

症例
ライブラリー肺切除術の
周術期管理左用DLTで分離肺換氣中に
突然SpO₂が低下した

■症 例

58歳の女性、身長152 cm、体重52 kg。健康診断で胸部の異常陰影を指摘され、精査の結果、右肺上葉肺癌と診断された。手術は胸腔鏡補助下右肺上葉切除術が予定された。喫煙歴は10本/日×22年間で3年前から禁煙している。特記すべき既往なし。呼吸機能検査や心臓超音波検査は正常範囲内であった。日常生活動作(ADL)に大きな支障はなく、階段の昇降も可能である。

■麻酔経過

手術室入室後に静脈路を確保し、T_{6/7}から硬膜外麻酔を施行した。全身麻酔はプロポフォール目標濃度調節静注(TCI, 3 μg/mL)とレミフェンタニルによる急速導入で行った。入眠後にロクロニウム50 mgを投与し、左用35 Frダブルルーメン気管支チューブdouble-lumen endobronchial tube (DLT)を挿管し、ややチューブを反時計方向に回転させながら気管支まで進めた。その後、気管支ファイバースコープ(以下、ファイバー)で気管支ルーメンから観察したところ、すでにチューブ先端は気管分岐部を越えて、左第二気管分岐部の手前と思われるところに位置していた。気管ルーメンからも観察したところ、青カフが左側の気管支に入っているのを確認した。挿管後のバイタルサインは心拍数80 bpm、血圧125/75 mmHg、経皮的末梢動脈血酸素飽和度(SpO₂)100%であった。聴診は施行せず、左側臥位にし、手術前に気管ルーメンをクランプして分離肺換気 differential lung ventilationを開始した。その後、SpO₂は徐々に下がり85%にまで低下、呼吸終末二酸化炭素分圧(P_{ET}CO₂)は55 mmHg以下、換気圧25 cmH₂Oで換気量は130 mL程度であった。

アキ

さて、あなたならここからどうする？

鑑別のプロセス

分離肺換気での非換気側肺は血流があっても換気されない状態なのでシャントが増加する。そのため、通常の両肺換気よりも、動脈血の酸素化は低下しやすくなる。実際に、分離肺換気中の患者のおよそ5～10%で、動脈血酸素飽和度(SaO₂)が90%未満になるという報告がある^{1,2)}。呼吸器外科の麻酔で低酸素血症に至る原因の一つにDLTの位置異常があり、臨床で起こりやすい誤留置のパターンを理解し、適切にファイバーで確認・修正する能力は、麻酔科医には必須のスキルである。

確実な留置方法はどれか

DLTの留置方法には、主に「ブラインド法」「聴診法」「ファイバーガイド法」の3つがある。ブラインド法は、DLTが声門を通過した後に盲目的に回転させて気管支まで進める方法である。聴診法は、気管支ルーメンと気管ルーメンをそれぞれ遮断した際の呼吸音を聴取することで留置ができているか確かめる方法である。ブラインド法で挿管し、聴診法で正しい位置にあると考えられたDLTの20～48%が、その後のファイバー検査で誤った位置にあったという報告³⁾があり、誤留置が生じやすい方法といえる。また、最近では肺エコーによる分離肺換気の確認も報告⁴⁾されているが、この文献でも聴診法の正確性は肺エコーよりも劣っていた。

ファイバーガイド法

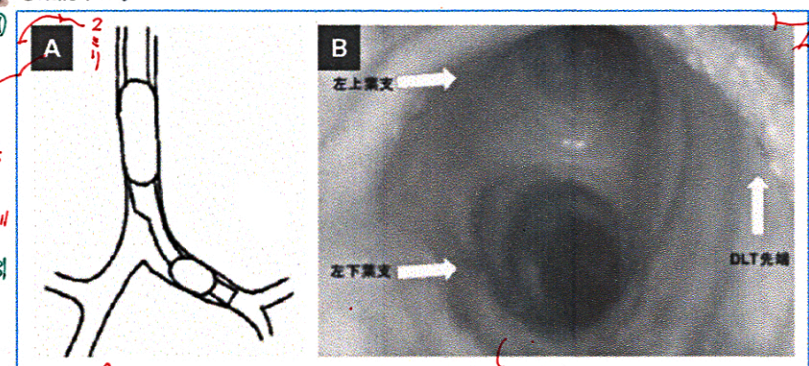
順天堂大学医学部附属順天堂医院(以下、当院)ではファイバーガイド法を採用している。気管支を直接観察しながらDLTを留置できるため、何度もチューブの位置合わせを行う必要はない。

