

原 著

慢性肺気腫の lung volume reduction surgery 後における 運動耐容能改善のメカニズム

松沢 幸範 久保 恵嗣 藤本 圭作 江田清一郎
花岡 正幸 山崎 善隆 小林 俊夫 関口 守衛
矢満田 健* 羽生田正行*

要旨：慢性肺気腫に対する lung volume reduction surgery (LVRS) の運動耐容能に及ぼす短期的効果とそのメカニズムを検討する目的で、胸骨正中切開法による LVRS を受けた 7 例を対象に、手術前と術後 3~5 カ月に 6 分間歩行試験を行い、肺機能検査の改善度との関連性を検討した。LVRS により、7 例中 6 例で歩行距離の増加を認め、平均で 299 ± 42 (SE) から 359 ± 45 m へと 20% 増加した。歩行時の酸素飽和度低下や脈拍数増加は増強したが、呼吸困難感は低下傾向を示した。歩行距離の改善度は、1 秒量、機能的残気量、最大換気量などの閉塞性換気障害の改善度と有意な正相関を認めたが、肺ガス交換指標(CO 肺拡散能、動脈血酸素分圧)の改善度との間に相関を認めなかった。以上の結果は、LVRS による肺や胸郭のメカニクスの改善が換気制限を軽減させ、運動耐容能の改善をもたらすとする仮説を支持する結果と考えられた。

キーワード：慢性肺気腫，肺気量減量術，運動耐容能，6 分間歩行試験，肺機能検査

Chronic pulmonary emphysema, Lung volume reduction surgery, Exercise tolerance, 6-minute walk test, Pulmonary function test

緒 言

近年、重症の慢性肺気腫に対して、その呼吸困難を改善させ、患者の Quality of life (QOL) を向上させる治療として、肺気量減量術 (lung volume reduction surgery; LVRS) の有効性が報告されている^{1)~8)}。この手術法には、胸腔鏡下に CO₂ レーザ¹⁾ないしステープラー^{2)~4)}を用いて肺を部分切除する方法や、開胸下において肺を部分切除する方法^{5)~8)}などがあり、いずれも術後において労作時息切れ、肺機能検査値、運動耐容能、客観的な QOL 指数などの改善が認められている。その基本的理論は、最も高度に伸展拡張した患部を切除することにより、肺気量を減少し肺弾性収縮力を回復させ、胸壁や横隔膜の換気力学的効率を改善させることにあるとされている⁹⁾。しかし、労作時息切れや運動能の改善には、肺ガス交換や心機能改善に伴う酸素運搬の改善の可能性なども想定され、メカニズムについては不明な点も多い⁹⁾¹⁰⁾。さらに、手術方法の選択¹¹⁾、手術の安全性、適応基準、長期予後⁶⁾など検討すべき点も多い。

今回我々は、Cooper らの方法⁵⁾に準じ、胸骨正中切開

法による LVRS を施行された慢性肺気腫患者を対象として、手術前と手術後 3~5 カ月に一般肺機能検査と 6 分間歩行試験を行い、肺気腫の運動耐容能に及ぼす LVRS の短期効果ならびにそのメカニズムについて検討し、若干の知見を得たので文献的考察を加えて報告する。

方 法

1. 対象

1995 年 3 月から 1996 年 7 月の間に当院第二外科にて Cooper らの方法⁵⁾に準じ、胸骨正中切開法による LVRS を受けた男性慢性肺気腫患者 7 例 (56~75 歳、平均 65 歳) を対象とした。肺気腫の診断は症状、臨床所見、肺機能検査、胸部 CT 検査により行った。全例、胸部 CT にて高度の肺気腫病変を認めたが、今回の対象例には巨大プラのみの症例は含まれていない。全例に入院時に LVRS の内容、期待される効果、危険性ならびに手術前後に行う諸検査の内容、目的、危険性などについて説明し、記述式のインフォームド・コンセントを得た。

LVRS の適応基準は、Cooper らの基準⁵⁾に準じ、1. 75 歳以下、2. 禁煙して 6 カ月以上、3. 適切な内科的治療によっても、固定化した強い呼吸閉塞によって著明な日常生活制限がある、4. 呼吸リハビリが可能、5. 胸部 CT 検査や肺換気血流シンチで著明な気腫病変と標的區域

〒390 0802 長野県松本市旭 3 1 1

信州大学医学部第 1 内科

* 信州大学医学部第 2 外科

(受付日平成 9 年 6 月 2 日)

