

# スポーツ選手における酸素および 炭酸ガスに対する呼吸の応答性

	千葉大学	本田良行
(共同研究者)	同	吉田明夫
	同	林文明
	同	升田吉雄
	工学院大学	大藪由夫
	東海大学	佐藤宣踐
	同	宇佐美彰朗

## Respiratory Responses to Hypoxia and Hypercapnia in the Athletes

by

Yoshiyuki Honda,\* Akio Yoshida\*, Fumiaki Hayashi\*,  
Yoshio Masuda\*, Yoshio Oyabu\*\*, Nobuyuki Sato\*\*\*,  
Akio Usami\*\*

\* *Chiba University*, \*\* *Kogakuin University*, \*\*\* *Tokai University*

### ABSTRACT

Regulation of ventilation was studied by measuring hypoxic and hypercapnic ventilatory responses in 52 judo athletes and 43 middle-long distance runners with 22 non-athletes as a control.

Hypoxic ventilatory response was measured by a progressive hypoxia method. In the judo athletes and long distance runners, the averaged values of parameter A ( $l \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mmHg}$ ), an index of hypoxic sensitivity, were 295 (Light, middle and light heavy weight class), 458 (Heavy weight class of non-obesity body type), 1155 (Heavy weight class of obesity body type) and 485 (Long distance runners), respectively. Hypercapnic ventilatory response was measured by Read's rebreathing method. In the judo

athletes, the mean values of the slope  $S$  ( $l \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mmHg}^{-1}$ ), an index of  $\text{CO}_2$  sensitivity, were 1.53 (Light, middle and light heavy weight class), 1.90 (Heavy weight class of non-obesity body type), 1.77 (Heavy weight class of obesity body type) and 1.48 (non-athletes), respectively.

On the other hand, the mean slope of the distance runners were 1.28 (Middle distance runners), 1.38 (3000m S.C. runners), 1.55 (Long distance runners) and 2.26 (Walkers), respectively.

In the judo athletes, both hypoxic and hypercapnic ventilatory responses were significantly related to the body weight. In the obesity group of judo athletes, marked augmentation of hypoxic sensitivity was particularly noted in the present investigation.

## 要 旨

52名の柔道選手と43名の陸上中長距離選手の低酸素および高炭酸ガス換気応答を、22名の一般人のそれと比較した。

低酸素換気応答は、Progressive hypoxia 法によって測定した。低酸素感受性の指標である  $A$  ( $l \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mmHg}$ ) の平均値は、柔道選手と陸上長距離選手では、それぞれ295 (軽・中・軽重量級選手), 458 (肥満体型を示さない重量級選手), 1155 (肥満体型の重量級選手), 485 (陸上長距離選手) であった。

高炭酸ガス換気応答は、Read の再呼吸法によって測定した。柔道選手では、高炭酸ガス感受性の指標である  $S$  ( $l \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mmHg}^{-1}$ ) の平均値は、それぞれ1.53 (軽・中・軽重量級選手), 1.90 (肥満体型を示さない重量級選手), 1.77 (肥満体型の重量級選手), 1.48 (一般成人男子) であった。一方、陸上中長距離選手では、それぞれ、1.28 (中距離選手), 1.38 (3000m障害選手), 1.55 (長距離選手), 2.26 (競歩選手) であった。

柔道選手では、低酸素および高炭酸ガス換気応答と体重との間には、有意な相関を示した。

肥満体型の柔道選手では、特に低酸素感受性が高かった。

## 緒 言

酸素と炭酸ガスは、呼吸によって受動的に肺でガス交換を受けるだけでなく、その血液中のレベルが強力に呼吸中枢の活動を規定し、物質代謝に必要な酸素の摂取と炭酸ガスの排出が円滑に進行する。

本研究では、低酸素や高炭酸ガスに対する換気応答を、陸上中長距離選手と柔道選手を対象に、身体トレーニングによる適応現象の有無、さらに柔道選手では体重や肥満との関係についても検討した。

## 方 法

$\text{O}_2$  換気応答に対する被検対象は、陸上長距離選手17名、柔道選手52名の計69名である。なお、選手のトレーニング経験平均年数は、それぞれ8.2年 (陸上長距離選手), 8.5年 (柔道選手) である。

