

報告

3D気管支モデルを用いた 胸腔鏡・ロボット支援下気管支スリーブ切除のシミュレーション

橋本 浩平

杏林大学医学部呼吸器・甲状腺外科学教室

肺動脈モデル

背景：気道支再建を臨床経験のみで習得するのは容易ではない。これを解決すべく、我々はCTデータを基にした模擬手術可能な3D気管支トレーニングモデルを開発して2023年に上市した。肺動脈再建も同様な状況にあり、今回肺動脈モデルを開発した。

結果：既存の気管支モデルに取り付ける形として、肺動脈モデルが作成できた（図1）。実際の手術症例は77才女性で、4.0cm大に腫大した#11sリンパ節転移を有する右上葉原発の扁平上皮癌（cT1bN1M0）に対して、術前化学放射線療法後に気管支・肺動脈ダブルスリーブ右上葉切除術（N1節外浸潤）を施行した。肺動脈は第1分枝のすぐ中枢で切離して、末梢はascending A2のすぐ末梢かつA6A5を温存するラインで切離した。気管支の中枢は上葉気管支すぐ頭側、末梢は中葉支入口部のすぐ頭側のラインで切離した。気管支は4-0モノフィラメント吸収糸で最深部はパラシュート法を用いた連続縫合、残りは単結紉で縫合した。肺動脈は5-0モノフィラメント非吸収糸で2点指示法を用いて連続縫合した。同一術者がモデルで模擬手術を行い手技が再現できた。

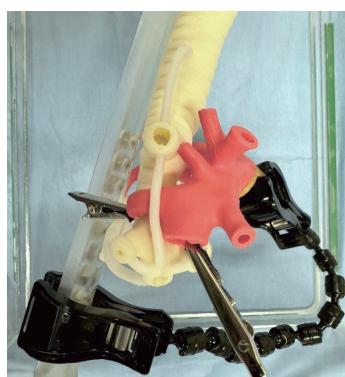


図1

さらに、肺動脈形成術の経験がある呼吸器外科専門医4名でモデルを5ポイントスケールで評価し、おおむね良好な評価を得た（表1）。

結語：今回の研究で、精緻な肺動脈モデルが作成でき、実際のダブルスリーブ再建術が再現できた。本モデルを用いたトレーニングは場所の制限がなく、修練に重要な反復練習も可能となる。肺動脈モデルも社会実装を目指す。

胸壁モジュール

背景：鏡視下手術における気管支形成は近年増えつつあるが、既存のトレーニングには課題がある。

結果：これまで開発した3D気道モデルに加えて胸腔鏡下、ロボット支援下で気管支形成術のシミュレーションを可能とするシステムを作成した。胸腔鏡・ロボット支援スリーブ切除のトレーニングを可能にするモジュールに関しては、図2のように完成しており、実際に各アプローチでの

表1

	専門医1	専門医2	専門医3	専門医4	中央値(範囲)
臨場感	5	3	5	4	4.5[3-5]
剛性	5	3	3	2	3.0[2-5]
弾性	4	4	4	4	4.0[4-4]
針への抵抗	4	4	4	2	4.0[2-4]
結紉時の抵抗	5	4	4	4	4.0[4-5]



図2

気管支スリーブ切除のシミュレーションが可能であることを確認できた。ポートの干渉など、胸壁モジュールに関連するトラブルはなかった。

まとめ：開発済である3D気道モデルに胸壁モジュールを追加することで、胸腔鏡下およびロボット支援下による気管支スリーブ切除術のシミュレーションが可能となった。今後、適応の拡大が予想される低侵襲手術におけるスリーブ切除術を導入していくサポートとして有用な可能性がある。

考察

気管支スリーブ切除術は術者の習熟度が、直接術後の合併症や患者の予後に関わってくるため十分な修練が必要である。一方で修練を積むための十分な症例数を確保できない施設が多いといった問題点がある。特に肺動脈のダブルスリーブ切除や、低侵襲手術でのスリーブ切除においては運針や糸さばきの難易度がさらに上がるため、より綿密なシミュレーションが必要となる。

本研究では、先に開発気道モデルと組み合わせて、ダブルスリーブ切除を可能とする肺動脈モデル、さらに低侵襲下でのスリーブ切除をシミュレートできる胸壁モジュールの作成に成功した。我々の知る限り、文献で報告された最初のダブルスリーブ気管支肺動脈形成トレーニングモデル、および低侵襲手術における模擬臓器を用いた気管支吻合トレーニングである。

手術トレーニングとして動物や死体を用いたシミュレーションが普及しているが、これらのトレーニング方法には、コスト、解剖学的差異、動物倫理的な問題など多くの課題がある。特に低侵襲手術においてはモニターやロボットが

必要となり、アクセスの面での問題が大きい。モデルを用いたトレーニングは場所を選ばず反復したシミュレーションを可能とする。これは新規技術の習得には特にメリットがあると考えられる。

本研究では実際の肺がないための実際の手術と手技が若干異なる可能性、吻合部のリークテストができるいない点、また試行回数の問題から実際のトレーニング効果を証明できていないなどの制約があり、これらの点に注意する必要がある。トレーニングの有効性をさらに検証するためには、プロスペクティブな多施設共同研究が必要である。

今後の展望

本肺動脈・血管モデルに関しては、既に成果をまとめて2024年日本呼吸器外科学会にて「気管支・肺動脈ダブルスリーブ再建のトレーニングモデル」として発表した。さらに、論文としても「A 3-dimensional model for bronchial and arterial sleeve resection」JTCVS techniques 2024 onlineとして発行している。

胸壁モジュールの研究結果は、抄録として現在2025年の日本呼吸器外科学会に提出中である。こちらも、国際学会での発表と論文化を予定している。また、今回共同研究として採用頂いた「気管支再建手術の個別化シミュレーションプログラムの開発」でも、本モジュールを活用する予定である。最終的にはこの個別化シミュレーションプログラムを医療機器としての認証・臨床応用を目指しており、このために必要な前向き観察研究を計画して、杏林・慶應・慈恵・成育医療研究センターとの共同研究のスキームでAMEDに予算の申請をしている。