Table 1 Physiological profile of 7 patients who underwent bilateral lung volume reduction

Patient number	Age (yr)	Sex	BMI (Kg/m ²)	VC (%pred)	FEV ₁ (L)	FEV ₁ % (%)	MVV (%pred)	RV/TLC (%)	DLco (%pred)	PaO ₂ (Torr)	PaCO ₂ (Torr)
1	62	M	19.9	70.3	0.54	23.1	15.7	71.2	21.6	68.6	45.5
2	68	M	23.9	62.6	0.52	42.1	29.7	70.2	42.5	55.8	51.8
3	64	M	21.5	94.8	0.94	32.2	32.1	59.7	42.4	69.7	34.6
4	75	M	21.0	103.0	0.97	34.5	51.4	55.6	62.5	55.5	45.0
5	65	M	20.4	63.6	0.59	34.3	27.7	72.7	57.1	58.6	50.8
6	66	M	15.7	61.8	0.40	27.9	21.0	72.6	42.9	63.1	38.3
7	56	M	18.0	73.8	0.52	24.2	22.3	66.4	36.1	73.7	43.9

(target area) を認める, 6. 正常の心機能, 7. 動脈血炭酸ガス分圧 (PaCO₂) 55 Torr 以下, 8. 安静時平均肺動脈圧 (Ppa) 35 Torr 以下, 9. その他手術に影響を及ぼす重大な合併症がない, とした.

Table 1 に対象例の術前の検査所見を示した. 全例において強い閉塞性換気障害, 残気率高値, 拡散能低下, 低酸素血症を認めた. Fletcher-Hugh-Jones 分類で全例3度以上の呼吸困難度を呈し, 7例中6例で術前すでに在宅酸素療法が導入されていた.

術前4~6週間と術後に, 呼吸リハビリテーション(腹式呼吸訓練, 呼吸筋ストレッチ, 筋力トレーニング, 歩行訓練などを含む)が施行されたが, 手術直前と術後3~5カ月の安定した状態において以下に述べる検査を行った.

2. 手術手技

手術はCooperらの胸骨正中切開法に準じて行われた^{5,6)}. 術前の胸部CT所見と換気血流シンチグラムから, あらかじめ予想しておいた“target area”を中心に, 視診にて最も拡張し破壊された気腫部位を確認した後, ステープラーを用いて切除した. この際, 術後の空気漏れを最小限にするため, ウシの心外膜を用いて補強した. 切除部位は7例中6例で両側上肺(症例3のみ両側下肺)であった. 切除量は全体の約20~30%とした.

3. 肺機能検査

Benedict-Roth型スパイロメーター(Godalt Expirograph; Godalt社)を用い, 肺活量(VC), 1秒量(FEV₁), 1秒率(FEV₁%), 最大換気量(MVV)を測定した. 機能的残気量(FRC)は, 体ブレチスモグラフ(Model 1085/D Med-Graphics社)によって測定し, 総肺気量(TLC), 残気量(RV), 残気率(RV/TLC)を算出した. 一酸化炭素肺拡散能(DLco)は1回呼吸法によって求め, 肺胞換気量(V_A)で除した指標DLco/V_Aも算出した. 動脈血ガス分析は自動分析器(ABL 510; Radiometer社)を用いて行い, 動脈血酸素分圧(PaO₂)と動脈血炭酸ガス分圧(PaCO₂)を求めた.

4. 6分間歩行試験

肺機能検査終了後30分の休憩をとった後, McGavin

ら¹²⁾の12分間歩行試験の変法である6分間歩行試験¹³⁾によって運動耐容能を評価した. すなわち病院の廊下をできるだけ速く歩いてもらい, 6分間の歩行距離(6MD)を測定した. 歩行中は医師が付き添って患者を励まし, 最大限の努力をしてもらったが, その際疲労や呼吸困難のためペースダウンや中断をしても構わないとした. 今回の対象患者においては, すでに本研究以前に歩行試験の経験が2回以上あり, しかも直前の呼吸リハビリテーションでも歩行訓練が行われており, 歩行試験に十分習熟しているものと考えられたため, 手術前後の歩行試験は各1回のみとした. 本歩行試験の再現性についてはすでに本誌に報告済みであり, 良好な成績が得られている¹⁴⁾.

