

呼吸不全患者の運動耐容能についての研究

— 健常者，閉塞性肺疾患 —

佐藤 豪¹ 神津 玲¹ 千住 秀明²

要 旨 本研究の目的は，自転車エルゴメーターを用いて，健常者と，呼吸不全患者の運動能力の相違点を捉えることである。

対象者は，健常者4例，呼吸不全患者8例，計12例である。運動負荷は，多段階運動負荷で，それぞれ Exhaustion 時に達するまで個人別に与えた。運動負荷中止の判定は，酸素飽和度 (SaO₂) が80%以下，予測年齢最大心拍数以上，及び自覚症のあった場合とした。

その結果，呼吸不全患者は，健常者に比べ，Exhaustion 時の一回換気量，分時換気量，酸素摂取量，二酸化炭素排出量，酸素摂取率，METS，体重あたりの酸素摂取量，酸素脈値が低いことが解った。

この原因として，呼吸不全患者は，運動負荷に対して一回換気量が増加できず，呼吸効率が低下していることが考えられた。そのため，我々理学療法士が患者に対し指導することは，一回換気量を増加し，過剰な呼吸数を減少させ，呼吸効率の上昇を図ることであることが示唆された。

長大医短紀要 3: 63-71, 1989

Key Words : 閉塞性肺疾患，運動負荷試験，酸素摂取量

目 的

慢性呼吸不全患者は，一般的に入浴動作，階段昇降，坂道で容易に息切れを起こし，行動範囲が拡大するほど息切れは強くなっていく¹⁾。しかし，その息切れのメカニズムは，未だ解明されていない。今回の我々の研究目的は，自転車エルゴメーターによる多段階運動負荷を健常老人と慢性呼吸不全患者に行い，換気機能，ガス代謝，心機能の面から安静時と Exhaustion 時とを比較検討することによ

って，双方の運動能力の相違を捉えることである。

対 象

対象者は健常老人 (A 群) は，心肺機能に異常のない田上病院に入院中の患者男性2例，女性1例，外来患者男性1例，計4例である。慢性呼吸不全患者 (B 群) は，厚生省呼吸不全研究班により (準) 慢性呼吸不全患者と認められた男性7例，女性1例，計8例である。A 群の平均年齢，体重，身長は，62.2±8.3 歳，51.5

1 保善会田上病院

2 長崎大学医療技術短期大学部理学療法学科

±11.0kg, 158.3±8.5cmであった。B群の平均年齢, 体重, 身長は, 66.2±7.3歳, 50.2±4.8kg, 157.7±8.2cmであった。また, B群の呼吸機能の平均値は, 肺活量 (VC) 1.6±0.2L, %肺活量 (% VC) 52.9±11.2%, 一秒率 (FEV_{1.0}%) 49.6±15.3%であった。

血液ガスの平均値は, 酸素吸入下で PaO₂ が 79.7±6.1 mmHg, PaCO₂ が 46.8±7.3 mmHg であった。

Hugh-Jones の息切れ分類でみると, III度-2名, IV度-5名, V度-1名であった。

方 法 (図1)

(1) 測定項目は, 一回換気量 (TV), 分時換気量 (\dot{V}_E), 呼吸数 (RR), 酸素摂取量 (\dot{V}_{O_2}), 二酸化炭素排出量 (\dot{V}_{CO_2}), 呼吸商 (RQ), 呼吸効率 (\dot{V}_{O_2}/\dot{V}_E), (METS), 体重当りの酸素摂取量 (\dot{V}_{O_2}/W), 心拍数 (HR), 酸素脈 (\dot{V}_{O_2}/HR), 酸素飽和度 (SaO₂) である。

(2) 測定は, 心拍数については, フクダ・エム・イー社製心電図テレメーター, 酸素飽和度は, シー・エス・アイ・ジャパン社製, パルスオキシメーター CSI 501+型を用いて, それ以外の一換気量, 分時換気量, 呼吸数, 酸素摂取量, 二酸化炭素排出量, 呼吸商等は, ジルコニア酸素電極と熱線流量計による, ミナト医科学社製レスピロモニター RM-200 を用いて, Breath by Breath で測定した。

(3) 運動負荷法については, 自転車エルゴメーターによる多段階運動負荷を, Exhaustion に達するまで負荷した。負荷中止の判定は, SaO₂ が 80% 以下, 予測年齢最大心拍数以上, 及び自覚症があった場合とした。

(4) 解析方法は, 上記の測定機器により, PC-9801 VM コンピューターで, リアルタイムにより, 10 秒ごとに取り込み上記の測定項目を記録し, 負荷に対する経時的变化を解析した。

