〈原 著〉

慢性閉塞性肺疾患 (COPD) 患者における呼吸リハビリ
テーションの肺機能及び運動耐容能への影響

須藤 英一¹⁾ 大賀栄次郎¹⁾ 松瀬 健¹⁾ 寺本 信嗣¹⁾
 長瀬 隆英¹⁾ 片山 弘文²⁾ 滝沢 始²⁾ 田中 正則³⁾
 菊地 延子³⁾ 加倉井周一³⁾ 福地義之助⁴⁾ 大内 尉義¹⁾

〈要 約〉 慢性閉塞性肺疾患 (chronic obstructive pulmonary disease : COPD) 症例13例 (平均年齢 70.3 ± 2.7 歳)を対象に呼吸法訓練に吸気筋訓練を取り入れた呼吸リハビリテーションを施行し、その効果を検討した。呼吸法訓練は全身リラクゼーション、腹式呼吸、口すぼめ呼吸を最初は1回/週から個々の達成度に合わせて6週、12週まで指導した。吸気筋訓練は吸気筋訓練器 (Threshold[®])を用い、抵抗圧レベルを口腔内最大吸気圧 (P_Imax) の15%に設定し、15分間、2回/日施行した。13例を呼吸法訓練と吸気筋訓練を同時に施行した (A) 群と呼吸法訓練のみの (B) 群とに分け、12週後に効果を検討した。A 群では機能的残気量 (FRC) が 4.3 ± 0.4 (L) から 3.9 ± 0.4 (L) に ($p < 0.01$)、最大呼気流速 ($\dot{V}_p$) が 4.6 ± 0.8 (L/sec) から 5.1 ± 0.7 (L/sec) に ($p < 0.05$)、P_Imax が 51.5 ± 5.4 (cm H₂O) から 80.0 ± 7.0 (cm H₂O) に ($p < 0.02$) それぞれ改善していたが、B 群では変化を認めなかった。10分間歩行距離では A 群で変化を認めなかったが、B 群では有意に改善がみられた。老年者の COPD 症例においても呼吸法訓練に吸気筋訓練を加えた呼吸リハビリテーションにより、肺機能や吸気筋力が改善することが示されたが、運動耐容能には影響を与えないものと考えられた。

Key words : 慢性閉塞性肺疾患 (chronic obstructive pulmonary disease : COPD)、呼吸リハビリテーション、吸気筋訓練、呼吸法訓練、口腔内最大吸気圧 (P_Imax)、口腔内最大呼気圧 (P_Emax)、10分間歩行距離

(日老医誌 1997 ; 34 : 929—934)

緒 言

慢性閉塞性肺疾患 (chronic obstructive pulmonary disease : 以下 COPD) の病態や予後の改善が、呼吸法・呼吸筋訓練によって達成されるか否かはこれまで種々の報告がされている^{1)~9)}が一定の見解がない。呼吸筋も他の骨格筋と同様に訓練によって機能が改善されるものとされているが、COPD 症例の吸気筋訓練が運動耐容能に及ぼす影響に関しては報告が異なる。今回我々は COPD 症例13例 (平均年齢 70.3 ± 2.7 歳)を対

象に、老年者の COPD 症例に定量的な吸気負荷と従来よりの呼吸法の教育を組み合わせた呼吸リハビリテーション (以下呼吸リハビリ) により、肺機能や運動能力にどのような効果を認めるかを検討した。

対 象

以下の条件を満たす COPD 患者を対象とした。(1) 持続する息切れを主訴とし、喘息発作の既往がなく、(2) 画像診断上 COPD に合致する所見 (胸部 X 線上肺過膨脹所見、胸部 CT にて low attenuation area の存在) があり、(3) 呼吸機能検査上 FEV_{1.0}% (1秒率) < 55%、%DLco (拡散能力) < 50 (%)、RV (残気量)/TLC (総肺気量) × 100% (残気率) > 40%を満たし、状態の安定している症例13例 (平均年齢 70.3 ± 2.7 歳)を対象とした。この13例で呼吸法訓練と吸気筋訓練を同時に施行した (A) 群、呼吸法訓練のみの (B) 群に分類した (表1)。呼吸困難度は全例 Hugh-Jones

1) E. Sudo, E. Ohga, T. Matsuse, S. Teramoto, T.

