

# 慢性閉塞性肺疾患患者の呼吸筋力と肺機能，運動耐容能との関連性について

千住 泰代<sup>1</sup>・大池 貴行<sup>1</sup>・栗田 健介<sup>1</sup>・勝野久美子<sup>1</sup>  
力富 直人<sup>1</sup>・浦田 秀子<sup>2</sup>・田代 隆良<sup>2</sup>・千住 秀明<sup>3</sup>

**要 旨** 24名の慢性閉塞性肺疾患 (COPD) 患者において呼吸筋力，肺機能，運動耐容能の関係を調べた。呼気積分値 (PEinteg) と吸気積分値 (PIinteg) は，1秒量 (相関係数0.54, 0.61)，%1秒量 (0.51, 0.63)，最大分時換気量 (0.53, 0.58) と相関した。PEintegとPIintegは6分間歩行距離 (0.51, 0.46) との間に相関がみられ，PEintegは最高酸素摂取量との間に相関 (0.63) がみられた。しかし最大呼気圧と最大吸気圧は肺機能，運動耐容能との間に相関はなかった。呼吸筋力の積分値はCOPD患者の重症度や運動耐容能の指標となり，呼気筋および，吸気筋トレーニングはCOPD患者の運動時の呼吸困難を軽減し，患者のADLを改善する可能性が示唆された。

長崎大学医学部保健学科紀要 15(1): 9-14, 2002

**Key Words** : COPD, 呼吸筋耐久力, 肺機能, 運動耐容能

## はじめに

慢性閉塞性肺疾患 (COPD ; Chronic Obstructive Pulmonary Disease) 患者は，動作時に呼吸困難を生じ，日常生活動作が制限されることが多い。その要因として，気道閉塞による換気障害に加え，活動性の低下や栄養不足による骨格筋力，呼吸筋力の低下が換気制限に関与すると考えられる。特に肺気腫患者では，運動時の酸素需要増加に伴い浅速呼吸を呈し，機能的残気量が増加して換気効率が低下する。その際，呼吸筋への負荷が増加し，呼吸筋疲労をきたす。したがって呼吸筋力の評価は，患者の呼吸困難の特性を見極める際の，また呼吸訓練や動作コントロールを指導する際の有意義な情報となり得る。

呼吸筋力には，瞬発的な力を発揮する最大呼吸筋力と，持久性を表す呼吸筋耐久力とがある<sup>1)</sup>。COPD患者においては，最大呼吸筋力のみならず，呼吸筋耐久力を評価することが，呼吸筋疲労と労作性呼吸困難の関係を把握する上で意義があると思われる。

これまでの呼吸筋力に関する研究は，最大呼吸筋力を用いた呼吸筋力評価<sup>2)</sup>や呼吸筋トレーニング<sup>3,4,5)</sup>に関する研究が比較的多く，呼吸筋耐久力に関する研究は少ない。

そこで今回，COPD患者の呼吸筋力として，従来の最大呼気口腔内圧・吸気口腔内圧に，呼吸筋耐久力の指標として呼気・吸気積分値を加え，呼吸筋力と肺機能および運動耐容能との関連性について検討した。

## 方 法

### 1. 対象

2000年8月から2002年1月の間に，呼吸リハビリテーションを目的に当院に入院した，病状の安定したCOPD患者24名を対象とした。うち，酸素療法を施行している者は1名であった。疾患は，慢性肺気腫16名，肺気腫と気管支喘息を合併した者7名，肺気腫と慢性気管支炎を合併した者1名であった。平均年齢は72.0 ± 4.3歳 (65 ~ 82歳)，性別は男性20名，女性2名であった。Fletcher-

表 1. 対象者の内訳

性別	24名 (男性22名, 女性2名)				
年齢(歳)	72.0 ± 4.3 (65 - 82)				
疾患	肺気腫	16名			
	肺気腫 + 喘息	7名			
	肺気腫 + 慢性気管支炎	1名			
Fletcher-Hugh-Jonesの息切れ分類	: 0名	: 2名	: 12名	: 9名	: 1名

