

運動選手における Hypoxia 刺激の感受性について

西 林 賢 武(千葉工業大学)
 大 藪 由 夫(工学院大学)
 佐 藤 章 子
 風 間 秀 夫

目 的

Hypoxia 状態においては、ventilation の亢進がおこることは既に知られている。これは酸素の取り入れを低下させまいとする生体の合目的な動きと理解されている。この際の呼吸促進は、hypoxemia (低酸素血症)により peripheral chemoreceptors (末梢化学受容器)に属する aortic body (大動脈体) carotid body(頸動脈体)が刺激を受け、これが単に respiratory center に伝えられて、その活動をたかめ、ventilationを増すものと解釈されていた。近年になって、hypoxia そのものは、respiratory centerの活動を抑制する働きがあることが明白になりつつある。従って hypoxia 状態における換気の大さは、peripheral chemoreceptors からの刺激と、respiratory center の抑制との総和として考えられるようになってきた。

ところで運動選手の hypoxia および hypercapnia の刺激に対する感受性が正常な一般人と比べて低い傾向が認められるという報告がいくつかなされている。(Byrne - Quinn 1971, Miyamura 1976, 吉田等 1980, 関等 1979)しかしこれらは、被験対象者に陸上長距離選手や、水泳競技選手のみで行なわれている。格闘技である柔道選手を対象とした報告は今の所例を見ない。

今回の我々の研究は、比較的長期間にわたり柔道を行ってきた現役柔道選手について、hypoxia 刺激に対する換気応答性を調査し、柔道選手における稽古の鍛練効果を解明しようとしたものである。ただ現代の柔道は、階級制が取り入れられているため、被験対象者全員を同一 level で扱うことには論議が多い。そこで、体重とローレル指数を加味し、三つのグループに分類し、肥満との関係、ならびに陸上長距離選手との比較検討を加えたので報告する。

対象および方法

対象者には、全日本柔道強化選手並びに全日本選手権大会や、全日本学生柔道選手権大会で優秀な成績をおさめた、我が国のトップレベルの柔道選手52名である。また大学男子長距離選手17名も対象者とした。

本研究では、柔道選手の肥満との関係を見るため、60kg以下級から95kg以下級までの6階級35名をI群とした。95kg以上級に肥満傾向を示す選手が多いことから、Rohrer's index (R. I.) (体重/身長³ × 10⁷) 200未満の選手11名をII群とし、Rohrer's index 200以上の選手6名をIII群として分類した。被験対象者の身体的特性は表1に示した。

被験対象者のトレーニング経験年数は、柔道選手群は8.5年であり、陸上長距離選手群は6.1年であった。年齢は、柔道選手群、陸上選手群とも、17~23歳までの現役選手である。

酸素換気応答曲線は、Weil et al. (1970)の progressive hypoxia test を用いて測定した。測定方法は、図1に示したように、被験者におよそ20ℓの麻酔用 bag から10~15分間 air を吸

Table 1. Physical characteristics of the subjects.

	Judo			Track and field long distance run.
	60kg~under 95kg body weight class	Over 95kg body weight		
		II	III	
N	35	11	6	17
Stature (cm)	172.2	180.1	175.4	169.8
Body weight (kg)	76.3	105.3	116.1	57.5
Rohrer's index	148.7	180.5	214.8	117.4
Age (yrs)	20.0	19.8	21.3	20.5
Training periods (yrs)	8.4	8.3	9.7	6.1

Values are mean. Rohrer's index(R.I.) = Body weight / (Stature)³ × 10⁷

II is under 200 R.I. class, III is over 200 R.I. class.

