

原 著

## 腹腔鏡下上腹部手術時における 機能的残気量の推移

昭和大学医学部麻酔科学講座

東 里 美

要約：全身麻酔下では，術後に低酸素血症が発生するが，上腹部手術ではその低下は数日にわたって継続する．このガス交換障害の成因には機能的残気量（FRC）の減少が関与すると言われている．近年，患者への手術侵襲の軽減を目的に開腹手術よりも腹腔鏡下での手術が薦められている．しかし，腹腔鏡下に上腹部手術を行うと気腹操作により横隔膜が頭側に押し上げられ，FRCが減少することが危惧される．従って，腹腔鏡下上腹部手術時のFRCの推移を，20～55歳での成人群（11症例，39.8±9.0歳）と70歳以上の老人群（9症例，70.9±3.4歳）との2群で測定し，同手術時におけるFRCの推移を検討した．麻酔の導入と維持は完全静脈麻酔で行い，麻酔導入後に気管挿管し，GE Healthcare社製Engström Carestationを用いて人工呼吸を行った（換気モードは量規定換気，換気条件は，1回換気量8～10 mL/kg，換気回数10回/分，IE比1：2，PEEP 0 cmH<sub>2</sub>O，F<sub>I</sub>O<sub>2</sub> 0.5）．麻酔導入後で，循環動態が安定した後にFRCを測定し，さらに手術終了後に操作が何もない状況下で再度FRCを測定した．両群において挿管直後のFRCは2400 ml前後で近似していたが，いずれも抜管直前には減少し，挿管直後値に対して推計学的有意差を認めた（P<0.05）．この術中のFRCの減少率は，成人群では14.1±7.8%であるのに対し，老人群では23.6±9.7%で減少率には両群間に有意差が認められた（P<0.05）．全症例における術中のFRCの減少率と患者背景および術前呼吸機能検査値などとの検定では，FRCの減少率と年齢，手術時間，麻酔時間およびFEV<sub>10</sub>%との間には正の一次式が，一方残り4つのパラメータの間には負の一次式が得られた．しかし，推計学的有意差を認めたのは年齢だけ（P<0.05）であった．手術侵襲が少ないと言われている腹腔鏡下上腹部手術において，術後の酸素化に影響するFRCは有意に減少した．また，その程度は老人群の方が強かった．

キーワード：機能的残気量，N<sub>2</sub>洗い出し法，上腹部手術，術前肺機能検査

全身麻酔下では，術後に低酸素血症が発生するが，上腹部手術例ではその低下は数日にわたって継続する<sup>1)</sup>．このガス交換の障害に機能的残気量（FRC）の減少が関与すると言われている<sup>2)</sup>．近年，患者への手術侵襲の軽減を目的に開腹手術よりも腹腔鏡下での手術の施行が薦められている．しかし，腹腔鏡下に上腹部手術を行うと気腹操作により横隔膜が頭側に押し上げられ，FRCが減少することが危惧される．

従来，人工呼吸下にFRCを測定するには，特製のbody boxを作製するなど多大な労力を要していた<sup>3)</sup>．しかし最近従来から呼吸機能検査においてFRCの測定に用いられていた窒素洗い出し法を利用し，より簡便にFRCを測定する方法が開発された．

今回著者は，腹腔鏡下上腹部手術時のFRCの推移を，55歳以下の成人群と70歳以上の老人群との2群に分けて測定し，上記手術時におけるFRCの推移を検討したので報告する．

### 研究方法

#### 1. 対象および実施方法

本研究の概要は昭和大学医学部の倫理委員会の承認を得，実施に当たっては研究内容の詳細を患者に十分説明し，文書で承諾を得た症例を対象とした．昭和大学病院において2010年6月から2011年9月までの間に，ASAリスク分類がI～IIで，手術予定の数日前に総合呼吸機能自動解析システム（FUDAC-70<sup>®</sup>，フクダ電子，日本）によりスパイ

