

ロボット技術で進化する呼吸器外科の低侵襲手術

呼吸器外科の分野においても、2018年4月の診療報酬改定により、肺癌の肺葉切除や縦隔腫瘍に対するロボット手術が保険適応となりました。これに伴い、全国でロボット手術を実施する施設が増加しています。さらに、その後の診療報酬改定で（表1参照）ロボット手術の適応が広がり、施行例も年々増え続けています。

表1 呼吸器外科 ロボット手術保険収載術式

1.	胸腔鏡下肺悪性腫瘍手術（肺葉切除または1肺葉を超えるもの）
2.	胸腔鏡下肺悪性腫瘍手術（区域切除）
3.	胸腔鏡下縦隔悪性腫瘍手術
4.	胸腔鏡下良性縦隔腫瘍手術
5.	胸腔鏡下拡大胸腺摘出術(重症筋無力症に対する)
6.	胸腔鏡下肺切除術（肺葉切除または1肺葉を超えるもの）肺良性
7.	胸腔鏡下肺切除術（区域切除）肺良性

はじめに

当科では、2018年9月から現有ロボットである da Vinci Xi を用いた手術を開始し、主に肺癌や縦隔腫瘍に対するロボット手術を積極的に行ってきました。我々の経験と理解が深まる中で、他の医療施設との情報共有を通じて、ロボット手術は開始当初よりさらに低侵襲な手法へと進化しています。

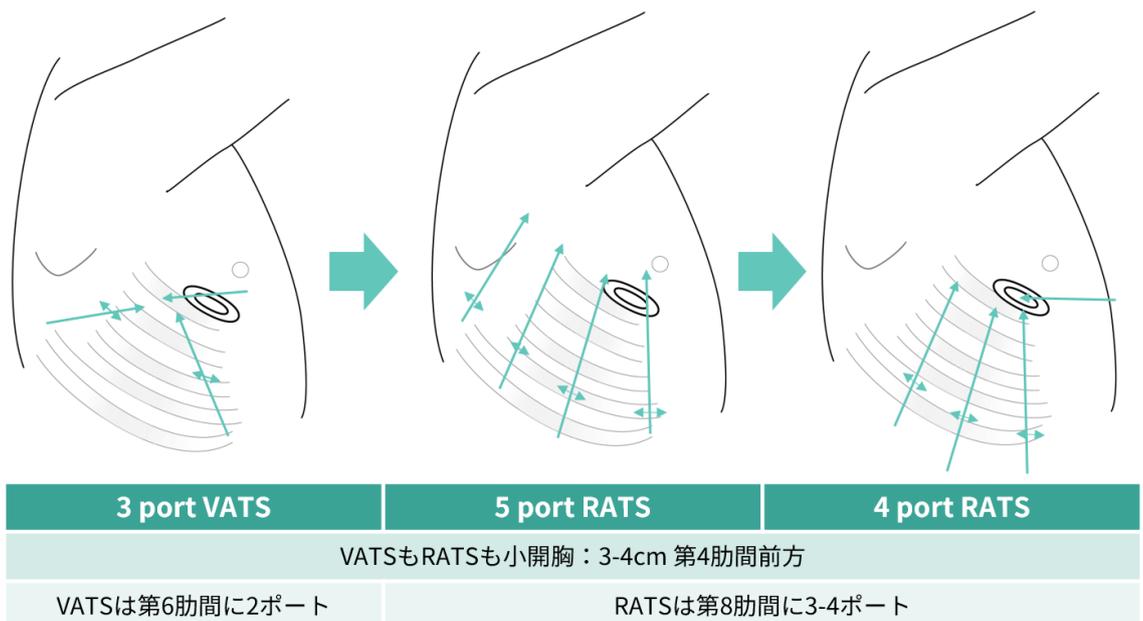
当院での患者さんにとって最適な治療を提供するために改良してきた様々な取り組みについてご紹介します。

ロボット手術の傷口を最小限に抑え、手術時間を従来の胸腔鏡手術とほぼ同じにすることで、安全性を確保しつつ、根治性（病変をしっかりと取って治す）の向上も実現しています。当院がどのようにしてこれらを両立させているか、具体的な術式や症例を交えて、技術の向上に対する取り組みを詳しくお伝えします。