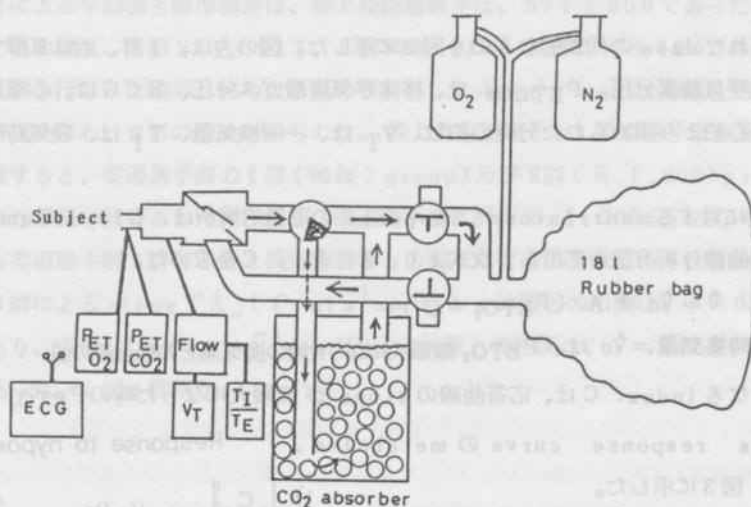


Fig.1. Experiment set-up for the progressive hypoxia test.

入させ、1分間に約10mmHgの割合で P_{ETCO_2} (終末呼気炭酸ガス分圧)を低下させた。 P_{ETO_2} が、40~35mmHgに低下するまで再呼吸を行なわせ、そのレベルで実験を停止した。また再呼吸中の終末呼吸炭酸ガス分圧(P_{ETCO_2})の上昇を防ぐため、呼気limeに CO_2 吸収剤(Soda-lime)を用いて安静時の P_{ETCO_2} より常に5mmHgの高さを保つように維持した。

終末呼吸炭酸ガス分圧は、Infrared炭酸ガスAnalyzer(Aika)終末呼気酸素分圧は、酸素電極(San-ei)で、1回換気量(V_T)は、熱線流量計(Minato) ECGは、Cardio-Super(San-ei)によりそれぞれSan-ei Recti-Horiz-8Kで連続的な記録を行なった。

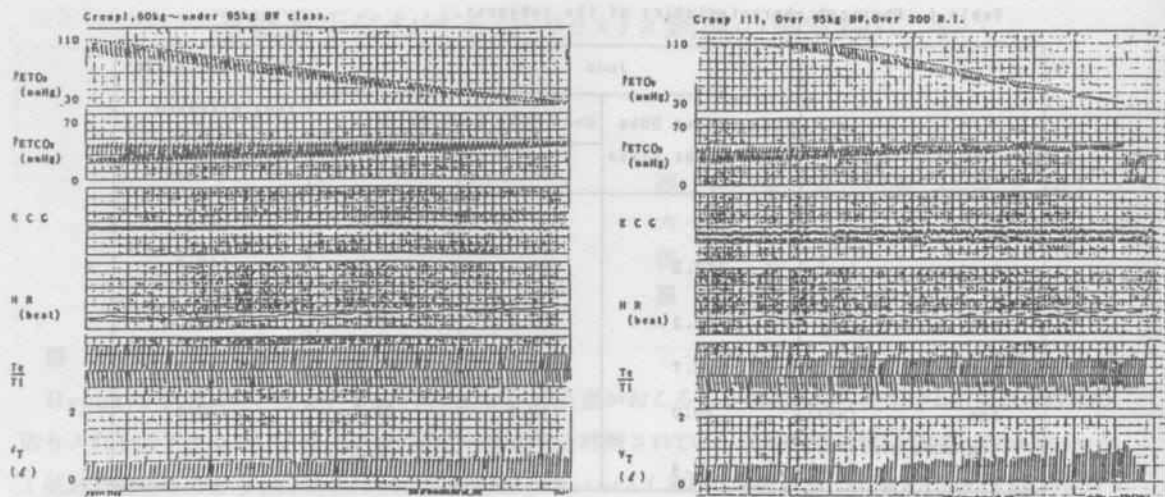


Fig. 2. An example of the experimental record.