ロメトリーおよびフローボリューム曲線などを測定した20歳から70歳までの20症例を対象とした。なお、今回用いたFUDAC-70<sup>®</sup>では、純酸素の吸入による窒素洗い出し法によりFRCを測定した。対象は20歳から70歳までの20症例で、いずれも全身麻酔下に腹腔鏡下上腹部手術が行われたが、検討にあたっては20～55歳（成人群11症例）と70歳以上（老人群9症例）との2群に分けて比較検討した。

麻酔の導入と維持は完全静脈麻酔とし、導入にはプロポフォール1.5～2 mg/kg、レミフェンタニ0.1～0.3 μg/kg/min、ロクロニウム0.6～0.8 mg/kgを投与した。全症例において硬膜外麻酔は行わなかった。麻酔導入後に気管挿管し、GE Healthcare社製Engström Carestation（ドイツ）を用いて人工呼吸を開始した。換気モードは量規定換気（VCV）とし、換気条件は、1回換気量8～10 mL/kg、換気回数10回/分、IE比1：2とし、PEEPを付加せず酸素と人工空気との混合ガスを用い、F<sub>I</sub>O<sub>2</sub>を0.5に規定した。

麻酔導入後、循環動態が安定したのちに後述する窒素洗い出し法によりFRCを測定し、さらに手術終了後に操作が何も加わっていない状況下で同方法により再度FRCを測定した。

得られた測定値を2群で比較検討するとともに、術前呼吸機能検査で得られた各パラメータと術中FRCの変化との相関関係を検討した。統計学的処理については、群内および群間の検定にはpaired T-testを、相関関係には最小二乗法をそれぞれ用い、P<0.05をもって統計学的に有意差ありと判定した。

## 2. FRCの測定方法

窒素洗い出し法でFRCを測定する場合は、通常吸入気に純酸素を用い、その際に呼出される窒素の推移を解析してFRCを得ている<sup>4)</sup>。一方、今回用いた測定方法は人工呼吸中における測定用として開発されており、吸入酸素濃度を50%から60%に上昇させ、その際の窒素の呼出状況を解析することによりFRCを測定するものである。なお、今回の方法では、窒素洗い出し法でありながら、窒素濃度の測定は行っていない。終末呼気中の酸素と二酸化炭素の濃度を人工呼吸器内の電極により正確に測定し、両者の合計から窒素濃度を算出した<sup>5)</sup>。従っ

表1 患者背景

	成人群	老人群
症例数	11	9
年齢(歳)	39.8 ± 9.0	70.9 ± 3.4
性別(M:F)	5:6	6:3
身長(cm)	163.3 ± 8.9	155.8 ± 6.2*
体重(kg)	62.7 ± 13.4	64.1 ± 9.8
手術時間(min)	97.7 ± 40	161.6 ± 54*
麻酔時間(min)	125.4 ± 40	200.6 ± 51*

(平均値 ± 標準偏差) \*P<0.05

て、この方法では窒素メーターは不要で、より簡便に窒素濃度を正確に知ることができる。なお、FRCの算出には以下の数式を用いた<sup>6,7)</sup>。

$$F_{I}N_{2} = 1 - F_{I}O_{2}$$

$$F_{ET}N_{2} = 1 - F_{ET}CO_{2} - F_{ET}O_{2}$$

$$V_{ATE} = \frac{V_{T}CO_{2}}{F_{ET}CO_{2}} \quad V_{T}CO_{2}: \text{tidal excretion of } CO_{2}$$

$$V_{ATI} = V_{ATE} + \left( \frac{V_{T}CO_{2}}{RQ} - V_{T}CO_{2} \right)$$

RQ: respiratory quotient defined

$$FRC = \frac{\Sigma(V_{ATE} \times F_{ET}N_{2} - V_{ATI} \times F_{ET}N_{2low})}{F_{ETinit}N_{2} - F_{ETlatest}N_{2}}$$