当院で行ってきた肺癌ロボット手術における適応拡大と ダメージ軽減のためのポート配置の変更

1. 当院では2018年以前、肺癌の肺葉切除や区域切除を胸腔鏡手術（VATS：Video-Assisted Thoracoscopic Surgery）または開胸手術で行っていました。従来の胸腔鏡手術では、3か所のポートを用いて3～4本の鉗子を挿入し、第4肋間の小開胸から標本を取り出していました。
2. ロボット手術の導入当初は、ロボットのアームを4本使用し、4か所のポートに加えて、胸腔鏡と同様に第4肋間に3cmの助手用小開胸を設けていました。この合計5ポートを基本とした手術を定型化し、安全に症例を重ねることで、ロボット手術の技術を習得しました。また、進行肺癌や気管支形成を伴うような、開胸アプローチが望ましい難易度の高い拡大手術症例にも適応を拡げています。
3. 次のステップとして、ポートの数を減らす工夫を進めました。特に最背側のポートは、出血や肋間神経へのダメージのリスクがあり、それを軽減するため、このポートを省略し、最背側のアームを助手用小開胸から挿入する形に改良し、4ポートでの手術を実現しました。これにより、患者さんへの負担をさらに軽減し、安全かつ効果的な治療を提供できるようになりました。（図1）

図1 胸腔鏡（VATS）からロボット手術（RATS）へ ポート配置



さらなるポート削減で、より低侵襲な手術を実現

1. 単孔式胸腔鏡手術：スキルと経験で胸壁へのダメージを最小限に

胸腔鏡手術においても、ポートの数を減らす試みが進んでおり、単孔式（創が一つ）胸腔鏡手術は全国の多くの施設で実施されています。気胸などの肺部分切除に留まらず、肺葉切除や区域切除まで行う施設も増加しています。単孔式手術は、3~4cmほどの小開胸1か所から複数の器械やカメラを挿入して行われます。

細くて先端が曲がった鉗子や吸引管、自動縫合器を使用し、デバイスの干渉を考慮しながら手術を進める必要があります。場合によっては、両手の鉗子をクロスさせて操作することもあります。単孔式手術は多孔式に比べて難易度が高く、スキルと経験が求められます。

また、術者のスキルに加え、助手のアシストも非常に重要です。つまり、単孔式手術は多孔式よりも難易度が上がるものの、傷が1か所で済むため、患者さんの胸壁へのダメージは最小限に抑えられます。

2. ロボット手術の利点活用とポート削減への試み

ロボット手術の主なメリットとして、(1) 3D視された術野での高い鉗子の可動性や自由度が高く精度の高い手術が可能であること、(2) 4本のアームがあり、カメラや術者の両手以外に切り替え可能なもう一本のアーム（通称サードアームといいます）があることで、術者自身が術野の展開、すなわち自分で助手の役割を担える点が挙げられます。術者はコンソールに座りながら手術を行うため、身体的にも、さらには心理的にも負担が軽減され、ロボットの機能を十分に活用することで手術の難易度は低下します。

しかしながら、ロボット手術は多孔性の手術が基本であり、従来の3ポート胸腔鏡手術から5ポート、4ポートのロボット手術に変更しても、従来の3ポートの胸腔鏡と同等とは言えません。使用するアームを3本に限定すれば、3ポートの胸腔鏡と同等になりますが、これではロボット手術のメリットが一部失われます。

全国的に、胸腔鏡手術と同様に、ロボット手術においてもポートの数を減らす試みが進んでおり、当科で行われているポート数を減らす「reduced port surgery」の実践についてご紹介いたします。

2 か所の傷から行うロボット手術(DRATS)へ

ポート削減のためのアーム配置の変更

4つのアームをすべて活用して、以前と同等の手術を行いつつポート数を減らすには、3～4cmの小開胸部分から複数のアームを挿入する必要があります。これは、単孔式胸腔鏡手術の手法を応用し、小開胸創から胸腔鏡の鉗子とカメラを挿入するのと同様に、ロボットの3本のアーム（術者の左手、右手、カメラ）を挿入することを意味します。さらに尾側に1ポートを追加することで4アームをすべて使用できます。この追加された尾側のポートからサードアームや自動縫合器を使用することで、手術をスムーズに進行させることができます。2か所の創で行うロボット手術は、DRATS（Dual port Robotic Assisted Surgery）と呼ばれています。

