

# Hypoxia 曝露時における換気感受性

## —— 中程度肥満傾向を示す柔道選手と非運動群との比較 ——

西 林 賢 武(千葉工業大学)  
大 藪 由 夫(工 学 院 大 学)  
佐 藤 行 那(東 京 経 済 大 学)

### 目 的

ヒトの呼吸機能は、肺、胸壁、呼吸筋（外肋間筋と横隔膜）の相互作用でほぼ決定されている。従って、肥満者と呼ばれるような、からだ大きい者は肺と横隔膜との関係において、たとえ肺そのものの機能は正常であっても体重増大という身体的な特性により呼吸機能に変化がみられるとされている。Burwell et al(1956)によると、超肥満者には、肺泡低換気が現われ、肥満の影響による低換気症候群(hyperventilation syndrome)やピックウィッケン症候群(pickwickan syndrome)を示す場合が多いと報告されている。しかし肥満者が示すhyperventilationの原因がなにかは、今の所生理学的には明確な説明がなされていない。

所で、平素激しいトレーニングを積んでいる柔道選手の呼吸機能、特にガス刺激による感受性についての報告は、既に報告を行なった。(1983年6月例会)その結果は、体重と低酸素刺激の感受性ととの間に、有意な正の相関があり、体重と高炭酸ガス刺激に対する感受性には有意な相関がなかった。また、低酸素刺激の感受性は、肥満傾向を著しく示す柔道選手(体重が95kg以上の超重量級の選手)が高い値を示し、肥満による影響が示唆された。しかしこの実験では、control群として、肥満傾向を示さない普通の体重の者を用いた比較であった。

そこで今回の研究は、柔道群とcontrol群がほぼ同程度の体重、ローレル指数、肥満率を持つという条件で対象者を厳選の上で、低酸素刺激による換気感受性を調べ両群で比較を行なった。更に、同程度の肥満者でも、厳しい柔道のトレーニングを積んだ者と、そうでない者との換気応答と体重、除脂肪体重、体脂肪量との関係についても検討を加えた結果を報告する。

### 研究方法

#### 被験者

柔道群は、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ているT大学柔道部員のうち体重が85kgから115kgまでの21名である。control群として、ほぼ同程度の体重、ローレル指数、肥満率を示し、平素定期的な運動を行っていない者(体育実抜の授業は除く)24名である。たゞしこれらcontrol群には、hyperventilation syndromeやpickwickan syndromeなどの肥満による病的症状を示す者は一人もおらず、単純性肥満者であった。両群の被験者の基礎的な身体特性は表1に示した。つまり、年齢、身長、体重、ローレル指数、肥満率からみるとほぼ同程度の身体特性であるが、体脂肪量が7.8kg、4.2%( $P<0.05$ )control群が多く、除脂肪体重で柔道群が13.5kg( $P<0.001$ )優っていた。尚、ここで用いた体脂肪量及び除脂肪体重は、Brozek(1963)の式より算出した。

#### 実験装置及び解析法

低酸素換気応答の実験装置は、Weil(1971)たちのProgressive hypoxia testを用いて行な

Table 1. Physical characteristics of the subjects.

	Judoist n=21	Control n=24	P value
Age (yr)	20.6 ± 2.31	21.0 ± 4.34	N.S.
Height (cm)	176.8 ± 4.82	173.8 ± 5.12	N.S.
Body weight (kg)	100.2 ± 14.81	94.4 ± 5.33	N.S.
Rohrer's Index	176.6 ± 23.68	181.2 ± 18.62	N.S.
Ideal body weight (%)	42.3 ± 16.68	42.2 ± 12.83	N.S.
Body fat (kg)	16.3 ± 14.13	24.1 ± 8.40	P < 0.05
Body fat (%)	16.2 ± 13.88	25.3 ± 7.67	P < 0.01
Lean body mass (kg)	83.8 ± 14.51	70.3 ± 5.63	P < 0.001

values are mean ± S.D.

