

**EVALUACIÓN DE LA CIRUGÍA TORÁCICA ASISTIDA
POR ROBOT EN LA RESECCIÓN PULMONAR
ANATÓMICA: IMPACTO EN LOS RESULTADOS
PERIOPERATORIOS, LA ESTADIFICACIÓN
GANGLIONAR Y LOS RESULTADOS ONCOLÓGICOS**

TESIS DOCTORAL

CLARA FORCADA BARREDA



**VNiVERSIDAD
D SALAMANCA**

Directores:

Dr. D. Marcelo Fernando Jiménez López

Dra. Dña. María Teresa Gómez Hernández

FACULTAD DE MEDICINA

DEPARTAMENTO DE CIRUGÍA

DECLARACIÓN

PROF. DR. MARCELO F. JIMÉNEZ LÓPEZ, CATEDRÁTICO DEL DEPARTAMENTO DE CIRUGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA,

CERTIFICA

Que la Tesis Doctoral que presenta al superior juicio del Tribunal, que designe la Universidad de Salamanca, Doña **Clara Forcada Barreda**, titulada **“EVALUACIÓN DE LA CIRUGÍA TORÁCICA ASISTIDA POR ROBOT EN LA RESECCIÓN PULMONAR ANATÓMICA: IMPACTO EN LOS RESULTADOS PERIOPERATORIOS, LA ESTADIFICACIÓN GANGLIONAR Y LOS RESULTADOS ONCOLÓGICOS”**, ha sido realizada bajo mi supervisión, siendo expresión de la capacidad científica de su autor, que lo hacen acreedor del título de Doctor, siempre que así lo considere el citado tribunal.

Fdo.: Prof. Dr. Marcelo F. Jiménez López

Salamanca, a 25 de enero de 2026

DECLARACIÓN

PROF. DRA. MARÍA TRESA GÓMEZ HERNÁNDEZ, PROFESORA ASOCIADA DEL DEPARTAMENTO DE CIRUGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA,

CERTIFICA

Que la Tesis Doctoral que presenta al superior juicio del Tribunal, que designe la Universidad de Salamanca, Doña **Clara Forcada Barreda**, titulada **“EVALUACIÓN DE LA CIRUGÍA TORÁCICA ASISTIDA POR ROBOT EN LA RESECCIÓN PULMONAR ANATÓMICA: IMPACTO EN LOS RESULTADOS PERIOPERATORIOS, LA ESTADIFICACIÓN GANGLIONAR Y LOS RESULTADOS ONCOLÓGICOS”**, ha sido realizada bajo mi supervisión, siendo expresión de la capacidad científica de su autor, que lo hacen acreedor del título de Doctor, siempre que así lo considere el citado tribunal.

Fdo.: Prof. Dra. M.^a Teresa Gómez Hernández

Salamanca, a 25 de enero de 2026

Agradecimiento

Deseo expresar mi agradecimiento al Dr. Marcelo Jiménez, por su dirección académica, su supervisión continuada y la confianza depositada a lo largo de este trabajo, así como por su papel en mi formación como especialista.

Mi reconocimiento especial a la Dra. María Teresa Gómez, por su dedicación constante, su rigor científico y su implicación directa en el desarrollo de este proyecto. Su orientación ha sido fundamental tanto en la elaboración de este trabajo como en mi aprendizaje clínico y académico.

Hago extensivo mi agradecimiento a todos los miembros del Servicio de Cirugía Torácica, incluido el personal de enfermería, por su profesionalidad y colaboración constantes, que han hecho posible tanto este trabajo como mi formación durante estos años.

**EVALUACIÓN DE LA CIRUGÍA TORÁCICA ASISTIDA
POR ROBOT EN LA RESECCIÓN PULMONAR
ANATÓMICA: IMPACTO EN LOS RESULTADOS
PERIOPERATORIOS, LA ESTADIFICACIÓN
GANGLIONAR Y LOS RESULTADOS ONCOLÓGICOS**

TESIS DOCTORAL

CLARA FORCADA BARREDA



**VNiVERSIDAD
D SALAMANCA**

Directores:

Dr. D. Marcelo Fernando Jiménez López

Dra. Dña. María Teresa Gómez Hernández

FACULTAD DE MEDICINA

DEPARTAMENTO DE CIRUGÍA

Resumen

La resección quirúrgica continúa siendo el pilar fundamental del tratamiento del cáncer de pulmón no microcítico (CPNM) en estadios iniciales y potencialmente resecables. En las últimas décadas, la cirugía mínimamente invasiva ha sustituido progresivamente a la toracotomía convencional gracias a su asociación con una menor agresión quirúrgica y una recuperación postoperatoria más favorable. Dentro de este contexto, la cirugía torácica asistida por robot (RATS) ha experimentado una expansión significativa, si bien su impacto real frente a la cirugía torácica videoasistida (VATS) sigue siendo motivo de debate, especialmente en relación con los resultados perioperatorios, la calidad oncológica de la resección y los resultados oncológicos a medio plazo. La presente tesis doctoral, estructurada como un compendio de artículos, analiza de forma integral estos aspectos mediante cuatro estudios complementarios realizados en un centro de alto volumen.

El primer estudio se centra en la evaluación de los resultados postoperatorios en pacientes con mayor complejidad técnica, concretamente aquellos con sobrepeso u obesidad. A través de un análisis retrospectivo con emparejamiento por puntuación de propensión, se comparan los resultados de la resección anatómica pulmonar realizada mediante RATS y VATS. Los hallazgos demuestran que, en pacientes con un índice de masa corporal ≥ 25 kg/m², la RATS se asocia a una reducción significativa de las complicaciones cardiopulmonares y de la neumonía postoperatoria, sin diferencias en la morbilidad global ni en la incidencia de complicaciones mayores. Estos resultados sugieren que las ventajas técnicas del sistema robótico —como la visión tridimensional, la mayor precisión instrumental y la estabilidad de los movimientos— pueden traducirse en beneficios clínicos tangibles en subgrupos de mayor riesgo, donde las limitaciones técnicas de la VATS pueden ser más evidentes.