当科の基本形である4ポートから2か所ポートを減らした形なので、4ポートのロボットに習熟している当院では2ポートへの移行は難しくありませんでした。

肺癌手術：DRATSの実践方法

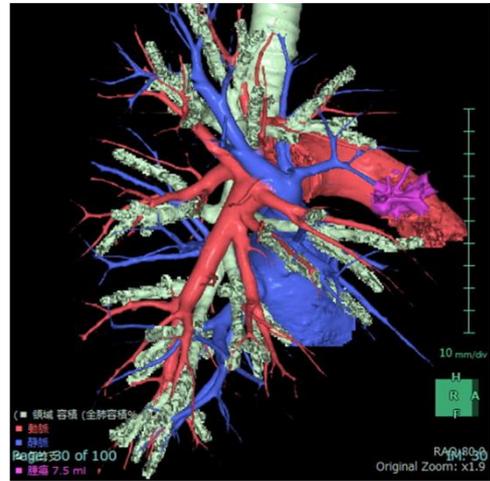
1か所の小開胸創から3本のアームを挿入して手術を行うため、アーム間の干渉を回避しつつ、鉗子の可動範囲を最大限に活かすためには、いくつかの工夫が必要です。クロスハンド手法を応用し、鉗子同士の干渉を減らします。ロボット手術では、各アームの鉗子をどちらの手（左手、右手）で操作するかを自由に設定できる機能が付いていますので、クロスハンドの状況でも自然な鉗子操作が可能です。これはロボット手術ならではの機能です。

症例 右中葉肺腺癌

60代男性、非喫煙者。上中葉間不全分葉で、腫瘍は右上葉に浸潤していた。

術式：DRATS 右肺中葉切除＋上葉部分合併切除＋縦隔リンパ節郭清

図2 右中葉肺腺癌 上葉浸潤あり



縦隔腫瘍に対するロボット手術の進化

前縦隔悪性腫瘍におけるロボット手術のポート配置

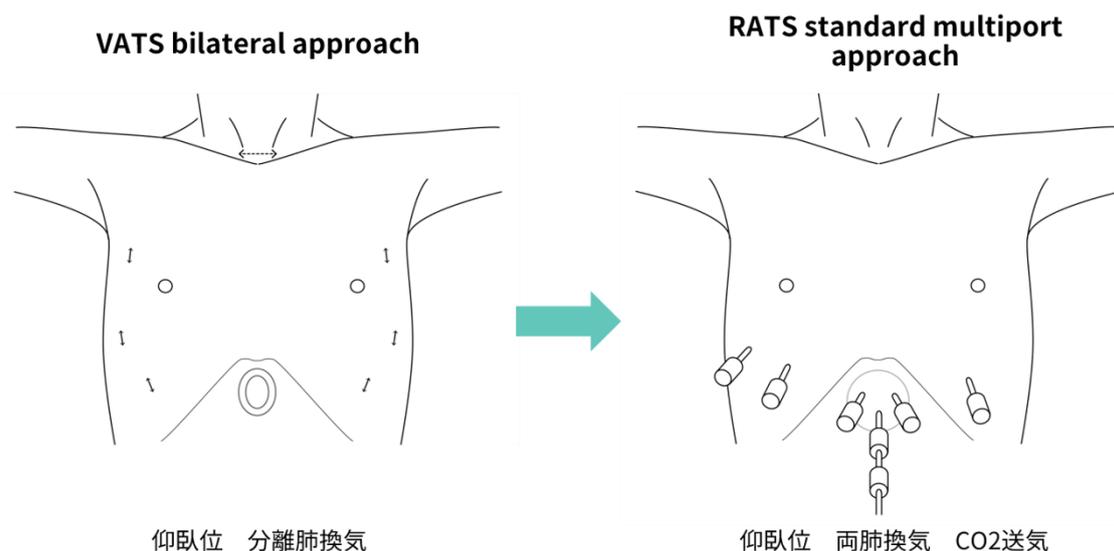
2018年以前、胸腺腫および胸腺がんに対する胸腺全摘は、状況に応じて以下の方法を使い分けていました。