N.S.: difference between judoist and control is not significant. Rohrer's index:  $BW(kg)/BH(cm)^3 \cdot 10^7$ , Ideal body weight:  $1BW - (BH - 100) \times 0.9 / (BH - 100) \times 0.91 \times 100$ . Body fat in %, F.:  $(4.570/D - 4.142) \times 100$  where D is estimated body density. Body fat in kg:  $F/BW \times 100$ . Lean body mass:  $BW - \text{body fat}$  in kg.

下するまで再呼吸を行なわせた。また再呼吸中の  $P_{ETCO_2}$  の上昇を防ぐために、呼気ラインに炭酸ガス吸収剤(ソーダライム)を用いて、安静時の  $P_{ETCO_2}$  より常に5 mmHg高い値を保つように三方活栓にて調節した。

$P_{ETCO_2}$  は、Infrared  $CO_2$  Analyzer、 $P_{ETO_2}$  は、Oxygen Electrode(Sanei 1H-21)、 $V_T$ は、Hot-wire flow anemometer(Minato RF-2)、H.R.は、Cardio-Super 2E 31A-S(Sanei)により測定を行ない、Rectihoriz-8K(Sanei)で連続的に記録した。これらの測定装置の模式図を図1に示した。

測定には、空腹及び満腹時をさけ、少なくとも食後数時間以上経過してから行ない、換気量に変化が現

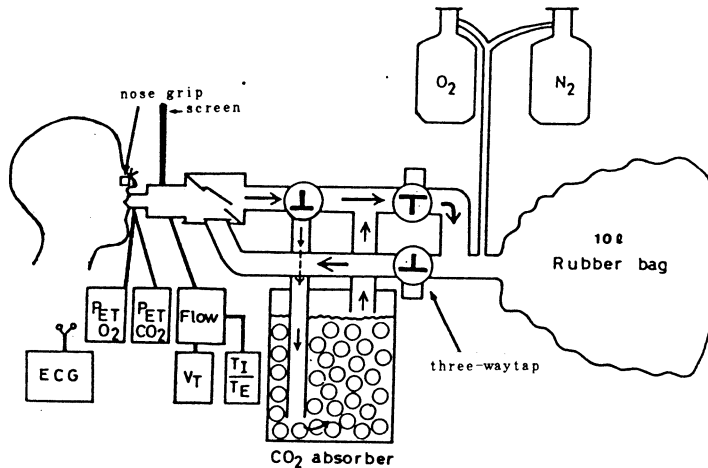


Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up for determination of ventilatory response to hypoxia test.

われるような飲物(caffeineを含む飲物)や薬物等を服用していないという条件を確認してから行なった。

低酸素刺激による換気応答の定量的解析は、Lloyd Commingham(1963)の双曲線解析法を応用して、 $\dot{V}E = \dot{V}_0 + A / (P_{ETO_2} - C)$  により、低酸素感受性のそれぞれのParameterであるA、 $\dot{V}_0$ 、

った。被験者は、始めに空気呼吸を行ない、呼吸が安定する約5分後から、 $P_{ETO_2}$  が1分間に約10mmHg程度の割合で低下するようにした。実験時間は、10~15分位で、その間に  $P_{ETO_2}$  が45~40 mmHg位に低

C を求めた。

ここで、

$\dot{V}_E$  は、分時呼気換気量

$\dot{V}_O$  は、 $P_{ET_{O_2}}$  が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  $P_{ET_{O_2}}$  の漸近線の値である。

## 結 果

表 2 に両群の低酸素刺激による換気応答を示した。低酸素刺激の感受性を示す A ( $\ell/\text{min} \cdot \text{mmHg}$ ) は、柔道群が  $533.2 \pm 19.18$  ( $\ell/\text{min} \cdot \text{mmHg}$ ) (mean  $\pm$  S.E) で、非運動群が  $755.9 \pm 22.39$  ( $\ell/\text{min} \cdot \text{mmHg}$ ) で、非運動群が低いような傾向 ( $0.05 < P < 0.1$ ) がみられた。低酸素刺激による感受性や threshold は、被験者のからだの大きさにより差があることは既に報告されている。(Lloyd.B.B 1963) そこで、体重を 70kg に標準化した値での低酸素刺激感受性  $A_N$  ( $70\text{kg}/\text{体重}^{\text{kg}})^{0.75}$  ( $\ell/\text{min} \cdot \text{mmHg}$ ) を求め両群で比較を行なった。柔道群は、 $408.7 \pm 16.89$  ( $\ell/\text{min} \cdot \text{mmHg}$ ) で非運動群、 $602.1 \pm 19.86$  と、体重を標準化してもなお非運動群が高い傾向を示した。 ( $0.05 < P < 0.1$ ) それぞれの漸近線の値である  $\dot{V}_O$  及び C には両群に差は認められなかった。