## 結 果

### 1. 患者背景

患者背景（表1）において、男女差および体重には両群間に差はなかったものの、身長には統計学的有意差が認められた（P<0.05）。また、手術時間と麻酔時間の両者は老人群の方が有意に長かった（P<0.05）。

### 2. 術前呼吸機能検査

術前呼吸機能検査（表2）では、肺活量（VC）は成人群に比して老人群では有意に少なかった（P<0.05）。一方、%肺活量（%VC）は成人群の方が多少多かったが両群間に有意差はなかった。1秒量（FEV<sub>10</sub>）も成人群の方が老人群より有意に多かった（P<0.05）が、1秒率（FEV<sub>10</sub>%）には両群間に有意な差はなかった。FRCも成人群の方が多かったが、老人群との間に有意差は認められなかった。また、フローボリューム曲線の $\dot{V}_{25}$ と $\dot{V}_{25}/Ht$ の両

表 2 術前呼吸機能検査

	成人群	老人群	P
VC(ml)	3678 ± 1094	2736 ± 771	< 0.05*
%VC(%)	108.5 ± 21.1	98.8 ± 19.3	0.30
FEV1.0(ml)	2888 ± 829	2017 ± 572	< 0.05*
FEV1.0%(%)	80.0 ± 6.6	75.6 ± 5.1	0.10
FRC(ml)	3227 ± 913	2762 ± 607	0.19
$\dot{V}25$ (L)	1.10 ± 0.53	0.48 ± 0.24	< 0.05*
$\dot{V}25/Ht$ (L · sec · cm)	0.64 ± 0.33	0.31 ± 0.15	< 0.05*

(平均値 ± 標準偏差) \*P &lt; 0.05

VC: 肺活量, %VC: %肺活量, FEV1.0: 1秒量, FEV1.0%: 1秒率

FRC: 機能的残気量,  $\dot{V}25$ : 25%肺活量流量,  $\dot{V}25/Ht$ : 25%肺活量流量/身長

表 3 FRC の推移 FRC(ml)

	挿管直後	抜管直前	減少率(%)
成人群	2354 ± 803 <sup>a*</sup>	2031 ± 761	14.1 ± 7.8
老人群	2428 ± 806 <sup>a*</sup>	1869 ± 683	23.6 ± 9.7 <sup>b*</sup>

(FRC ml, 平均値 ± 標準偏差) (a 群内比較, b 群間比較 \*P &lt; 0.05)

表 4 術前呼吸機能検査値と術中 FRC 減少率

x	a	b	R <sup>2</sup>	P
年齢	0.21	6.419	0.1688	< 0.05*
手術時間	0.06	11.02	0.1036	0.17
麻酔時間	0.07	6.483	0.1891	0.06
FEV1.0	-0.01	31.45	0.1983	0.06
FEV1.0%	0.33	7.359	0.0424	0.39
$\dot{V}25$	-0.004	21.78	0.0508	0.34
$\dot{V}25/Ht$	-5.22	20.8	0.0264	0.49
FRC	-0.004	31.26	0.1228	0.13

 $y = ax + b$  (y: FRC, x: 各パラメータ) vs 減少率 \*P < 0.05

者は老人群の方が成人群よりも有意に小さかった (P < 0.05).

### 3. 術前 FRC と術中 FRC

成人群では FRC は術前には 3227 ± 913 ml であったが、挿管直後には 2353 ± 803 ml へと有意に減少した (P < 0.05)。一方、老人群では FRC は術前の 2762 ± 607 ml から挿管直後には 2427 ± 806 ml へ減少はしたものの、有意差は認められなかった。