平均 ± 標準偏差

- 1 長崎呼吸器リハビリクリニック
- 2 長崎大学医学部保健学科看護学専攻
- 3 長崎大学医学部保健学科理学療法学専攻

Hugh-Jones (F-H-J) の息切れ分類は、 度2名、  
度12名、 度7名、 度1名であった。

2. 測定方法

1) 呼吸筋力測定

呼吸筋力の測定には、チェスト社製バイタロパワーKH-101を用いた。安静坐位にて、最大吸気位（全肺気量位）から最大呼気努力を行なった時の最大呼気口腔内圧（PE<sub>max</sub>）と、最大呼気位（残気量位）から最大吸気努力を行なった時の最大吸気口腔内圧（PI<sub>max</sub>）を測定した。測定パネルの時間 - 圧曲線を観察しながら、口腔内圧が1秒以上安定した値を最大口腔内圧とした。測定は3回行い、そのうちの最大値を採用した。測定時には呼気努力の際に、被験者自身に頬部を手で押さえてもらい、頬部の膨張を防いだ。声門閉鎖を防止するためのエアリーク用通気孔は、直径1.2mmに設定した<sup>6)</sup>。

本装置では、測定値として最大口腔内圧のほかに、平均口腔内圧や口腔内圧の時間に対する積分値等が得られる。今回は、積分呼気口腔内圧（PE<sub>integ</sub>）・積分吸気口腔内圧（PI<sub>integ</sub>）を呼吸筋耐久力の指標ととらえ<sup>7)</sup>、最大口腔内圧とともに呼吸筋力の評価に用いた<sup>8,9)</sup>。

2) 肺機能検査

ミナト医科学社製オートスパイロAS-7を用いて、坐位にて肺気量分画、フローボリュームを測定し、肺活量

(VC)、%肺活量(%VC)、1秒量(FEV<sub>1.0</sub>)、%1秒量(%FEV<sub>1.0</sub>)、1秒率(FEV<sub>1.0</sub>%)、最大分時換気量(MVV)、%最大分時換気量(%MVV)を求めた。

3) 体格

身長、体重を測定し、タニタ製体内脂肪計TBF-102を用いBIA (Bioelectrical impedance analysis) 法により、体脂肪率(%Fat)、除脂肪体重(FFM; Fat Free Mass)を測定した。肥満度の評価には、体格指数(BMI; Body Mass Index); 体重/身長(m)<sup>2</sup>、および実測体重を標準体重; 身長(m)<sup>2</sup> × 22と比較した%標準体重(%IBW: ideal body weight)を用いた。

4) 運動耐容能

6分間歩行テストを実施し、6分間の歩行距離(6MD; 6 Minutes Distance)を測定した。さらに13名においては、トレッドミルによる多段階漸増運動負荷試験を施行した。運動中の換気指標とガス交換指標をミナト医科学社製呼気ガス分析装置AE280 Sを用いて測定し、最高酸素摂取量(peak  $\dot{V}O_2$ )、dyspnea indexである $\dot{V}E/MVV$ を運動耐容能の指標とした。

なお、統計学的検討は、統計ソフトStat View ver. 4.5を用い、2群(平均値)の差の検定には対応のないt検定、2群間の相関関係の検討にはPearsonの相関係数、Spearmanの順位相関係数を用い、危険率5%未満を有意とした。

