

博士論文

気管支動脈の術前 3 次元構築画像が胸腔鏡下食道切除術における  
気管支動脈の認識・温存に与える影響

東北大学大学院医学系研究科医科学専攻  
外科病態学講座先進外科学分野  
丸山 祥太

## 目次

第1章	要約	3
第2章	研究背景	6
第3章	研究目的	8
第4章	研究方法	9
	1. 研究対象	
	2. CT	
	i. MDCT プロトコール	
	ii. 3次元構築画像の作成	
	iii. 気管支動脈の分類	
	3. 手術	
	i. 手術手技	
	ii. 手術における気管支動脈の認識・温存	
	iii. 術後呼吸器関連合併症	
	4. 検討項目	
	5. 統計学的検討	
第5章	結果	15
	1. 患者背景	

2. 気管支動脈の認識・温存
3. 気管支動脈のタイプごとの認識・温存
4. 術前治療経験の有無での3次元構築画像の効果
5. 術後呼吸器関連合併症と気管支動脈の温存および他の危険因子との  
関連性

第6章 考察 18

1. 気管支動脈の3次元構築画像の手術における効果
2. 気管支動脈の分類
3. 気管支動脈の認識・温存の意義
4. 3次元構築画像の有用性
5. 根治的放射線療法と術前放射線療法の比較

第7章 本研究の限界 25

第8章 結論 26

第9章 文献 27

第10章 図表の説明 32

## I. 要約

**背景：**食道切除手術は手術操作が頸部、胸部、腹部にまたがる長時間の大手術であることや胸部の重要臓器に食道が隣接することなどから、合併症の発生割合が高い術式である。特に気管気管支の虚血は、呼吸器関連合併症を引き起こす原因といわれている。気管気管支は下甲状腺動脈及び気管支動脈から lateral longitudinal anastomosis を介して血液供給を受けており、手術においては気管支動脈の温存が合併症を防ぐうえで重要といえる。また、近年では手術術式として胸腔鏡下手術が普及してきている。この術式は手術死亡率や合併症率を減少させている点、低侵襲性である点で注目されているが、手術はモニター越しで行うため 3 次元的な臓器の解剖学的把握が困難である。気管支動脈はその起始部や走行に個人差が大きく、十分に把握できなければ偶発的損傷をきたす可能性がある。造影後 Multi-detector row CT (造影 MDCT) によるデータを用いた気管支動脈の 3 次元構築画像は術前シミュレーションを可能とし、手術操作支援として有用である。しかし、気管支動脈の認識・温存にどの程度有効であったかについての検討はなされていない。気管支動脈の 3 次元構築画像が臨床的にどの程度有用であったかを検討したのが本研究である。

**目的：**胸腔鏡下食道切除術患者において、気管支動脈の 3 次元構築画像が術中の気管支動脈の認識・温存率に与える影響について検討した。

**方法:** 2001年から2011年までに食道がんに対し胸腔鏡下食道切除術を施行した356名を対象とした。気管支動脈の3次元構築画像を作成した群、作成しなかった群での気管支動脈の認識率・温存率をレトロスペクティブに比較検討した。また食道癌手術術前での治療経験のある群、なし群における3次元構築画像の有用性について、気管支動脈の認識・温存率の検討を行った。加えて、合併症発生率と気管支動脈温存との関連についての比較検討も行った。統計学的検討は、Mann-WhitneyのU検定、Fisherの正確検定、ロジスティック回帰分析を用いて行い、 $P < 0.05$ を有意差ありとした。

**結果:** 3次元構築画像を作成していない群(A群)と比し、3次元構築画像を作成した群(B群)は、食道左側を走行する気管支動脈における認識率・温存率とも高かった(認識率:A群:55.2%;B群:75.0%,  $P < 0.001$ 、温存率:A群:84.9%;B群:97.4%,  $P < 0.001$ )。また、術前に食道癌治療の経験がある患者の場合、左側の気管支動脈の認識率(A+群:48.1%;B+群:78.1%,  $p = 0.001$ )、及び両側の気管支動脈の温存率の向上につながった(右側:A+群:48.0%;B+群:74.4%,  $p = 0.020$ , 左側:A+群:76.9%;B+群:98.0%,  $p = 0.009$ )。合併症と気管支動脈との関係では、気管支動脈は食道の左右両側とも確実に温存した場合のほうが、温存できていない場合と比べ、合併症の発生頻度が低かった( $p = 0.008$ )。

**結論:** 造影MDCTを用いて作成された気管支動脈の3次元構築画像は、胸腔鏡下

食道切除術の気管支動脈の認識及び温存に有用である。また気管支動脈の認識及び温存は、術後呼吸器関連合併症の減少に寄与する可能性が示唆された。気管支動脈の術前 3 次元構築画像は手術を安全に行う上で有用な手術支援手段である。

## II. 研究背景

食道切除手術は食道癌の根治的治療法の一つであるが、手術操作が頸部、胸部、腹部にまたがる長時間の大手術であることや胸部の重要臓器に食道が隣接することなどから、合併症の割合も高い。なかでも、気管および中樞側気管支の高度な虚血は重篤な呼吸器関連合併症を引き起こすといわれている<sup>(1,2)</sup>。気管気管支は、下甲状腺動脈及び気管支動脈から lateral longitudinal anastomosis を介して血液供給されているため、気管支動脈の損傷や切離は気管気管支の虚血の原因となる。気管気管支の虚血により、気管のびらんや潰瘍、粘液分泌の減少が生じ、それらが呼吸器関連合併症を引き起こすことになる。それゆえ、食道切除手術において気管支動脈を温存することは、呼吸器関連合併症を防ぐために重要なことと考えられている<sup>(3)</sup>。

近年では、手術術式として従来の開胸手術に加え、胸腔鏡下手術が普及してきている。胸腔鏡下手術は、手術死亡率や合併症率を減少させること、また小さな創で手術を行うことが可能となる低侵襲性が注目されている<sup>(4-8)</sup>。一方で、モニター越しの手術視野は、微視的で神経や血管等の詳細な観察が可能な反面、縦隔内臓器の関係を 3 次元で捉えることが難しい。気管支動脈は通常、第 4・5 胸椎のレベルで右第 4 肋間動脈から分岐し、奇静脈弓のすぐ左側を尾腹側へ走行し右肺門へ至るもの、大動脈弓内側、左肺門レベルまでの下行大動脈腹側

から食道左側を走行するものが一般的であるが、気管支動脈の起始、そして縦隔内の走行位置は個人差が多い<sup>(9)</sup>。そのため、術前にある程度血管走行を想定できなければ、術中偶発的に損傷をきたしてしまう可能性がある。

術前診断および術前ナビゲーションとして、造影剤を用いた Multi-detector row CT (MDCT) による 3 次元ナビゲーション (3D navigation) がある。造影 MDCT は食道癌術前診断に有用であり、食道癌の部位・腫瘍径などの情報に加え、気管支動脈や食道動脈などの血管走行、リンパ節転移などの情報が得られ、Workstation を用いて 3 次元構築画像 (3D 構築画像) を作成することができる。術者は作成された画像をもとに気管支動脈の走行を胸腔鏡から見た視野でシミュレーションすることが可能であり、この 3D 構築画像は手術操作支援として役立つとされている<sup>(9-11)</sup>。

しかしながら、胸腔鏡下手術において術前の 3D 構築画像がどの程度気管支動脈の認識・温存に効果的であったかについての検討はなされていない。3 次元画像が気管支動脈の認識・温存にどの程度効果的であるかを検討したのが本研究である。