### 4. FRC の術中推移 (表 3)

両群において挿管直後の FRC は 2400 ml 前後で近似していたが、いずれも抜管直前には減少し、挿管直後値に対して推計学的有意差を認めた (P <

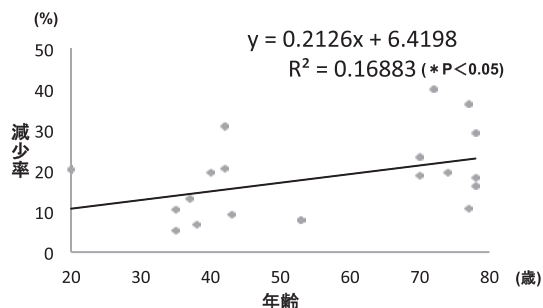


図 1 FRC 減少率と年齢の関係

0.05)。この術中における FRC の減少率は、成人群では 14.1 ± 7.8% であるのに対し、老人群では 23.6 ± 9.7% と、減少率には差があり、両群間に有意差が認められた (P < 0.05)。

### 5. FRC の減少率と術前呼吸機能との相関性

全症例における術中の FRC の減少率と患者背景および術前呼吸機能検査値などの検定 (表 4) では、FRC の減少率と年齢、手術時間、麻酔時間および FEV<sub>1.0</sub>% との間には正の一次式が、一方残り 4 つのパラメータの間には負の一次式が得られた。しかし、FRC の推移と 8 パラメータとの解析において、推計学的有意差を認めたのは年齢だけ (P < 0.05) であった (図 1)。

## 考 察

全身麻酔後には低酸素血症が発症し、特に上腹部手術ではその程度は強く、その期間は数日にもわたると報告されている<sup>1)</sup>。この術後低酸素血症には、FRCの減少、換気血流不均等性の拡大、シャント率の増加など多様な機序が関与するという<sup>8)</sup>。特に、開腹術ではFRCは術前値の50%へと大きく減少し、その回復には1～2週間を要すると報告<sup>9)</sup>されて以来、全身麻酔下におけるFRCの推移が注目されるようになった。

この全身麻酔下に発生するFRCの減少に関してHedenstiernaら<sup>10)</sup>がCTを用いてその詳細を報告している。彼らの検討によると、全身麻酔の導入時に行われる純酸素の吸入もFRC減少の一因で、比較的短時間で無気肺が発生するという。また、この現象は下側肺に顕著に生じる事も明示されている<sup>10)</sup>。一方、仰臥位では横隔膜が頭側へ変位することがCT上で明示されているが、この横隔膜の移動も全身麻酔下のFRC減少に寄与すると考えられる。

このように全身麻酔下のFRCの減少は術後の経過にまで影響を及ぼす重要な問題であり、その詳細を検討すべきであるが、FRCの変化を術中に直接測定するのは容易でなく、この点についての報告は少なかった。すなわち、自発呼吸とは異なり人工呼吸下では各換気毎のガス濃度と換気量を正確に測定することが困難なため、再現性の高い結果を得にくい<sup>11)</sup>。従って、著者は術中のFRC減少率が高く、術後の低酸素血症の期間が長い上腹部手術前後におけるFRCの推移を検討した。また、今回は手術侵襲が比較的少ないとされる腹腔鏡下での手術症例を対象とした。

しかし、人工呼吸中のFRCの測定方法についてはいくつかの試みがあり<sup>12-17)</sup>、純酸素吸入時の窒素排出状況を特殊なプログラムにより解析する窒素洗い出し法<sup>11,12)</sup>、既知の濃度のヘリウムを吸入させて、ヘリウムの希釈により測定する法<sup>12-16)</sup>などがある。最近では、アルゴンやフッ化硫黄ガスなどを用いた洗い出し法も導入されている<sup>17,18)</sup>が、設備が複雑であり、臨床応用は難しい。

一方、通常の呼吸機能検査では、他の方法に比して簡便であるためか窒素洗い出し法が流用されている。今回用いた方法は、基本的には窒素洗い出し法

であるが、窒素濃度は測定していない。近年のテクノロジーの進歩により、二酸化炭素と酸素の測定精度が著しく向上したため、窒素を直接測定することなく、終末呼気中の両ガス濃度の合計から窒素濃度を算出することができるためである<sup>5-7)</sup>。