$\text{CO}_2$  換気応答に対する被検対象は、陸上競技選手43名、柔道選手49名、さらに対照群として、同年齢の一般成人男子22名の合計114名である。

また、選手のトレーニング経験平均年数は、それぞれ7.5年（陸上競技選手）、8.5年（柔道選手）である。

なお、O<sub>2</sub>換気応答とCO<sub>2</sub>換気応答の両方の測定に参加した者は、これら被検対象のうち、陸上競技選手17名、柔道選手33名である。

表1 O<sub>2</sub>換気応答に対する被検対象

	Judo			Track and field Long distance run.
	Light, middle and light heavy weight class	Heavy weight class		
		A	B	
N	35	11	6	17
Height (cm)	172.2±6.3	180.1±3.4	175.4±5.3	169.8±4.2
Weight (kg)	76.3±9.4	105.3±6.7	116.1±9.8	57.5±5.0
Rohrer index	148.7±12.9	180.5±12.8	214.8±8.7	117.4±7.1
Age (yrs)	20.0±1.0	19.8±1.3	21.3±1.2	20.5±4.6
Training periods (yrs)	8.4±1.0	8.3±1.1	9.7±0.7	8.2±1.7

Values are M±S.D

Light, middle and light heavy weight class, 60kg-under 95kg body weight; Heavy weight class, Over 95kg body weight;  $A < R.I. \leq B$ ; Rohrer index (R.I.) = Body weight / (Body height)<sup>3</sup> × 10<sup>7</sup>

表2 CO<sub>2</sub>換気応答に対する被検対象

(1)

	Non-athletes	Runners			Walkers
		Middle distance 3000mSC	Long distance		
N	22	14	5	22	2
Height (cm)	171.4±4.6	170.3±4.4	171.3±1.5	167.7±4.3	172.3±4.8
Weight (kg)	62.2±7.0	59.7±4.2	58.8±2.7	55.4±4.2	59.5±5.5
Rohrer index	123.6±12.2	120.8±5.6	117.0±5.6	117.3±6.2	116.1±1.2
Age (yrs)	22.3±2.1	20.3±1.2	20.8±0.4	20.7±0.9	20.0±0
Training periods (yrs)	.....	7.3±2.1	9.1±0.7	7.2±1.9	6.5±0.5

(2)

	Judo			Light, middle and light heavy weight class, 60kg-under 95kg body weight; Heavy weight class, Over 95kg body weight; $A < R.I. 200 \leq B$ ; Rohrer index (R.I.) = Body weight / (Body height) <sup>3</sup> × 10 <sup>7</sup>
	Light, middle and light heavy weight class	Heavy weight class		
		A	B	
N	28	13	8	
Height (cm)	173.2±7.1	180.0±4.7	175.6±4.8	
Weight (kg)	77.2±9.8	105.0±7.5	116.3±11.4	
Body fat (%)	15.4±4.4	27.2±4.7	36.6±8.9	
Rohrer index	147.0±10.2	180.1±13.9	214.2±12.1	
Age (yrs)	19.8±1.1	20.3±1.1	20.4±1.1	
Training periods (yrs)	8.5±1.0	8.3±1.5	8.6±1.8	

Values are M±S.D

O<sub>2</sub> 換気応答曲線は, Weil et al. (1970) の Progressive hypoxia 法を用いて測定した. 被検者には, 約 20l の bag から Air を吸入し, 10~15 分間, P<sub>ET</sub>O<sub>2</sub> が 40~35mmHg に低下するまで再呼吸を行わせた. また, 再呼吸中の P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> は, CO<sub>2</sub> 吸収剤を用いて安静時 P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>+5mmHg の高さに維持した.

CO<sub>2</sub> 換気応答曲線は, Read (1967) の Rebreathing 法を用いて求めた. 被検者には, Rebreathing bag (10l) から混合ガス (約 7% CO<sub>2</sub> in O<sub>2</sub>) を吸入し, 4 分間再呼吸を行わせた.

なお, P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> は, Infrared CO<sub>2</sub> アナライザー (Aika), P<sub>ET</sub>O<sub>2</sub> は, 酸素電極 (Sanei) で, 1 回換気量は, 熱線流量計 (ミナト) により, それぞれ連続記録した.