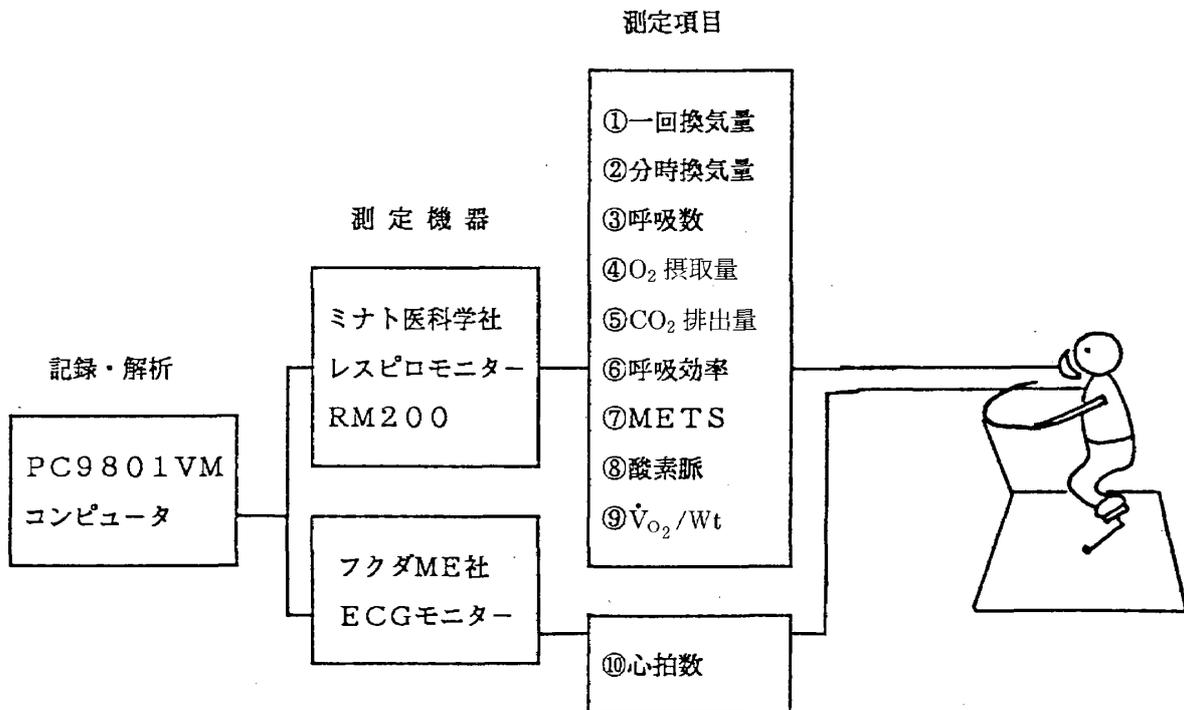


図1 方 法

結 果

(1) 負荷に対する健常老人と慢性呼吸不全患者の TV, \dot{V}_E , RR の経時的变化について

一回換気量 (TV) は, 安静時と Exhaustion 時と比較すると, 平均で A 群では $469.5 \pm 17.5 \text{ ml}$ から $1329.0 \pm 239.4 \text{ ml}$ に, B 群では $503.8 \pm 112.7 \text{ ml}$ から $854.5 \pm 287.4 \text{ ml}$ と, B 群の 1.7 倍の増加に対し A 群では, 2.8 倍の増加がみられた (図 2).

分時換気量 (\dot{V}_E) は, 安静時と Exhaustion 時と比較すると A 群では $8.4 \pm 0.7 \text{ L}$ から $34.2 \pm 15.4 \text{ L}$ に, B 群では $10.5 \pm 2.5 \text{ L}$ から $25.0 \pm 9.6 \text{ L}$ と, B 群の 2.4 倍の増加に対し A 群では 4.1 倍の増加がみられた (図 3).

呼吸数 (RR) は, 安静時と Exhaustion 時と比較すると A 群では $18.0 \pm 1.8 \text{ n/min}$ から $25.2 \pm 6.0 \text{ n/min}$ の 1.4 倍に, B 群では $19.9 \pm 5.4 \text{ n/min}$ から $32.7 \pm 10.0 \text{ n/min}$ と 1.6 倍の増加がみられた (図 4).