Nagase, Y. Ouchi : 東京大学医学部老年病学

2) H. Katayama, H. Takizawa : 同 検査部

3) M. Tanaka, N. Kikuchi, S. Kakurai : 同 リハビリテーション部

4) Y. Fukuchi : 順天堂大学呼吸器内科

受付日 : 1997. 2. 25, 採用日 : 1997. 8. 28

分類でⅢ度であった。またリハビリテーション期間中は全例、治療は不変とし禁煙とした。(A)群、(B)群の間で明らかな治療内容(気管支拡張剤、テオフィリン、去痰剤など)の相違は認めなかった。

方 法

吸気筋訓練は吸気筋訓練器(Threshold[®], Healthscan Products Inc., Cedar Grove, NJ, USA)を用い、抵抗圧レベルを個々の症例の口腔内最大吸気圧(PImax)の15%に設定し、1回15分間、2回/日施行した。呼吸法訓練は従来より施行されている全身のリラクセーション、腹式呼吸、口すばめ呼吸を習得させた。リハビリ期間は1回/週、約1時間を12週間実施し、訓練開始前、開始6週後、12週後に評価した。評価項目は呼吸機能(スパイロメトリー、肺気量分画、フロー・ボリューム曲線、拡散能力)、PImax、口腔内最大呼気圧(PEmax)、10分間歩行距離である。VC(肺活量)、FEV_{1.0}(一秒量)の測定はCHESTAC-55V(チェストエム・アイK.K.)を用い、FRC(機能的残気量)はHeガス希釈法(閉鎖回路法)で測定した。PImax、PEmaxの測定はBlackとHyattの方法¹⁰⁾に拠り測定し、PImaxはFRCレベルから、PEmaxはTLC(総肺気量)レベルからそれぞれ測定した。10分間歩行距離測定はDekhuijzenら¹¹⁾の方法に従った。統計処理は群間比較はANOVAにより、リハビリ前後の比較はpaired-t検定で行った。

結 果

呼吸リハビリテーション前のA、B2群間に年齢、身長、体重、呼吸機能に有意な差を認めなかった(表

1)。

呼吸機能検査は、呼吸リハビリ後で、A群においてFRCが4.3±0.4(L)から3.9±0.4(L)に(p<0.01)、最大呼気流速($\dot{V}_p$)が4.6±0.8(L)から5.1±0.7(L)に(p<0.05)、PImaxが51.5±5.4(cm H₂O)から80.0±7.0(cm H₂O)に(p<0.02)それぞれ改善していた(表2)。呼吸筋訓練を含んでいないB群ではこれらの変化を認めなかった。図1はリハビリ前からのPImaxの変化を、変化率で表したものであり、6週後より有意に増加していた。PEmaxはA群で前81.1±4.9(cm H₂O)から12週の後100.1±9.0(cm H₂O)までの増加を認めたが、有意差はなかった(図2)。

10分間歩行距離測定ではA群で変化を認めなかったが、B群では前630±67(m)から後707±62(m)と有意に改善がみられた(図3)。

FRCがA群でリハビリ後低下していたが、その改善はどの因子による影響を受けているかを検討するために Δ FRCと Δ ERV(予備呼気量)、 Δ FRCと Δ RV

表1 対象症例

	Group A (n=7)	Group B (n=6)
Age (year)	72.6±4.0	67.6±3.5
Height (cm)	162±2.5	160.7±2.4
Body weight (kg)	59.0±3.5	54.9±2.9
VC (L)	2.91±0.4	2.59±0.23
FEV _{1.0} (L)	1.04±0.13	1.03±0.14
FEV _{1.0} /FVC (%)	43.2±4.4	43.5±4.1
$\dot{V}_p$ (L/sec)	4.55±0.78	3.35±0.24
FRC (L)	4.25±0.42	3.58±0.48
RV (L)	3.27±0.28	2.86±0.45

Mean±SEM

表2 呼吸リハビリテーション前後の呼吸機能検査結果の比較

Values	Group (A)		Group (B)	
	Baseline	At 12 weeks	Baseline	At 12 weeks
VC, L	2.9±0.4	3.1±0.3	2.6±0.2	2.7±0.3
%VC	89.2±10.4	94.8±8.4	83.0±4.0	87.8±7.4
FEV _{1.0}	1.04±0.13	1.05±0.13	1.03±0.14	1.03±0.15
FEV _{1.0} %	43.2±4.4	44.2±4.2	43.5±4.1	42.4±5.2
$\dot{V}_p$, L/sec	4.6±0.8	5.1±0.7†	3.4±0.2	3.8±0.6
FRC, L	4.3±0.4	3.9±0.4§	3.6±0.5	3.7±0.5