Sobre esta base, el segundo estudio explora el valor añadido del abordaje robótico como plataforma para la incorporación de técnicas innovadoras orientadas a mejorar la

estadificación intraoperatoria. En concreto, se evalúa la factibilidad y seguridad de la identificación del ganglio centinela mediante fluorescencia infrarroja con verde de indocianina en pacientes sometidos a resección anatómica pulmonar RATS. Los resultados muestran que esta técnica es segura, reproducible y permite identificar el ganglio centinela en una proporción relevante de pacientes, con capacidad para detectar enfermedad ganglionar no sospechada preoperatoriamente. Además, el análisis preliminar del seguimiento sugiere una posible correlación entre la negatividad del ganglio centinela y una mejor supervivencia libre de enfermedad (SLE), lo que refuerza el potencial de esta estrategia para optimizar la estadificación patológica y, en última instancia, la toma de decisiones terapéuticas.

El tercer eje de la tesis se centra en la calidad oncológica de la resección, un aspecto clave en la cirugía del cáncer de pulmón. En este sentido, el tercer estudio incluido analiza de forma prospectiva el impacto del abordaje mínimamente invasivo en la radicalidad oncológica, definida como la obtención de una resección completa. Mediante un análisis emparejado por solapamiento de puntuaciones de propensión, se demuestra que la RATS y la VATS ofrecen resultados equivalentes en términos de resección completa, enfermedad residual y adecuación de la linfadenectomía. No obstante, la RATS se asocia de manera consistente con una disección ganglionar más extensa, evidenciada por un mayor número de estaciones mediastínicas exploradas y de ganglios resecaos. Este hallazgo sugiere que, aunque ambos abordajes son oncológicamente válidos, la RATS podría favorecer una estadificación más exhaustiva, con potencial impacto en la precisión del estadio patológico.

Finalmente, el cuarto estudio evalúa si las diferencias observadas en los resultados perioperatorios y en la calidad de la linfadenectomía se traducen en beneficios oncológicos a medio plazo. En una cohorte de pacientes con CPNM en estadio clínico IA, la resección

anatómica pulmonar RATS demuestra ser un procedimiento seguro, con tasas de morbilidad comparables a la VATS. Durante el seguimiento, la RATS se asocia a una menor tasa de recurrencia tumoral, si bien no se observan diferencias significativas en la supervivencia global (SG) ni en la SLE. Estos resultados respaldan la eficacia oncológica de la RATS en estadios precoces y sugieren que una resección técnicamente más precisa y una linfadenectomía más extensa podrían contribuir a un mejor control de la enfermedad, incluso en ausencia de diferencias en supervivencia a medio plazo.

En conjunto, los estudios que conforman esta tesis doctoral aportan una visión integral del papel de la RATS en el tratamiento quirúrgico del cáncer de pulmón. Los resultados indican que la RATS es una alternativa segura y eficaz a la VATS, con ventajas específicas en pacientes de mayor complejidad, una mayor capacidad para integrar técnicas avanzadas de estadificación y una linfadenectomía más extensa, manteniendo resultados oncológicos al menos equivalentes a medio plazo. Estas evidencias contribuyen a una mejor definición del lugar que debe ocupar la RATS en la práctica clínica actual y proporcionan una base sólida para futuras investigaciones orientadas a optimizar la selección de pacientes y las estrategias quirúrgicas en el cáncer de pulmón.

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Magnitud del cáncer de pulmón como problema de salud pública	14
1.2. Clasificación histológica y estadio al diagnóstico	15
1.3. Tratamiento quirúrgico del cáncer de pulmón en estadio inicial.....	16
1.4. Radicalidad oncológica y papel de la linfadenectomía	19
1.5. Abordajes mínimamente invasivos en cirugía pulmonar	22
1.6. Cirugía torácica asistida por robot: fundamentos y ventajas técnicas	24
1.7. Evidencia clínica y controversias actuales	27
1.8. Justificación y relevancia de la presente tesis	31
2. HIPÓTESIS	35
3. OBJETIVOS	37
3.1. Objetivo principal	37
3.2. Objetivos secundarios	37
4. PUBLICACIONES ORIGINALES	39
4.1. Robotic-Assisted Thoracoscopic Anatomical Lung Resection Improves Cardiopulmonary Outcomes in Patients With Body Mass Index ≥ 25 kg/m ² : A Propensity Score Matching Analysis	39
4.2. Assessment of Feasibility and Prognostic Value of Sentinel Lymph Node Identification by Near-Infrared Fluorescence in Non-Small Cell Lung Cancer in Patients Undergoing Robotic Anatomic Lung Resections	44
4.3. Impact of Minimally Invasive Surgical Approach on Oncological Completeness of Resection in Lung Cancer Surgery.....	48
4.4. Operative outcomes and middle-term survival of robotic-assisted lung resection for clinical stage IA lung cancer compared with video-assisted thoracoscopic surgery	57
5. DISCUSIÓN	70
6. CONCLUSIONES	81
7. BIBLIOGRAFÍA	83
8. ANEXOS	89
8.1. Anexo 1	90

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Magnitud del cáncer de pulmón como problema de salud pública

El cáncer constituye una de las principales causas de morbilidad y mortalidad a nivel mundial. Según la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, 2022), se registraron aproximadamente 20 millones de nuevos casos de cáncer (incluyendo los cánceres de piel no melanoma) y 9,7 millones de muertes atribuibles a esta enfermedad, estimándose que una de cada cinco personas desarrollará cáncer a lo largo de su vida (1).

El cáncer de pulmón destaca entre los más prevalentes y letales. El riesgo acumulado ajustado por edad de desarrollarlo es del 3,8 % en hombres y del 1,77 % en mujeres (1,2). En 2022, se diagnosticaron 2,5 millones de casos, representando el 12,4 % de todos los cánceres, situándose como el tumor más frecuente a nivel global. Le siguieron el cáncer de mama en mujeres (11,6 %), el colorrectal (9,6 %), el de próstata (7,3 %) y el gástrico (4,9 %) (3).