### Ⅲ. 研究目的

胸腔鏡下食道切除術において、気管支動脈の 3 次元構築画像が気管支動脈の認識・温存に与える影響について検討する。

#### IV. 研究方法

##### 1. 研究対象

2001年から2011年の期間に、当科にて胸腔鏡下食道切除手術を施行された食道癌患者356名を対象とした。図1のごとく、2001年から2004年に食道がんに対し胸腔鏡下食道切除術を施行された96名をA群とした。

この期間は、術前検査として気管支動脈の3D構築画像の作成は行われていない。2005年から2011年に食道がんに対し胸腔鏡下食道切除術を施行された260名をB群とした。この群の患者は、術前にMDCTを用いて気管支動脈の3D構築画像を作成し、術前にシミュレーションを行った。

各々の群には、術前に化学療法、放射線療法、化学放射線療法のいずれかを施行された患者、されていない患者の両方を含んでいる。A群では、放射線療法3名、化学放射線療法23名の計26名が術前に治療を受けた経験があり、治療を受けた経験のない患者は70名であった。治療歴のある26名をA+群、治療歴のない70名をA-群とした。B群では、化学療法68名、放射線療法5名、化学放射線療法53名の計126名が術前に治療の経験があり、術前に治療の経験のない患者は134名であった。治療経験のある126名をB+群、治療経験のない134名をB-群とした。

## 2. CT

### i. MDCT プロトコール

撮影に使用した CT 装置は、2005 年から 2006 年 4 月までに撮影を施行した患者 41 名は 16 列の MDCT (東芝 Aquilion) を使用、2006 年 4 月以降に撮影を施行した患者 219 名は 64 列の MDCT を使用した。

20 ゲージの静脈カテーテルを左尺側皮静脈に留置し造影剤投与ルートとした。また適当な尺側皮静脈が見つからない場合には、右外頸静脈を投与ルートとした。造影剤は高濃度造影剤 (350 mgI/ml) を使用、100 ml を 4.0 ml/sec で注入、そのあとを生理食塩水 30 ml で後押しした。

撮影は動脈相、および静脈相の dynamic CT を施行した。動脈相は bolus tracking 法を用いて行い、関心領域は下行大動脈にとり、16 列の MDCT の場合 100 Hounsfield units (HU) を超えたところで、64 列の MDCT の場合 150 HU を超えたところで撮影を開始した。静脈相の撮影は、動脈相の撮影終了 20 秒後に開始した。

スキャンパラメータは以下の通りに設定した。

0.5 s/rotation, 0.5-mm collimation, 15 mm/sec table increment with helical pitch of 15, tube voltage of 120kV, tube current of 300mA.

## ii. 3次元構築画像の作成

上記 MDCT プロトコールで得られたデータを用い、Workstation (Zio M900 Quadra) にて 3D 構築画像の作成を行った。造影 MDCT の軸位断上で同定された気管支動脈をプロットしていき、それを 3 次元構築して気管支動脈の全長を描出した。その画像に周囲構造物（気管気管支、食道、大血管、リンパ節、骨、奇静脈など）を構築したものを組み合わせて術前 3D 構築画像を作成した。Workstation の Virtual Endoscopy mode を用いて、手術と同様の右胸腔アプローチの視野での気管支動脈を確認した。(図 2、3)

## iii. 気管支動脈の分類

手術記録において、気管支動脈は食道の右側を走行するもの（術野にて食道の前面に認めるもの）と左側を走行するもの（術野にて食道の後面に認めるもの）とに分け記載されていた。そのため、気管支動脈を食道の右側を走行するもの（BA-RE 群）と食道の左側を走行するもの（BA-LE 群）の 2 群に分けた。(図 4)

各々の気管支動脈群は、気管支動脈の起始部をもとに以下のグループに分けた。

(a) BA-RE 群

以下の 3 グループに分けた。

- 1) Ao : 右気管支動脈が胸部大動脈より単独で起始しているもの。
- 2) right IBT : 右気管支動脈が右肋間動脈より起始しているもの。
- 3) Sc : 右気管支動脈が右鎖骨下動脈より起始しているもの。

(b) BA-LE 群

以下の 4 グループに分けた。

- 1) R-Ao : 右気管支動脈が胸部大動脈より単独で起始しているもの。
- 2) CTB : 気管支動脈が左右で共通幹を形成しているもの。
- 3) L-Ao : 左気管支動脈が胸部大動脈より起始しているもの。
- 4) left IBT : 左気管支動脈が右肋間動脈より起始しているもの。

### 3. 手術

#### i. 手術手技

胸腔鏡下食道切除術の手術手順は、種々の文献にて報告されている<sup>(4-8)</sup>。手術は左側臥位にて施行する。胸腔鏡用のポートを第 4 肋間中腋下線より胸腔内に挿入する。手術器具挿入用ポートはその周囲 5 か所に追加する。まず、奇静脈弓を機械にて切離、その後食道の剥離とり

ンパ節の郭清を行う。食道は剥離操作ののち、食道再建のための腹部創より取り出される。

ii. 手術における気管支動脈の認識・温存

手術記録に気管支動脈の記載が認められる場合を、気管支動脈の認識とした。気管支動脈が存在しなかったと記載されている場合、気管支動脈の確認を行っていることから、認識とした。気管支動脈の温存は、手術記録に気管支動脈の温存したことが記載されている場合とした。気管支動脈に関する記載がない場合は、未認識とした。

手術記録における左右気管支動脈は、解剖学的気管支動脈と異なり、食道の右側を走行する気管支動脈を右気管支動脈、左側を走行するものを左気管支動脈として記載されていたため、前記のように分類し直して検討した。

iii. 術後呼吸器関連合併症

術後呼吸器関連合併症は、患者退院時に主治医が記載した、フォーマット化されたサマリー記録から検索した。呼吸器関連合併症は、呼吸不全、気管虚血及び壊死、無気肺、気胸である。また、誤嚥性肺炎も肺炎の中に含まれている。気管壊死は、術後気管支鏡検査にて粘膜の壊死性変化を認めた場合、もしくは気管からの air leak が認められ

た場合とした。

#### 4. 検討項目

以下の項目について、検討を行った。

- A) A 群、B 群間における、BA-RE と BA-LE の認識率・温存率
- B) BA-RE 群、BA-LE 群内で、気管支動脈のタイプ別の認識率・温存率。
- C) 術前治療の有無それぞれでの、気管支動脈の認識・温存率。
- D) 術後呼吸器関連合併症と気管支動脈の温存および他因子との関連性。

#### 5. 統計学的検討

Mann-Whitney の U 検定および Fisher の正確検定、ロジスティック回帰分析を用いて統計学的検討を行った。いずれの検定においても  $P < 0.05$  の場合を有意差ありとした。

## V. 結果

### 1. 患者背景

A群、B群における患者背景は表1の通りである。術前治療の有無に関しては、A群は26/96、B群は126/260とB群の方が治療歴のある患者が有意 ( $p < 0.001$ ) に多かった。

前治療患者の内訳は表2の通りである。A群では全患者が根治的治療目的に放射線療法を施行していた一方、B群では58名のうち7名が術前治療目的に、51名が根治的治療目的に放射線治療を施行されていた。A群、B群において術前放射線治療における総線量、手術までの期間に有意差は認められなかった。(総線量：A群： $60.6 \pm 9.1$  Gy；B群： $56.5 \pm 13.4$  Gy,  $p = 0.34$ 、手術までの期間：A群： $330.4 \pm 803.2$ ；B群： $337.4 \pm 493.5$ ,  $p = 0.23$ )。