表2. 対象者の各測定項目の平均値

身体組成			
身長	(cm)	161.3 ± 8.4	(138 - 172)
体重	(kg)	54.3 ± 9.6	(40.5 - 68.5)
BMI	(kg / m <sup>2</sup> )	20.9 ± 3.2	(15.2 - 25.8)
%IBW	(%)	94.8 ± 14.7	(68.9 - 117.4)
除脂肪体重	(kg)	44.3 ± 6.4	(31.8 - 54.3)
体脂肪率	(%)	17.8 ± 6.7	(4.2 - 34.3)
呼吸筋力			
最大呼気圧	(cmH <sub>2</sub> O)	83 ± 44	(23.2 - 190.5)
最大吸気圧	(cmH <sub>2</sub> O)	63 ± 20	(34.7 - 93.5)
呼気積分値	(cmH <sub>2</sub> O · s)	579 ± 394	(30 - 1574)
吸気積分値	(cmH <sub>2</sub> O · s)	424 ± 268	(118 - 1146)
肺機能			
肺活量	(ml)	2588 ± 691	(1170 - 4510)
努力性肺活量	(ml)	2072 ± 731	(640 - 4400)
%努力性肺活量	(%)	66.6 ± 20.6	(34.4 - 133.7)
%肺活量	(%)	83.4 ± 17.7	(58.8 - 135.8)
1秒量	(ml)	811 ± 470	(250 - 2240)
%1秒量	(%)	33.7 ± 19.2	(13.2 - 90.0)
1秒率	(%)	38.0 ± 13.0	(20.2 - 70.1)
最大分時換気量	(ml / min)	32.1 ± 16.6	(14.32 - 81.20)
%最大分時換気量	(%)	43.0 ± 19.5	(21.6 - 90.9)
運動耐容能			
6分間歩行距離	(m)	358 ± 104	(100 - 517)
最高酸素摂取量	(ml / min)	839 ± 246	(418 - 1115)
$\dot{V}E / MVV$		0.96 ± 0.33	(0.61 - 1.76)

平均 ± 標準偏差 (最小 - 最大)

## 結 果

1. 体格、肺機能、運動耐容能および呼吸筋力の平均値  
対象者各測定値の平均値を表2に示した。体格に関する各測定値の平均値 (mean ± SD) は、身長161.3 ± 8.4 cm, 体重54.3 ± 9.6kgで、肥満度は、BMI 20.9 ± 3.2, %IBW 94.8 ± 14.7%, 身体組成では%Fat 17.8%と、いずれも「やや痩せ」の傾向であった。

呼吸筋力の平均値は、PEmax 83 ± 44cmH<sub>2</sub>O, PImax 63 ± 20cmH<sub>2</sub>O, PEinteg 579 ± 394cmH<sub>2</sub>O・s, Plinteg 424 ± 268cmH<sub>2</sub>O・sで、いずれも呼吸筋力が高値であった。PEmax, PImaxの標準値を西村ら<sup>2)</sup>の予測式より求めると、標準PEmaxは103.2cmH<sub>2</sub>O, 標準PImaxは73.9cmH<sub>2</sub>Oとなり、実測値が有意に低値であった。

肺機能検査の平均値は、VC 2588 ± 691ml, %VC 83.4 ± 17.7%, FEV<sub>1.0</sub> 811 ± 470ml, %FEV<sub>1.0</sub> 33.7 ± 19.2%, FEV<sub>1.0</sub>% 38.0 ± 13.0%と高度の閉塞性換気障害を示した。

運動耐容能テストのうち6分間歩行テストの平均歩行距離は、358 ± 104m, トレッドミルによる運動負荷テストでは、peak  $\dot{V}O_2$  839 ± 246ml/min,  $\dot{V}E/MVV$  0.96

± 0.33であった。

## 2. 呼吸筋力と「やせ」の関係

呼吸筋力をやせの程度により比較するため、%IBW 90%未満をやせ群、90%以上を非やせ群に分けて比較した(表3)。PEmaxは、やせ群57.8 ± 14.7cmH<sub>2</sub>O, 非やせ群92.5 ± 47.5cmH<sub>2</sub>Oと非やせ群が有意に低値であった。PImaxもやせ群が非やせ群より低値であるが、有意な差ではなかった。PEinteg・Plintegはいずれも両群間に有意な差を認めなかった。