El cáncer de pulmón también lidera la mortalidad oncológica, con 1,8 millones de fallecimientos, lo que equivale al 18,7 % del total, seguido por el colorrectal (9,3 %), hepatocarcinoma (7,8 %), cáncer de mama en mujeres (6,9 %) y gástrico (6,8 %) (3). Esta elevada mortalidad se explica principalmente por el diagnóstico frecuente en estadios avanzados y por la agresividad biológica de la enfermedad.

Históricamente, la incidencia y mortalidad del cáncer de pulmón han mostrado un crecimiento sostenido, especialmente en hombres. En 2018, este tumor fue responsable de 1.761.000 muertes (18,4 % de las muertes por cáncer), constituyendo la principal causa de mortalidad oncológica en 93 países, incluidos Estados Unidos, Rusia y China. En mujeres, aunque la mortalidad fue menor (aprox. 576.000 fallecimientos), se ha observado un aumento sostenido en regiones como Europa y Estados Unidos. En 2017, el cáncer de

pulmón superó al de mama como principal causa de muerte por cáncer en mujeres en Europa, con una tasa de 14,6 muertes por cada 100.000 mujeres (1,4).

El tabaquismo continúa siendo el principal factor de riesgo. A pesar de una disminución en varios países occidentales, entre el 17 % y el 28 % de la población adulta sigue fumando, con un inicio frecuente en edades tempranas (5). Esto indica que el cáncer de pulmón seguirá constituyendo un problema de salud pública relevante en las próximas décadas, a pesar de los avances en prevención y cribado.

Los programas de cribado mediante tomografía computarizada de baja dosis han mejorado la detección precoz en poblaciones de alto riesgo, reduciendo la mortalidad entre un 20 % y un 24 % según grandes ensayos aleatorizados (5,6).

1.2. Clasificación histológica y estadio al diagnóstico

Desde el punto de vista histológico, el cáncer de pulmón se clasifica principalmente en cáncer de pulmón microcítico (CPM) y no microcítico (CPNM). El CPNM representa aproximadamente el 85 % de los casos, incluyendo adenocarcinoma, carcinoma escamoso, carcinoma de células grandes, adenoescamoso y carcinoides. En las últimas décadas, la incidencia del adenocarcinoma ha aumentado progresivamente. Por lo que respecta al CPM, constituye entre el 10 y 15 % de los casos y se caracteriza por un crecimiento rápido y elevada capacidad de diseminación.

En cuanto al estadio al diagnóstico, solo el 29 % de los cánceres de pulmón se detectan con tumor confinado al sitio primario, un 22 % presenta afectación ganglionar regional y aproximadamente el 44,4 % se diagnostica con enfermedad metastásica (7). La supervivencia global (SG) a cinco años es cercana al 15 %, reflejando la limitada detección precoz, ya que en muchos países menos del 20 % de los casos se diagnostican en estadio I, cuando la enfermedad es potencialmente resecable y curable.

1.3. Tratamiento quirúrgico del cáncer de pulmón en estadio inicial

La resección quirúrgica con linfadenectomía sistemática constituye el tratamiento de referencia para el CPNM en estadios iniciales, siendo la única opción terapéutica con potencial curativo en este contexto. En pacientes con enfermedad localizada, la cirugía ofrece tasas de supervivencia a cinco años que pueden alcanzar el 70–80 % en el estadio IA, disminuyendo progresivamente conforme aumenta el estadio tumoral (8).

Desde la década de 1960, la lobectomía pulmonar anatómica se consolidó como el estándar quirúrgico frente a resecciones más limitadas, a partir del ensayo clásico del Lung Cancer Study Group, que demostró una mayor tasa de recurrencia local y peor supervivencia tras resecciones sublobares no anatómicas en comparación con la lobectomía (9).

Durante décadas, estos resultados justificaron la lobectomía como el procedimiento de elección para el CPNM resecable, independientemente del tamaño tumoral. Sin embargo, el panorama clínico ha cambiado de forma sustancial en los últimos años. La generalización de la tomografía computarizada de alta resolución, los programas de cribado poblacional y el seguimiento estrecho de pacientes de alto riesgo han permitido un aumento significativo en el diagnóstico de tumores pulmonares pequeños, periféricos y en estadios muy precoces. Este cambio epidemiológico ha impulsado un replanteamiento del alcance de la resección quirúrgica, favoreciendo un enfoque más conservador en pacientes seleccionados. En este contexto, la segmentectomía anatómica ha ganado protagonismo como alternativa a la lobectomía en tumores ≤ 2 cm, especialmente en pacientes de edad avanzada, con comorbilidades relevantes, función pulmonar limitada, lesiones periféricas o tumores con patrón en vidrio deslustrado predominante, así como en casos de tumores múltiples o antecedentes de resecciones pulmonares previas (10). A diferencia de la resección en cuña, la segmentectomía respeta los principios oncológicos

al incluir márgenes adecuados y linfadenectomía sistemática, preservando al mismo tiempo mayor cantidad de parénquima pulmonar funcional.