1. 右胸腔からの3ポート+剣状突起下アプローチ
2. 両側胸腔鏡アプローチ
3. 胸骨正中切開アプローチ

しかし、2018年以降は、これらをすべてロボット手術に移行しました。

ロボット手術導入時には、胸腺腫に対する胸腺全摘に4つのアームを使用し、剣状突起下に3~4cmの切開を加え、右に2か所、左に1か所のポートを挿入して手術を行ってきました。カメラと助手のサポートは剣状突起下から入り、両肺換気下で両側の縦隔胸膜を切開、CO2送気により両肺を虚脱させ、腹側にできたスペースで手術を進めます。胸骨正中切開が必要と思われる大きな浸潤型胸腺腫もこの方法で切除可能です。胸腔鏡手術も同様ですが剣状突起下の傷から腫瘍は摘出します。(図3)

図3 両側胸腔鏡⇒RATS導入時剣状突起下+肋間アプローチ(3ポート)



1~2 か所の傷から行うロボット手術への進化

剣状突起下のみ、または剣状突起下に加え側胸部に1ポートを追加するアプローチに変更しました。

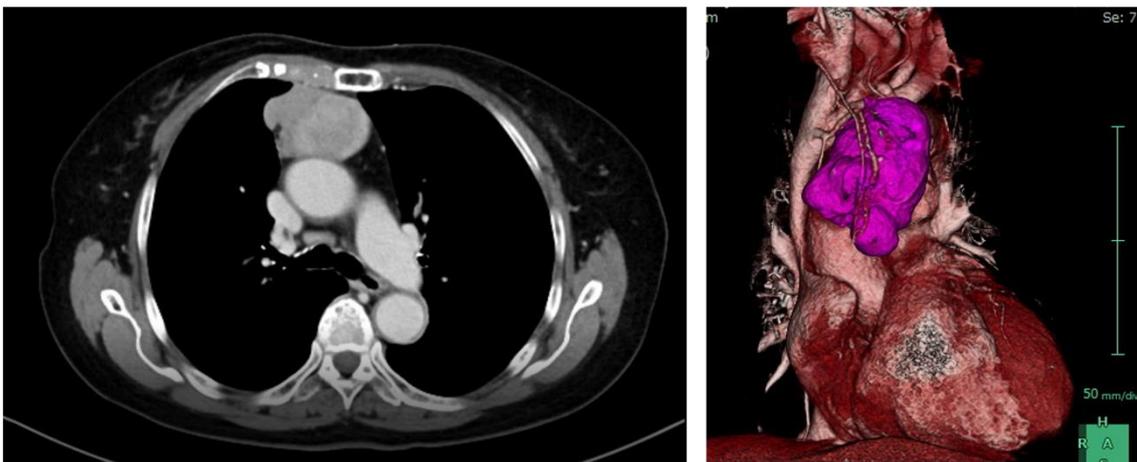
症例 浸潤型胸腺腫

80代女性、抗アセチルコリン受容体抗体弱陽性。

術式：2ポートによる剣状突起下アプローチでのロボット支援胸腔鏡下胸腺全摘を施行。

(図4)

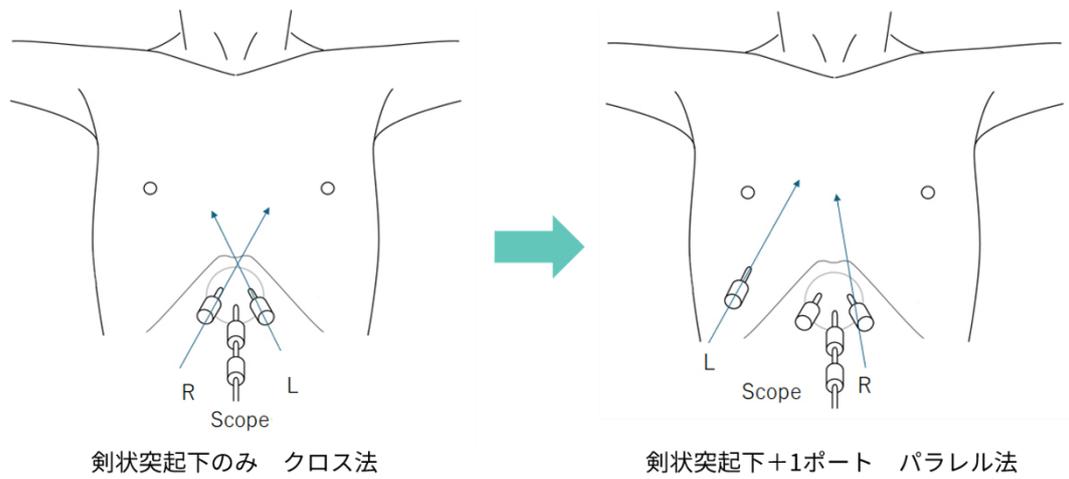
図4 浸潤型胸腺腫⇒剣状突起下+1ポートアプローチ ロボット支援胸腔鏡下胸腺全摘術