### 結 果

低酸素刺激に対する換気応答の定量的解析は, 双曲線分析方法を応用し,  $\dot{V}_E = \dot{V}_O + A / (P_{ET}O_2 - C)$  により, A,  $\dot{V}_O$ , C を求めた.

A (l·min<sup>-1</sup>·mmHg) の平均値と標準偏差は, 陸上長距離選手では 485±426 であった. 柔道選手では, それぞれ 295±260 (軽・中・軽重量級), 458±308 (重量級 A), 1155±938 (重量級 B) であった.

体重を Normalize [(70/Body weight)<sup>0.75</sup>] した値 (A<sub>N</sub>) の平均値と標準偏差は, 陸上長距離

選手では 571±500 であった.

柔道選手では, それぞれ 271±217 (軽・中・軽重量級), 333±213 (重量級 A), 770±600 (重量級 B) であった. また, 柔道選手では, A と体重の相関は r=0.5492 (p<0.001), A<sub>N</sub> と体重の相関は r=0.4503 (p<0.001) であった.

$\dot{V}_O$  (l·min<sup>-1</sup>) は, 陸上長距離選手では 12.9±7.7 であった. 柔道選手では, それぞれ 16.3±5.4 (軽・中・軽重量級), 13.1±6.5 (重量級 A), 16.8±5.2 (重量級 B) であった.

C (mmHg) は, 陸上長距離選手では 27.4±7.4 であった. 柔道選手では, それぞれ 29.8±6.3 (軽・中・軽重量級), 29.3±9.7 (重量級 A), 23.7±12.6 (重量級 B) であった.

高炭酸ガス刺激に対する換気応答の定量的解析は,  $\dot{V}_E = S_I (P_{ET}CO_2 - B)$  から Slope S<sub>I</sub> と B を求めた.

S<sub>I</sub> (l·min<sup>-1</sup>·mmHg<sup>-1</sup>) の平均値と標準偏差は, 対照群では, 1.48±0.64 であり, 陸上競技選手では, それぞれ 1.28±0.45 (中距離), 1.38±0.94 (3000m障害), 1.55±0.37 (長距離), 2.26±0.15 (競歩) であった. 柔道選手では, それぞれ 1.53±0.56 (軽・中・軽重量級), 1.90±0.63 (重量級 A), 1.77±0.50 (重量級 B) であった.

体重を Normalize [(70/Body weight)<sup>0.75</sup>] した値 (S<sub>N</sub>) では, 対照群 1.66±0.78, 陸上競技選手では, それぞれ 1.44±0.49 (中距離), 1.57±

表 3 O<sub>2</sub> 換 気 応 答

	Judo			Track and field Long distance run.
	Light, middle and light heavy weight class	Heavy weight class		
		A	B	
A (l·min <sup>-1</sup> ·mmHg)	295±260	458±308	1155±938	485±426
A <sub>N</sub> (l·min <sup>-1</sup> ·mmHg)	271±217	333±213	770±600	571±500
$\dot{V}_O$ (l·min <sup>-1</sup> )	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 M±S.D