測定は, 二重盲検法¹⁵⁾により①圧縮空気と②酸素吸入の2条件下で行い, 圧縮空気下の結果を評価に用いた¹⁶⁾. 各測定の間には30分の休憩をとり, それぞれランダムオーダーとした. 吸入量はいずれも2L/分とし, 鼻カヌーにて歩行開始10分前より開始し, 歩行終了5分後まで継続した. 歩行中にパルスオキシメーター(PULSOX-5, MINOLTA社)により酸素飽和度(SpO₂)と脈拍数を連続モニターし, さらに30秒毎にボルグスケール(BS)による呼吸困難度の測定を行った. 検査には2名の医師が付き添い, 1名はボンベとパルスオキシメーターの管理を, もう1名は最大限の努力をするように患者を励ますとともに, 歩行距離と呼吸困難度の測定を行った. 測定値のばらつきを防ぐため, すべての歩行試験は同じ医師により行われた.

5. 漸増運動負荷試験

歩行試験の結果をより詳細に検討する目的で, 歩行試験終了後1カ月以内に自転車エルゴメーター(Model-300 ST; Lode社)による漸増負荷試験を行った. 空気呼吸下において, 0 watt から1分毎に10 watt ずつ負荷を漸増する方法で症状限界点まで運動負荷を行い, 最大酸素摂取量($\dot{V}O_2 \max$), 最大分時換気量($\dot{V}_E \max$)を呼吸代謝測定装置(Model 2900; Sensor Medics社)にて求めた.

5. 統計学的解析

Table 2 Results of lung function studies in 7 patients before and 3-to-5 months after LVRS

	Preoperative	Postoperative
VC (L)	2.51 ± 0.20	2.61 ± 0.18
FEV ₁ (L)	0.64 ± 0.08	1.02 ± 0.14*
FRC (L)	6.77 ± 0.36	5.08 ± 0.46**
RV (L)	5.62 ± 0.31	4.01 ± 0.43**
RV/TLC (%)	66.9 ± 2.56	59.6 ± 2.94*
MVV (%pred)	28.6 ± 4.36	42.7 ± 5.19**
DLco (%pred)	43.6 ± 5.08	43.0 ± 6.12
DLco/V _A	1.52 ± 0.19	1.87 ± 0.24
PaO ₂ (Torr)	63.6 ± 2.74	63.7 ± 2.80
PaCO ₂ (Torr)	44.3 ± 2.34	43.5 ± 2.09

Values are means ± SE. *: p < 0.05, **: p < 0.01 from preoperative value

測定値はすべて平均 ± SE で表示した。手術前後の比較には Student's paired t-test ないし Wilcoxon signed ranks test を、また、指標間の相関関係の検討には一次回帰分析を用いた。いずれも p < 0.05 を有意差ありとした。

成績

術後7日以上にわたり縫合部からの空気漏れの遷延した例が2例あった(症例5, 6)。症例5では術前の Ppa が 35 Torr と高値を示し、術直後に一過性に 65 Torr まで上昇し、肺水腫を併発した。約2週間で改善したものの、空気漏れは約2カ月持続した。

症例6では著明な空気漏れのため、1回目の手術直後に再手術を必要とした。しかし、いずれの例においても術後3カ月以降においては安定した状態となった。Fletcher-Hugh-Jones 分類では、症例5(4度 5度と悪化)をのぞき6例で改善を示し、平均で術前 4.29 ± 0.29 から術後 3.00 ± 0.38 へと有意に低下した(p < 0.05)。

1. 肺機能検査

Table 2 に LVRS 前後における主な肺機能検査の変動

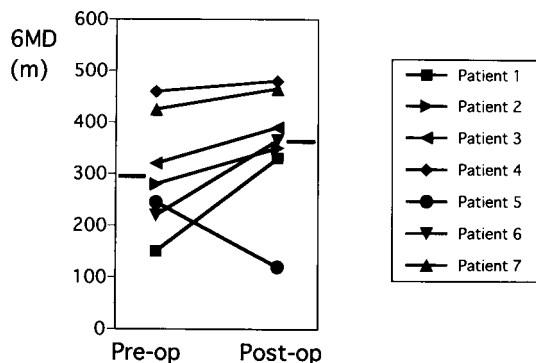


Fig. 1 Results of 6 minute walk tests in each of 7 patients breathing compressed air before (pre-op) and 3-to-5 months after (post-op) lung volume reduction surgery. The two horizontal bars represent the mean value at each time. 6 MD; distance walked in 6 minutes.