Table 2. Comparison of ventilatory response to hypoxia in the two groups.

	Judo athlete n = 21	Control n = 24	P value
A ( $\ell/\text{min} \cdot \text{mmHg}$ )	$533.2 \pm 19.18$	$755.9 \pm 22.39$	$0.05 < P < 0.1$
$A_N$ ( $\ell/\text{min} \cdot \text{mmHg}$ )	$408.7 \pm 16.89$	$602.1 \pm 19.86$	$0.05 < P < 0.1$
$\dot{V}_O$ ( $\ell/\text{min}$ )	$13.6 \pm 2.35$	$10.3 \pm 2.65$	n.s.
C (mmHg)	$26.8 \pm 3.02$	$23.5 \pm 3.31$	n.s.

These values represent the mean  $\pm$  standard error of the data.

A: slope of hypoxic ventilatory response curve in the hyperbola equation.

$A_N$ : normalized A for 70 kg body weight.  $\dot{V}_O$  and C: vertical and horizontal asymptotes in  $P_{ET_{O_2}}$  and in  $\dot{V}$ , respectively, calculated from hypoxia response line.

次に低酸素刺激の感受性を示す A と体重との相関を表わしたものが図 2 である。非運動群は  $r = 0.2789$  であり、柔道群は、 $r = 0.1934$  であり共に有意な相関関係は認められなかった。つまり、単純に体重の

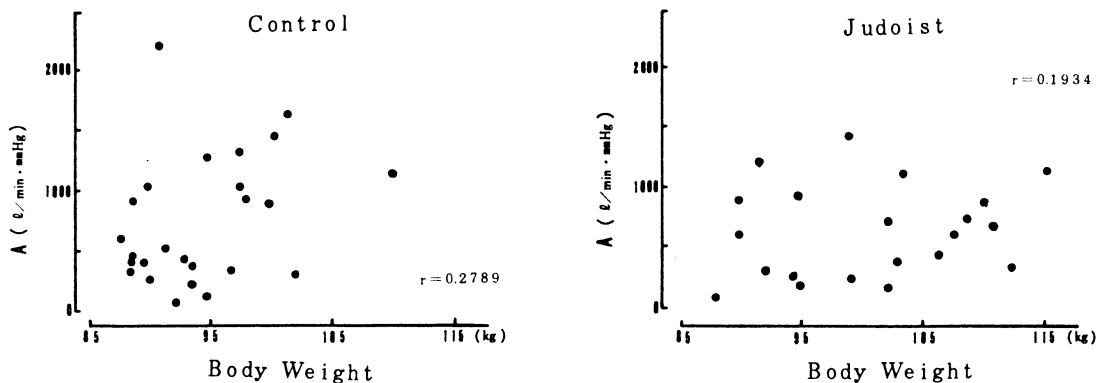


Fig.2. Relationship between hypoxic sensitivity and body weight.