結 果

実験により得られた data の代表的なものを図2に示した。図の左は、I群、右はIII群である。ここで P_{ETO_2} は、終末呼気酸素分圧、 P_{ETCO_2} は、終末呼気炭酸ガス分圧、ECGは、心電図のオリジナル波形、HRは、8心拍より求められた分時心拍数、 V_T は、一回換気量、 T_I は、吸気時間、 T_E は呼気時間である。

hypoxia 刺激に対する ventilatory response の定量的解析は、Lloyd.Cummingham (1963) の双曲線分析方法を応用し、次式より、 A 、 \dot{V}_0 、 C を求めた。

$$\dot{V} = \dot{V}_0 + A / (P_{ETO_2} - C)$$

ここで \dot{V} は、分時換気量、 \dot{V}_0 は、 P_{ETO_2} 無限大になった時の換気量との漸近線の値、 A は、Hypoxia の感受性の指標となる index、 C は、応答曲線の slope が無限大になった時の P_{ETO_2} の漸近線の値である。hypoxia response curve の metabolic hyperbola は、図3に示した。

A ($l \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mmHg}$) の平均値と標準偏差 (S.D.) は、表2のように陸上長距離選手群では 485 ± 426 であった。柔道選手群では、それぞれ "A" の値が、I群、 295 ± 260 、II群 458 ± 308 、III群 1155 ± 938 であり、体重の増大にともなって、"A" の値にも増大する傾向が見られた。これらの値について、有意差検定を行なった結果、柔道群の95kg以下級のI群と、95kg以上級でRohrer's index 200以上のIII群との間に1%水準で有意の差が認められた。また95kg以上級でRohrer's index 200未満のII群と、III群との間には、5%の水準で有意の差が認められた。陸上長距離選手群と、柔道選手群との比較では、

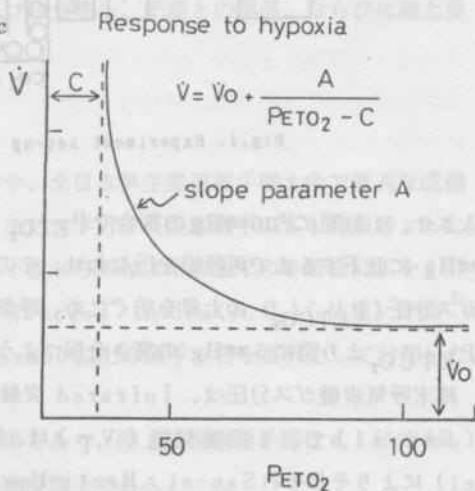


Fig. 3. Analysis of progressive hypoxia response curve.

Table 2. Ventilatory responses to hypoxia of the subjects.

	Judo			Track & field long distance run.	Test					
	D.W. < 95kg	Over 95kg body weight			I V S II	I V S III	I V S Track III	II V S Track	III V S Track	
	group I	group II	group III							
A ($\ell \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mmHg}$)	295 ± 260	458 ± 308	1155 ± 938	485 ± 426	※※		※		※	
A _N ($\ell \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mmHg}$)	271 ± 217	333 ± 213	770 ± 600	571 ± 500		※				
V _O ($\ell \cdot \text{min}^{-1}$)	16.3 ± 5.4	13.1 ± 6.5	16.8 ± 5.2	12.9 ± 7.7						
C (mmHg)	29.8 ± 6.3	29.3 ± 9.7	23.7 ± 12.6	27.4 ± 7.4						

Values are mean ± S.D. group I is <95kg B.W. class, group II is R.I. < 200 and group III is R.I. ≥ 200. ※※ is significant at 1% level and ※ are significant at 5% levels.

Ⅲ群との比較においてのみ5%の水準で有意の差が認められた。その他の対象者間には、統計学上の有意の差は認められなかった。

体重やRohrer's indexの増大によりhypoxiaの感受性の増大が認められるため、体重を70kgにnormalizeした値でのhypoxiaの感受性の指標となる“A_N” ($\ell \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mmHg}$) [(70/body weight)^{0.75}]による平均値と標準偏差は、陸上長距離選手は、571 ± 500であった。柔道選手群による3群のそれぞれの値は、I群271 ± 217、II群333 ± 213、Ⅲ群770 ± 600であった。この“A_N”を統計学的な比較を行なった結果、95kg以下級のI群と、Rohrer's index 200以上のⅢ群の間で5%の水準で有意な差が認められ、Ⅲ群の増大がみられた。陸上長距離選手と、柔道選手群とを“A_N”の値により数値上で比較すると、柔道選手群のI群(95kg > group)及びII群(R.I. 200 > group)より、陸上長距離選手の方が高い値であった。しかし、柔道選手群Ⅲ群(R.I. 200 ≤ group)よりは、低い値であった。これら柔道選手群3群と、陸上長距離選手との間には有意の差は認められなかった。