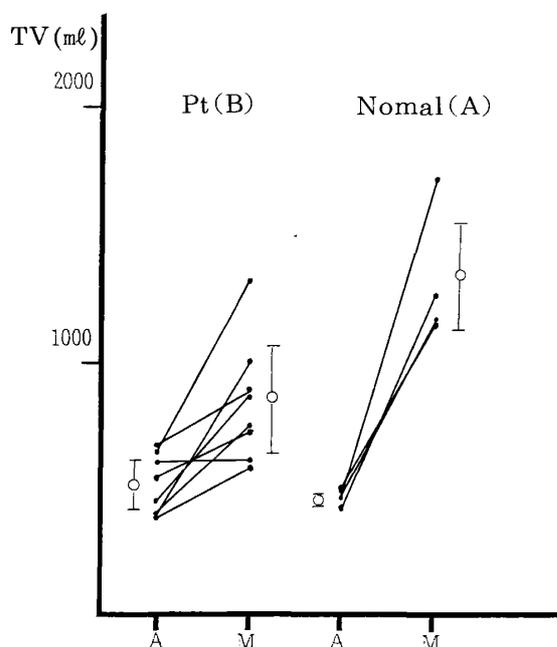


図 2 一回換気量の患者群と健常老人の比較

一回換気量は, A 群は $469.5 \pm 17.5 \text{ ml}$ から $1329.0 \pm 239.4 \text{ ml}$ に, B 群は $503.8 \pm 112.7 \text{ ml}$ から $854.5 \pm 287.4 \text{ ml}$ にそれぞれ増加した。

A: 安静時 M: Exhaustion 時

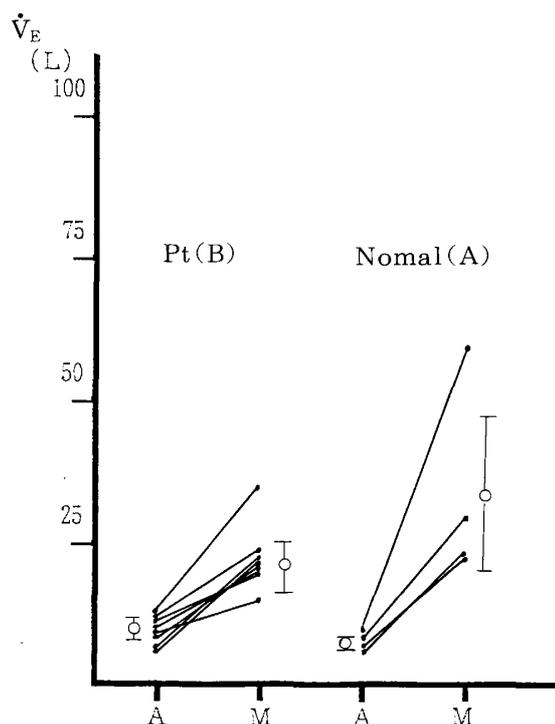


図 3 分時換気量の患者群と健常老人の比較

分時換気量は, A 群は $8.4 \pm 0.7 \text{ L}$ から $34.2 \pm 15.4 \text{ L}$ に, B 群は, $10.5 \pm 2.5 \text{ L}$ から $25.0 \pm 9.6 \text{ L}$ にそれぞれ増加した。

A: 安静時 M: Exhaustion 時

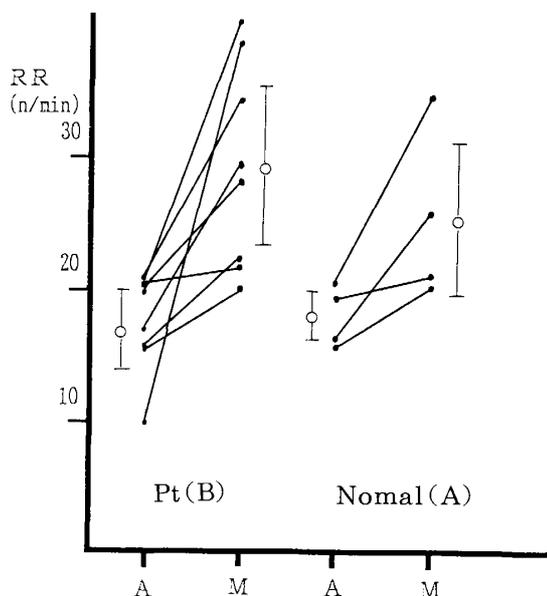


図 4 呼吸数の患者群と健常老人の比較

呼吸数は, A 群は $18.0 \pm 1.8 \text{ n/min}$ から $25.2 \pm 6.0 \text{ n/min}$ に, B 群は, $19.9 \pm 5.4 \text{ n/min}$ から $32.7 \pm 10.0 \text{ n/min}$ にそれぞれ増加した。

A: 安静時 M: Exhaustion 時

(2) 負荷に対する健常老人と慢性呼吸不全患者の \dot{V}_{O_2} , \dot{V}_{CO_2} , \dot{V}_{O_2}/\dot{V}_E , \dot{V}_{O_2}/Wt , METS の経時変化について

酸素摂取量 (\dot{V}_{O_2}) は、安静時と Exhaustion 時と比較すると A 群では 156.2 ± 30.6 ml から 787.0 ± 194.6 ml に、B 群では 160.0 ± 29.3 ml から 445.4 ± 115.9 ml と、B 群の 3.2 倍の増加に対し A 群では、5 倍の増加がみられた (図 5)。