また、B群における根治的放射線治療患者、術前放射線治療患者での比較(表3)では右気管支動脈、左気管支動脈の認識、温存率に有意な差は認められなかった。

### 2. 気管支動脈の認識・温存

A群、B群における気管支動脈の認識・温存は表4の通りである。BA-REに関しては、A群、B群間で認識率、温存率に有意差は認められなかった(認識率：



A 群 : 93. 8% ; B 群 : 96. 9%,  $P=0. 756$ 、温存率 : A 群 : 64. 0% ; B 群 : 66. 3%,  $P=0. 707$  )。

BA-LE においては、認識率、温存率とも B 群の方が A 群に比し有意に高かった (認識率 : A 群 : 55. 2% ; B 群 : 75. 0%,  $P<0. 001$ 、温存率 : A 群 : 84. 9% ; B 群 : 97. 4%,  $P<0. 001$ )。

### 3. 気管支動脈のタイプごとの認識・温存

BA-RE、BA-LE ごとの気管支動脈のタイプは図 5、6 のように分けられ、タイプごとの認識率、温存率は表 5 に示される。CT 画像上 BA-RE は 247 本描出され、すべての血管は右気管支に分布する右気管支動脈であった。27 本が胸部大動脈より直接起始したもの (Ao)、210 本が右肋間動脈より起始したもの (right IBT)、10 本が右鎖骨下動脈より起始したもの (Sc) であった。各タイプでの認識率、温存率に有意な差は認められなかった。BA-LE は CT 画像上 410 本描出された。大動脈より直接起始している右気管支動脈は 61 本 (R-Ao)、左右の気管支動脈が共通幹を形成していたものが 72 本 (CTB)、大動脈より直接起始している左気管支動脈が 276 本 (L-Ao)、右肋間動脈より起始している左気管支動脈が 1 本 (left IBT) であった。各タイプでの認識率、温存率に有意差は認めなかった。

#### 4. 術前治療経験の有無での3次元構築画像の効果

術前治療経験のある群、ない群での、気管支動脈の認識、温存率は表6、7に示された通りである。治療経験のない群（A-群とB-群）では、いずれのものも有意差を認めなかった。一方治療歴のある群（A+群とB+群）では3D画像によるシミュレーションを行ったほうが、左側の気管支動脈の認識率（BA-RE：group A+：92.6%；group B+：95.1%， $p=0.090$ ，BA-LE：group A+：48.1%；group B+：78.1%， $p=0.001$ ）、両側の気管支動脈の温存率（BA-RE：group A+：48.0%；group B+：74.4%， $p=0.020$ ，BA-LE：group A+：76.9%；group B+：98.0%， $p=0.009$ ）とも有意に高かった。

#### 5. 術後呼吸器関連合併症と気管支動脈の温存および他の危険因子との関連性

気管支動脈の温存と術後呼吸器関連合併症との関連は表8の通りである。両側の気管支動脈を温存したものは、片側または両側の気管支動脈を切離したものの、未認識であるものと比べ、合併症の発生率が低い傾向にあった（ $p=0.008$ ）。また、表9は術後呼吸器関連合併症を引き起こす危険因子についての多変量解析を行った結果である。両側気管支動脈の温存（ $p=0.01$ ）および106recRの郭清（ $p=0.05$ ）、106preの郭清（ $p=0.008$ ）が有意差を認める因子であった。

## VI. 考察

### 1. 気管支動脈の3次元構築画像の手術における効果

食道がん手術は従来右側開胸による食道切除術が一般的であったが、1992年にCuschieriらが胸腔鏡下食道切除術を報告し、本邦でもAkaishiらにより1996年に報告されて以来、普及し始めている<sup>(4-8)</sup>。しかしながら、胸腔鏡の視野は通常の視野と異なるモニター越しの2次元の画面での視野であることから、奥行き<sup>(4-8)</sup>の把握は困難である。つまり、構造物の裏側の状態がどうか、2つの構造物の前後関係といった判断が難しい。加えて、胸腔鏡の視野は微視的であり細かい神経や血管を観察できる反面、全体像の認識はしにくい。そのため、誤った判断をすると、血管損傷や臓器損傷を引き起こす可能性がある。結果で示したとおり、気管支動脈の温存は合併症の発生を防ぐうえで重要であり、そのためには術前の気管支動脈の走行の3次元での把握が有用であると考えられる。

術前3D構築画像を作成の有無での気管支動脈の認識・温存の検討(表4)において、食道右側を走行する気管支動脈(BA-RE)に関して、認識率・温存率とも有意な差は認められなかった。胸腔鏡下食道切除術の視野においては、食道右側を走行する血管は食道の前面を通る血管として認められるため、食道剥離の際の視野に必然的に入り、認識しやすいため有意差がなかったと考えられる。一方食道左側を走行する気管支動脈(BA-LE)に関しては、3D構築画像を作成し

た群（B群）が認識率・温存率とも有意に高かった。BA-LEは胸腔鏡の視野では食道背側に位置しており、胸腔鏡の弱点といえる構造物の裏側の状態把握が困難なため、BA-REと比べ認識・温存とも低くなっていると考えられる。3D構築画像は、術前に気管支動脈の位置を予期することを可能とするため、術中での認識率・温存率の向上に寄与したものとする。

今回の患者背景では、気管支動脈の3D構築画像を作成した群で術前治療経験のある患者が多くみられる。以前は食道がんの根治的治療は手術が第一選択であったが、近年では化学療法、放射線療法の併用で手術に匹敵する成績が示されるようになり<sup>(12-14)</sup>、食道癌治療方針の選択肢は広がった。その一方で根治的放射線化学療法後の食道癌再発もみられるようになり、サルベージ手術が施行されようになったことが、B群では術前治療経験のある患者数が増えている要因と考える。加えて、手術単独よりも放射線や抗がん剤などの補助療法を併用したほうが、治療効果が高いこと<sup>(15-17)</sup>、補助療法も術後より術前に施行したほうが、生存率が高かったこと<sup>(18,19)</sup>が証明されたため、2005年以降の患者を対象としているB群に術前治療施行患者が多くなっている要因と思われる。

術前治療を行った患者は、術後の気管壊死が有意に多いとの報告もみられるが、これは放射線照射に伴う気道血流障害が原因と考えられる。気管に放射線が照射されると、lateral longitudinal anastomosisを構成する毛細血管が閉

塞性内膜炎を引き起こし、結果気道全体の血流障害が生じるといわれている<sup>(3,20)</sup>。そのためには気管支動脈を温存することが血流低下を防ぐために重要であるが、前治療による瘢痕化の影響もあり認識・温存には苦慮することが多い。それゆえ、術前の気管支動脈の3D構築画像をもとにした情報はより有用なものとなりうる。実際、術前治療経験の有無で分けたいうえでの、3D構築画像の有用性について検討したところ、治療歴のある患者の場合（表6）、3D構築画像がBA-RE、BA-LEの両方で認識率・温存率の向上を認める結果であった。術前治療の有効性が証明されていること<sup>(18,19)</sup>から今後ますます治療経験患者の手術症例が増加すると考えられ、気管支動脈の3D構築画像はますます重要な手術支援手段になるといえる。

## 2. 気管支動脈の分類

仙波らによる剖検38症例による気管支動脈の解剖学的検討<sup>(21)</sup>では、右気管支動脈は68本（肋間動脈/左右共通幹/大動脈：38/19/11）、左気管支動脈は61本（左右共通幹/大動脈：19/42）であり、1症例あたり平均右気管支動脈は1.79本、左気管支動脈は1.61本あったことになる。また、剖検71例における右気管支動脈の解剖学的検討<sup>(22)</sup>では、肋間動脈より分岐したものは95.8%とほとんどの症例に認められたとしている。一方我々のCTによる評価では、患者260名に対し右