値はmean±SEM。Group(A)は呼吸法訓練に吸気筋訓練を加えた群、Group(B)は呼吸法訓練群。VC=vital capacity; FEV_{1.0}=forced expiratory volume in one second; $\dot{V}_p$ =maximal peak flow; FRC=functional residual capacity。

†: p<0.05 in comparison with baseline value。

§: p<0.01 in comparison with baseline value。

図1 呼吸リハビリテーションによる PImax の変化率の推移を示す。値は mean±SEM。Group (A) は呼吸法訓練に吸気筋訓練を加えた群、Group (B) は呼吸法訓練群。PImax= maximal inspiratory pressure. *: $p < 0.05$ compared to baseline. †: $p < 0.02$ compared to baseline.

図2 呼吸リハビリテーションによる PEmax の変化率の推移を示す。結果は mean±SEM。Group (A) は呼吸法訓練に吸気筋訓練を加えた群、Group (B) は呼吸法訓練群。訓練前後で2群とも有意差を認めなかった。PEmax= maximal expiratory pressure. N.S.=no significance.

(残気量) のそれぞれの相関関係を検討したところ、 Δ FRC は Δ RV と有意な相関関係が得られた (図4)。

考 察

Leith と Bradley が健康人を対象に吸気筋訓練の有用性を報告をして以来¹⁾、COPD 症例を対象に吸気筋訓練が試みられてきている。しかしその評価法、訓練法、訓練期間が一定せず、効果も報告者により異なっ

図3 呼吸リハビリテーションによる10分間歩行距離の変化率の推移を示す。A 群では前後で差を認めなかったが、B 群では有意差を認めた。*: $p < 0.05$ compared to baseline. †: $p < 0.05$ compared to baseline.

図4 Δ FRC (functional residual capacity) と Δ RV (residual volume) の相関関係を示す。 Δ FRC = (post-training FRC) - (pre-training FRC); Δ RV = (post-training RV) - (pre-training RV).

ていた。過換気呼吸により吸気筋訓練を施行した報告²⁾では、運動耐容能が増加したものの呼吸筋力には影響がみられなかった。COPD に対し初めて人工的な器具を用いた報告³⁾ではエルゴメーターにより運動耐容能の増加を確認しているが、PImax は測定していない。double-blind 法で吸気筋訓練の効果を検討した報告⁴⁾では、PImax と呼吸筋の耐容能の指標である SIP (sustainable inspiratory pressure) はともに有意に増加していた。吸気圧を視覚的にフィードバックできる器具で訓練をした報告⁵⁾では PImax と呼吸困難感の改善がみられた。訓練期間も報告により4週⁴⁾、8週³⁾⁵⁾⁶⁾と差を認めていた。

しかし安静時の呼吸機能の変化は通常みられていない。今回の呼吸機能の検討の結果、FRC が呼吸法訓練に吸気筋訓練を加えた群では訓練後低下していた。FRC は最大の吸気筋である横隔膜の仕事量に影響を与えており、COPD の換気効率、呼吸困難感を左右するものである。その改善はどの因子による影響を受けているかを検討したところ Δ FRC は Δ ERV (予備呼気量) よりも Δ RV (残気量) の方に相関関係が得られた (図 4)。つまり FRC の改善は FRV より RV の改善に依っていると考えられた。このことは FRC の改善には呼吸筋力の増加よりも気道閉塞の改善が影響を及ぼしている可能性を示している。COPD における RV の増大は、肺弾性収縮力の減少により気道閉塞が高肺気量で生じ、CV (closing volume) が増大することが大きな要因である。呼吸訓練の結果、低肺気量位での気道閉塞が改善し、CV が減少した可能性がある。今回 CV を測定していないので、末梢気道の内腔狭窄やコンプライアンスの低下の改善の確認は今後の検討項目の一つといえよう。しかし低肺気量位での末梢気道病変の指標となるフロー・ボリューム曲線上の $\dot{V}_{50}/\dot{V}_{25}$ はリハビリ前後で変化を認めなかった。一方 V_p が有意に増加したという結果は、気道閉塞の改善と呼吸筋力の増強がともに関与している可能性を示唆している。