ポート数を4から減らすには、剣状突起下からカメラを含む3本のアームを挿入します。剣状突起下からカメラと2本の鉗子が入りますが、肺癌のDRATSと同様に、左右の鉗子をクロスしますが、術者は自然に鉗子を操作できます。アームを1本省略し、剣状突起下からの単孔手術で胸腺全摘も可能です。

しかし、クロス法では最頭側の剥離が難しい場合があるため、通常は右胸腔に1ポートを追加し、2か所の傷で手術を行います。この際、左手の鉗子を右胸腔に追加したポートから挿入し、左右の鉗子を平行に使用するパラレル法に切り替えます。(図5)

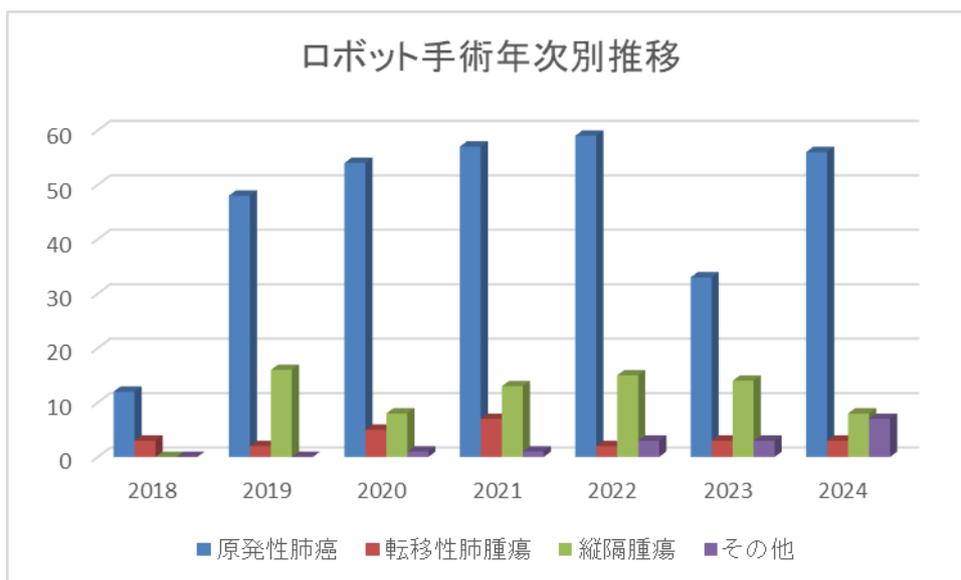
図 5 Reduced port RATS：剣状突起下 ± 右の1ポート



この方法により、(1) 10cm 近くある大きな胸腺腫 (2) 肺、無名静脈、心嚢への浸潤を伴い、合併切除や再建が必要な浸潤型胸腺腫に対しても 2 か所の傷で対応可能です。

当科の手術成績：ロボット手術の実績

2018年9月から2024年12月の間に、当科では合計433例のロボット手術を実施しました。



現在(2025年2月)、当科には呼吸器外科専門医のロボット術者が3名おり、手術時間は胸腔鏡手術とほぼ同じ時間で行えるようになりました。具体的には、肺癌の手術時間は2~3

時間、術後の入院日数は5日です。縦隔腫瘍に関しては、胸腺全摘で約3時間の手術時間、術後の入院日数は3~4日となっています。

安全性の観点では、ロボットを一旦外して開胸または胸腔鏡に移行した症例が3例ありました。いずれも出血がコントロールされた状態でのコンバージョンで、進行肺癌の肺動脈浸潤例が2例、アームによる胸壁損傷が1例でした。

当科では豊富なロボット手術の経験を活かし、患者さんに最小限のダメージで低侵襲な手術を提供しています。癌の根治性を向上させると同時に、患者さんのQOL（生活の質）の維持にも貢献できればと考えています。