気管支動脈は 380 本(肋間動脈/左右共通幹/大動脈：210/72/98)であり、左気管支動脈は 349 本(左右共通幹/大動脈/肋間動脈：72/276/1)であった。右気管支動脈における肋間動脈より分岐したものは、80.8%であり、1 症例あたりでは右気管支動脈は 1.46 本、左気管支動脈は 1.34 本と比較すると、割合は少なくなっている。CT による評価では描出されない気管支動脈も少なからずあるために、剖検例とくらべ低くなっていると考えられる。森らは、ヘリカル CT を用いて縦隔内における気管支動脈の走行を評価している<sup>(23)</sup>が、対象患者 260 名のうち、一部描出された症例も含めて右気管支動脈 173/260 (66.2%)、左気管支動脈 161/260 (61.7%)と、剖検による検討と比べると評価できた割合は低くなっている。CT での評価の場合、肺動脈や上大静脈の影響により気管支動脈の評価が困難となることが原因と考えられている。今回の検討でも、気管支動脈の描出が解剖による検討比べ、低くなっているのは同様の理由が影響していると思われる。

本検討においては右肋間動脈より分岐した左気管支動脈が 1 症例認められた。仙波らの剖検による検討ではそのような気管支動脈は指摘されなかったものの、森田らによると 73 症例中 4 症例で認められた<sup>(9)</sup>と報告されており、稀なケースではあるがそのような走行をとる場合もあると考えられる。

一方で、これら気管支動脈の解剖学的分類は食道切除手術においては有効な分

類とは言えないと思われる。食道切除手術の場合、食道の剥離切除およびリンパ節郭清が手術の主たる目的であり、気管支動脈を末梢側まで追い、左右どちらの気管支へ走行するかを術野で確認することはほとんどない。むしろ気管支動脈が食道剥離や郭清の際の術野範囲において認識・温存できているかどうかの問題となる。そういった手術の観点から考えると、解剖学的な気管支動脈の分類よりも食道の左右側(術野において食道の前面、後面での分類)で気管支動脈を分類したほうが有用といえる。

### 3. 気管支動脈の認識・温存の意義

食道がん手術において、術後の呼吸器関連合併症の発生率は 8-20%とされている<sup>(24, 25)</sup>が、それらの原因の一つに気管の虚血があげられる<sup>(1, 3, 20)</sup>。気管は下甲状腺動脈および気管支動脈から lateral longitudinal anastomosis を介し、血液供給を受けており、気管支動脈の損傷は lateral longitudinal anastomosis への血流が低下し、気管虚血を招くこととなる。気管の虚血は、気管のびらんや潰瘍の形成、粘液産生能の低下を引き起こし、呼吸器関連合併症の発生要因となる。

気管支動脈の温存と呼吸器関連合併症の検討(表 8)では、両側の気管支動脈を温存した症例と比べ、片側または両側の気管支動脈を認識していなかった場

合や切離した場合には、合併症の発生率が高い傾向にあった。加えて、表9の多変量解析の結果においても、両側の気管支動脈を温存することは合併症を防ぐための重要な因子であることが示唆された。たとえ片側であれ、気管支動脈を切離することは気管血流の低下を招き、呼吸器関連合併症を引き起こす可能性が高くなると考えられる。また気管支動脈が認識されていない場合は、未認識としている。気管支動脈が温存されている場合も否定できないが、術中操作で気づかぬうちに切離されていた可能性が高く、合併症につながっていると思われる。気管気管支の血流の減少は呼吸器関連合併症を引き起こす可能性があり、気管支動脈を温存することは、呼吸器関連合併症の発生を減少させるために重要な要素の一つと考えられる。またこの解析では、106recR および 106pre の郭清も有意差が認められた。しかし、106recR はほぼ全例で郭清され、106pre は数例でのみ郭清されていた。症例に偏りが生じており、結果については今後さらなる症例の蓄積を踏まえて検討する必要があると考える。

#### 4. 3次元構築画像の有用性

3D 構築画像として表現されている気管支動脈は、すべて 2D 画像で気管支動脈を検出した後、画像処理を施して表現している。描出率は適切なプロトコールと CT 本体の空間的濃度的分解能によって規定されるものであり、2次元である



か3次元であるかでは気管支動脈の描出率には影響を与えない。しかし、Lee<sup>(26)</sup>らや Lima<sup>(27)</sup>らにより報告がなされているように、2DのMPR(multi-planar reconstruction, 多断面再構成像)画像や元画像のページング読影で様々なタイプのある気管支動脈の走行と他の構造との関係を直感的にイメージするよりは、3D画像処理を加えた方がはるかに容易であり、かつ正確にイメージでき手術方針の組み立てにも有用であるといえる。

#### 5. 根治的放射線療法と術前放射線療法の比較

B+群で術前に放射線治療を施行された患者は58名おり、うち根治的放射線治療を施行された患者51名、術前放射線治療を施行された患者7名であった。照射放射線総量および放射線照射終了後から手術までの期間には差があるものの、左右の気管支動脈の認識、温存には差が認められなかった(表3)。照射線量が多いほど、また照射終了後手術までの期間が長いほど、照射部位の瘢痕化が強くなる。そのため、気管支動脈の認識や温存は困難となりうるが本検討においては両者に有意差は見られなかった。術前放射線照射群の対象患者数が少ないことも一つの要因とは考えられるが、気管支動脈の3D構築画像が術前情報として有用であった可能性も示唆される。

## VII. 本研究の限界

第一に当科における胸腔鏡下食道切除手術の執刀医は、食道グループの医師が1症例ずつ担当する方針をとっているため多くの医師が執刀に携わっている。そのため、大まかな手術方針は統一され指導医も限定しているものの、細かい操作に関しては術者ごとの特徴が出てくる。一方で、A, B 両群ともグループ内全員が偏りなく携わる方針のため、術者の能力も両群とも固定化していないとも言える。

第二に気管支動脈の認識、温存には3D構築画像以外にも手術手技や手術器具の進歩による影響も考えられる。また術後合併症の低下には術後の栄養管理、呼吸管理といった周術期管理の進歩が影響している可能性も考慮される。

第三に本研究は、手術記録の後ろ向き検討にて行っているが、手術記録の記載者が様々であるため統一された記載でないことがあげられる。加えて、記載は術者の主観が多少なりとも入る可能性があり、正確性の検証が困難である。

## VIII. 結論

造影 MDCT を用いて作成された気管支動脈の 3 次元構築画像は、胸腔鏡下食道切除術の気管支動脈の認識及び温存に効果的である。また、気管支動脈の認識及び温存は、術後呼吸器関連合併症の減少に寄与している可能性が示唆される。気管支動脈の術前 3 次元構築画像は、手術を安全に行う上で有用な手術支援手段である。

## IX. 文献

1. Fujita H, Kakegawa T, Yamana H, et al. Mediastinal lymphnode dissection procedure during esophageal cancer operation—Carefully considered for preserving respiratory function. *Jpn J Surg* 1988; 18:31–34.
2. C.S Pramesh, Pajesh C. Mistray, Sanjay Sharama, et al. Bronchial artery preservation during transthoracic esophagectomy. *J Surg Oncol* 2004; 85:202–203.
3. Tanaka N, Hokamura N, Tachimori Y. Airway necrosis after salvage esophagectomy. *Jpn J Gastroenterol Surg* 2010; 43:877–881.
4. Cuschieri A, Shimi S, Banting S. Endoscopic oesophagectomy through a right thoracoscopic approach. *J R Coll Surg Edinb* 1992; 37:7–11.
5. Akaishi T, Kaneda I, Higuchi N, et al. Thoracoscopic en bloc total esophagectomy with radical mediastinal lymphadenectomy. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1996; 112:1533–1540.
6. Yamamoto S, Kawahara K, Maekawa T, et al. Minimally invasive esophagectomy for stage I and II esophageal cancer. *Ann Thorac Surg* 2005; 80:2070–2075.