二酸化炭素排出量 (\dot{V}_{CO_2}) は、安静時と Exhaustion 時と比較すると、A 群の 140.5 ± 14.1 ml から 909.7 ± 312.7 ml に、B 群の 148.9 ± 31.1 ml から 478.3 ± 191.9 ml と、B 群の 3.2 倍の増加に対し A 群では、6.5 倍の増加がみられた (図 6)。

呼吸効率としての酸素摂取率 (\dot{V}_{O_2}/\dot{V}_E) は、

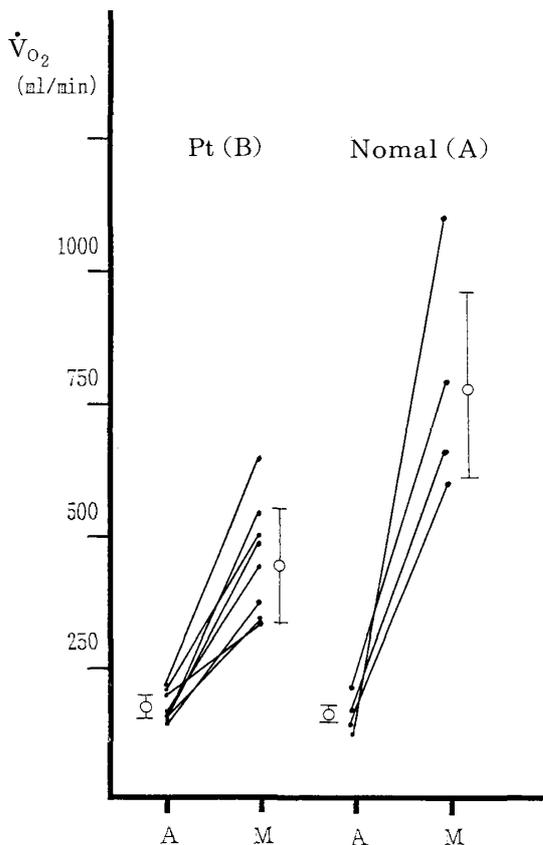


図 5 酸素摂取量の患者群と健常老人の比較

酸素摂取量は、A 群は 156.2 ± 30.6 ml から 787.0 ± 194.6 ml に、B 群は、 160.0 ± 29.3 ml から 445.4 ± 115.9 ml にそれぞれ増加した。

A: 安静時 M: Exhaustion 時

安静時と Exhaustion 時と比較すると、A 群が 22.7 ± 5.9 から 30.9 ± 5.4 , B 群が 18.8 ± 4.4 から 23.7 ± 6.7 と A 群が上回っている (図 7)。

体重当りの酸素摂取量 (\dot{V}_{O_2}/Wt) は、安静時と Exhaustion 時と比較すると、A 群では、 3.0 ± 0.5 ml/kg から 15.8 ± 5.2 ml/kg に、B 群では、 3.5 ± 0.7 ml/kg から 9.5 ± 1.7 ml/kg と B 群の 2.4 倍の増加に対し、A 群では、5.1 倍の増加がみられた (図 8)。

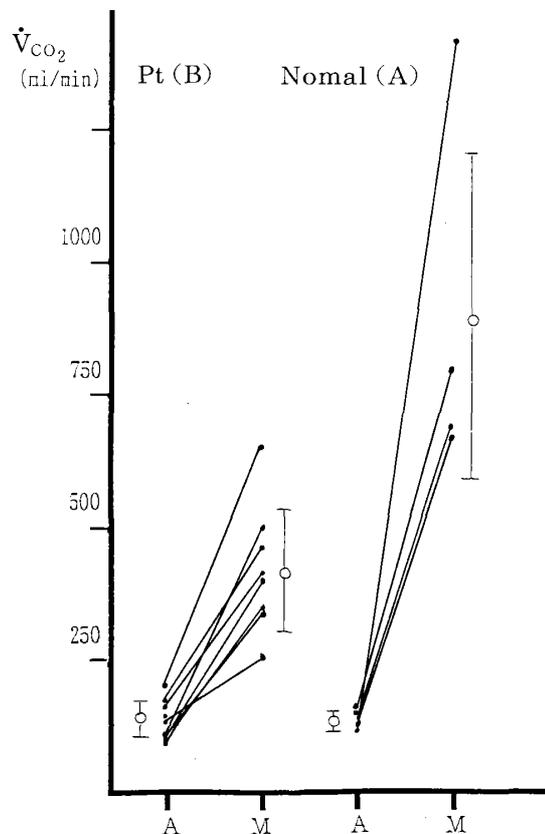


図 6 二酸化炭素排出量の患者群と健常老人の比較

二酸化炭素排出量は、A 群は 140.5 ± 14.1 ml から 909.7 ± 312.7 ml に、B 群は 148.9 ± 31.1 ml から 478.3 ± 191.9 ml にそれぞれ増加した。