## 3. 呼吸筋力と各測定値との相関

呼吸筋力の各測定値と体格、呼吸機能、運動耐容能の各測定値との相関係数を表4に示した。呼吸筋力のうちPEmaxはFFM (r=0.460) と有意な相関があり、PImaxでは、いずれの測定値とも有意な相関はみられなかった。PEintegは、FFM (r=0.559), FEV<sub>1.0</sub> (r=0.542), %FEV<sub>1.0</sub> (r=0.508), FEV<sub>1.0</sub>% (r=0.422), MVV (r=0.526), 6 MD (r=0.514), peak  $\dot{V}O_2$  (r=0.634)と多くの項目で有意な相関が認められた。PEintegとpeak  $\dot{V}O_2$  および6 MDとの相関を図1に示す。Plintegは、FEV<sub>1.0</sub> (r=0.610), %FEV<sub>1.0</sub> (r=0.629), FEV<sub>1.0</sub>% (r=0.625), MVV (r=0.579), 6 MD (r=0.460)と相関関係を認め

表3. %IBW &lt; 90 (やせ群) と%IBW 90 (非やせ群) の呼吸筋力の比較

	%IBW < 90 (n = 6)	%IBW 90 (n = 6)	p
最大呼気圧 (cmH <sub>2</sub> O)	57.8 ± 14.7	92.5 ± 47.5	0.012*
最大吸気圧 (cmH <sub>2</sub> O)	59.2 ± 23.8	65.0 ± 19.8	0.56
呼気積分値 (cmH <sub>2</sub> O・s)	527.3 ± 252.0	596.6 ± 438.2	0.72
吸気積分値 (cmH <sub>2</sub> O・s)	485.7 ± 357.1	403.9 ± 240.3	0.52

平均 ± 標準偏差 \*p &lt; 0.05

表4. 呼吸筋力と各測定値との相関関係

	最大呼気圧	最大吸気圧	呼気積分値	吸気積分値
身体組成				
体重	0.437*	0.205	0.432*	0.266
BMI	0.265	0.041	0.106	0.005
%IBW	0.260	0.101	0.031	- 0.002
除脂肪体重	0.460*	0.304	0.559**	0.400
体脂肪率	0.157	- 0.101	- 0.034	- 0.140
肺機能				
肺活量	0.182	0.292	0.372	0.257
努力性肺活量	0.045	0.193	0.358	0.368
1秒量	0.091	0.118	0.542**	0.610**
%1秒量	0.054	0.062	0.508*	0.629**
1秒率	0.079	- 0.023	0.422**	0.625**
最大分時換気量	0.149	0.144	0.526**	0.579**
運動耐容能				
6分間歩行距離	0.170	0.243	0.514*	0.460*
最高酸素摂取量	0.345	0.192	0.634*	0.200
$\dot{V}E/MVV$	- 0.011	- 0.316	0.179	- 0.499