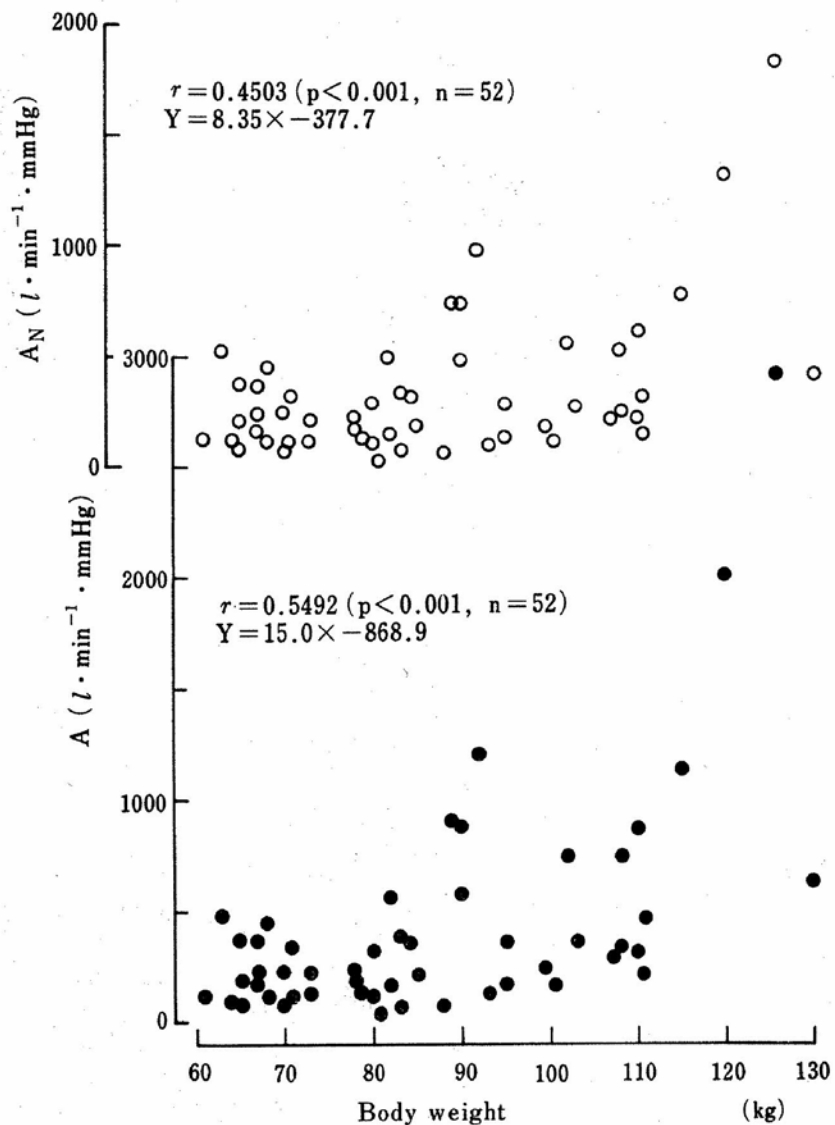


図1 柔道選手における O<sub>2</sub> 感受性と体重の関係

表4 CO<sub>2</sub> 換気応答

	Non-athletes	Runners			Walkers
		Middle distance	3000mSC	Long distance	
S <sub>I</sub> (l·min <sup>-1</sup> ·mmHg <sup>-1</sup> )	1.48±0.64	1.28±0.45	1.38±0.94	1.55±0.37	2.26±0.15
S <sub>N</sub> (l·min <sup>-1</sup> ·mmHg <sup>-1</sup> )	1.66±0.78	1.44±0.49	1.57±1.05	1.87±0.93	2.58±0.35
B (mmHg)	40.2±8.5	44.1±7.5	42.7±4.5	42.1±9.2	44.8±0.2

	Judo		
	Light, middle and light heavy weight class	Heavy weight class	
		A	B
S <sub>I</sub> (l·min <sup>-1</sup> ·mmg <sup>-1</sup> )	1.53±0.56	1.90±0.63	1.77±0.50
S <sub>N</sub> (l·min <sup>-1</sup> ·mmg <sup>-1</sup> )	1.42±0.51	1.40±0.46	1.20±0.30
B (mmg)	40.9±6.9	41.9±7.7	39.3±10.0