福田 征孝
FUKUDA, Masataka川越 いづみ
Kawagoe, Izumi順天堂大学医学部附属
順天堂医院
麻酔科・ペインクリニック

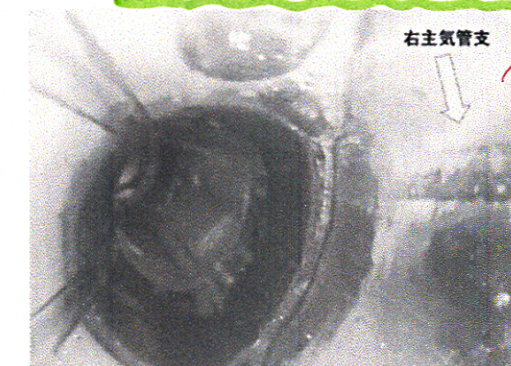
▼図1 左用DLTの理想的な留置位置

A: 左用DLTの適切な留置位置。(作画: 萩平 哲先生)

B: 左用DLTの気管支ルーメン(青)からのファイバー像。チューブの先端が第二気管分岐部に接触していないことや気管支が二分岐であることを確認する。



▼図2 DLTの先端部(青)からファイバーを引き抜いてきた際に気管分岐部が観察できる



正確な留置のためには、DLTの先端が正しい方向を向いていることが重要である。左用DLTであれば気管支ルーメンを左主気管支に、右用DLTであれば右主気管支に先端を留置させる。解剖学的に左主気管支は右主気管支よりも分岐角度が大きく、さらに、第二気管分岐部までの長さは約4～5 cmと、右主気管支の約2～3 cmと比較して有意に長い。

左用DLTの留置は、まず青カフが声門を越えたところでスタイレットを抜去し、口角で15 cm程度になるまで進め、ファイバーを気管支ルーメン(青)から挿入する。ファイバー先端をチューブ先端に合わせ、介助者と協力しながら左主気管支にチューブを進め、第二気管分岐部の直上で留める(口角で約26～31 cmであることが多い)(図1)。

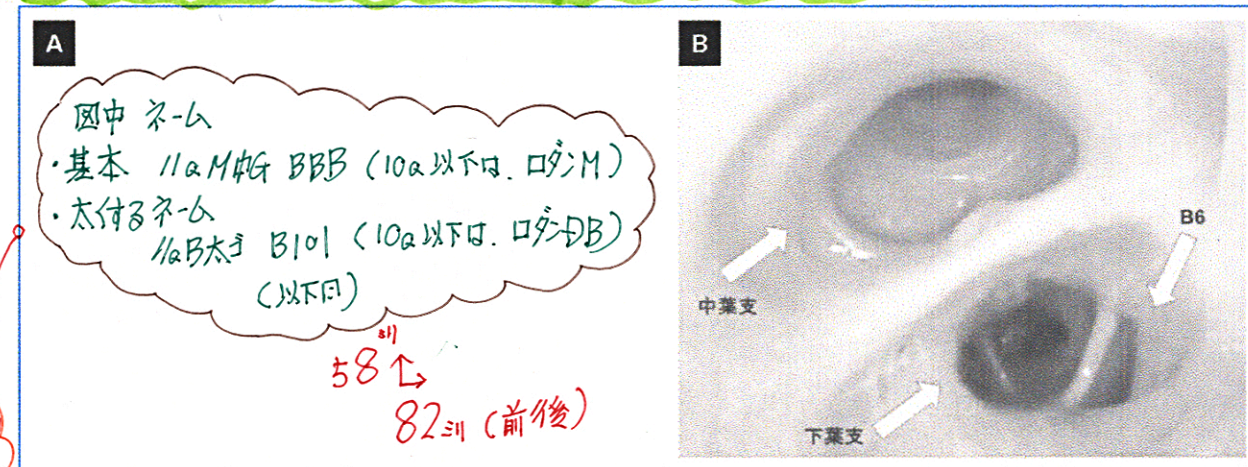
ファイバーを引き抜いてくる際に第一気管分岐部が視認されることで、チューブの正確な位置関係を把握できる(図2)。第一気管分岐部が明瞭に見えることは「左右の主気管支の関係」を地図のように示すものであり、DLTの正確な位置を把握する座標軸になる。第一気管分岐部は気管が左右の主気管支に分かれる分岐点であり、気管支ルーメンからファイバーを引き抜いてくると、視野中央に山の尾根のような頂点がくっきりと現れ、右に気管支の鋭角の黒い開口部が確認できる。誤挿入(例: 右主気管支へ入っている)した場合は第一気管分岐部が見えにくく、右上葉への枝(鈍角の斜めに開く穴)が見える。気管支の解剖をきちんと理解していれば、DLTの位置確認のための聴診は不要である。側臥位にした後に、もう一度ファイバーで気管支ルーメン(青)から気管ルーメンの順で位置を確認し、DLT先端が第二気管分岐部に接触し、閉塞していないか確認する。今回はこのプロセスが抜けたことが、誤留置に気づかなかった原因である。