を示した。FRC, RV, RV/TLC は全例で減少し、その変化率はそれぞれ 25% (p < 0.01), 29% (p < 0.01), 11% (p < 0.05) であった。FEV₁ は平均で 0.64 L から 1.02 L へと 59% の増加を示し、以上の結果は肺気量減少手術の効果と考えられた。FEV₁ の改善に伴い、MVV も有意に増加した (p < 0.01)。

一方、肺ガス交換の指標については、DLco/V_A で 7 例中 5 例、PaO₂ で 4 例に改善をみたが、いずれも統計学的には LVRS 前後で有意な変動は認めなかった。

2. 6 分間歩行試験

Table 3 に LVRS 前後における運動負荷試験の検査結果を、Fig. 1 に個人別の歩行距離の結果を示した。圧縮空気下において、症例5を除く6例で術後に歩行距離の増加を認めた。症例5では術後肺水腫の合併などの後に回復したものの安静時 PaO₂ の悪化 (58.6 → 48.5 Torr) を呈し、歩行距離も術前に比し低下した (Fig. 1)。以上の結果、全体として圧縮空気下で 6 MD は 299 m から 359

Table 3 Results of exercise tests before and after lung volume reduction surgery

	Preoperative	Postoperative	P value
6-min walk test (compressed air)			
Distance (m)	299 ± 42	359 ± 45	0.16
Lowest SpO ₂ (%)	78.0 ± 2.4	74.6 ± 1.9	0.21
Pulse Rate max (beats/min)	122 ± 5.5	130 ± 5.1	< 0.05
Borg scale max	18.3 ± 0.9	17.0 ± 0.9	0.27
Bicycle ergometer (room air)			
Work Load (w)	80.6 ± 13.0	120 ± 26.0	0.07
\dot{V}_E max (L/min)	22.5 ± 2.5	28.1 ± 3.4	< 0.05
\dot{V}_{O_2} max (ml/min)	417 ± 59	521 ± 80	< 0.05

Values are means ± SEM. *: p < 0.05 from preoperative value

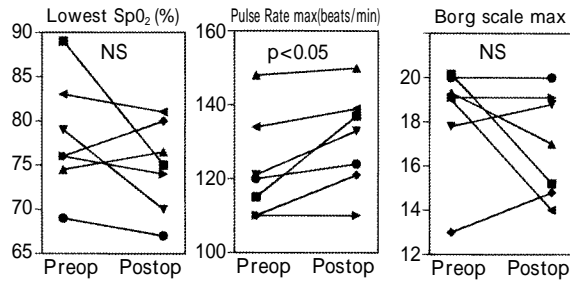


Fig. 2 Changes in lowest SpO₂, maximal pulse rate, and Borg scale maximum during 6 minute walk test in each of 7 patients breathing compressed air before (preop) and 3-to-5 months after (postop) lung volume reduction surgery.

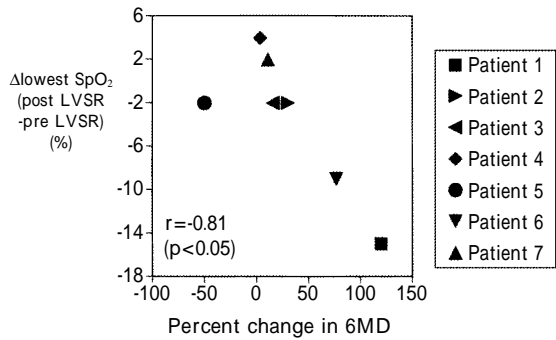


Fig. 3 Relationship between the change in desaturation (Δ lowest SpO₂) and the percent change in the distance walked in 6 minutes (6 MD) before and after lung volume reduction surgery.

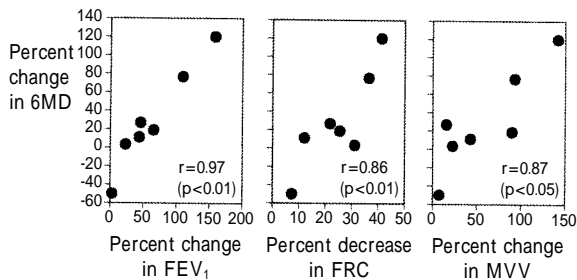


Fig. 4 Relationships between the percent change in the distance walked in 6 minutes (6 MD) and the percent change in forced expiratory volume in one second (FEV₁), functional residual capacity (FRC), and maximal voluntary ventilation (MVV) before and after lung volume reduction surgery.