A: 安静時 M: Exhaustion 時

METS では、安静時と Exhaustion 時と比較すると、A 群の 0.8 ± 0.1 から 4.5 ± 1.5 の増加に対し、B 群では、 1.0 ± 0.1 から 2.7 ± 0.5 と B 群の 2.7 倍の増加に対し、A 群では、5.2 倍の増加がみられた (図 9)。

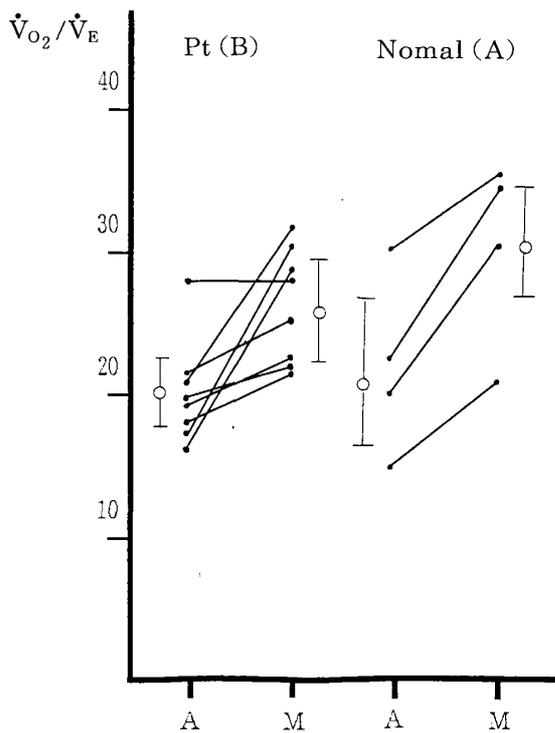


図7 呼吸効率（酸素摂取率）の患者群と健常老人の比較

呼吸効率は、A群は 22.7 ± 5.9 から 30.9 ± 5.4 に、B群は、 18.8 ± 4.4 から 23.7 ± 6.7 にそれぞれ増加した。

A: 安静時 M: Exhaustion時

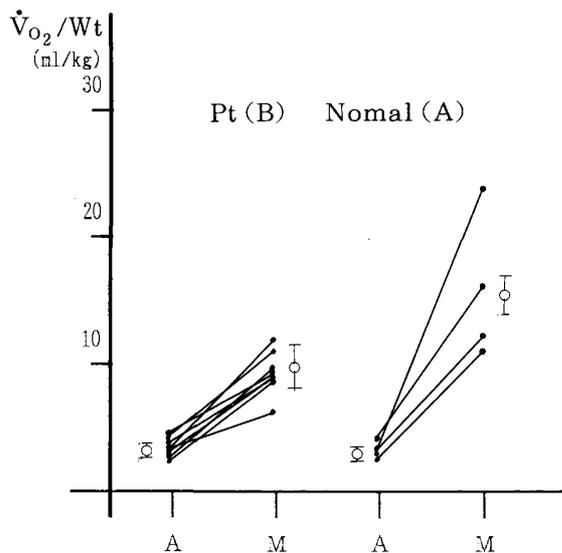


図8 体重当りの酸素摂取量の患者群と健常老人の比較

体重当りの酸素摂取量は、A群は 3.0 ± 0.5 ml/kgから 15.8 ± 5.2 ml/kgに、B群は 3.5 ± 0.7 ml/kgから 9.5 ± 1.7 ml/kgにそれぞれ増加した。

A: 安静時 M: Exhaustion時

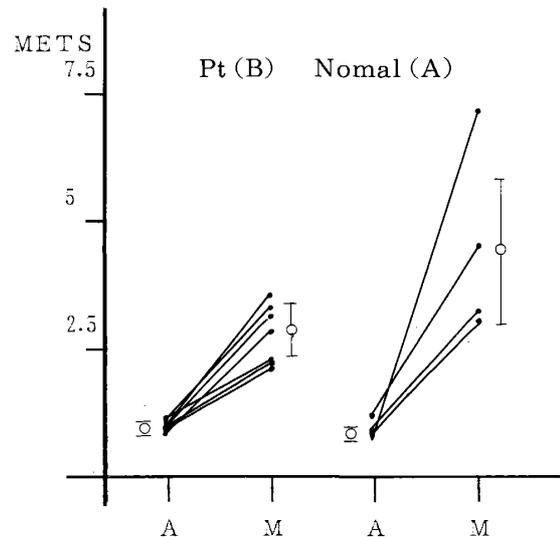


図9 METSの患者群と健常老人の比較

代謝当量は、A群は 0.8 ± 0.1 から 4.5 ± 1.5 に、B群は、 1.0 ± 0.1 から 2.7 ± 0.5 にそれぞれ増加した。

A: 安静時 M: Exhaustion時

(3) 負荷に対する健常老人と慢性呼吸不全患者のHR、 \dot{V}_{O_2}/HR の経時的变化について

心拍数 (HR) は、安静時と Exhaustion時と比較すると、A群の 68.6 ± 7.2 beat/minから 112.8 ± 25.1 beat/minに対し、 91.3 ± 10.7 beat/minから 118.4 ± 15.6 beat/minと、A群に比べB群では緩やかな増加がみられた(図10)。