術中の換気設定

術中の換気設定基本的には従圧式調節換気(PCV)を用いる。分離肺換気中に高い換気量とすると肺泡の過伸展による圧外傷 barotrauma や容量外傷 volutrauma のリスクが高まることから明らかとなっており、低～中程度の換気量(4～6 mL/kgの予測体重)になるように設定し、ある程度の高二酸化炭素血症は許容する(permissive hypercapnia)。

呼吸終末陽圧(PEEP)は、肺泡換気の維持や酸素化の改善に寄与する一方で、過度なPEEPは肺血流を無換気肺へと再分配させ、肺内シャントを増加させる可能性があるため、適切な範囲内で使用する。また駆動圧 driving pressure が術後呼吸器合併症 postoperative pulmonary complication (PPC) に関連するため、駆動圧ガイド換気は、従来の肺保護換気と比較してPPCの発生率を低下させる可能性がある⁵⁾。

▼図3 右第二気管分岐部への左用チューブの誤留置(A)と右主気管支から観察される特徴的な三分岐(B)



DLT 留置のピットフォール

左用 DLT の誤留置で特に多いのが、右上葉気管支と右中間気管支幹の第二気管分岐部を第一気管分岐部と誤認するケースである (図3)。この場合、左肺の手術のため“左”側をクランプすると右上葉だけで換気することになり、患者の SpO₂ は大きく低下する。また、同様状態で“右”側をクランプすると、左肺と右上葉は虚脱するが、右中葉と下葉は換気される。このまま右肺の手術のために胸腔鏡のカメラポートを挿入すると、肺損傷を引き起こす危険性がある。

左用 DLT の右主気管支への誤挿入の発生率、関連する危険因子を調査した研究⁶⁾では、1135 人中、48 人 (4.2%) で左用 DLT が右主気管支へ誤挿入され、女性、低身長、気管径や気管支径の狭小、小さなサイズの DLT の使用が誤挿入の危険因子として報告された。さらに右主気管支は左主気管支よりも内径が大きく、第一気管分岐部からの分岐角度がより垂直に近いことや、32 Fr の DLT では先端の角度がほかのサイズよりも鈍角であることも、右主気管支への誤進入を助長する因子である。盲目的な再留置法 (例：患者の頭部を右に向け、チューブを反時計回りに回転させながら挿入する方法) もあるが、成功率はおよそ 80% 程度にとどまる⁶⁾。このような誤留置を避けるには、右主気管支の特徴的な三分岐像 (図3B：中葉支、下葉支、B6) を確認し、左用 DLT 本来の留置位置である二分岐像 (図1) との違いを把握することが重要である。