7. Osugi H, Takemura M, Lee S, et al. Thoracoscopic esophagectomy for intrathoracic esophageal cancer. *Ann Thorac Cardiovasc Surg* 2005; 11:221-227.
8. Scheepers JJ, van der Peet DL, Veenhof AA, Cuesta MA. Thoracoscopic resection for esophageal cancer: A review of literature. *J Minim Access Surg* 2007; 3:149-160.
9. Morita Y, Takase K, Ichikawa H, et al. Bronchial artery anatomy: preoperative 3D simulation with multidetector CT. *Radiology* 2010; 255:934-943.
10. Morita Y, Takase K, Yamada T, et al. Virtual CT thoracoscopy: preoperative simulation for thoracoscopic surgery of esophageal cancer. *Abdom Imaging* 2007; 32:679-687.
11. Kato T, Takase K, Ichikawa H, et al. Demonstration of the anatomy of the esophageal artery using multidetector-row helical computed tomography. *J Comput Assist Tomogr* 2010; 34:939-944.
12. Jay S.Cooper, Matthew D.Guo, Arnold Herskovic, et al. Chemoradiotherapy of locally advanced esophageal cancer: long-term follow-up of a prospective randomized trial (RTOG 85-01). *JAMA* 1999;

281:1623-1627.

13. Kato H, Sato A, Fukuda H, et al. A phase II trial of chemoradiotherapy for stage I esophageal squamous cell carcinoma: japan clinical oncology group study (JCOG9708). *Jpn J Clin Oncol* 2009; 39(10)638-643.
14. Ohtsu A. The latest advances in chemotherapy for gastrointestinal cancers. *Int J Clin Oncol* 2003; 8:234-238.
15. Ando N, Iizuka T, Ide H, et al. Surgery plus chemotherapy compared with surgery alone for localized squamous cell carcinoma of the thoracic esophagus: A japan clinical oncology group study-JCOG9204. *J clin Oncol* 2003; 21:4592-4596.
16. Urschel JD, Vasan H. A meta-analysis of randomized controlled trials that compared neoadjuvant chemoradiation and surgery to surgery alone for resectable esophageal cancer. *Am J Surg* 2003; 185:538-543.
17. Sjoquist KM, Burmeister BM, Smithers BM, et al. Survival after neoadjuvant chemotherapy or chemoradiotherapy for resectable oesophageal carcinoma: an updated meta-analysis. *Lancet oncol* 2011; 12:681-692.

18. Burmeister BH, Smithers BM, Gebiski V, et al. Surgery alone versus chemotherapy followed by surgery for resectable cancer of the oesophagus: a randomized controlled phase III trial. *Lancet oncol* 2005; 6:659-668.
19. Ando N, Kato H, Igaki H, et al. A randomized trial comparing postoperative adjuvant chemotherapy with cisplatin and 5-flourouracil versus preoperative chemotherapy for localized advanced squamous cell carcinoma of the thoracic esophagus (JCOG9907). *Ann Surg Oncol* 2012; 19:68-74.
20. H.E. Bartels, H.J. Stein, J.R. Siewert. Tracheobronchial lesions following oesophagectomy: prevalence, predisposing factors and outcome. *Br J Surg* 1998; 85:403-406.
21. Funami Y, Okuyama K, Tonisu N, et al. Anatomic study of the bronchial arteries for operation of esophageal cancer. *Jpn J Surg* 1993; 94: 456-465
22. Funami Y, Okuyama K, Koide Y, et al. Anatomical study on the right bronchial artery for operation of esophageal cancer through right thoracotomy with special reference to the intercostobronchial

- arteries. *J Jpn Assn Thorac Surg* 1993; 41: 2325-2332.
23. Mori K. The mediastinal courses of the bronchial arteries: Helical CT evaluation. *Nippon Acta Radiologica* 2001; 61: 156-162.
24. Law S, Wong KH, Kwok KF, et al. Predictive factors for postoperative pulmonary complications and mortality after esophagectomy for cancer. *Ann Surg* 2003; 240:791-800.
25. Nakamura M, Iwahashi M, Nakamori M, et al. An analysis of the factors contributing to a reduction in the incidence of pulmonary complications following an esophagectomy for esophageal cancer. *Langenbecks Arch Surg* 2008; 393:127-133.
26. Sang-Woong Lee, Shinohara H, Matsuki M, et al. Preoperative simulation of vascular anatomy by three-dimensional computed tomography imaging in laparoscopic gastric cancer surgery. *J Am Coll Surg* 2003; 197: 927-936.
27. Mario Lima, Olivier Reinberg, Giovanni Ruggeri, et al. 3Dvirtual rendering before laparoscopic partial splenectomy in children. *J Ped Surg* 2013; 48: 1784-1788.



## X. 図表の説明

### 図 1 : 患者の振り分けの手順図

2001 年から 2011 年に当科で食道がんに対し胸腔鏡下食道切除術を施行した 356 名を対象とした。その内、2001 年から 2004 年に手術を施行した 96 名は、手術の術前検査として気管支動脈の 3D 構築画像の作成および Virtual Endoscopy mode による術前シミュレーションは行われていない。この患者群を A 群と定義した。2005 年以降の患者 260 名は、術前検査の一環として、気管支動脈の 3D 構築画像の作成および術前シミュレーションを行っている。この患者群を B 群とした。

A 群、B 群ともに、手術前にも食道癌治療を受けた経験のある患者、ない患者の両方が含まれている。各群で術前に治療の経験のあるもの、ないもので更にグループを分けた。A 群では、前治療を受けた群(A+群)は 27 名、前治療を受けていない群(A-群)は 69 名であり、B 群では前治療を受けた群(B+群)は 128 名、前治療を受けていない群(B-群)は 132 名であった。

### 図 2 : 食道右側の気管支動脈 (BA-RE)

胸部中部食道癌、術前化学放射線療法施行した 62 歳男性。BA-RE の 3D 構築画像 (A) 術野での BA-RE (B)。3D 構築画像では、BA-RE の 3 次元構造のみならず、大血管、気管、食道などの周辺組織との位置関係も明瞭に描出されている。

実際の視野（B）でも、同様の3次元構造、周辺組織との位置関係にあり、気管支動脈を温存することができた。

略語：E，食道；T，気管。

### 図3：食道左側の気管支動脈（BA-LE）

胸部中部食道癌、術前化学放射線療法施行した62歳男性（図2と同じ患者）。BA-LEの3D構築画像（A）術野でのBA-LE（B）。3D画像（A）では、食道左側（視野では食道の裏側）にBA-LEが走行していることが描出される。術野（B）でも、食道の裏側に気管支動脈を認めたが、術前に位置情報を把握していたため、安全に温存することができた。

### 図4：気管支動脈の分類図

図はCT同様尾側より見上げた図である。気管支動脈が食道の右側を通るものをBA-RE（図4a）、食道の左側を通るものをBA-LE（図4b）と分類した。

### 図5：食道右側の気管支動脈（BA-RE）

食道右側を通る気管支動脈とは、以下の3つのタイプであった。

1. 胸部大動脈より単独で起始しているもの（Ao：図5a）
2. 右肋間動脈より起始しているもの（right IBT：図5b）
3. 右鎖骨下動脈より起始しているもの（Sc：図5c）