Larson らは吸気圧負荷の設定を最大吸気圧の30%の方が効果があるとしている⁹⁾が、今回の対象例が COPD である上に高齢者であることを考慮し、抵抗圧レベルを個々の症例の口腔内最大吸気圧 (PImax) の15%に設定した。PImax は吸気筋訓練を混じえた A 群で増加していたが、その増加は呼吸筋力自体の増強によるものなのか、リハビリによる最大の吸気筋である横隔膜の形状の変化によるものなのかを検討するため、 Δ PImax と Δ FRC の相関をみたが有意な関係は得られなかった。つまり呼吸筋力自体の増強と考えられる。

10分間歩行距離測定は10分間にできるだけ速く歩いた距離で運動能力を評価する方法である。主に運動耐容能の評価指標として用いられている¹¹⁾。しかし、その値は呼吸機能以外に循環系の影響やまた心理的影響を受けることが知られている。今回の検討では呼吸法に吸気筋訓練を加えた A 群には訓練前後で変化を認めなかった。この事は Larson らの PImax の15%の負荷の吸気筋の訓練では歩行距離の改善が認められず30%の負荷で、改善がみられた報告⁶⁾に矛盾しない結果で

あった。また、B 群において10分間歩行距離に改善を認めた点に関しては、A 群の平均年齢が B 群より高齢の傾向があったこと、また歩行距離測定法が心理的要因に左右され易い¹²⁾¹³⁾こと、肺循環系の要因が影響した可能性が推測される。

吸気筋訓練器の種類、期間、呼吸方法を変えて詳細に検討した報告⁷⁾では、運動耐容能より呼吸筋力増強の有用性を強調しているが、10分間歩行距離測定が運動耐容能の評価指標としてどの程度信頼性があるかも含め、今後の検討を要するものと思われた。

我々の以前の報告¹⁴⁾では12週の訓練中止にて、6週間後、 $\dot{V}_p$ 、呼吸筋力は低下し、FRC が増大する傾向をみた。また、未発表のデータであるが36週間以上の呼吸筋訓練を含めた長期間の呼吸リハビリテーションを受けた5症例においては、12週後より効果が認められたが、12週以後は頭打ちとなり呼吸機能のさらなる改善効果はなく、維持効果のみを認めた。

今回の結果により、老年者の COPD 症例においても、呼吸法訓練に定量的吸気負荷を加えた呼吸リハビリにより6週間後から肺機能や呼吸筋力が改善することが示された。そしてその効果の維持には、中断することなく12週以上継続する必要があるものと考えられた。今回の症例では運動能力の改善には直ちに反映されなかったが、吸気筋訓練のみならず、上肢・下肢のトレーニング、トレッドミル、ウォーキングを取り入れた報告⁹⁾や吸気負荷を6カ月行った報告⁹⁾もある。今後、訓練の持続期間、方法、精神心理学的サポートなどのケアも含めて、医師のみならず理学療法士などのスタッフや家族の協力も要する集学的医療のさらなる検討が必要であると考えられた。

文 献

- 1) Leith DE, Bradley M: Ventilatory muscle strenth and endurance training. J Appl Physiol 1976; 41: 508—516.
- 2) Belman MJ, Mittman C: Ventilatory muscle training improves exercise capctity in chronic obstructive pulmonary disease patients. Am Rev Respir Dis 1980; 121: 273—280.
- 3) Sonne LJ, Davis JA: Increased exercise performance in patients with severe COPD following inspiratory resistive training. Chest 1982; 81: 436—439.
- 4) Chen HI, Dukes R, Martin BJ: Inspiratory