\*\*p &lt; 0.01 \*p &lt; 0.05

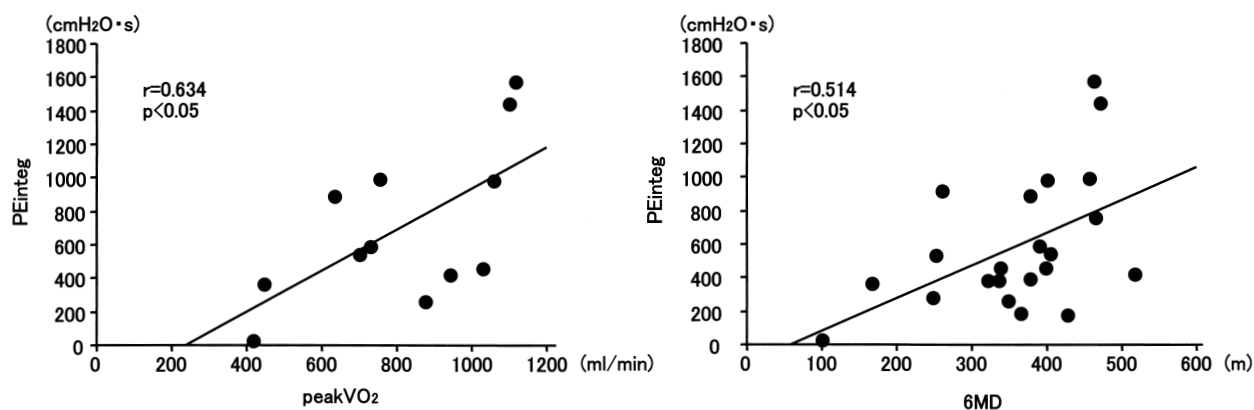


図1. 呼吸筋耐久力 (PEinteg) と運動耐容能 (peak $\dot{V}O_2$ , 6 MD) との相関

た.

## 考 察

呼吸筋力には、呼吸筋の瞬発的な強さを示す最大呼吸筋力と、呼吸筋の持久力を示す呼吸筋耐久力があり<sup>1)</sup>、最大呼吸筋力は最大呼気(吸気)時の口腔内圧が測定される<sup>6,8,9)</sup>。一方、呼吸筋耐久力の評価について、安部ら<sup>10)</sup>は吸気閾値負荷装置を用い、2分間漸増負荷法により得られた最大負荷重量と最大負荷時の平均ピーク吸気口腔内圧の比を呼吸筋耐久力の指標としている。また、宮川ら<sup>7)</sup>は、我々と同様の装置によって得られた積分口腔内圧 (PEinteg, PInteg) が、最大圧よりもMVV, F-H-Jの息切れ分類との相関が高く、呼吸筋耐久力の一指標になり得ると述べている。今回の測定では、最大呼気(吸気)口腔内圧と積分口腔内圧双方を呼吸筋力の指標とし、体格・肺機能・運動耐容能等との関連性について検討した。

### 1) 呼吸筋力と体格との関係

慢性呼吸不全患者はやせが多いことが知られ、当院の調査における平成12年度の調査では%IBW < 80%のやせが肺気腫の約40%に認められた<sup>11)</sup>。今回の対象者については幾分やせの傾向はあったが、%IBW < 90%が6名(25%)とその割合は少なかった。

呼吸筋力と体格に関する各測定値との相関では、体重がPEmax, PEintegと、FFMがPEmax, PEintegとに相関が認められた。BMI, %Fatなどの一般に用いられる肥満評価には有意な相関はなかった。これまでも全身の筋肉量の減少は呼吸筋力の低下と関連があることが報告されており、竹中ら<sup>12)</sup>はFFMの減少する肺気腫患者でPEmax, PImaxの低下が認められたことを報告している。本研究ではFFMとPImaxには有意な相関ではなかったが、PEmax, PEintegと相関があったことより、FFMは呼吸筋力、特に呼吸筋耐久力に関連することが示唆された。

### 2) 呼吸筋力と肺機能との関係

本来、健常者の安静時呼吸運動は横隔膜をはじめとする呼吸筋の収縮により肺、胸郭が拡張し、外気の肺内流

入によって吸気が行われる。また呼気は吸気時に蓄えられた胸郭の弾性収縮力によって行われる。COPD患者は肺胞壁破壊に伴う肺弾性の減弱により、肺過膨張を呈する。そのため横隔膜は平低化し、収縮の最適長より短縮するため、吸気筋の仕事量は増加する。一方、呼気筋も気道抵抗の増加により仕事量は増大する。さらに呼気筋として中心的役割を果たす腹筋は、横隔膜収縮効率を改善すべく横隔膜を胸腔内へ押し上げるため呼出努力を要する。そのためCOPD患者においては吸気筋、呼気筋ともに筋力が低下し、筋疲労に陥りやすい状況下にあると考えられる。