酸素脈 (\dot{V}_{O_2}/HR) は、安静時と Exhaustion時と比較すると、A群の 2.2 ± 0.4 ml/beatから 8.1 ± 2.8 ml/beatの増加に対し、B群では、 1.7 ± 0.3 ml/beatから 4.0 ± 1.2 ml/beatとB群の2.3倍の増加に対しA群では、3.6倍の増加がみられた(図11)。

酸素飽和度 (SaO_2) は、安静時と Exhaustion時と比較すると、A群の97%から $96.6 \pm 0.4\%$ の低下に対し、B群では、 $94.6 \pm 1.6\%$ から $90.5 \pm 3.7\%$ と大きい低下を示した(図12)。

(4) 運動負荷について

個人別に運動負荷を与え、A群の平均最大

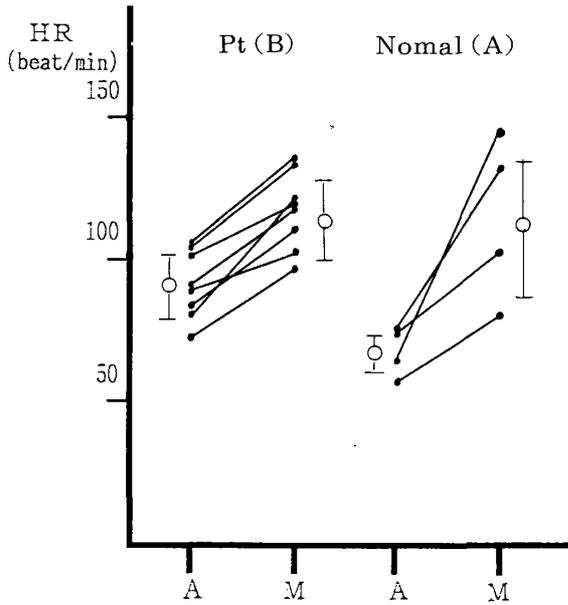


図10 心拍数の患者群と健常老人の比較

心拍数は、A群は 68.6 ± 7.2 beat/min から 112.8 ± 25.1 beat/min に、B群は、 91.3 ± 10.7 beat/min から 118.4 ± 15.6 beat/min にそれぞれ増加した。

A: 安静時 M: Exhaustion時

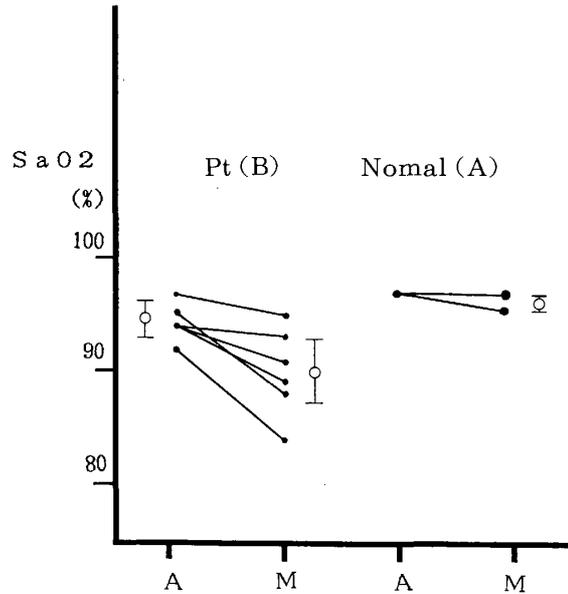


図12 酸素飽和度の患者群と健常老人の比較

酸素飽和度は、A群は97%から $96.6 \pm 0.4\%$ に、B群は、 $94.6 \pm 1.6\%$ から $90.5 \pm 3.7\%$ にそれぞれ低下した。