### 図6：食道左側の気管支動脈（BA-LE）

食道左側を通る気管支動脈は以下の4つのタイプであった。

1. 右気管支動脈が胸部大動脈より単独で起始しているもの (R-Ao : 図 6 a)
2. 左右の気管支動脈が共通幹を形成しているもの (CTB : 図 6 b)
3. 左気管支動脈が胸部大動脈より単独で起始しているもの (L-Ao : 図 6 c)
4. 左気管支動脈が右肋間動脈より起始しているもの (left-IBT : 図 6 d)

表 1 : A 群、B 群間における患者背景

表 2 : A 群、B 群間における術前治療経験患者の内訳

表 3 : B 群における放射線治療経験患者の内訳

表 4 : A 群、B 群間での気管支動脈の認識・温存の検討

表 5 : 気管支動脈の種類ごとでの認識・温存の検討

表 6 : 前治療施行患者における 3D 構築画像の有用性

表 7 : 前治療未施行患者における 3D 構築画像の有用性

表 8 : 気管支動脈の温存と合併症発生頻度の関連性

表 9 : 呼吸器関連合併症と危険因子の関連性

図1: 患者振り分けの手順図

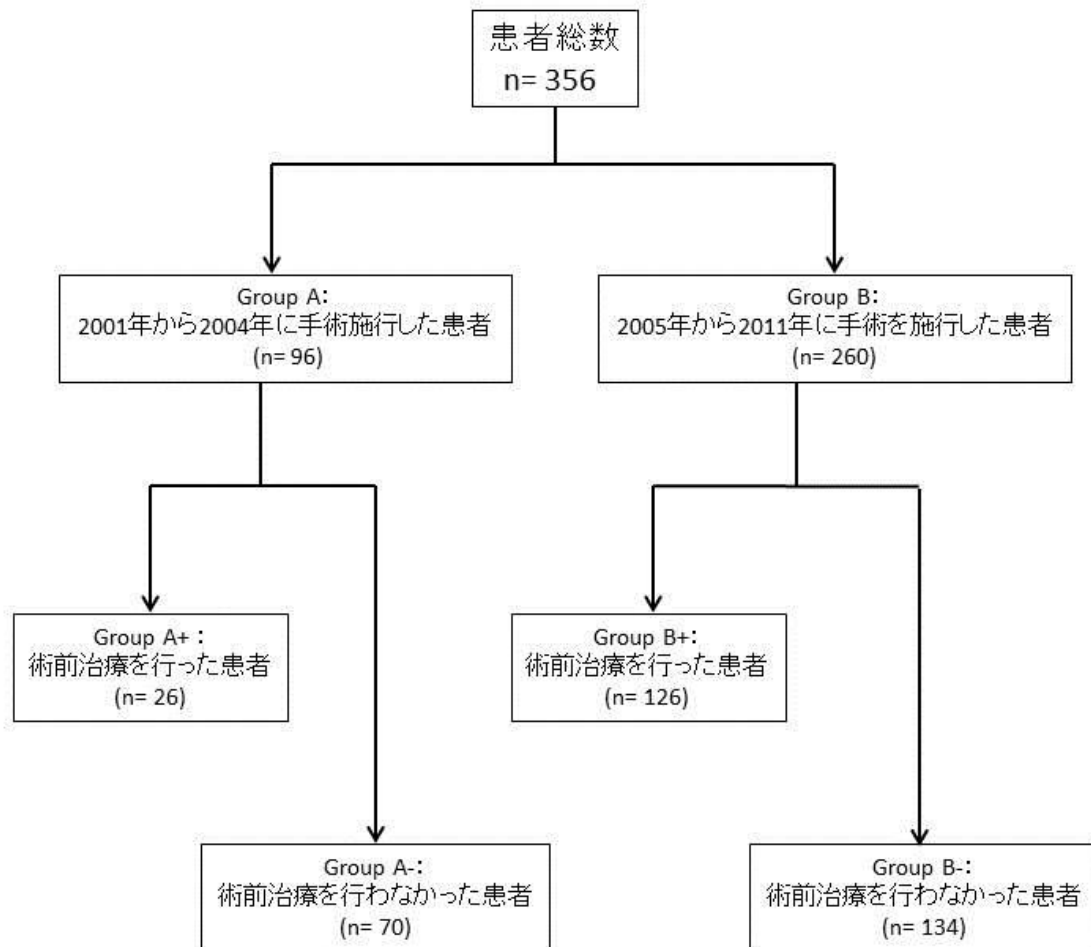


図2: 食道右側の気管支動脈(BA-RE)

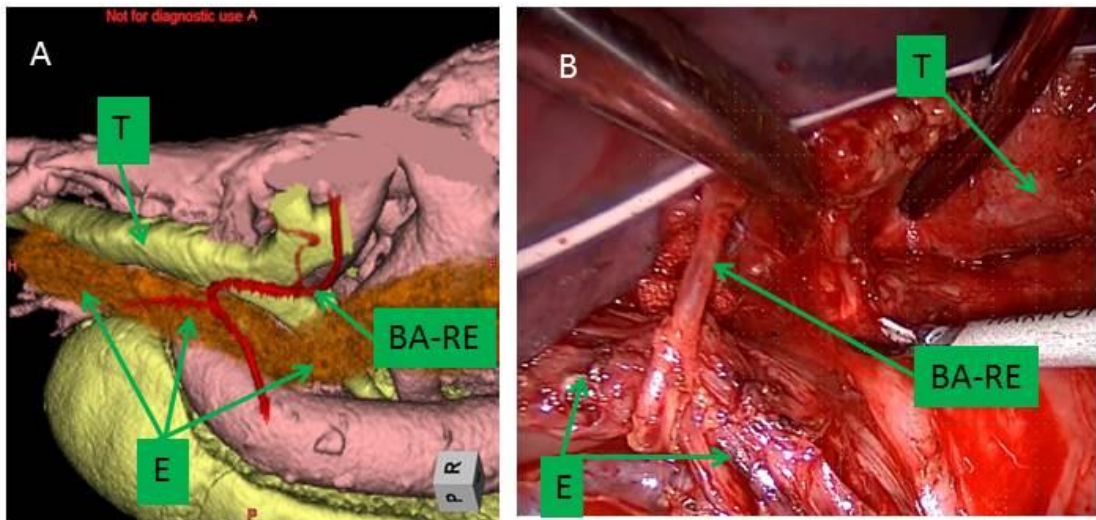


図3: 食道左側の気管支動脈(BA-LE)

