし とおる (本学講師 保健体育)

なかやま かつひろ (本学講師 保健体育)

さとう のぶひろ (東海大学教授)

さとう のぶゆき (東海大学教授)

いとう きんとく (国際武道大学教授)