柔道選手群3群によるslope“A_N” ($\ell \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mmHg}$)と体重との相関は、 $r = 0.5492$ で0.1%の水準で有意であり、“A_N” ($\ell \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mmHg}$)と体重との相関は、 $r = 0.4503$ で同じく0.1%の水準で有意であった。(図4参照)

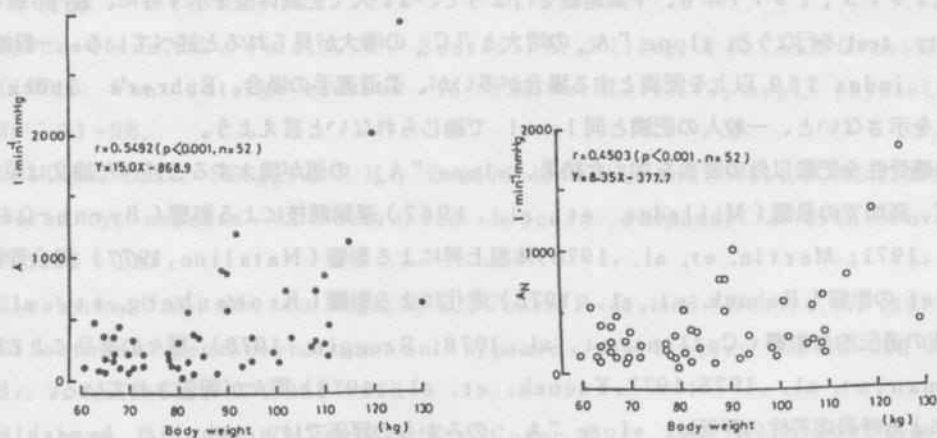


Fig. 4. Relationship between hypoxic sensitivity and body weight in judo athletes.

hyperbolaと平衡状態を示す換気量との漸近線V_O (min^{-1})は、陸上長距離選手では、12.9 ± 7.7

であった。柔道選手群3群のそれぞれの値は、I群 16.3 ± 5.4 、II群 13.1 ± 6.5 (R. I. 200 > group) III群 16.8 ± 5.2 (R. I. 200 \leq group)であった。この $\dot{V}_O(\ell \cdot \text{min}^{-1})$ は、陸上長距離選手と柔道選手群の間及び、柔道選手群間に有意の差は認められなかった。

hyperbolaと平衡状態を示す終末呼気酸素分圧(P_{ETO_2})との漸近線C(mmHg)は、陸上長距離選手では、 27.4 ± 7.4 であった。柔道選手群3群のそれぞれの値は、I群 29.8 ± 6.3 、II群 29.3 ± 9.7 、III群 23.7 ± 12.6 であった。漸近線“C_”(mmHg)も陸上長距離選手と柔道選手群間及び柔道選手群のI群、II群、III群の間に有意の差は認められなかった。(これら換気応答性については表2に示した)