これまでもCOPD患者において吸気筋、呼気筋の筋力低下が認められるとの報告があり<sup>13)</sup>、本研究においても西村ら<sup>2)</sup>の予測式から算出した標準値と比較し、有意な低下が認められた。今回、呼吸筋力のうち特にPEinteg, PIntegは、FEV<sub>1.0</sub>, MVVなど換気機能との相関があったことから、呼吸筋耐久力はCOPDの重症度と関連することが推測された。さらに呼吸筋耐久力の低下による換気能力の低下は、呼吸困難の増強を招来する可能性が推察された。

### 3) 呼吸筋力と運動耐容能との関係

COPD患者において呼吸筋力が低下すると呼吸困難や運動制限が生じることはよく知られている。Gosselinkら<sup>14)</sup>は、吸気筋力及び大腿四頭筋は運動耐容能(6 MD)の寄与因子であることを報告している。本研究においてはPEinteg・PIntegと6 MD, PEintegとpeak $\dot{V}O_2$ との間に有意な相関が認められ、呼吸筋耐久力と運動耐容能との関連性が示唆された。

ここでの興味深い点は、peak $\dot{V}O_2$ との相関がPEintegのみであったことである。6 MDとpeak $\dot{V}O_2$ の結果の相違には、運動負荷様式の違いが関係すると考えられる。6 MDは最大努力下での定常負荷であるのに対し、peak $\dot{V}O_2$ を求める運動負荷試験は症候限界まで運動を遂行する漸増負荷試験である。つまり6 MDは最大努力下にせよ患者任意に歩行を遂行できるため、多少換気に余力を残したままテストを終了することが考えられる。一方、漸増運動負荷試験は症候限界まで負荷を漸増的に増加さ

せるため、換気は限界に達する。本研究の漸増負荷試験実施者13名のdyspnea index ( $\dot{V}E/MVV$ ) の平均は  $0.96 \pm 0.33$  であり、換気が限界に達していることが伺える。したがってCOPD患者においては、運動によってある一定の換気需要を超えると吸気機能は限界に達し、呼吸筋耐久力への依存が大きくなることが推察される。

今回の結果から、呼吸筋力の評価では、最大呼吸筋力のみでなく呼吸筋耐久力についても考慮していく必要性があると思われた。また、呼吸筋トレーニングとともにFFMを増加させるような栄養面への配慮も必要である。

呼吸筋トレーニングはCOPD患者の運動時の呼吸困難を軽減させることにより、患者のADLを改善させる可能性を有する。従来、呼吸筋トレーニングでは吸気筋トレーニングが多く実施されている。その理由として、呼吸は呼吸筋の弾性収縮力によって起こり、安静呼吸においては呼吸筋の積極的な関与は少ないことから、呼吸筋力強化は呼吸困難の軽減につながらないとされていた。本研究において、運動耐容能は、吸気筋耐久力よりむしろ呼気筋耐久力と相関が強いことが認められたことから、運動耐容能を向上させるには、呼吸筋トレーニングを積極的に取り入れていくことの必要性が示唆された。