La evidencia científica más robusta que respalda la segmentectomía procede de dos ensayos clínicos aleatorizados multicéntricos de fase III en pacientes con CPNM periférico cT1N0M0 y tumores ≤ 2 cm. El ensayo japonés JCOG0802/WJOG4607L comparó directamente la segmentectomía anatómica frente a la lobectomía en 1106 pacientes con estadio clínico IA. Tras una mediana de seguimiento de 7,3 años, la supervivencia global (SG) a cinco años fue del 94,3 % en el grupo de segmentectomía frente al 91,1 % en el grupo de lobectomía, cumpliéndose el criterio de no inferioridad y mostrando incluso una ligera ventaja a favor de la segmentectomía. La supervivencia libre de enfermedad (SLE) fue comparable entre ambos grupos, aunque se observó una mayor tasa de recurrencia local tras segmentectomía (10,5 % frente a 5,4 %). La morbilidad y mortalidad postoperatorias fueron bajas y similares, con una menor pérdida de función pulmonar en el grupo de segmentectomía, apoyando su papel como alternativa segura y eficaz en pacientes seleccionados (11). Análisis post hoc posteriores del mismo ensayo, centrados en tumores con apariencia radiológica sólida, confirmaron que la segmentectomía mantiene resultados oncológicos comparables a la lobectomía incluso en este subgrupo, aunque con una mayor recurrencia local, lo que subraya la importancia de una adecuada selección de pacientes y de una linfadenectomía meticulosa (12). Una actualización más reciente del estudio, presentada en foros científicos internacionales como el congreso de la American Association for Thoracic Surgery (AATS) 2025, comunicó los resultados a largo plazo con una mediana de seguimiento de 10,5 años. En este análisis, la SG a 10 años fue del 83,6 % tras segmentectomía y del 79,8 % tras lobectomía, manteniéndose la tendencia favorable a la segmentectomía, mientras que la supervivencia libre de recaída continuó siendo similar, con persistencia de una mayor tasa de recurrencia local en el grupo de segmentectomía (13).

Por su parte, el ensayo norteamericano CALGB 140503, liderado por Altorki et al. (14), comparó la lobectomía frente a la resección sublobar (segmentectomía o resección en cuña) en 697 pacientes con CPNM periférico en estadio IA y tumores ≤ 2 cm, tras confirmación intraoperatoria de ausencia de afectación ganglionar. Tras una mediana de seguimiento de 7 años, la resección sublobar demostró no inferioridad respecto a la lobectomía tanto en SG como en SLE. Aunque la recurrencia locorregional fue ligeramente superior en el grupo sublobar, esta diferencia no se tradujo en un impacto significativo sobre la supervivencia. Un subanálisis posterior del mismo estudio, realizado por el grupo Alliance, evaluó de forma específica los resultados de lobectomía, segmentectomía y resección en cuña en pacientes con CPNM periférico estadio clínico T1aN0. Los resultados mostraron que la resección sublobar no fue inferior a la lobectomía en términos de SG y libre de enfermedad. Dentro del grupo sublobar, la segmentectomía se asoció a mejores resultados oncológicos que la resección en cuña, con una menor tasa de recurrencia local, lo que refuerza su papel como técnica de elección cuando se indica una cirugía sublobar (15).

En conjunto, estos hallazgos han consolidado la segmentectomía anatómica como una opción quirúrgica válida y basada en la evidencia para el tratamiento del CPNM en estadio inicial, siempre que se realice una adecuada selección de pacientes, una correcta evaluación ganglionar y se respeten estrictamente los principios de radicalidad oncológica.

En la valoración de los resultados a largo plazo tras la cirugía del CPNM, la SG y la SLE constituyen los principales indicadores de calidad oncológica y reflejan de forma indirecta la efectividad de la resección quirúrgica. A pesar de los avances diagnósticos y terapéuticos, la supervivencia a largo plazo tras la resección del CPNM continúa siendo limitada, con tasas globales que rara vez superan el 50%, incluso en series contemporáneas. La recurrencia tumoral representa la principal causa de mortalidad tras

el tratamiento quirúrgico, lo que subraya la importancia de una correcta selección de pacientes, una técnica quirúrgica rigurosa y el cumplimiento estricto de los principios de radicalidad oncológica. En este sentido, un metaanálisis de gran magnitud que incluyó a más de 60.000 pacientes sometidos a cirugía por CPNM demostró un descenso progresivo de la SLE a cinco años conforme aumenta el estadio tumoral, desde el 86% en estadio IA hasta el 34% en estadio III, evidenciando el impacto decisivo del grado de extensión de la enfermedad sobre el pronóstico (16).

Cabe destacar que, incluso en pacientes con enfermedad en estadio I y resecciones consideradas curativas, persiste un riesgo no despreciable de recaída a medio y largo plazo. Este hecho ha impulsado la búsqueda de factores pronósticos adicionales que permitan identificar subgrupos con mayor riesgo de recurrencia y potencial beneficio de tratamientos adyuvantes. Entre ellos, la detección de enfermedad tumoral oculta ha adquirido un interés creciente. La presencia de micrometástasis ganglionares no identificadas mediante los métodos convencionales de estadificación podría explicar parte de las recaídas posquirúrgicas observadas en estadios tempranos. Diversos estudios han demostrado que estas micrometástasis se asocian a una menor supervivencia, lo que refuerza la relevancia de una evaluación ganglionar exhaustiva y de alta calidad como componente esencial de la cirugía oncológica del CPNM (17–19). En este contexto, la adecuada radicalidad quirúrgica y la precisión en la estadificación ganglionar se consolidan como elementos clave para optimizar los resultados oncológicos a largo plazo.

1.4. Radicalidad oncológica y papel de la linfadenectomía

En el tratamiento quirúrgico del CPNM, la radicalidad oncológica constituye un principio fundamental y un determinante clave de los resultados a largo plazo. La radicalidad oncológica se define clásicamente como la obtención de una resección completa (R0), entendida como la extirpación total del tumor sin evidencia de enfermedad residual

macroscópica ni microscópica, y se asocia de forma consistente con mejores tasas de SG y SLE (20).

Con el objetivo de homogeneizar criterios y estandarizar la evaluación de la calidad quirúrgica, la Asociación Internacional para el Estudio del Cáncer de Pulmón (IASLC) propuso en 2005 una clasificación de las resecciones pulmonares en tres categorías: resección completa (R0), resección incompleta (R1–R2) y resección incierta (R(un)) (21). Esta clasificación ha demostrado una clara relevancia pronóstica, ya que tanto las resecciones incompletas como las inciertas se asocian a una reducción significativa de la supervivencia en comparación con las resecciones completas, incluso en pacientes con enfermedad en estadios iniciales (22,23).