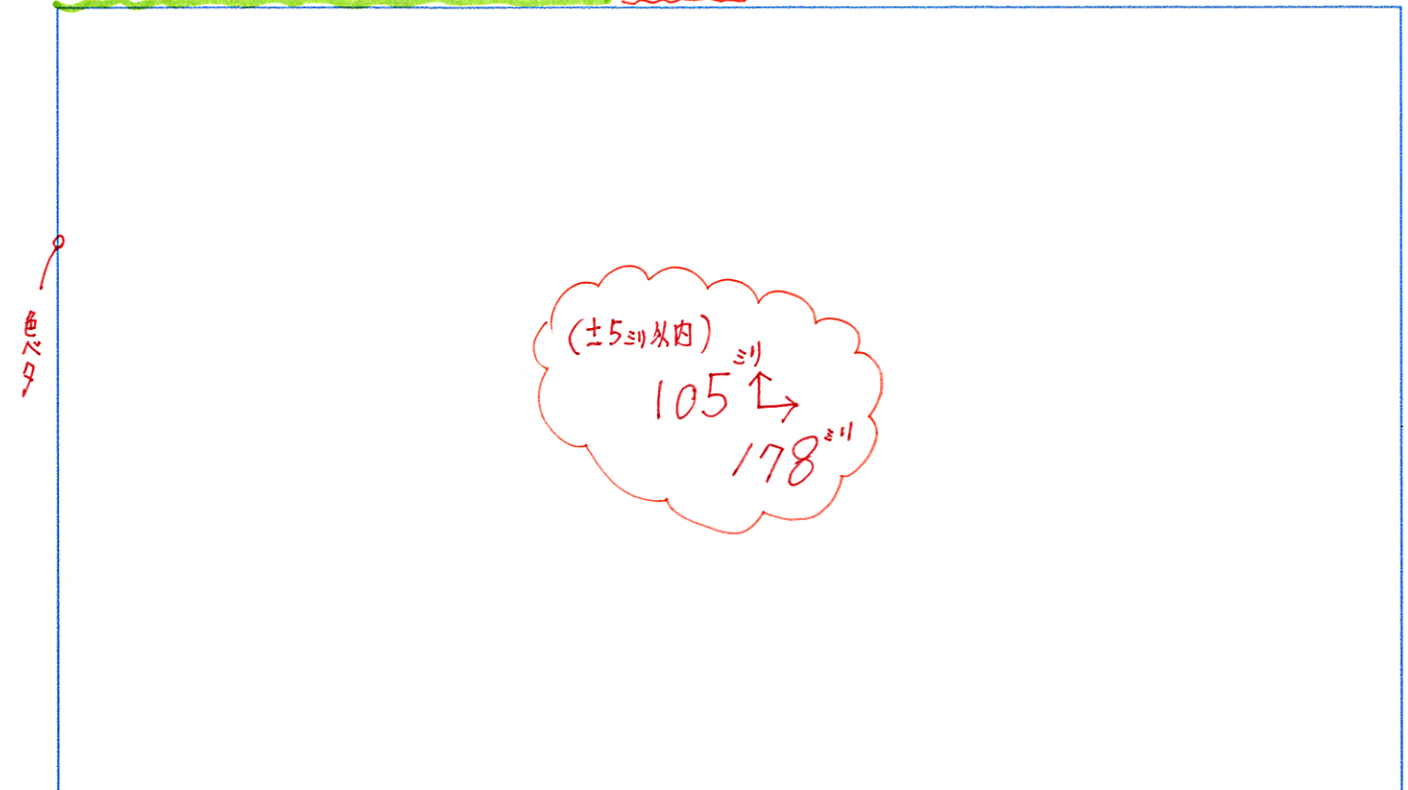
各種 DLT とその特徴

さまざまな種類の DLT があるが、基本的な構造はどのメーカーの製品も大きくは変わらない。各製品の特長を挙げると、ポーテックス・ブルーライン (ICU Medical 社、米国) やクーデック* (大研医器社) のような組み立て済みの製品は、箱から取り出してすぐに使用できるため、準備の手間がかからず、組み立てミスも起きない。またシリコン製 DLT (ファイコン、富士システムズ社) は柔らかく、先端のらせん入り構造は気切孔がある患者などで気道損傷を予防するために使用することができる。ブロンコ・キャス (Covidien 社、米国) はチューブ内の透明度が高く、気管支ルーメンからファイバーを引き抜いてきた際にカーリーナを観察しやすい (図2)。

ビデオ喉頭鏡やその他の有用な医療機器や資材はあるか

ビデオ喉頭鏡を使用した DLT の挿管については、声門の視認性が良好であったとする報告^{7,8)}があり、声門視野が限られている場合や頸部の可動域制限、肥満患者などでは有用かもしれない。

▼図4 分離肺換気中の低酸素血症への対応のアルゴリズム (文献4より)



い。しかし、直視型喉頭鏡よりも挿管時間や成功率に大きな差があるという報告は乏しく、普段から挿管操作に慣れている麻酔科医であれば、どちらの喉頭鏡を使用しても問題ないと考えられる。強弯曲ブレード使用時は、DLT もスタイレットで同様のカーブに調整する必要がある。

チューブ位置異常とヒューマンエラーの防止策

日常臨床では、チューブ誤留置や手術操作により位置がずれて低酸素血症になる頻度が高い。まずは DLT が正しい位置にあることをファイバーで確認する。また分離肺換気時のクランプの左右間違いやクランプ鉗子の誤った使用など、ヒューマンエラーによる合併症の発生もたびたび報告されている。金属製のクランプ鉗子は重量があり、チューブの位置ずれや事故抜去の原因となる。当院では軽量化したディスプレイザブルタイプの鉗子を採用している (図4)。また執刀前のタイムアウトで、麻酔科医がクランプ側を宣言することをルール化している。加えて、覆布が頭部全体を覆ってしまうと、チューブの視認性が低下し、ヒューマンエラーにつながりやすい。頭部は覆布から必ず出し、チューブにすぐアクセスできるように管理する。ロボット支援下胸腔鏡手術 (RATS) など覆布が頭部にもかかる場合は、透明ドレープを使用している。