mへと20%増加したが、統計学的な有意差は認められなかった (Table 3)。

Fig. 2に歩行試験時(圧縮空気下)の諸指標の術前後における変動を個別に示した。全体として最大脈拍数は有意に増加し、歩行距離の増加に伴う変化と思われた。

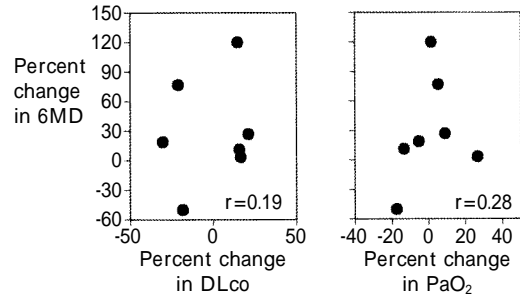


Fig. 5 Relationships between the percent change in the distance walked in 6 minutes (6 MD) and the percent change in diffusing capacity for carbon monoxide (DLco) and PaO₂ before and after lung volume reduction surgery.

一方、呼吸困難度はかえって低下傾向を示した。また、歩行時の酸素飽和度低下が術後に悪化する例があり、有意ではないが全体としてSpO₂の最低値(Lowest SpO₂)が78.0%から74.6%へと低下した (Table 3)。

Fig. 3は、LVRS前後における歩行距離の増加度とLowest SpO₂の変化度の関係を見た図であるが、両者の間に有意な逆相関を認めた。すなわち、LVRSによって歩行距離が伸びた人ほど酸素飽和度の低下がかえって強くなったことを示す結果と思われた。

つぎに、LVRSによる運動耐容能の改善度と肺機能の改善度との関係を見ると Fig. 4に示すように、歩行距離改善度と1秒量、機能的残気量、最大換気量の改善度との間に有意な正相関を認めたが、Fig. 5に示すように、DLcoやPaO₂などのガス交換指標の改善度とは有意な関係は認めなかった。

3. 自転車エルゴメーターと6分間歩行試験との関係

歩行試験と同様に、自転車エルゴメーター漸増負荷試験においても、症例5を除く6例でWork loadと $\dot{V}O_2$ maxが増加した (Table 3)。圧縮空気下(n=7)における $\dot{V}O_2$ maxと6MDの間には、術前で $r = 0.63$ 、術後で $r = 0.60$ と例数が少ないため有意ではないが比較的良好な相関が認められた。さらに、LVRS後の $\dot{V}O_2$ max増加度(%change in $\dot{V}O_2$ max)と6MD増加度(%change in 6 MD)の間には $r = 0.93$ と有意な正相関があり、以上から、本対象例においては歩行試験の結果が運動耐容能をよく反映していると考えられた。また、%change in $\dot{V}O_2$ maxと運動時最大換気量の増加度(%change in \dot{V}_E max)の間には $r = 0.61$ と有意ではないが比較的良好な相関を認め、術後の運動耐容能の改善における最大換気量増大の関与が示唆された。

考 察

今回、7例と症例数が少ないにも関わらず、他の多く

の報告と同様に肺機能と運動耐容能に及ぼす LVRS の短期的効果が認められた。しかし、今回の結果で最も特徴的で重要と思われる点は、①LVRS を受けた 7 例中 6 例で 6 分間歩行距離 (6 MD) の増加を認めたが、改善の程度が良好な例ほど逆に歩行中の SpO₂ の低下が加えて増強したこと、②6 MD の改善の程度は、LVRS による 1 秒量、残気量、最大換気量の改善度と相関し、DLco や PaO₂ などの肺ガス交換指標の改善度とは相関しなかったことである。

巨大プラを除く高度の慢性肺気腫に対する LVRS は、1957 年に Brantigan¹⁷⁾らが初めて提唱した方法である。彼らの方法は側開胸で片側のみ手術であったが、手術死が約 20% と高く、客観的評価も不十分で以後あまり行われなかった。しかし、1991 年に Wakabayashi ら¹⁾が胸腔鏡下で CO₂ レーザーを用いる方法を考案したのに続き、1995 年に Cooper ら⁵⁾が Brantigan らの方法¹⁷⁾を改良し、胸骨正中切開で両側肺を切除する方法を考案し、いずれも呼吸困難感、肺活量、1 秒量、残気量、血液ガスなどの自覚所見の改善が得られることを報告し注目されるようになった。我々の LVRS は Cooper らの方法に準じたものであるが、肺機能の改善度を比較すると、1 秒量、残気量の改善率はそれぞれ Cooper ら⁵⁾の 51%、28% に対し 59%、29% であり、ほぼ同等の成績と思われた。一方、血液ガスで有意な改善が認められなかった理由としては、例数が少ないうえに明らかに悪化した 1 例を含んでいたことや、術前の安静時 PaO₂ が比較的保たれている症例が含まれていたことなどが考えられる。