考 察

hypoxiaの換気応答により測定された低酸素感受性を示す指標となるslope“ $A_{”}$ は、柔道選手の体重が増大すると共に高値を示した。このslope“ $A_{”}$ と体重との関係や、slope“ $A_{”}$ と身長との関係には、正の相関があることがWeil等により既に報告されている。一方換気量をからだの大きさによりnormalizeとすると相関関係がなくなるという観察もなされている。(Hirshman and Weil, 1976)今回我々が行なった実験結果では、柔道選手のI群(95kg以下)とII群(R. I. 200 > group)との両群間にslope“ $A_{”}$ の差がみられたが、体重を70kgにnormalizeした際の換気量には差が認められなかった。またI群とIII群(R. I. 200 \leq group)では、slope“ $A_{”}$ に差が認められ更に、体重をnormalizeした後の換気量にも差が認められた。これらの結果は、体重の増大が超肥満傾向を示すようになるまでに増加すると、hypoxic sensitivityを示すslope“ $A_{”}$ の増大があることを示唆していた。即ち、グラフ(図3)上でmetabolic hyperblierの急勾配での上昇が見られ、同程度のhypoxiaによる刺激により、柔道選手の中でも超肥満傾向を示す選手は、肥満傾向を示さない者よりslope“ $A_{”}$ が正常範囲内では分時換気量に増大があると述べられるであろう。片岡(1980)は、肥満者の呼吸機能が一般正常者より劣る傾向にあることを指摘している。即ち、肥満者の呼吸は、胸部周辺の脂肪層により抵抗を受けるため、呼吸に必要な仕事量が増加する、としている。従って負荷に対して呼吸数の増加があるものの、実際に肺の中を出入するgas量は少ないと報告している。またKronenberg, et, al., 1975, 1977年も、平素運動を行っていない人で肥満体型を示す者に、hypoxic sensitivity testを行なうと、slope“ $A_{”}$ の増大と“C_”の増大が見られると述べている。一般的に、Rohrer's index 160以上を肥満とする場合が多いが、柔道選手の場合、Rohrer's indexが200以上を示さないと、一般人の肥満と同levelで論じられないと言えよう。

低酸素の感受性を肥満以外の要素を加えた結果、slope“ $A_{”}$ の値が増大すると述べた論文は多くある。例えば、高地での暴露(Milledge, et, al., 1967)運動競技による影響(Byrne-Quinn, et, al., 1971; Martin, et, al., 1978)体温上昇による影響(Natalino, 1977)混合静脈血 P_{CO_2} levelの影響(Rebuck, et, al., 1975)老化による影響(Kronenberg, et, al., 1973)家族の遺伝的な影響(Collins, et, al., 1978; Scoggin, 1978)種々の薬品による影響(Hirshman, et, al., 1975; 1977, Yacoab, et, al., 1976)等々が報告されている。

低酸素による呼吸応答性の評価は、slope“ $A_{”}$ のみからの評価ではmetabolic hyperblierのslopeだけによる判断になる。そこで、response curveのslopeが無限大となる時の漸近線“C_”から P_{ETO_2} を見る必要がある。今回の実験結果は、陸上競技選手、柔道選手3群間によるCの値は、柔道選手群のRohrer's index 200以上のIII群が最も低く、ついで陸上競技選手群、柔道選手II群、柔

道選手I群の順であった。しかしこれらは統計学上の差は認められていない。従って、“C₁”に差がなく、slope “A₁”に差が見られたことから、hypoxic responseは超肥満傾向を示す柔道選手のventilationの増大が述べられるであろう。この原因として考えられる理由は、毎日のtrainingにより強度な身体活動が行なわれ、metabolismが高くなったことと、respiratory muscle(external intercostal muscle, diaphragm)の増大と、lung capacityの増大によるものではないかと推論できる。平素運動を行っていないで肥満傾向を示す人は、皮下脂肪の増大により、external intercostal muscleやdiaphragmが圧迫を受け、slope “A₁”の増大があるものの“C₁”の値も増すため、ventilationが必ずしも増大しないのであろう。しかし、今回の対象者の活発なmetabolismが運動による効果であるという証明は、今回の研究のみから結論づけることはできない。また柔道という身体活動が、adaptationやacclimatizationの向上に役立つかどうかの結論を出すこともできない。今後更に研究を続け、これらを明確にしたい。

要 約

柔道選手を体重とRohrer's indexから三群に分類し、hypoxiaによるventilatory responseについて、身体trainingの影響の有無、体重、肥満との関係を検討し、同時に陸上長距離選手との比較を行なった結果は次の通りである。

- 1) Progressive hypoxia testを用いて、低酸素換気応答性を調査した所、陸上長距離選手が、柔道選手の60kg級から95kg以下級までの選手より大きな値を示した。
- 2) 柔道選手群の中でも、Rohrer's index 200以上の超肥満傾向を示す選手と、陸上長距離選手との比較では、柔道選手の方がslope “A₁”の値が大きかった。
- 3) 柔道選手では、体重と低酸素感受性との間に、正の相関関係が認められ、体重の増大により、低酸素換気応答の増加傾向が認められた。特に肥満傾向を示す体型の者に顕著であった。