今回の結果では、挿管直後に測定したFRC値は両群において2400 ml前後と近似していたが、抜管直前にはいずれも有意に減少した。また、この減少率は、老人群では23.6%であったのに対し、成人群では14.1%に留まり、FRCの減少率には両群間に有意差が認められた。この現象には、加齢による肺の構造上の変化が寄与していると考えられる。比較的太い小気管支の直径は年齢と無関係にほぼ一定であるが、膜性細気管支レベルになると、その直径は30～40歳をピークに以後徐々に減少する<sup>19)</sup>という。また、サーファクタント産生の変化と相まって、肺実質におけるコラーゲンおよびエラスチンの再構築後に起こる弾性収縮力が加齢に伴って減少するため、肺コンプライアンスが増大する。この肺内弾性成分の欠落は末梢気道において呼気相早期に発生する虚脱を促進する<sup>20)</sup>。これら気道および肺に生じた加齢の変化により、老人群では術中におけるFRCの減少率が大きくなったと推察される。

今回の結果では、術中におけるFRCの減少率は老人群の方が大きかったが、手術施行前に測定した値と挿管直後値との推移を両群で比較すると、成人群では $3227 \pm 913$  mlから $2354 \pm 803$  mlへと27%も減少したのに対し、老人群では $2762 \pm 607$  mlから $2428 \pm 806$  mlと成人群の半分以下の変化で12%しか減少しておらず、両者におけるFRCの推移は術中とは逆で成人群の方が大きかった。この結果については以下のように考察している。術前検査におけるFRCの測定では、術中と同様に窒素洗い出し法を用いているが、吸入気は純酸素であり、術中の測定時とは吸入酸素濃度が異なる。その上、術前の測定は坐位で行ったのに対し、術中は仰臥位であり、体位も異なる。

Dugganら<sup>21)</sup>の報告では、立位から仰臥位に体位を変更するだけでFRCは0.5～1.0 L減り、全身麻酔を行うとさらに0.5～0.7 Lも減少するという。以上のように、測定法と体位の両方が異なるため術前と挿管直後のFRC値を単純に比較することは問題である。術前患者を対象に、体位による肺気量分



画の推移を検討した安本らの報告<sup>22)</sup>では、坐位から仰臥位にするだけでFRCは有意に減少するが、その程度は年代が若いほど大きいという。今回の検討では成人群の平均年齢は39.8歳で、老人群では70.9歳であったため、安本らの検討における40歳代と70歳代の推移と著者の結果とを比較した。安本らの検討では40歳代の減少率は約30%であるのに対し、70歳代では20%強に留まっており、FRCの減少率は年齢が若い群の方が大きく、今回の結果と類似していた。

筋弛緩状態においては、仰臥位では腹腔臓器は頭側と側方の両方向に広がると推察されるが、老人では筋組織の密度が疎になり腹筋の筋力が低下するため、腹腔内臓器は側方に移動しやすく、その結果頭側への移動が軽減される。一方、成人では腹部周囲の筋肉が強く臓器の側方への移動が抑えられ、内部臓器により横隔膜が頭側に圧排される比率が高くなるためより多くFRCが減少すると考えられる。

近年、手術侵襲の軽減を目的に開腹手術よりも腹腔鏡下での手術が薦められている。しかし、FRCについて考察すると、腹腔鏡下に上腹部手術を行う場合は、手術の施行を促進するために気腹が行われ、横隔膜が頭側に押し上げられ、より一層FRCが減少することが危惧される。事実、全身麻酔下に胸腔内や腹腔内の手術を行った後は、肺活量とFRCが著明に減少する<sup>23,24)</sup>。腹腔鏡下に胆のう摘出術が施行された10症例を対象に、著者と同じ測定機器によりFRCを測定した磨田ら<sup>25)</sup>は、麻酔導入後に2030 ± 500 mlであったFRCは気腹時には1560 ± 380 mlまで減少したと報告している。このように気腹によりFRCが減少することが明示されている。