Values are M±S.D

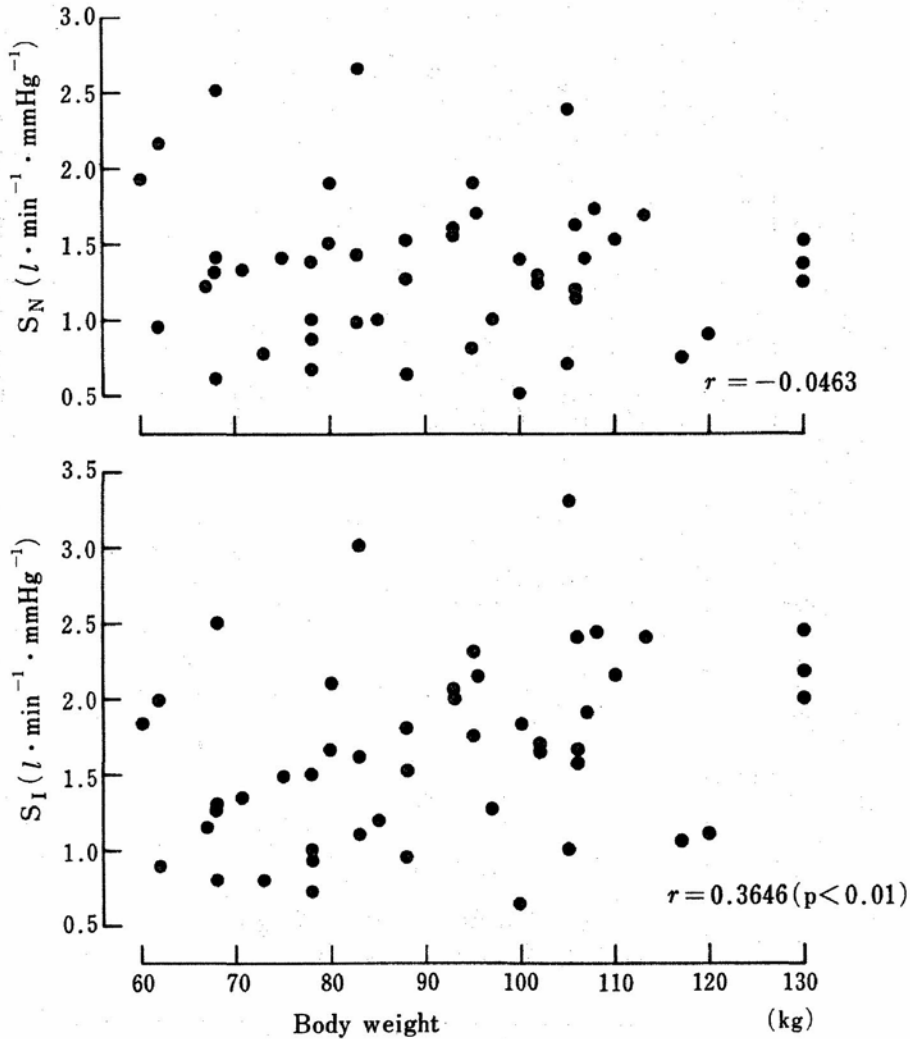


図2 柔道選手における CO<sub>2</sub> 感受性と体重の関係

1.05 (3000m障害),  $1.87 \pm 0.93$  (長距離),  $2.58 \pm 0.35$  (競歩)であった。さらに柔道選手では, それぞれ  $1.42 \pm 0.51$  (軽・中・軽重量級),  $1.40 \pm 0.46$  (重量級A),  $1.20 \pm 0.30$  (重量級B)であった。また柔道選手では, Sと体重の相関は,  $r = 0.3646$  ( $p < 0.01$ ), S<sub>N</sub>と体重の相関は,  $r = -0.0463$  ( $p > 0.05$ )であった。

B (mmHg) の平均値と標準偏差は, 対照群  $40.2 \pm 8.5$ , 陸上競技選手では, それぞれ  $44.1 \pm 7.5$  (中距離),  $42.7 \pm 4.5$  (3000m障害),  $42.1 \pm 9.2$  (長距離),  $44.8 \pm 0.2$  (競歩)であった。さらに柔道選手では, それぞれ  $40.9 \pm 6.9$  (軽・中・軽重量級),  $41.9 \pm 7.7$  (重量級A),  $39.3 \pm 10.0$  (重量級B)であった。

AとSの関係については, 陸上競技選手では  $r = -0.0178$  ( $n = 17, p > 0.05$ ), 柔道選手では  $r = 0.2164$  ( $n = 33, p > 0.05$ )であった。

### 考 察

Byrne-Quinn et al. (1971) は, 全身持久性に優れた運動選手の低酸素換気応答は, 低い傾向にあると指摘している。

本研究結果は, それらの報告と必ずしも一致した傾向を認めず, 長距離選手の A<sub>N</sub> は, 柔道の軽・中・軽重量級選手の値よりもむしろ大きな値を示した。

全身持久性トレーニングによる低酸素刺激に対する呼吸化学調節系の適応現象の有無について

は、今後とも更に検討を深めていく必要がある。

柔道選手の低酸素刺激に対する換気応答は、体重の重い選手の値が大きくなる傾向にあり、体重を Normalize してもその傾向が示めされた。特に肥満傾向にある重量級選手 (B) においてその傾向が強く、肥満による低酸素気応答への影響がうかがえた。