運動耐容能としての 6 MD の改善度をみると、Cooper ら⁵⁾の 150 例の結果によれば、術後 6 カ月において全体で 17% 増加したとしている。彼らの歩行試験は、酸素吸入の有無や酸素量などの条件を一定にしているわけではないので一概には比較できないが、今回の我々の結果では、平均で圧縮空気下 20% (n=7)、酸素下 14% (n=6) の改善率であり、ほぼ同等の成績であった。一方、Borg Scale は有意ではないが低下の傾向を認め、以上より、全体として LVRS により運動耐容能は改善したといえる。

運動負荷法として、我々は 1996 年の American Thoracic Society の LVRS に対する公式見解¹⁰⁾でスクリーニング検査のひとつとして採用されている 6 分間歩行試験を用いた。これは McGavin ら¹²⁾の 12 分間歩行試験の変法である。彼らは 12 分間歩行距離が自転車エルゴメーターによる最大酸素摂取量と相関することを認め、その有用性を報告した。その後、Butland ら¹³⁾が 6 分間歩行距離が 12 分間歩行距離とよく相関することを報告し、検査時間を短縮でき、運動能力のより低下した患者にも

行えることから、6 分間歩行試験が広く行われるようになり、LVRS 前後の運動機能検査としても多くの施設で採用されている。一方、歩行試験は簡便な反面、再現性や学習効果の問題、生理学的機能のモニターが十分できないことなどの制限もある¹⁵⁾。しかし、今回の検討で 6 MD と $\dot{V}O_2$ max との間には比較的よい相関があり、さらに手術前後の 6 MD の変化率と $\dot{V}O_2$ max の変化率との間に高い正相関を認めたことから、運動耐容能の評価法として十分有用と考えられた。

LVRS による運動耐容能ないし運動時呼吸困難の改善のメカニズムはまだ十分解明されていないが、①肺・胸郭系のメカニクスに及ぼす効果、②肺ガス交換能に及ぼす効果、③肺循環系に及ぼす効果などについて考える必要がある⁹⁾。

このうち、現在最も重要と考えられている要因が肺メカニクスへの効果である。Gelb ら²⁾は、胸腔鏡下に stapling で LVRS を行った 12 例の静肺圧量曲線を検討し、曲線の右下方へのシフト、肺弾性収縮圧の上昇を認め、このことが努力呼出時の気道虚脱軽減をもたらし、1 秒量など閉塞性障害を改善させる原因と報告している。Sciurba ら⁴⁾も、片側ないし両側の LVRS を受けた 20 例の肺気腫患者の静肺圧量曲線の比較検討を行い、LVRS によって肺弾性収縮力が増加した 16 例では、増加しなかった 4 例に比べ 6 分間歩行距離も有意に増加したことを報告し、この弾性収縮力の増加とコンプライアンスの低下が残気量の低下や 1 秒量の改善をもたらし、運動耐容能を改善させたとしている。今回の我々の結果、すなわち 6 分間歩行距離の改善度が 1 秒量、残気量、最大換気量等の閉塞性換気障害の改善度に依存していたことはまさにこれらの説を支持する結果と思われる。

一方、O'Donnell ら⁷⁾は、片側性のプラ切除を受けた 8 例 (4 例は LVRS 併用) の運動能を検討し、術後において、同じ運動負荷レベルにおける Borg scale の低下、呼気終末肺気量の低下、呼吸数の減少、1 回換気量に対する換気力学的制限の軽減を認め、LVRS による労作時息切れの改善に、運動時の動的過膨張の減少と呼吸パターンの改善が関与することを報告している。また、Benditt ら⁸⁾は、8 例の胸骨正中切開法による LVRS を受けた肺気腫患者の自転車エルゴメーター負荷で評価した最大運動能力が術後において平均で 17 watt (49%) 増加し、1 回換気量の増加に依存した運動時最大換気量の増加 (6.5 L, 22%) を認め、さらに運動時における食道内圧と胃内圧の変動の検討から、術後の横隔膜運動の増加を推定している。肺気腫患者においては、正常人に比べ最大換気努力における横隔膜の関与が弱いことが最近の報告でも示されており¹⁶⁾、以上のことから、閉塞性換気障害と運動に伴う動的過膨張によって制限されていた