La obtención de una resección completa o R0 no se limita a la extirpación del parénquima pulmonar afectado con márgenes quirúrgicos negativos, sino que implica una serie de requisitos técnicos y oncológicos estrictos. Entre ellos destaca la necesidad de una linfadenectomía regional adecuada, que debe realizarse de forma sistemática y lóbulo-específica. Según los criterios establecidos por la IASLC, esta disección ganglionar debe incluir al menos tres estaciones mediastínicas (incluyendo obligatoriamente la subcarinal) y tres estaciones hilar-intrapulmonares, garantizando que la muestra quirúrgica final contenga un mínimo de seis ganglios linfáticos evaluables. Además, es imprescindible la preservación de la cápsula ganglionar en los ganglios extraídos por separado y la correcta identificación y resección del ganglio mediastínico de nivel más alto, dado que la persistencia de enfermedad ganglionar residual puede condicionar recurrencias precoces y un peor pronóstico.

En este contexto, la linfadenectomía sistemática desempeña un papel central en la cirugía oncológica del CPNM. Más allá de contribuir a la obtención de una resección R0, la disección ganglionar exhaustiva permite una estadificación patológica precisa, lo que

resulta esencial para identificar a los pacientes que pueden beneficiarse de tratamientos adyuvantes y optimizar la estrategia terapéutica multimodal (24). Asimismo, una evaluación ganglionar incompleta puede conducir a un infradiagnóstico del estadio real de la enfermedad, con el consiguiente impacto negativo en la supervivencia a largo plazo.

Por el contrario, la IASLC define la resección incompleta como aquella en la que existe evidencia de enfermedad residual tras la cirugía. Esta situación puede deberse a la presencia de márgenes de resección positivos, afectación extracapsular de ganglios linfáticos extirpados por separado, ganglios metastásicos dejados in situ o la detección de derrame pleural o pericárdico positivo. Estas circunstancias corresponden a los descriptores R1 o R2 y se asocian de forma consistente con peores resultados oncológicos, independientemente del estadio tumoral inicial.

La categoría de resección incierta (R(un)) representa una situación intermedia en la que no se demuestra enfermedad residual, pero no se cumplen todos los criterios necesarios para considerar la resección como completa. Este escenario incluye casos en los que no se ha realizado una evaluación ganglionar sistemática adecuada, existe afectación del ganglio mediastínico más alto resecado, se identifica carcinoma in situ en el margen bronquial o se obtiene un lavado pleural positivo. Aunque no exista evidencia macroscópica de tumor residual, estas situaciones se asocian igualmente a un peor pronóstico en comparación con las resecciones R0, lo que subraya la importancia de cumplir estrictamente los criterios de radicalidad.

En conjunto, estos datos ponen de manifiesto que la radicalidad oncológica no depende exclusivamente del tipo de resección pulmonar realizada, sino de la calidad global del procedimiento quirúrgico, en particular de la adecuada evaluación y disección ganglionar. La consecución sistemática de resecciones completas (R0) constituye, por tanto, un

objetivo prioritario en la cirugía del CPNM, especialmente en estadios iniciales, donde el tratamiento quirúrgico ofrece una oportunidad real de curación a largo plazo.

1.5. Abordajes mínimamente invasivos en cirugía pulmonar

Los abordajes mínimamente invasivos han supuesto un cambio de paradigma en la cirugía pulmonar, consolidándose progresivamente como una alternativa sólida y segura a la toracotomía abierta. Estas técnicas se basan en el acceso al tórax mediante pequeñas incisiones a través de las cuales se introducen instrumentos rígidos y una cámara endoscópica, evitando la separación costal o la resección de arcos costales, lo que se traduce en un menor daño de la musculatura respiratoria y una reducción significativa del trauma quirúrgico (25). Como consecuencia, se minimiza el deterioro de la función pulmonar postoperatoria, un aspecto especialmente relevante en pacientes con reserva respiratoria limitada.

Desde el punto de vista técnico, la visualización endoscópica proporciona una perspectiva anatómica diferente a la de la cirugía abierta, con un abordaje del hilio pulmonar desde anterior hacia posterior, en contraste con la visión superior característica de la toracotomía. Esta modificación del eje visual ha contribuido no solo a una mejor identificación de determinadas estructuras anatómicas, sino también al desarrollo de nuevas estrategias quirúrgicas adaptadas al entorno mínimamente invasivo. Asimismo, la anatomía torácica, con una cavidad rígida y la posibilidad de trabajar con el pulmón colapsado sin necesidad de insuflación con CO₂, ha favorecido especialmente la implantación de estas técnicas en cirugía torácica en comparación con otras especialidades quirúrgicas (26).

La introducción de los abordajes mínimamente invasivos en cirugía pulmonar ha aportado beneficios clínicos ampliamente demostrados, entre los que destacan una reducción significativa del dolor postoperatorio, una menor incidencia de complicaciones

respiratorias y cardiovasculares, una recuperación funcional más rápida, estancias hospitalarias más cortas y mejores resultados cosméticos. Todo ello se traduce, además, en una relación coste-efectividad favorable y en una mayor satisfacción del paciente (27). Estos beneficios adquieren una relevancia particular en el contexto del cáncer de pulmón, donde el dolor asociado históricamente a la toracotomía abierta podía condicionar de forma negativa la recuperación postoperatoria, aumentar el riesgo de complicaciones pulmonares y retrasar o impedir la administración de tratamientos adyuvantes.

Inicialmente, las técnicas mínimamente invasivas se reservaron para procedimientos diagnósticos o intervenciones terapéuticas simples. Sin embargo, el progreso tecnológico, junto con la experiencia acumulada por los cirujanos, ha permitido una expansión progresiva de sus indicaciones. En la actualidad, la cirugía torácica videoasistida (VATS) constituye la base de los abordajes mínimamente invasivos del tórax y permite la realización de prácticamente todas las resecciones pulmonares estándar, incluyendo la cirugía del CPNM en estadios iniciales, así como procedimientos más complejos en centros con elevada experiencia.

Desde el punto de vista oncológico, la evidencia científica disponible ha demostrado de forma consistente que la VATS ofrece resultados comparables a la cirugía abierta en términos de SG, SLE y control local de la enfermedad (27–29). Además, diversos estudios han señalado una mejor tolerancia a los tratamientos adyuvantes tras cirugía mínimamente invasiva, probablemente relacionada con una menor respuesta inflamatoria sistémica y una recuperación postoperatoria más rápida, lo que podría tener implicaciones favorables en el pronóstico a largo plazo (26,28,30,31).