A: 安静時 M: Exhaustion時

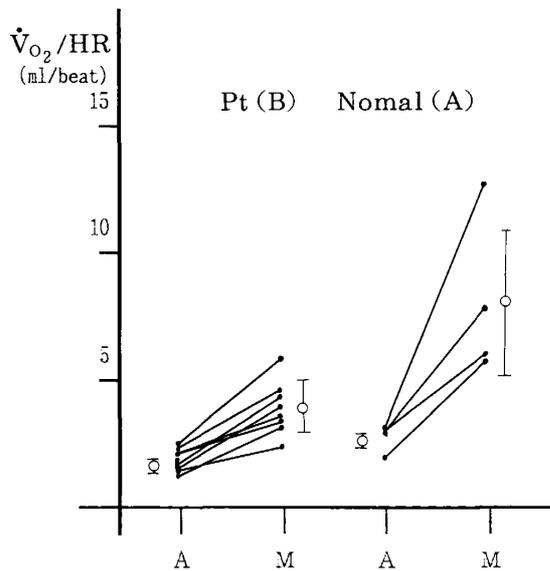


図11 酸素脈の患者群と健常老人の比較

酸素脈は、A群は 2.2 ± 0.4 ml/beat から 8.1 ± 2.8 ml/beat に、B群は、 1.7 ± 0.3 ml/beat から 4.0 ± 1.2 ml/beat にそれぞれ増加した。

A: 安静時 M: Exhaustion時

運動負荷値は 50.0W, B群では 22.5W であった。

考 察

ガス交換の主たる目的は、大気中より組織の代謝に必要な酸素を摂取し、組織で生じた二酸化炭素を排出することである。運動によって、組織は多量のエネルギーを消費するため、多い場合には安静時の15～20倍の酸素を、その組織に送り込む必要がある場合がある。通常、運動開始と同時に分時換気量が増加することはよく知られているが、これは呼吸数と、一回換気量の増加によるものである。健常者の場合は、分時換気量の増加は、予備吸気量、次いで予備呼気量の一換気量の増加により、増加する。一回換気量は、運動負荷に比例して増加するが、最大酸素摂取量の70～85%に達すると、それ以上の換気量の増加は、呼吸数の増加により行われる^{2), 3), 4)}。

A群は、運動終了時に一回換気量が2.8倍、分時換気量が4.1倍、呼吸数が1.4倍にそれぞれ増加し、酸素摂取量は、5倍まで増加している。しかし、Bruce (RA) らの年齢と最大

酸素摂取量の報告⁵⁾からA群の年齢に相当する予測最大酸素摂取量は2~3L/minで明らかに、A群の最大酸素摂取量787mlは低い。この原因は、A群が健常者と言えども上肢の骨折、胃潰瘍等なんらかの理由にて長期入院加療中で、全身機能の低下(体力低下)によるものと考えられる。

B群の場合では、A群と比較してみると、一回換気量は64%、分時換気量は73%の増加であったが、呼吸数は、A群より1.3倍の増加がみられた。このことはB群では、最大酸素摂取量が低いために軽度の運動負荷量で、最大酸素摂取量の70~85%に達し、呼吸数の増加によって換気量の増大を図っていることから明らかである。またB群は、一回換気量の低下による換気効率の低下から酸素摂取量、二酸化炭素排出量のガス交換能力が低下していると推測される。上記のことを検討するために縦軸に酸素摂取量、横軸に分時換気量を取って、A群、B群それぞれを比較すると、A群の方がB群よりあらゆる換気量に対する酸素摂取量が多いことより、A群に比べB群は明らかに酸素摂取率(\dot{V}_O/\dot{V}_E)が低下していることが明らかである(図13)。