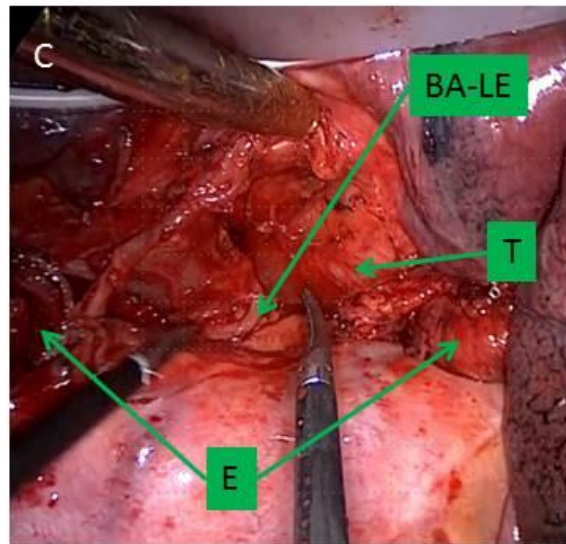
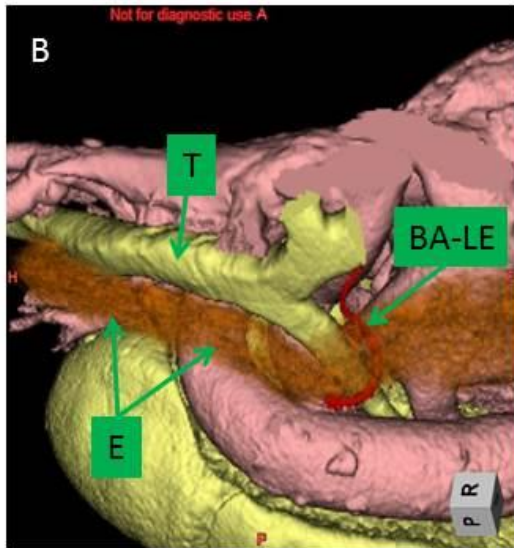


図4: 気管支動脈の分類図

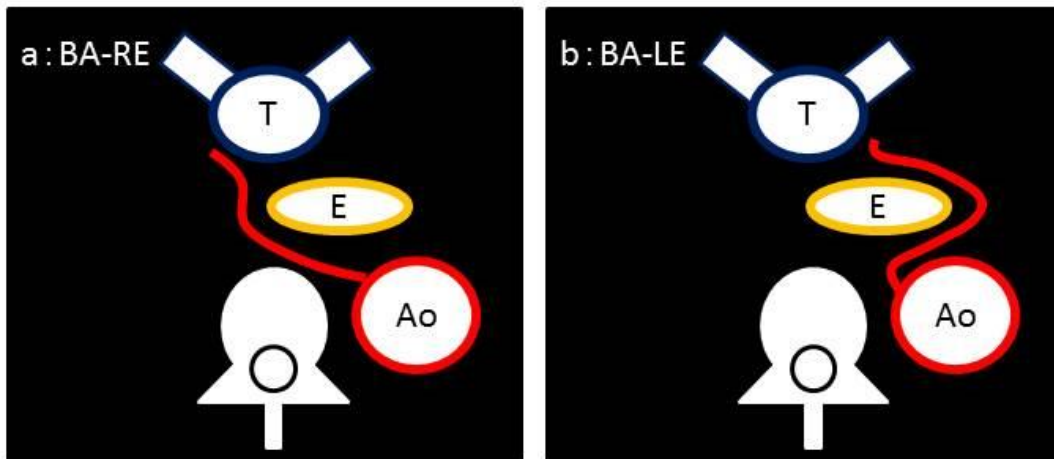


図5: 食道右側の気管支動脈(BA-RE)

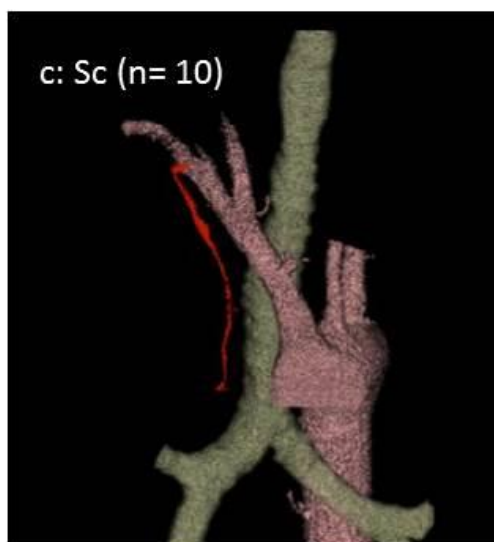
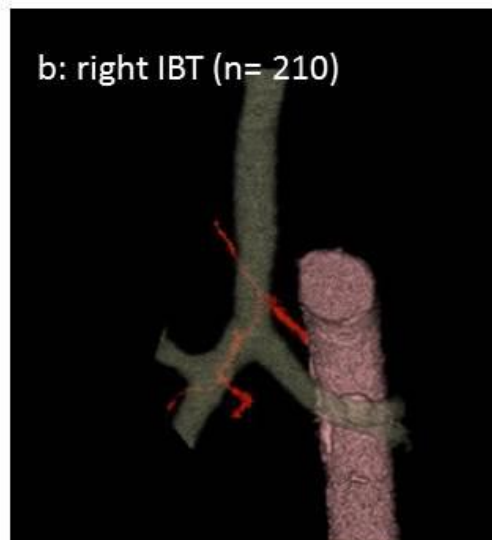
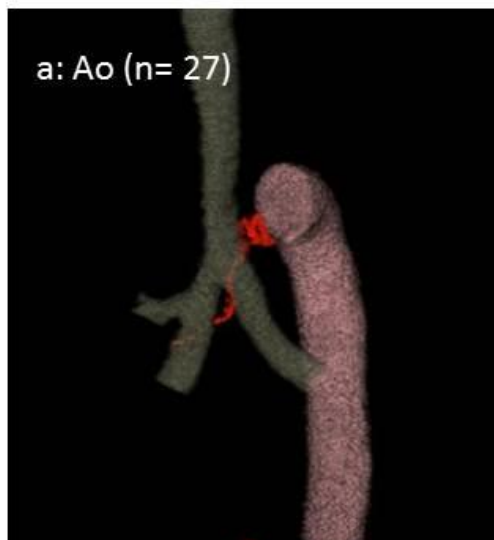




図6: 食道左側の気管支動脈(BA-LE)

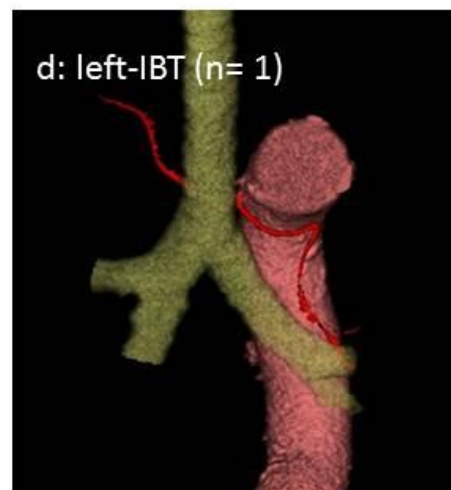
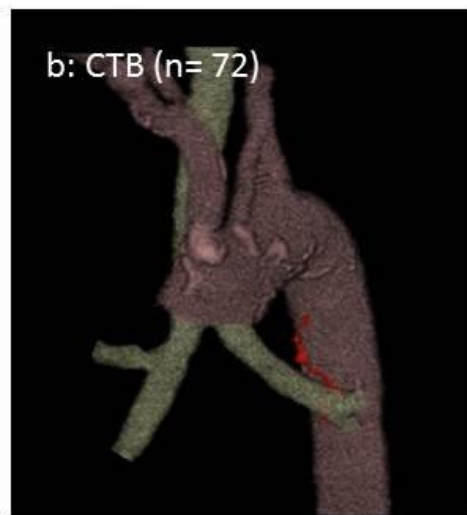