本研究は、千葉工業大学研究補助費を受けて行なった。

参 考 文 献

- 1) Byrne-Quinn, E., Weil, J. V., Sodal, I. E., Filley, G. F., and Grover, R. F. (1971) Ventilatory control in the athletes. *J. Appl. physiol.*, 30: 91-98.
- 2) Collins, D. D., Scoggin, C. H., Zwillich, C. W., and Weil, J. V. (1978) Heredity aspects of decreased hypoxic response. *J. clin Invest.*, 70: 105-110.
- 3) Hirshman, C.A., Mc Cullough, R. E., Cohen, P. J., and Weil, J. V. (1975a) Effect of pentobarbitone on hypoxic ventilatory drive in man. *Br. J. Anaesth.*, 47: 963-968.
- 4) Hirshman, C.A., Mc Cullough, R. E., Cohen, P. J., and Weil, J. V. (1975b) Hypoxic ventilatory drive in dogs during thiopental, ketamine, or pentobarbital anesthesia. *Anesthesiology*, 43: 628-634.
- 5) Hirshman, C.A., Mc Cullough, R. E., Cohen, P. J., and Weil, J. V. (1977)

- Depression of hypoxic ventilatory response by halothane, enflurane, and isoflurane in dogs. *Br. J. Anaesth.*, 49:957-963
- 6) 片岡邦三; 肥満と疾病、(1980) 保健の科学 22(9):614-618
 - 7) Kronenberg, R. S. 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.
 - 8) Lakshminarayan, S., Sahn, S. A., and Weil, J. V. (1978) Effect of aminophyllin on ventilatory response in normal man *Am. Rev. Respir. Dis.*, 117:33-38
 - 9) Lloyd, B. B. and Cunningham, D. J. C. (1963) A quantitative approach to the regulation of human respiration. In: *The Regulation of Human Respiration*, ed. by Cunningham, D. T. C. and Lloyd, B. B. Blackwell Sci. Publ., Oxford, pp. 331-349.
 - 10) Martin, B. J., Weil, J. V., Sparks, K. E., McCullough, R. E., and Grover, R. F. (1978) Exercise ventilation correlates positively with ventilatory chemoresponsiveness. *J. Appl. Physiol.; Respir. Environ. Exercise Physiol.*, 45:557-564.
 - 11) Milledge, J. S. and Lahiri, S. (1967) Respiratory control in lowlanders and sherpa highlanders at altitude. *Respir. Physiol.*, 2:310-322
 - 12) Miyamura, M., T. Yamashina, Y. Honda; (1976) Ventilatory responses to CO₂ rebreathing at rest and during exercise in untrained subjects and athletes. *J. J. Physiol.*, 26:245-254.
 - 13) Rebuck, A. S., Konagaless, M., Pengelly, L. D., and Campbell, J. M. (1973) Correlation of ventilatory responses to hypoxia and hypercapnia. *J. Appl. Physiol.*, 35:173-177.
 - 14) Rebuck, A. S. and Woodey, W. E. (1975) Ventilatory effects of hypoxia and their dependence on P_{CO₂}. *J. Appl. Physiol.*, 38:16-19.
 - 15) Scoggin, C. H., Doekel, R. D., Kryger, M. H., Zwillich, C. W., and Weil, J. V. (1978) Familial aspects of decreased hypoxic drive in endurance athletes. *J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exercise Physiol.*, 44:464-468.
 - 16) Weil, J. V., Byrnie-Quinn, E., Sodal, I. E., Filley, G. F., and Grover, R. F. (1971a) Acquired attenuation of chemoreceptor function in chronically hypoxic man at high altitude. *J. Clin. Invest.*, 50:186-195.
 - 17) Yacoub, O., Doell, D., Kryger, M. H., and Anthonisen, N. R. (1976) Depression of hypoxic ventilatory response by nitrous oxide. *Anesthesiology*. 45:385-389

(1983. 6. 17受付)