今回の検討では推計学的な有意差は得られなかったものの、手術時間および麻酔時間とFRCの減少率との間に正の一次式を得た。すなわち、全身麻酔の施行時間が長いほどFRCは減少する傾向にあった。一方、今回の検討では術前呼吸機能検査値とFRC減少率との間にも有意な関係は得られず、術中のFRCの減少率に関与するのは年齢だけであった。

腹腔鏡下上腹部手術中のFRCの推移を検討したところ、同手術では手術侵襲は少ないと言われているが、術後の酸素化に影響するFRCは有意に減少

した。また、その程度は老人群の方が強かった。

本研究を行うにあたり、ご指導、ご教授をいただいた安本和正教授、およびご協力をいただいた教室員のご厚意に深謝いたします。

## 文 献

- 1) Hedenstierna G, Strandberg A, Brismar B, *et al*: Functional residual capacity, thoracoabdominal dimensions, and central blood volume during general anesthesia with muscle paralysis and mechanical ventilation. *Anesthesiology* **62** : 247-254, 1985.
- 2) Hewlett AM, Hulands GH, Nunn JF, *et al*: Functional residual capacity during anaesthesia III: artificial ventilation. *Br J Anaesth* **46** : 495-503, 1974.
- 3) 須賀龍治, 飯野潤子, 東条尚子, ほか: Body box による鼻および口呼吸時の肺気量分画の比較検討. *臨呼吸生理* **23** : 127-133, 1991.
- 4) Sivan Y, Deakers TW and Newth CJ: An automated bedside method for measuring functional residual capacity by N<sub>2</sub> washout in mechanically ventilated children. *Pediatr Res* **28** : 446-450, 1990.
- 5) 宮地哲也: 人工呼吸器 Engstroem Carestation のFRC測定評価. *人工呼吸* **27** : 122-123, 2010.
- 6) Choncholas G, Sondergaard S and Heinonen E: Validation and clinical application of a first order step response equation for nitrogen clearance during FRC measurement. *J Clin Monit Comput* **22** : 1-9, 2008.
- 7) Olegard C, Sondergaard S, Houltz E, *et al*: Estimation of functional residual capacity at the bedside using standard monitoring equipment: a modified nitrogen washout/washin technique a small change of the inspired oxygen fraction. *Anesth Analg* **101** : 206-212, 2005.
- 8) 佐藤二郎: 肺におけるガス交換障害. JSA リフレッシャーコース 2002/2004 (日本麻酔科学会教育委員会・安全委員会編), pp. 239-248, メディカルサイエンスインターナショナル, 東京, 2006.
- 9) Beecher HK: Effect of laparotomy on lung volume. Demonstration of a new type of pulmonary collapse. *J Clin Invest* **12** : 651-658, 1933.
- 10) Tokics L, Hedenstierna G, Strandberg A, *et al*: Lung collapse and gas exchange during general anesthesia effects of spontaneous breathing, muscle paralysis, and positive end-expiratory pressure. *Anesthesiology* **66** : 157-167, 1987.
- 11) 磨田 裕: Multiple・breath nitrogen washout による人工呼吸中のFRCの測定. *麻酔* **35** : 1674-