表 1 : A 群、B 群間における患者背景

	A群(2001-2004年) (n= 96)		B群(2005-2011年) (n= 260)		p value
性別 (M/F)	85/11		223/37		p= 0.600
年齢 (years)	64.1	(45-81)	64.9	(39-84)	p= 0.703
身長 (cm)	163.5	(143.0-178.0)	164.5	(145.0-185.0)	p= 0.703
体重 (kg)	58.0	(39.0-77.8)	58.3	(38.3-94.0)	p= 0.406
BMI	21.3	(15.8-27.9)	21.7	(18.0-32.6)	p= 0.364
%VC	104.7	(79.9-131.3)	107.7	(63.6-156.9)	p= 0.068
FEV%	76.8	(48.7-97.6)	76.4	(49.0-132.0)	p= 0.588
病期					p= 0.686
0	2	(2.1%)	9	(3.5%)	
IA/IB	31	(32.3%)	87	(33.5%)	
IIA/IIIB	10	(10.4%)	35	(13.5%)	
III	48	(50.0%)	111	(42.7%)	
IVa/IVb	4	(4.2%)	18	(6.9%)	
不明	1	(1.0%)			
術前療法 (あり/なし)	26/70		126/134		p< 0.001

表 2 : A 群、B 群間における術前治療経験患者の内訳

	Group A (n=26)	Group B (n=126)	p value
<b>前治療</b>			
放射線療法	3	5	
化学放射線療法	23	53	
化学療法	0	68	
<b>放射線治療</b>	26	58	
根治的治療	26	51	
術前治療	0	7	
総線量	60.6±9.1	56.5±13.4	0.34
手術までの期間	330.4±803.2	337.4±493.5	0.23

表3：B群における放射線治療経験患者の内訳

	根治的放射線治療	n=51	術前放射線治療	n=7	p value
総線量	60.2		30.3		
手術までの期間	383		29		
右気管支動脈					
温存	30		5	認識率	p=0.49
切離	17		1	温存率	p=0.56
未認識	4		1		
左気管支動脈					
温存	35		7	認識率	p=0.19
切離	2		0	温存率	p=0.37
未認識	14		0		

表4：A群、B群間での気管支動脈の認識・温存の検討

	A群(2001-2004年) (n= 96)		B群(2005-2011年) (n= 260)		p value
食道右側の気管支動脈(BA-RE)					
認識	90	(93.8%)	252	(96.9%)	p= 0.756
うち温存	57/90	(64.0%)	161/252	(66.3%)	p= 0.707
食道左側の気管支動脈(BA-LE)					
認識	53	(55.2%)	195	(75.0%)	p<0.001
うち温存	45/53	(84.9%)	190/195	(97.4%)	p<0.001

表5：気管支動脈の種類ごとでの認識・温存の検討

食道右側の気管支動脈(BA-RE)							
	Ao (n=27)		right-IBT (n=210)		Sc (n=10)		
認識	24	(97.6%)	205	(88.9%)	10	(100%)	
うち温存	15/24	(68.2%)	137/205	(62.5%)	7/10	(77.8%)	
食道左側の気管支動脈(BA-LE)							
	R-Ao (n=61)		CTB (n=72)		L-Ao (n=276)		left-IBT (n=1)
認識	49	(80.3%)	61	(84.7%)	203	(73.6%)	1 (100%)
うち温存	48/49	(98.0%)	58/61	(95.1%)	200/203	(98.5%)	1/1 (100%)

表 6 : 前治療施行患者における 3D 構築画像の有用性

		A+群 (n= 27)	B+群 (n= 128)	p value
性別	(M/F)	23/4	107/21	p= 0.779
年齢	(years)	63.2 (46-74)	64.9 (46-82)	p= 0.212
身長	(cm)	162.3 (143.0-174.0)	164.4 (146.4-185.0)	p= 0.894
体重	(kg)	57.3 (39.0-76.4)	56.7 (38.3-80.4)	p= 0.544
BMI		20.6 (15.8-27.9)	21.0 (13.0-28.6)	p= 0.515
%VC		99.2 (80.1-117.6)	107.0 (63.6-156.9)	p= 0.006
FEV%		78.6 (52.8-93.3)	76.9 (49.0-132.0)	p= 0.812
食道右側の気管支動脈(BA-RE)				
認識		92.6%	95.1%	p= 0.090
うち温存		48.0%	74.4%	p= 0.020
食道左側の気管支動脈(BA-LE)				
認識		48.1%	78.1%	p= 0.001
うち温存		76.9%	98.0%	p= 0.009

表 7 : 前治療未施行患者における 3D 構築画像の有用性

		A-群 (n= 69)	B-群 (n= 132)	p value
性別	(M/F)	62/7	116/16	p= 0.483
年齢	(years)	64.5 (45-81)	64.9 (39-84)	p= 0.792
身長	(cm)	163.9 (153.0-178.0)	164.7 (145.0-182.0)	p= 0.811
体重	(kg)	58.2 (39.4-77.8)	59.8 (42.0-94.0)	p= 0.218
BMI		21.5 (16.0-26.9)	22.3 (15.4-32.6)	p= 0.105
%VC		106.4 (79.9-131.3)	108.9 (68.0-153.0)	p= 0.553
FEV%		76.3 (48.7-97.6)	76.0 (54.7-109.4)	p= 0.447
食道右側の気管支動脈(BA-RE)				
認識		94.1%	98.4%	p= 0.290
うち温存		70.3%	58.7%	p= 0.150
食道左側の気管支動脈(BA-LE)				
認識		58.0%	72.0%	p= 0.109
うち温存		87.5%	96.8%	p= 0.106

表 8 : 気管支動脈の温存と呼吸器関連合併症発生頻度の関連性

		BA-LE		
		温存	切離	未確認
BA-RE	温存	30/152 (19.7%)	3/9 (33.3%)	19/57 (33.3%)
	切離	22/80 (27.5%)	3/4 (75.0%)	13/40 (32.5%)
	未確認	1/3 (33.3%)	0/0 -	5/11 (45.5%)

表9：呼吸器関連合併症と危険因子の検討

		合併症あり(n=96) 合併症なし(n=260)		単変量解析	多変量解析
<b>患者背景</b>					
男/女		84/12	224/36	0.74	
身長		163.6±7.5	164.0±7.6	0.67	
体重		57.5±9.1	58.2±8.7	0.51	
%VC		104.3±18.4	107.8±16.1	0.08	
FEV1%		76.5±11.1	76.5±9.4	0.97	
前治療	(あり/なし)	36/60	116/114	0.23	
前治療の内訳	放射線療法	4	4		
	化学放射線療法	21	55		
	化学療法	11	57		
	術前放射線照射患者	25	59	0.51	
両側気管支動脈の温存		30	122	<b>0.007</b>	<b>0.011</b>
<b>病理学的評価</b>					
pT					0.10
	T0	1	10		
	T1a/T1b	25	93		
	T2	17	28		
	T3	44	115		
	T4	8	14		
	不明	1			
pN					0.24
	N0	46	120		
	N1	22	60		
	N2	15	46		
	N3	8	16		
	N4	5	18		
pM					0.37
	M0	94	255		
	M1	2	5		
<b>リンパ節郭清</b>					
	101R	53	136	0.63	
	101L	39	93	0.44	
	102	1	4	0.72	
	103	1	0	0.11	
	104R	23	32	<b>0.01</b>	0.08
	104L	23	37	<b>0.04</b>	0.53
	105	84	240	0.17	
	106recR	88	252	<b>0.04</b>	<b>0.05</b>
	106recL	72	182	0.30	
	106tbR	1	2	0.80	
	106tbL	12	44	0.30	
	106pre	4	1	<b>0.01</b>	<b>0.007</b>
	107	72	189	0.66	
	108	88	235	0.71	
	109R	65	178	0.89	
	109L	57	169	0.33	
	110	88	239	0.94	
	111	39	101	0.76	
	112	57	158	0.90	