No obstante, a pesar de sus indudables ventajas, la VATS presenta limitaciones técnicas inherentes al propio abordaje. El uso de instrumentos rígidos y rectos condiciona una maniobrabilidad limitada, lo que dificulta la disección vascular y ganglionar fina, la

resección de tumores voluminosos o centrales y la realización de suturas complejas en espacios anatómicos reducidos. A ello se suma la visión bidimensional, que limita la percepción de profundidad y la orientación espacial, incrementando la dificultad técnica en procedimientos complejos y exigentes desde el punto de vista oncológico (32).

Estas limitaciones hacen que la VATS requiera una curva de aprendizaje prolongada y una adquisición progresiva de habilidades específicas para garantizar la seguridad y la radicalidad oncológica de la resección. En este contexto, la necesidad de superar las restricciones ergonómicas y visuales de la VATS ha impulsado el desarrollo y la adopción de nuevas plataformas tecnológicas (33). Entre ellas, la RATS emerge como una evolución natural de la cirugía mínimamente invasiva, con el objetivo de combinar los beneficios clínicos de estos abordajes con una mayor precisión técnica, una visión tridimensional y una mejor capacidad de disección, aspectos que resultan especialmente relevantes en la cirugía oncológica pulmonar.

1.6. Cirugía torácica asistida por robot: fundamentos y ventajas técnicas

La incorporación de la cirugía torácica asistida por robot (RATS) a principios de la década de los 2000 ha supuesto uno de los avances tecnológicos más relevantes en la historia reciente de la cirugía torácica, marcando un auténtico punto de inflexión en el abordaje mínimamente invasivo del tórax. La RATS representa una evolución natural de la VATS, diseñada específicamente para superar algunas de sus limitaciones técnicas más importantes y ampliar el espectro de procedimientos que pueden realizarse mediante técnicas mínimamente invasivas (34).

A diferencia de la cirugía convencional y de la VATS, en la RATS el cirujano no se sitúa junto al paciente ni forma parte del campo estéril, sino que opera desde una consola situada a distancia. Desde esta posición, controla de manera directa una cámara endoscópica

binocular de alta definición y varios brazos robóticos que portan instrumentos articulados, los cuales acceden a la cavidad torácica a través de pequeños puertos, habitualmente de 8 mm de diámetro. Este cambio conceptual en la relación entre el cirujano y el campo operatorio permite un control ergonómico óptimo y una ejecución más precisa de los movimientos quirúrgicos, reduciendo la fatiga del operador y favoreciendo la reproducibilidad de la técnica.

Uno de los principales avances tecnológicos de la RATS reside en su sistema de visión. Las cámaras binoculares proporcionan una imagen tridimensional nativa, estable y de alta definición, que mejora de forma sustancial la percepción de profundidad y la orientación espacial en comparación con la visión bidimensional característica de la VATS. Esta mejora visual resulta especialmente relevante en el entorno torácico, donde las estructuras anatómicas se disponen en planos complejos y en estrecha proximidad, y donde una identificación precisa de vasos, bronquios y cadenas ganglionares es fundamental para garantizar la seguridad y la radicalidad oncológica de la resección.

Asimismo, el sistema robótico traduce con gran fidelidad los movimientos del cirujano a los brazos robóticos, permitiendo además su escalado y filtrando el temblor fisiológico. Los instrumentos articulados poseen múltiples grados de libertad, superando incluso la movilidad de la muñeca humana, lo que facilita maniobras complejas en espacios reducidos y angulados. Esta capacidad de articulación, junto con la estabilidad de la plataforma, permite una disección más fina y meticulosa del hilio pulmonar y del mediastino, optimizando el control vascular y bronquial y reduciendo el riesgo de lesiones inadvertidas.

Desde el punto de vista técnico, estas características confieren a la RATS una ventaja significativa en procedimientos que requieren una alta precisión, como la disección ganglionar mediastínica sistemática, el abordaje de tumores centrales o de gran tamaño y

la realización de suturas complejas. En particular, la RATS ha demostrado facilitar la realización de resecciones en manguito bronquial o vascular mediante un abordaje mínimamente invasivo, ampliando de este modo las indicaciones de la cirugía conservadora sin comprometer los principios oncológicos (34).

En el ámbito oncológico, la mejora en la calidad de la disección mediastínica constituye uno de los beneficios más relevantes de la RATS. La combinación de visión tridimensional, instrumentación articulada y estabilidad del sistema permite una exéresis ganglionar más precisa y exhaustiva, favoreciendo la identificación de metástasis ganglionares no sospechadas preoperatoriamente y optimizando la estadificación patológica. Diversos estudios han sugerido que esta mayor precisión puede traducirse en una mejor calidad de la linfadenectomía, con un mayor número de ganglios y estaciones ganglionares reseçadas, sin incremento significativo de la morbilidad perioperatoria (35–37). Este aspecto resulta especialmente relevante en el contexto de la radicalidad oncológica, dado el impacto pronóstico demostrado de una adecuada evaluación ganglionar en el cáncer de pulmón.

Un avance tecnológico adicional de especial interés es la integración del sistema Firefly® en la plataforma robótica da Vinci. Este sistema incorpora fuentes de luz de infrarrojo cercano (near-infrared, NIR) y cámaras especializadas dentro del propio sistema de visión robótica, permitiendo la obtención de imágenes fluorescentes intraoperatorias en tiempo real. Tras la administración intravenosa de verde de indocianina (indocyanine green, ICG), el contraste se une a proteínas plasmáticas y emite fluorescencia cuando es excitado por la luz NIR, lo que posibilita la visualización selectiva de estructuras anatómicas de interés con una elevada precisión.