- muscle training in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 1985 ; 131 : 251—255.
- 5) Harver A, Mahler DA, Daubenspeck JA : Targeted inspiratory muscle training improves respiratory muscle function and reduces dyspnea in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Ann Intern Med* 1989 ; 111 : 117—124.
- 6) Lason JL, Kim MJ, Sharp JT, Larson DA : Inspiratory muscle training with a pressure threshold breathing device in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 1988 ; 138 : 689—696.
- 7) Belman MJ, Bothick WC, Nathan SD, Chon KH : Ventilatory load characteristics during ventilatory muscle training. *Am J Respir Crit Care Med* 1994 ; 149 : 925—929.
- 8) Goldstein RS, Gort EH, Stubbing D, Avendano MA, Guyatt GH : Randomised controlled trial of respiratory rehabilitation. *Lancet* 1994 ; 344 : 1394—1397.
- 9) Weiner P, Azgad Y, Ganam R : Inspiratory muscle training combine with general exercise reconditioning in patients with COPD. *Chest* 1992 ; 102 : 1351—1356.
- 10) Black LF, Hyatt RE : Maximal respiratory pressures : normal values and relationship to age and sex. *Am Rev Respir Dis* 1969 ; 99 : 696—702.
- 11) Dekhuijzen PNR, Kaptein AA, Dekker FW, Wagenaar JPM, Janssen PJ : Twelve-minute walking test in a group of Dutch patients with chronic obstructive pulmonary disease : Relationship with functional capacity. *Eur J Respir Dis* 1986 ; 69(Suppl 146) : 259—264.
- 12) Morgan AD, Peck DF, Buchanan DR, McHardy CJR : Psychological factors contributing to disproportionate disability in chronic bronchitis. *J Psychosom Res* 1983 ; 27 : 259—263.
- 13) 大津 格, 井上雅樹, 萩谷 政明, 富岡真一郎, 青木弘道, 角昌 晃ほか : 肺気腫症例の呼吸リハビリテーションにおける心理的变化の検討. *日胸疾会誌* 1996 ; 34 : 1337—1341.
- 14) 須藤英一, 四元秀毅, 大久保昭行, 福地義之助, 大賀栄次郎, 松瀬 健ほか : COPD における吸気筋・呼吸法訓練の肺機能及び呼吸困難への影響とその持続に関する検討. 厚生省特定疾患呼吸不全調査研究班, 平成 6 度研究報告書, 1995, p133—137.

Abstract

The Effects of Pulmonary Rehabilitation Combined with Inspiratory Muscle Training on Pulmonary Function and Inspiratory Muscle Strength in Elderly Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease

Eiichi Sudo¹⁾, Eijiro Ohga¹⁾, Takeshi Matsuse¹⁾, Shinji Teramoto¹⁾,
Takahide Nagase¹⁾, Hirohumi Katayama²⁾, Hajime Takizawa²⁾,
Masanori Tanaka²⁾, Nobuko Kikuchi²⁾, Shuuichi Kakurai³⁾,
Yoshinosuku Fukuchi⁴⁾ and Yasuyoshi Ouchi¹⁾

It has been suggested that pulmonary rehabilitation combined with inspiratory muscle training (IMT) might improve pulmonary function and respiratory muscle strength in elderly patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD). To test this hypothesis, inspiratory muscle strength (P_Imax), expiratory muscle strength (P_Emax) and resting pulmonary function were measured in 13 elderly patients with COPD (aged 70.3 ± 2.7 years). Inspiratory muscle training (IMT) was performed for 15 min twice a day, using a pressure threshold device, for a total of 12 weeks. The inspiratory threshold was set at 15% of maximal inspiratory pressure (P_Imax) for each individual. Pulmonary rehabilitation was performed for 12-h sessions over

a 12-week period. Patients with COPD were assigned randomly to two groups: pulmonary rehabilitation combined with IMT (group A) (n=7), and conventional pulmonary rehabilitation only (group B) (n=6). Functional residual capacity (FRC) decreased significantly from 4.3 ± 0.4 L at baseline to 3.9 ± 0.4 L after rehabilitation ($p < 0.01$), $\dot{V}_p$ significantly increased from 4.6 ± 0.8 L/sec at baseline to 5.1 ± 0.7 L/sec after rehabilitation ($p < 0.05$) and the P_Imax increased significantly from 51.5 ± 5.4 cmH₂O at baseline to 80.9 ± 7.0 cmH₂O after rehabilitation ($p < 0.02$) in group A. However, these variables did not change in group B. There was no improvement in the 10-minutes walking distance of group A, but there was a significant increase in that of group B. It can be concluded that pulmonary rehabilitation combined with IMT improves pulmonary function and inspiratory muscle strength in elderly patients with COPD.

Key words: *Chronic obstructive pulmonary disease, Pulmonary rehabilitation, Inspiratory muscle training (IMT), Maximal inspiratory pressure (P_Imax), Maximal expiratory pressure (P_Emax), 10-minute walking distance*

(Jpn J Geriatr 1997; 34: 929–934.)

¹⁾ Department of Geriatrics, Faculty of Medicine, University of Tokyo

²⁾ Department of Laboratory Medicine, Faculty of Medicine, University of Tokyo

³⁾ Division of Rehabilitation Service, Faculty of Medicine, University of Tokyo

⁴⁾ Department of Respiratory Medicine, Juntendo University, Tokyo, Japan