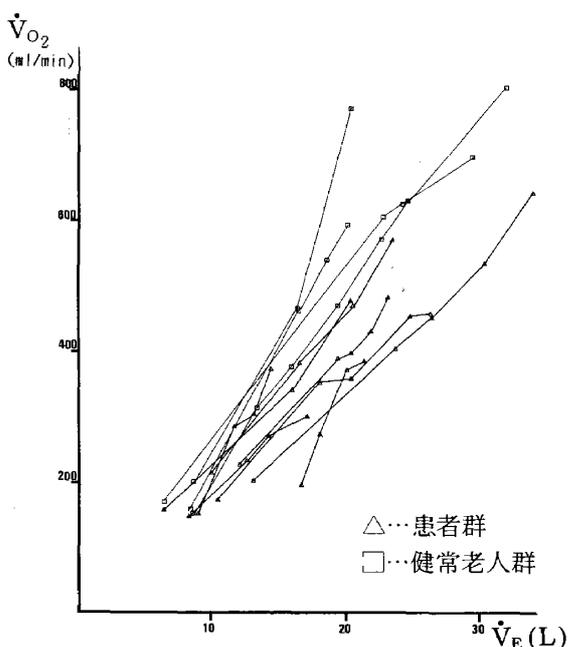


図13 分時換気量に対する酸素摂取量の推移

運動強度の指標として、METSや心拍数が有用であることはよく知られている。A群の運動強度(最大METS)は、4.5METSで、これはガソリンスタンドのタイヤ交換、9~20kgの物を持ち上げて運ぶ等に相等する⁶⁾。B群の2.8METSは、床ふき、軽いものを棚にのせる程度の運動強度である。すなわち、B群は日常の生活行動が運動能力の限界であった。これは、心拍数からみた運動強度でも、B群が年齢最大心拍数の93%まで達しており、運動能力の限界に達していることは明らかである。また、心機能の指標である酸素脈は、A群は8.14ml/beat、B群では4.08ml/beatと少なく、B群の心機能の低下も予測される。以上のことより慢性呼吸不全患者は、肺機能だけでなく心機能までも低下し、我々が先に報告した、COPDは心機能には予備力を残しているという報告と異なっている。このことより、慢性呼吸不全患者は、疾患の進行にともなって心機能も低下し、最大仕事量も著しく低下することが考えられる。酸素飽和度は、健常者において運動負荷が強くても90%を割ることはないが、しかし慢性呼吸不全患者において、運動負荷を行うことにより90%以下になる症例は多く、今回の結果からもその傾向がうかがえる⁷⁾。このことは、慢性呼吸不全患者が、換気機能の低下によって酸素摂取量が運動による酸素需要に対応できず、酸素飽和度を低下させ、最大限に心拍数を高めることで組織の酸素需要に応じていることである。

以上のことから、呼吸不全患者の運動負荷に対する問題点は、身体活動に対応する一回換気量の増加が十分でないことによる換気機能の低下、及びガス交換能力の低下である。

このことを改善するために、理学療法士が指導することは次の2点である。

- (1) 一回換気量を増加させる
- (2) 過剰な呼吸数を減少させる

以上の2点で、呼吸効率の改善を図ることである。つまり、そのためには従来から報告さ

れているように腹式呼吸法と動作を協調させた指導を行うことであると考えた。例えば、吸気では動作をさせず、呼気のみ動作をさせると言ったような身体活動のことである。しかし、息切れについてはまだまだ不明な点が多く、今後の研究が必要であるといえるであろう。

ま と め

健常者4例と、慢性呼吸不全患者8例を対象として運動負荷に対する運動耐容能について比較検討した。

その結果、次の結論が得られた。

- 1) 慢性呼吸不全患者において、一回換気量の低下、ガス交換能力の低下が、運動耐容能を低下させている原因であると考えた。
- 2) そのことを改善するために必要なことは、一回換気量の増加、過剰な呼吸数を減少するための腹式呼吸法と、動作とを協調させる身体活動が必要である。

参考文献

- 1) 千住秀明：呼吸リハビリテーションのすすめ，1989，pp 46.
- 2) 宮下充正，石井喜八：運動生理学概論，大修館書店，1987，pp 114～118.
- 3) 本田良行：臨床呼吸生理学（Ⅱ），真興交易医書出版部，1979，pp 105～106.
- 4) 杉 晴夫，齊藤 望，佐藤昭夫：運動生理学，南江堂，1988，p 29.
- 5) 田口 治，飛田 渉：老年者の耐運動能，呼吸8（8）p 836～840，1989.
- 6) 谷口興一，吉田敬義：運動負荷テストとその評価法，南江堂，1989，p 346.
- 7) 千住秀明：運動負荷に対する心肺機能の変化，長崎大学医療技術短期大学部紀要，1：57～64，1988.
- 8) 神津 玲，佐藤 豪，古場佐登子，安永尚美，千住秀明：階段昇降における腹式呼吸法の有効性についての検討，第11回九州理学療法士，作業療法士合同学会誌，p 41，1989.

（1989年12月28日受理）

Exercise tolerance of chronic respiratory insufficiency

Tsuyoshi SATO,¹ Ryo KOZU,¹ and Hideaki SENJYU²

1 Hozenkai Tagami Hospital

2 Department of Physical Therapy, The School of Allied Medical Sciences, Nagasaki University

Abstract Exercise tests measured with a bicycle ergometer were used to study the difference in exercise tolerance for patients with chronic respiratory insufficiency and healthy persons.

Twelve subjects, eight patients and four healthy controls, exercised with a bicycle ergometer under a multi-step test condition until exhaustion. Exercise was discontinued when any manifestation of subjective symptoms (levels less than 80% of SaO₂ or more than the age maximum heart rate) were observed.

Results show that the exercise level of the patients at exhaustion was lower than that of the healthy controls. This is because of decreased tidal volume and minute ventilation against the exercise and the decrease in respiration efficiency. It is in order important for their physiotherapists to give directions to these patients so as to increase their tidal volumes control excessive respiration rates and improve respiration efficiency.

Bull. Sch. Allied Med. Sci., Nagasaki Univ. 3 : 63-71, 1989