みが低酸素感受性に依存していないことを示していた。そこで、主に代謝性組織である除脂肪体重 (L.B.M) と A との相関について調べた所、非運動群では、 $r=0.1781$ 、柔道群は、 $r=0.1265$  と、どちらの相関係数も体重と A との相関より低い関係を示した。そこで非代謝性組織である脂肪量を、%脂肪量及び体脂肪量 (kg) と A との相関を調べた。%脂肪量と A との相関は、非運動群、 $r=0.5635$  ( $P<0.01$ )、柔道群  $r=0.3550$ 、体脂肪量と A との相関は、非運動群、 $r=0.4559$  ( $P<0.05$ )、柔道群、 $r=0.3354$  であった。このように、脂肪量と A との相関値が、非運動群では有意な正の相関を示し、柔道群では、A と体重、A と除脂肪体重より高い関係が認められた。

非運動群のみに A と脂肪量との間に正の相関が認められたので、非運動群の A を高めている原因を明らかにするために、%脂肪量と体重との関係を見たものが図 3 である。非運動群の%脂肪量と体重との相関

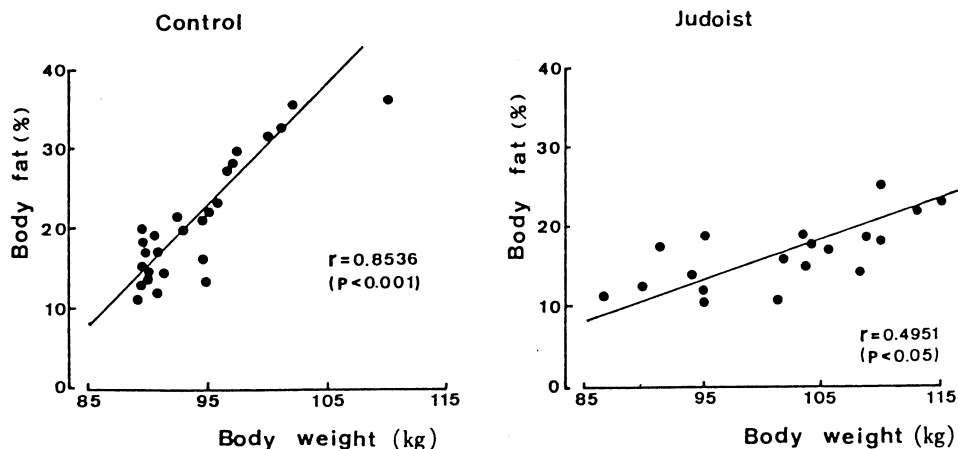


Fig. 3. Relationship between body fat and body weight.

は、 $r=0.8536$  ( $P<0.001$ ) と非常に高い正の相関が認められた。柔道選手群にも%脂肪量と体重との間に  $r=0.4951$  ( $P<0.05$ ) で正の相関が認められたが、非運動群ほど顕著ではなかった。

前述のように、体重、ローレル指数、体表面積などのからだの大きさと低酸素刺激の感受性とは非常に高い相関関係があるということは既に定説になっている。そこで、今回新しい試みとして、体重を70kgに標準化した値での低酸素刺激の感受性の指標となる  $A_N$  と%脂肪量との関係を調べたものが図 4 である。

図の中の黒丸印は、非運動群、×印は、柔道群である。黒丸印の非運動群では、%脂肪量と  $A_N$  との相関が  $r=0.5279$  ( $P<0.01$ ) と正の相関が認められ、%脂肪量が増大するとともに、換気応答曲線の勾配が急峻であることが判明した。しかし×印の柔道群では%脂肪量と  $A_N$  との関係は  $r=0.2936$  と有意な相関を認めることはできなかった。たゞ図 4 を詳細に検討してみると、非運動群と柔道群との%脂肪量の分布の違いがみられた。つまり、柔道群の%脂肪量の分布は25%程度に止まっているが、非運動群は40%近くまで分布していた。このように分布が異なる両群で比較する

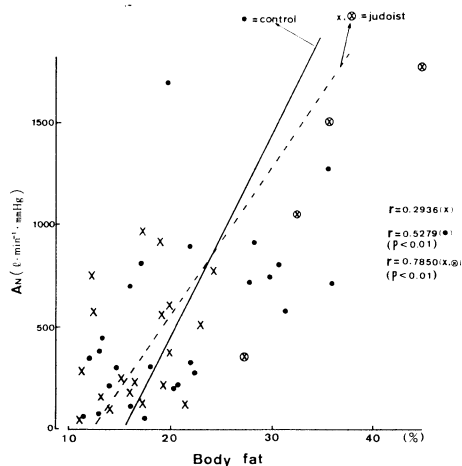


Fig. 4. Relationship between hypoxic sensitivity and percent of body fat.