横隔膜機能が改善されることで、運動時の換気パターンの変化、運動時最大換気量の増加が起こり、運動耐容能や労作時息切れの改善につながったとしている。我々も dynamic MRI を使用した検討で、術後に横隔膜の動きが改善することを確認しており（藤本ら、未発表）、今回の検討でも、最大換気量の増加度と歩行距離の増加度が有意に相関していたことはこれらの報告を支持する結果と思われる。

つぎに、肺ガス交換の改善の関与については、安静時 PaO₂ の改善はいくつか報告されているもの^{6,7)}、O'Donnell ら⁷⁾の報告によれば、安静時 PaO₂ の改善は認められたが、運動時の SpO₂ 低下の程度は同じ運動量のレベルで比べても術後に改善しなかったという。今回の検討でも、6 MD の改善度と DLco や PaO₂ などの改善度と相関が認められず、肺ガス交換の改善が運動耐容能の改善に寄与する割合は低いように思われた。また、肺循環の関与についてはほとんど報告がなく不明といわざるを得ないが、我々のスワングアンツカテーテルを用いた検討では有意な関連性は認めていない（久保ら、未発表）。

今回の検討で、LVRS 後において歩行距離の増加した例ほど SpO₂ の低下がかえって増強した結果（Fig. 3）については、今までほとんど報告されておらず、また、慢性肺気腫患者の運動時呼吸困難の要因を考える上でも大変重要な結果と思われる。特に歩行距離（圧縮空気下）の著しく改善した症例 1（150 m → 330 m）と症例 6（215 m → 380 m）では、歩行時の SpO₂ の最低値（Lowest SpO₂）がそれぞれ 89% → 74%、79% → 70% と術後において著しく低下したにもかかわらず、息切れの指標である Borg scale max は症例 1 で 20 → 15 と軽減し、症例 6 では 18 → 19 とわずかな増加にとどまった。このことは、最大の運動制限因子である閉塞性換気障害が LVRS によって軽減したため、術後の歩行試験ではより長い距離を歩けるようになり、逆に肺ガス交換障害のためより強い SpO₂ 低下を来したと理解される。慢性肺気腫では、肺線維症や肺結核後遺症に比べ運動時の酸素飽和度低下が軽度でも強い息切れを呈することが以前より指摘されており、慢性肺気腫患者の運動時呼吸困難が、運動時の低酸素血症よりはむしろ閉塞性換気障害や動的過膨張に伴う換気制限に起因することが多いことを示唆する重要な結果と考える。

以上、LVRS による運動耐容能の改善には、肺ガス交換能の改善よりはむしろ閉塞性換気障害の改善が主として関与する可能性を示唆する結果を報告した。この結果は、LVRS による肺や胸郭のメカニクスの改善が肺機能、呼吸パターン、横隔膜機能などを回復させ、運動耐容能を向上させるとする他の報告^{4,7,8)}とよく一致していた。

しかし、同時にいくつかの問題点も指摘できる。まず、

著明に改善した例がある一方で、肺高血圧が適応基準ぎりぎりだった症例 5 では、術直後に肺水腫を合併し血液ガスや運動耐容能の悪化を認めたように、LVRS の効果にかなりのばらつきがあったことである。より厳密な手術適応の再検討をするとともに、LVRS の最大効果すなわち、有効な“肺気量減少”を正確に予測することのできる術前検査の開発研究も今後に残された重要な課題である。さらに、LVRS の最大の目的が患者の“QOL”を改善することであることからすると、その長期的効果についても今後の検討を要する。Cooper ら⁶⁾の 3 年間の経過観察では LVRS の効果は十分維持されていたという。しかし、最大効果は術後 6 カ月がピークとの報告³⁾もあり、今後も注意深い経過観察が必要と考えられる。