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金(12672277)によるものである。

## 文 献

- 1) 中田紘一郎, 谷本晋一: 慢性閉塞性肺疾患患者の呼吸筋, 呼吸, 6: 1236-1240, 1987.
- 2) 西村義博, 前田均, 田中勝治, 橋本彰則, 橋本由香子, 横山光宏, 福崎恒: 加齢の呼吸筋力に及ぼす影響 最大口腔内圧を用いた検討, 日胸疾会誌, 29: 795-801, 1991.
- 3) 秋吉史博, 高橋仁美, 菅原慶勇, 佐竹将宏, 塩谷隆信: 呼吸筋強化が呼吸筋力に及ぼす影響, 理学療法学, 8: 47-51, 2001.
- 4) 中田紘一郎, 坪井永保, 成井浩司: COPDにおける理学療法, 呼吸, 16: 502-516, 1997.
- 5) 宮川哲夫: 慢性閉塞性肺疾患の呼吸筋トレーニング, 理学療法, 5: 195-203, 1988.
- 6) 菊地喜博: 呼吸筋力の指標, 呼吸, 3: 1282-1288, 1984.
- 7) 宮川哲夫, 溝呂木忠, 市川秀行, 小野晋: 呼吸筋力の評価 - 特に横隔膜筋力について -, 理学療法, 5: 148-156, 1988.
- 8) 鈴木俊介: 呼吸筋疲労の臨床診断, 呼吸と循環, 41: 747-752, 1993.
- 9) 金野公郎: 呼吸筋, 呼吸, 3: 1222-1232, 1984.
- 10) 安部幹雄, 細川芳文, 堀江孝至: 慢性肺気腫患者と高齢者の吸気閾値負荷装置による呼吸筋耐久力の評価, 日本胸部疾患学会誌, 35: 1338-1345, 1997.
- 11) 河辺千鶴子, 勝野久美子, 力富直人: 栄養指導 (ナー

スだからできる呼吸リハビリテーション: 患者の息切れとADLを改善する), 看護技術, 48: 49-51, 2002.

- 12) 竹中英昭, 米田尚弘, 吉川雅則, 夫彰啓, 小林厚, 生野雅史, 塚口雅彦, 岡本行功, 山本智生, 成田巨啓: BIA (Bioelectrical impedance analysis) を用いた肺気腫患者の栄養評価, 日本呼吸器学会誌, 36: 653-657, 1998.
- 13) 鈴木俊介: 吸気筋疲労と呼吸筋疲労, 呼吸16: 412-417, 1997.
- 14) Gosselink Rik, Troosters Thierry, Decramer Marc: Peripheral muscle weakness contributes to exercise limitation in COPD. Am J Respir Crit Care Med 153: 976-980, 1996.

## Correlation between respiratory muscle strength, respiratory function and exercise endurance in patients with chronic pulmonary emphysema

Yasuyo SENJU<sup>1</sup>, Takayuki OHIKE<sup>1</sup>, Kensuke KURITA<sup>1</sup>, Kumiko KATSUNO<sup>1</sup>  
Naoto RIKITOMI<sup>1</sup>, Hideko URATA<sup>2</sup>, Takayoshi TASHIRO<sup>2</sup>, Hideaki SENJU<sup>3</sup>

- 1 Nagasaki Pulmonary Rehabilitation Clinic
- 2 Department of Nursing, Nagasaki University School of Health Sciences
- 3 Department of Physical Therapy, Nagasaki University School of Health Sciences

**Abstract** Relation of respiratory muscle strength to respiratory function and exercise endurance in 24 patients with chronic pulmonary emphysema were examined. The integral expiratory pressure (PE<sub>integ</sub>) and inspiratory pressure (PI<sub>integ</sub>) was significantly correlated with the forced expiratory volume in 1 second (FEV<sub>1.0</sub>) (coefficient of correlation 0.54, 0.61), FEV<sub>1.0%</sub> (0.42, 0.63), %FEV<sub>1.0</sub> (0.51, 0.63) the maximum voluntary volume (0.53, 0.58) and 6 minutes walking distance (6 MD). PE<sub>integ</sub> was correlated with the peak oxygen uptake (0.63). However the maximum expiratory pressure and maximum inspiratory pressure did not demonstrate any relation to pulmonary function test and exercise endurance.

Integral pressure of respiratory muscle strength can be an indicator of severity of pulmonary function and exercise endurance of COPD patients. Training of both expiratory and inspiratory respiratory muscle could improve activity of daily living by decreasing dyspnea on exercise in these patients.

Bull. Nagasaki Univ. Sch. Health Sci. 15(1): 9-14, 2002