には若干問題があろう。そこで体重は 115 kg 以上と非常に重い、%脂肪量で非運動群に合う 4 名の柔道選手を追加した。(図の中で⊗で示した)×印の柔道群に⊗印の柔道選手を追加して、%脂肪量と  $A_N$  との相関を調べた所、 $r = 0.7850$  ( $P < 0.01$ ) となった。このことは、非運動群、柔道群とも %脂肪量がある一定量を越えると、低酸素刺激による感受性が高まる可能性を示唆している。

## 考 察

低酸素刺激に対する感受性については、大藪たち (1983) が、柔道選手の低酸素刺激に対する換気応答が、体重が重い選手になると、感受性も大きくなる傾向があり、体重を標準化してもなおその傾向が認められると報告している。更に、体重が 116 kg を越えるような超重量級の選手において、その傾向が強くみられると報告している。今回の研究結果は、必ずしもそれに一致した傾向を示さなかった。その原因は、今回の研究の被験者の平均体重が、柔道群、100.2 kg、非運動群 94.4 kg と、大藪たちの被験者より少なかった影響であろう。本研究の結果は、体重と A との相関は両群ともに認められなかった。体脂肪量と A は、非運動群のみに認められ、柔道群には相関がみられなかった。しかし柔道群での体脂肪量と A との相関は、体重と A の相関よりは係数が高い値であった。このように、ほぼ体重が同程度の肥満者では低酸素刺激の感受性が異なっていた。今回我々の対象となった柔道選手は、大半が柔道の階級分類で 95 kg 以下級に属していたため、体重制限により自己のからだをかなり締め、余分な脂肪量等を多く付着させないように平素から心掛けていたためと考えられる。このことは、体脂肪量で、非運動群が有意に増大していたことから裏づけられる。従って、体脂肪量がある一定のレベル以上になると、低酸素刺激の感受性が急激に高くなることが予測される。

片岡 (1980) によると、肥満者の呼吸機能は、一般正常者と比較して低下する傾向があることを報告している。つまり、肥満者の呼吸は、胸部や腹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大すると述べており、呼吸刺激に、呼吸数の増大は認められても、肺の中を実際に入出入りするガス量は少ないと述べている。

Byrne-Quinn et al (1971) は、全身持久性が優っている運動選手の低酸素換気応答を調べ、運動選手は、低酸素刺激の感受性が低い傾向にあると報告している。今回の研究結果から、肥満率がほぼ同程度の柔道選手と一般健常者での肥満者との比較で、柔道選手群が A の値で低いような傾向を示した。これら柔道群が、全身持久力に優れているかどうかの判断は論議が多い所である。しかし柔道群は、平均で 8.6 年もの間かなり激しいトレーニングを積んでいる。従って、今回の柔道群が全身持久力において、同程度の肥満者より優れているであろうという推論はあながち無理ではあるまい。

## 要 約

中程度肥満者の低酸素刺激に対する感受性について、ほぼ同程度の肥満率を示す柔道選手と、一般健常者とを比較した結果は次の通りである。

1. Progressive hypoxia 法による低酸素刺激の parameter である A を両群で比較した結果、柔道群が低いような傾向がみられた。また体重を標準化した比較にも同傾向がみられた。
2. 低酸素刺激の parameter の A と、体重及び、A と除脂肪体重との相関はみられなかった。
3.  $A_N$  と脂肪量との関係は、非運動群のみに相関がみられ、柔道群には相関がみられなかった。しかし、体脂肪量を両群ではほぼ同レベルに合わせたら、柔道群にも正の相関が認められた。

4. 両群とも、体に付着した脂肪量が非常に多くなると、低酸素感受性が高まる傾向が認められた。
5. 柔道選手の肥満は、非運動群の肥満者より、全身持久性で優っている可能性が推察された。