En cirugía oncológica pulmonar, esta tecnología ha demostrado un notable potencial para el mapeo y la identificación del ganglio linfático centinela. La biopsia selectiva del ganglio centinela permite centrar el análisis histopatológico en aquellos ganglios con mayor probabilidad de diseminación metastásica, mejorando la detección de micrometástasis ganglionares que podrían pasar desapercibidas con los métodos de estadificación convencionales. De este modo, el uso de ICG y Firefly® podría contribuir a un estadiaje más preciso y a una mejor selección de pacientes candidatos a tratamientos adyuvantes, al tiempo que reduce la morbilidad asociada a linfadenectomías extensas no dirigidas (38).

En conjunto, la RATS combina los beneficios clínicos de los abordajes mínimamente invasivos con una serie de ventajas técnicas que permiten una mayor precisión, seguridad y reproducibilidad del gesto quirúrgico. Estas características hacen de la RATS una herramienta especialmente atractiva en la cirugía oncológica pulmonar, donde la complejidad anatómica, la necesidad de una linfadenectomía rigurosa y la búsqueda de una radicalidad oncológica óptima son determinantes para los resultados a largo plazo. En este contexto, la RATS se perfila no solo como una alternativa a la VATS, sino como una plataforma con el potencial de optimizar la calidad técnica de la resección quirúrgica en el cáncer de pulmón.

1.7. Evidencia clínica y controversias actuales

En los últimos años, numerosos estudios han comparado de forma directa la cirugía VATS y la RATS con el objetivo de evaluar su seguridad, viabilidad y resultados perioperatorios y oncológicos en el tratamiento del CPNM en estadios tempranos (39). En conjunto, la evidencia disponible ha confirmado que ambos abordajes mínimamente invasivos constituyen opciones seguras y eficaces, con perfiles de resultados globalmente comparables, lo que ha contribuido a consolidar el papel de la RATS como una alternativa válida a la VATS en la práctica clínica actual (40,41).

Desde el punto de vista perioperatorio, diversos estudios han demostrado que el tiempo quirúrgico de la RATS es comparable al de la VATS, especialmente una vez superada la curva de aprendizaje inicial asociada a la introducción de la tecnología robótica (41–44). Las diferencias observadas en fases tempranas de la adopción de la RATS parecen estar relacionadas principalmente con la familiarización con la plataforma y la estandarización de la técnica, tendiendo a disminuir de manera progresiva con la experiencia del equipo quirúrgico y la consolidación de programas de cirugía mínimamente invasiva.

En cuanto a la pérdida sanguínea intraoperatoria, varios trabajos han comunicado resultados favorables para la RATS. Zhang et al. (41) observaron una menor pérdida sanguínea y una tendencia a una menor tasa de conversión a toracotomía en los procedimientos realizados mediante RATS, hallazgos que se atribuyen a la mejora en la visualización del campo quirúrgico, la mayor precisión instrumental y la eliminación del temblor fisiológico. Estas características técnicas pueden resultar especialmente ventajosas en situaciones complejas, como la disección vascular o mediastínica, donde el control hemostático es crítico.

Asimismo, estudios comparativos han señalado una reducción en la duración del drenaje torácico postoperatorio y en la estancia hospitalaria en pacientes intervenidos mediante RATS frente a VATS. Ma et al. (42) describieron estancias hospitalarias más cortas en el grupo RATS, posiblemente relacionadas con una manipulación tisular más delicada, una mejor hemostasia y una menor respuesta inflamatoria local, factores que favorecen una recuperación postoperatoria más rápida. En el mismo estudio, se observó también una menor incidencia global de complicaciones postoperatorias en el grupo RATS, si bien estas diferencias no alcanzaron significación estadística tras el análisis de sensibilidad, y no se evidenciaron diferencias en la mortalidad perioperatoria, lo que respalda la seguridad de ambos abordajes.

A pesar de la superposición en gran medida de las indicaciones de la VATS y la RATS, la verdadera equivalencia entre ambas técnicas, así como sus ventajas relativas en subgrupos específicos de pacientes, continúa siendo objeto de debate. En este contexto, cobra especial relevancia la identificación de perfiles de pacientes que podrían beneficiarse de manera preferente de la RATS, así como la definición de su papel óptimo dentro del arsenal terapéutico de la cirugía torácica mínimamente invasiva.

Uno de los retos fundamentales en la cirugía del cáncer de pulmón es alcanzar un equilibrio adecuado entre la extensión de la resección necesaria para garantizar la eficacia oncológica y la morbilidad asociada al procedimiento. Este desafío adquiere especial importancia en pacientes con reserva respiratoria limitada o con comorbilidades significativas, entre ellas la obesidad. El índice de masa corporal (IMC) ha sido propuesto como un factor potencialmente influyente en los resultados postoperatorios tras la resección pulmonar, aunque la evidencia disponible sigue siendo heterogénea y no permite establecer conclusiones definitivas. No obstante, algunos estudios sugieren que la RATS podría ofrecer ventajas técnicas en pacientes con IMC elevado, considerados técnicamente más complejos, al facilitar la exposición quirúrgica, la disección y el control vascular en un entorno anatómico más desafiante (45,46).

La calidad de la linfadenectomía constituye otro aspecto clave en la comparación entre ambos abordajes. Una disección ganglionar adecuada es esencial para garantizar una resección completa (R0) y una correcta estadificación patológica, factores que influyen de manera directa en el pronóstico y en la indicación de tratamientos adyuvantes. Aunque algunos estudios no han encontrado diferencias significativas entre la RATS y la VATS en cuanto al número de ganglios y estaciones reseçadas, otros trabajos han descrito una disección ganglionar más amplia y sistemática mediante la técnica robótica (34). La complejidad anatómica del mediastino y de las estaciones hilares representa un reto

técnico importante, y en este contexto la visión tridimensional, la mayor libertad de movimiento y la estabilidad instrumental de la RATS podrían facilitar una exéresis ganglionar más completa, especialmente en áreas profundas o de difícil acceso.