高炭酸ガス刺激に対する換気応答については、陸上競技選手は、いずれのグループも対照群との間に有意差を示さなかった。

Rebuck and Read (1971), Byrne-Quinn et al. (1971), Miyamura et al. (1976) は、運動選手の CO<sub>2</sub> 換気応答が一般人に比べて低い傾向にあると指摘しているが、Ohkuwa et al. (1980), 吉田ら (1980) は、一般成人との間に有意差を認めおらず、本研究と同様の傾向を示した。

陸上競技選手の CO<sub>2</sub> 換気応答には、かなりの個人差があるように思われる。柔道選手の高炭酸ガス刺激に対する換気応答についての先行研究はまだない。

本研究結果にみられるように、対照群と柔道選手との間に有意差がみられず、CO<sub>2</sub> 換気応答に対する柔道鍛練の影響はないように思われる。

片岡 (1980) は、肥満者の呼吸機能が一般正常者より低下の傾向にあることを指摘している。すなわち肥満者の呼吸は、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、さらに CO<sub>2</sub> 吸入や運動負荷に際して呼吸数は増加するが、肺に出入するガス量 (1 回換気量) は少ないとしている。柔道では、重量級選手に肥満傾向を示す者がしばしば見られるところであり、本研究ではそれらの肥満選手を B グループ (ローレル指数 200 以上) とし、A グループ (ローレル指数 200 未満) に対比させた。Slope SN は、それぞれ 1.40 (A), 1.20 (B) であり、肥満体型選手 (B) の方が低い値を示したもの

の、両者の間には有意差 ( $p > 0.05$ ) は認められなかった。柔道選手では、筋肥大による体重増加も無視できず、一般肥満者と異なるところであろう。

## ま と め

スポーツ選手の低酸素および高炭酸ガスに対する換気応答について、身体トレーニングの影響の有無、体重、肥満との関係を検討し、以下の結果を得た。

1) Progressive hypoxia 法による低酸素換気応答は、陸上長距離選手では、柔道の軽・中・重量級選手よりも大きな値を示した。柔道選手では、体重と低酸素感受性の間には、有意な正の相関がみられた。特に肥満傾向にある選手の感受性が高く、肥満による影響がうかがわれた。

2) Rebreathing 法による高炭酸ガス換気応答は、陸上競技選手では、対照群との間に有意差が認められなかった。柔道選手も対照群との間に有意差が認められなかった。また、体重と CO<sub>2</sub> 感受性の関係については、柔道選手では両者の間に有意な相関が認められた。

## 文 献

- 1) Byrne-Quinn, E., J.V. Weil, I.E. Sodal, G.F. Filley, R.F. Grover; Ventilatory control in the athlete, *J. Appl. Physiol.*, **30**(1) : 91—98 (1971)
- 2) 片岡邦三; 肥満と疾病, 保健の科学, **22**(9) : 614—618 (1980)
- 3) Miyamura, M., T. Yamashina, Y. Honda; Ventilatory responses to CO<sub>2</sub> rebreathing at rest and during exercise in untrained subjects and athletes, *Jpn. J. Physiol.*, **26** : 245—254 (1976)
- 4) Ohkuwa, T., N. Fujitsuka, T. Utsuno, M. Miyamura; Ventilatory Response to hypercapnia in sprint and Long-distance swimmers, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **43** : 235—241 (1980)
- 5) Read, D.J.C.; A clinical method for assessing

- the ventilatory response to CO<sub>2</sub>, *Aust. Ann. Med.*, **16** : 20—32 (1967)
- 6) Rebuck, A.S. Read, J.; Patterns of ventilatory response to carbon dioxide during recovery from severe asthma, *Clin. Sci.*, **41** : 13—21 (1967)
- 7) Weil, J.V., E. Byrne-Quinn, I.E. Sodal, W.O. Friesen, B. Underhill, G.F. Filley, R.F. Grover; Hypoxic ventilatory drive in normal man, *J. Clin. Invest.*, **49** : 1061—1072 (1970)
- 8) 吉田 稔, 関 雅彦; 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 (1980)