- 1679, 1986.
- 12) 阿久根透, 鎮西恒雄, 諏訪邦夫: 人工呼吸時の FRC 測定新法. *呼吸* 3: 965-967, 1984.
  - 13) 高橋光太郎, 天羽敬祐, 小原正一, ほか: 人工呼吸中の機能的残気量測定装置. *ICU と CCU* 6: 195-201, 1982.
  - 14) 斎藤芳儀, 山本剛康, 福田正人, ほか: PEEP 下の機能的残気量とその推測値. *臨麻* 11: 878-882, 1987.
  - 15) Suter P and Schlobohm RM: Determination of functional residual capacity during mechanical ventilation. *Anesthesiology* 41: 605-607, 1974.
  - 16) Heldt GP and Peters RM: A simplified method to determine functional residual capacity during mechanical ventilation. *Chest* 74: 492-496, 1978.
  - 17) 山村剛康, 岡村 篤, 福田正人, ほか: 6 ふっ化硫黄ガス洗い出し法による機能的残気量の測定. *麻酔* 41: 925-931, 1992.
  - 18) 藤野裕士, 西村信哉, 妙中信之, ほか: アルゴン洗い出し法による tracheal gas insufflation 中の FRC の測定. *J Anesth Suppl* 10: S210, 1996.
  - 19) 福田 健: 肺の加齢による変化. *Dokkyo J Med Sci* 35: 219-226, 2008.
  - 20) Sieber FE and Pauldine R: 高齢者麻酔. ミラー麻酔科学 (Miller RD 編), 原著 6 版, pp. 1889-1899, メディカルサイエンスインターナショナル, 東京, 2007.
  - 21) Duggan M and Kavanagh BP: Pulmonary atelectasis: a pathogenic perioperative entity. *Anesthesiology* 102: 838-854, 2005.
  - 22) 安本和正, 稲田 豊: 術前肺機能検査における体位別測定の有用性について. *麻酔* 36: 897-908, 1987.
  - 23) Craig DB: Postoperative recovery of pulmonary function. *Anesth Analg* 60: 46-52, 1981.
  - 24) Meyers JR, Lembeck L, O'Kane H, *et al*: Changes in functional residual capacity of the lung after operation. *Arch Surg* 110: 576-583, 1975.
  - 25) 磨田 裕, 岩下朝子, 宮地哲也, ほか: P1-31-03 腹腔鏡下胆嚢手術中の機能的残気量の変化. 日本麻酔科学会第 56 回学術集会, 2009.

CHANGES IN FUNCTIONAL RESIDUAL CAPACITY DURING  
LAPAROSCOPIC UPPER ABDOMINAL SURGERY

Satomi AZUMA

Department of Anesthesiology, Showa University School of Medicine

**Abstract** — Decreased functional residual capacity (FRC) reportedly plays a role in postoperative hypoxemia, a common problem following surgery under general anesthesia that can persist for several days after upper abdominal procedures. In recent years, laparoscopy has been preferentially performed over laparotomy in consideration of invasiveness, but laparoscopic upper abdominal surgery entails a risk of decreased FRC due to induced cranial displacement of the diaphragm. We report herein changes in FRC during laparoscopic upper abdominal surgery in adult and elderly patients. FRC was measured immediately post-intubation and pre-extubation in patients 20 ~ 55 years old (adult group; n = 11) and  $\geq 70$  years old (elderly group; n = 9) using the nitrogen washout method with an Engstrom Carestation (GE Healthcare). Both groups exhibited a significant decrease in FRC between immediately post-intubation (about 2400 ml) and immediately pre-extubation ( $p < 0.05$ ). A significant difference in the rate of intraoperative FRC decrease was also observed between adult and elderly groups ( $14.1 \pm 7.8\%$  vs.  $23.6 \pm 9.7\%$ ;  $p < 0.05$ ). Investigation of correlations between the rate of FRC decrease and patient characteristics and preoperative respiratory function test results revealed positive linear correlations between the rate of FRC decrease and age, operative time, anesthesia time and FEV<sub>1.0</sub>% and negative linear correlations with the remaining four parameters. However, a significant difference was only observed for age ( $p < 0.05$ ). The study revealed a significant decrease in FRC, during minimally invasive laparoscopic upper abdominal surgery. Furthermore, the rate of intraoperative decrease was greater in the elderly group.

**Key words:** functional residual capacity, nitrogen washout method, upper abdominal surgery, preoperative pulmonary functional test

[受付：2月10日，受理：2月16日，2012]