■その後の経過

術者に声をかけて、OLV 分離肺換気を中止し両肺換気にした。担当麻酔科医は指導医とともにファイバーで DLT の位置をチェックしたところ、右主気管支にチューブ先端が留置されていた。DLT を気管の中間まで引き抜き、ファイバーガイド下でチューブ先端を左主気管支に再留置したところ、すみやかに SpO₂ は 98% となり、換気量も増加した。予定手術を無事に完遂し、退室となった。

対処法

低酸素血症が著しい場合 ($\text{SpO}_2 < 90\%$) はまず術者に手を止めてもらい、吸入酸素濃度 (FiO_2) を 100% まで上げてから両肺換気を行い、すみやかに酸素化を改善させた後に原因検索を行う。したがって、本症例では SpO_2 が 85% に低下するまで両肺換気にしなかったのは問題である。低酸素血症の原因には患者や手術要因、チューブ位置異常を考慮する必要がある。分離肺換気中に低酸素血症が発生した場合、まずはチューブが適切に留置できているかファイバーで確認する。その後、分泌物によるチューブの閉塞を除外したら、100% 酸素の使用や人工呼吸器の設定の調整、適切な血行動態の維持、換気血流比不均衡の是正、持続気道陽圧 (CPAP) を非換気肺に適用、間欠的な両肺換気の実施などで対応していく (図 5)。また術野で非換気側肺の肺動脈をクランプするとシャントは減少し、酸素化の改善につながる。 ?

キーワード

低酸素血症
ファイバーガイド法
ヒューマンエラー

まとめ

- DLT の適切な留置にはファイバーガイド法が有用である。
- 気管支の解剖学的特徴やファイバーからみえる view を把握することで正確なチューブの留置ができる。
- 側臥位にしてからももう一度ファイバーで留置位置を確認し、執刀前に分離肺換気を施行して様子を確かめる (換気量異常など)。
- クランプ側の取り違いなどのヒューマンエラーを防止するために、手術チーム全体で分離肺換気の情報を共有する。
- 低酸素に遭遇したら、 SpO_2 90% を下回る前に術者に伝えて両肺換気にしてから原因検索をする。

↔ 136.5%

さらなる学習のために

- Graneli Gil M, Şentürk M, eds. Anesthesia in Thoracic Surgery : Changes of Paradigms. Heidelberg : Springer, 2020. 胸部外科手術の内容を網羅した教科書。日本語の類書は見当たらない。
- Peter Slinger. Principles and Practice of Anesthesia for Thoracic Surgery. Heidelberg : Springer, 2019. 胸部外科における体液管理、片肺換気のトラブルシューティング、肺および気道手術のための術中 ECMO、肺超音波、肺高血圧症患者的肺切除術など最新の包括的なレビューであり、実臨床に役立つ。

文献

1. Rozé H, Lafargue M, Ouattara A. Case scenario : Management of intraoperative hypoxemia during one-lung ventilation. Anesthesiology 2011 ; 114 : 167-74.
2. Shum S, Huang A, Slinger P. Hypoxaemia during one lung ventilation. BJA Educ 2023 ; 23 : 328-36.
3. Smith G, Hirsch N, Ehrenwerth J. Placement of double-lumen endobronchial tubes. Correlation between clinical impressions and bronchoscopic findings. Br J Anaesth 1986 ; 58 : 1317-20.
4. Moharir A, Yamaguchi Y, Aldrink JH, et al. Point-of-care lung ultrasound to evaluate lung isolation during one-lung ventilation in children : a blinded observational feasibility study. Anesth Analg 2024 ; 139 : 1294-9.
5. Park M, Ahn HJ, Kim JA, et al. Driving pressure during thoracic surgery : a randomized clinical trial. Anesthesiology 2019 ; 130 : 385-93.
6. Seo JH, Bae JY, Kim HJ, et al. Misplacement of left-sided double-lumen tubes into the right mainstem bronchus : incidence, risk factors and blind repositioning techniques. BMC Anesthesiol 2015 ; 15 : 157.
7. Yao W, Li M, Zhang C, et al. Recent advances in videolaryngoscopy for one-lung ventilation in thoracic anesthesia : a narrative review. Front Med (Lausanne) 2022 ; 9 : 822646.
8. Bakshi SG, Gawri A, Divatia JV. McGrath MAC video laryngoscope versus direct laryngoscopy for the placement of double-lumen tubes : a randomised control trial. Indian J Anaesth 2019 ; 63 : 456-61.