文 献

- 1) Wakabayashi A, Brenner A, Kayaleh R, et al: Thoracoscopic carbon dioxide laser treatment of bullous emphysema. *Lancet* 1991; 337: 881-883.
- 2) Gelb AF, Zamel N, McKenna RJ, et al: Mechanism of short-term improvement in lung function after emphysema resection. *Am J Respir Crit Care Med* 1996; 154: 945-951.
- 3) Gelb AF, Brenner M, McKenna RJ, et al: Lung function 12 months following emphysema resection. *Chest* 1996; 110: 1407-1415.
- 4) Scieurba FC, Rogers RM, Keenan RJ, et al: Improvement in pulmonary function and elastic recoil after lung-reduction surgery for diffuse emphysema. *N Engl J Med* 1996; 334: 1095-1099.
- 5) Cooper JD, Trulock EP, Triantafyllou AN, et al: Bilateral pneumectomy (volume reduction) for chronic pulmonary disease. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1995; 109: 106-119.
- 6) Cooper JD, Patterson GA, Trulock EP, et al: Results of 150 consecutive bilateral lung volume reduction procedures in patients with severe emphysema. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1996; 112: 1319-1330.
- 7) O'Donnell DE, Webb KA, Bertley JC, et al: Mechanisms of relief of exertional breathlessness following unilateral bullectomy and lung volume reduction surgery in emphysema. *Chest* 1996; 110: 18-27.
- 8) Benditt JO, Wood DE, McCool FD, et al: Changes in breathing and ventilatory muscle recruitment patterns induced by lung volume reduction surgery. *Am J Respir Crit Care Med* 1997; 155: 279-284.
- 9) Brenner M, Yusef R, McKenna R, et al: Lung volume reduction surgery for emphysema. *Chest* 1996; 110: 205-218.
- 10) American Thoracic Society: Lung volume reduc-

- tion surgery. *Am J Respir Crit Care Med* 1996; 154: 1151-1152.
- 11) Kotloff RM, Tino G, Bavaria JE, et al: Bilateral lung volume reduction surgery for advanced emphysema; a comparison of median sternotomy and thoracoscopic approaches. *Chest* 1996; 110: 1399-1406.
- 12) McGavin CR, Gupta SP, McHardy GJR: Twelve-minute walking test for assessing disability in chronic bronchitis. *Br Med J* 1976; 1: 822-823.
- 13) Butland RJA, Pang J, Gross ER, et al: Two-, six- and 12-minute walking tests in respiratory disease. *Br Med J* 1982; 284: 1607-1609.
- 14) 高橋宏子, 藤本圭作, 吉川佐和子, 他: 肺気腫患者における10分間歩行距離と安静時肺機能および運動負荷時肺循環反応との関係. *日胸疾会誌* 1996; 34: 671-677.
- 15) 伊志嶺篤, 斉藤拓志, 西村正治, 他: 動脈血酸素分圧60 Torr以上の慢性閉塞性肺疾患患者における運動時酸素吸入の効果. *日胸疾会誌* 1995; 33: 510-519.
- 16) 松沢幸範, 小林俊夫, 江田清一郎, 他: 慢性肺気腫の労作時息切れに及ぼす酸素吸入の急性効果(二重盲検法による検討). 厚生省特定疾患呼吸不全調査研究班, 平成7年度研究報告書, 88-90, 1996.
- 17) Brantigan O, Mueller E: Surgical treatment of pulmonary emphysema. *Am Surg* 1957; 23: 789-804.
- 18) Polkey MI, Kyroussis D, Hamnegard CH, et al: Diaphragm performance during maximal voluntary ventilation in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 1997; 155: 642-648.

Abstract

Mechanism of Short-term Improvement in Exercise Tolerance After Lung Volume Reduction Surgery for Severe Emphysema

Yukinori Matsuzawa, Keishi Kubo, Keisaku Fujimoto, Seiichiro Eda, Masayuki Hanaoka, Yoshitaka Yamazaki, Toshio Kobayashi, Morie Sekiguchi, Takeshi Yamanda and Masayuki Haniuda

First Department of Internal Medicine, Second Department of Surgery, Shinshu University School of Medicine, 3-1-1 Asahi, Matsumoto, 390-0802 Japan

To investigate the mechanism of short-term improvement in exercise tolerance after lung volume reduction surgery (LVRS) for severe emphysema, we performed six-minute walk tests and pulmonary-function tests, and studied their correlation before and 3-to-5 months after LVRS in 7 patients with severe emphysema who underwent bilateral lung reduction via median sternotomy. Results of the tests showed a 59% increase in the 1-second forced expiratory volume (FEV₁), a 25% reduction in the functional residual capacity (FRC), a 49% increase in the maximum voluntary ventilation (MVV), and a 20% increase in the distance walked in 6 minutes (6 MD). The degree of improvement in 6 MD correlated significantly with the degree of improvement in FEV₁ ($r=0.97$, $p<0.01$), in FRC ($r=0.86$, $p<0.05$), and in MVV ($r=0.87$, $p<0.05$), and did not correlate with the degree of improvement in pulmonary gas exchange. These results support the hypothesis that an increase in lung elastic recoil after targeted emphysematous resection reduces airflow limitation, and thus leads to a short-term improvement in exercise tolerance after LVRS.