本研究は、千葉工業大学研究補助費を受けて行なったものである。

## 参 考 文 献

- 1) Burki NK, Baker RW (1984) Ventilatory regulation in eucapnic morbid obesity. *Am Rev Resp Dis* 129:538-543.
- 2) Brovek J, Grande F, Anderson JT, Keys A (1963) Densitometric analysis of body composition. *Ann NY Acad Sci* 110:113-140.
- 3) Burwell CS, Robin ED, Whaley RD, Bickelman BF (1956) Extreme obesity associated with alveolar hypoventilation A pickwickian syndrome. *Am J Med* 21:811-818.
- 4) Dejours P (1981) Control of respiration. In: Principle of comparative respiratory physiology 2nd revised ed., Elsevier, Amsterdam, pp 185-220.
- 5) Emirgil C, Sobel BJ (1973) The effect of weight reduction on pulmonary function and the sensitivity of the respiratory center in obesity. *Am Rev Resp Dis* 108:831-842.
- 6) Honda Y, Ohyabu Y, Yoshida A, Hayashi F, Sato N (1983) High ventilatory response to hypoxia observed in heavy weight judo athletes. In: Modelling and control of breathing, ed. by J Whipp and DM Wiberg, Elsevier Sci Publ, New York, pp 266-273.
- 7) 本田良行(1975) 肺のCO<sub>2</sub> response curve. 呼吸と循環27巻5号. 477-485
- 8) 本田良行(1975) 呼吸の化学調節、日本胸部疾患学会誌 第15巻 7号 365-372
- 9) 本田良行(1982) CO<sub>2</sub> 換気応答、臨床検査 第26巻 10号 1115-1120
- 10) 片岡邦三(1980) 肥満と疾病、保健の科学 第22巻 9号 614-618
- 11) Kronenberg RS, Gabel RA, Severinghaus JW (1975) Normal chemoreceptor function in obesity before and after ileal bypass surgery to force weight reduction. *Am J Med* 59:349-353
- 12) Kronenberg RS, Drage CW, Stevenson JE (1977) Acute respiratory failure and obesity with normal ventilatory response to carbon dioxide and absent hypoxic ventilatory drive. *Am J Med* 62:772-776.
- 13) Lloyd BB, Cunningham DJC (1963) A quantitative approach to the regulation of human respiration. In: The regulation

- of human respiration. ed by DJC Cunningham and BB Lloyd,  
Blackwell Sci Publ, Oxford, pp 331-349.
- 14) Lourenço V (1969) Diaphragm activity in obesity. *J Clin Invest* 48: 1609-1614
  - 15) Miyamura M, Hachiya T, Hiruta S, Kanao Y, Fujitsuka N (1985) The influence of body size on the ventilatory response to hypercapnia. *Jpn J Physiol* 35: 169-174
  - 16) Ohyabu Y, Yoshida A, Hayashi F, Sato N, Honda Y (1982) High ventilatory response to hypoxia observed in obese Judo athletes. *Jpn J Physiol* 32: 655-665.
  - 17) Ohyabu Y, Yoshida A, Hayashi F, Nishibayashi Y, SakaKibara Y, Sato N, Honda Y (1984) Ventilatory and heart rate responses to hypoxia in well-trained Judo athletes. *Eur J Appl Physiol* 52: 451-456.
  - 18) Read DJC (1967) A clinical method for assessing the ventilatory response to carbon dioxide. *Aust Ann Med* 16: 20-32.
  - 19) Rochester DF, Enson Y (1974) Current concepts in the pathogenesis of the obesity-hyperventilation syndrome. Mechanical and circulatory factors. *Am J Med* 57: 402-420.
  - 20) Sampson MG, Grassino A (1983) Neuromechanical properties in obese patients during carbon dioxide rebreathing. *Am J Med* 75: 81-90.
  - 21) Weil JV, Byrne-Quinn E, Sodal IE, Friesen WD, Underhill B, Filley GF, Grover RF (1970) Hypoxic ventilatory drive in normal man. *J Clin Invest* 49: 1061-1072.

(昭和60年12月20日受付)