De hecho, diversos autores han comunicado un mayor número de ganglios obtenidos y una mayor tasa de upstaging ganglionar con la RATS, lo que sugiere una evaluación más exhaustiva del estado ganglionar (36,47). Estos hallazgos apuntan a que la RATS puede, al menos, igualar la sistematicidad de la disección ganglionar lograda con la VATS y, potencialmente, mejorarla en determinados escenarios clínicos.

En lo que respecta a los resultados oncológicos a largo plazo, la mayoría de los estudios disponibles coinciden en señalar que la SG y SLE son comparables entre la VATS y la RATS en pacientes con CPNM en estadio I. En una cohorte retrospectiva de 945 pacientes, Yang et al. (48) no observaron diferencias significativas en la supervivencia a 2 años entre ambos abordajes, y tampoco se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en la SG a 5 años. Aunque se observó una mayor SLE en el grupo RATS, el análisis multivariante indicó que esta diferencia no era atribuible de forma independiente a la técnica quirúrgica empleada.

Resultados similares fueron comunicados por Casiraghi et al. (49), quienes no encontraron diferencias significativas en la SG ni en la supervivencia específica por cáncer entre pacientes tratados mediante VATS, RATS o cirugía abierta, a pesar de que la incidencia de recurrencias locales fue mayor en el grupo VATS. En la revisión sistemática realizada por Park et al. (40), la lobectomía RATS en estadios tempranos de CPNM demostró poder realizarse con baja morbilidad y mortalidad, y con tasas de supervivencia específicas por estadio comparables a las previamente descritas para la VATS.

Por su parte, Kent et al. (50) comunicaron que la lobectomía RATS se asocia a una SG comparable a la cirugía abierta, mientras que la lobectomía VATS se relacionó con peores

resultados de supervivencia incluso tras ajustar por variables clínicas y demográficas. Aunque estos hallazgos deben interpretarse con cautela debido al carácter retrospectivo del estudio, sugieren que la RATS podría combinar algunos de los beneficios oncológicos de la cirugía abierta con las ventajas de un abordaje mínimamente invasivo.

En conjunto, la evidencia disponible respalda la equivalencia de la RATS y la VATS en términos de SG y SLE en el tratamiento del CPNM en estadios tempranos (51). No obstante, los datos sugieren que RATS podría ofrecer ventajas adicionales en subgrupos seleccionados de pacientes, especialmente en aquellos con mayor complejidad técnica o en contextos donde la calidad de la disección ganglionar y la precisión quirúrgica resultan determinantes. Este escenario justifica la necesidad de seguir explorando de manera sistemática el impacto diferencial de ambos abordajes, así como su papel en la optimización de los resultados oncológicos a largo plazo.

1.8. Justificación y relevancia de la presente tesis

En las últimas dos décadas, la cirugía torácica ha experimentado una profunda transformación impulsada por el desarrollo de técnicas mínimamente invasivas y, más recientemente, por la incorporación de la RATS. A pesar de su adopción creciente en numerosos centros, la evidencia disponible no ha logrado establecer de manera concluyente una superioridad clara de la RATS frente a la VATS convencional en términos de resultados oncológicos globales, lo que ha generado un debate persistente acerca de su verdadero valor añadido en el tratamiento quirúrgico del CPNM (51,52).

En este contexto, resulta insuficiente evaluar los abordajes quirúrgicos desde una perspectiva global y homogénea, ya que el beneficio potencial de la RATS puede no ser uniforme para todos los pacientes. Por el contrario, es probable que determinadas características clínicas y anatómicas condicionen de forma significativa los resultados quirúrgicos y modulen el impacto real de cada técnica. Identificar estos subgrupos de

pacientes constituye, por tanto, una necesidad clínica relevante y un área de conocimiento todavía insuficientemente explorada.

Entre los factores que pueden influir de manera decisiva en la complejidad técnica de la resección pulmonar y en los resultados perioperatorios, el índice de masa corporal ocupa un lugar destacado. Los pacientes con sobrepeso u obesidad representan un desafío quirúrgico específico debido a la mayor dificultad para la exposición del hilio pulmonar y del mediastino, la presencia de tejido adiposo perivascular y ganglionar, y el mayor riesgo de complicaciones respiratorias y cardiovasculares. En este escenario, las ventajas técnicas inherentes a la RATS podrían traducirse en una reducción de la morbilidad perioperatoria y en una mejora de la seguridad del procedimiento, aspectos con un impacto clínico directo y relevante.

De manera paralela, la calidad de la disección ganglionar y la obtención de una resección oncológicamente radical constituyen pilares fundamentales en el tratamiento quirúrgico del cáncer de pulmón, al condicionar tanto la precisión del estadiaje patológico como la indicación de tratamientos adyuvantes y el pronóstico a largo plazo. Si bien la VATS ha demostrado resultados oncológicos equivalentes a la cirugía abierta, persisten interrogantes sobre si las capacidades técnicas avanzadas de la RATS pueden mejorar la sistematicidad y exhaustividad de la linfadenectomía mediastínica, con un impacto potencial sobre el upstaging ganglionar y la reducción de recurrencias.

En consecuencia, la presente tesis se justifica por la necesidad de aportar evidencia clínica que permita definir con mayor precisión el papel de la RATS en la resección pulmonar anatómica por cáncer de pulmón. Al analizar de forma específica los resultados perioperatorios, la radicalidad oncológica, la calidad de la linfadenectomía y los resultados de supervivencia, así como su comportamiento en subgrupos clínicamente relevantes, este trabajo aspira a contribuir a una toma de decisiones más racional y personalizada en

cirugía torácica. De este modo, los resultados obtenidos podrían tener una repercusión directa en la práctica clínica, optimizando la selección del abordaje quirúrgico, mejorando los resultados clínicos y reforzando la calidad de la cirugía oncológica en pacientes con cáncer de pulmón.

HIPÓTESIS

2. HIPÓTESIS

La hipótesis principal de esta tesis es que la cirugía torácica asistida por robot (RATS) se asocia a una mejora de los resultados perioperatorios en pacientes con cáncer de pulmón no microcítico (CPNM) sometidos a resección pulmonar anatómica, en comparación con la cirugía torácica videoasistida (VATS), siendo este beneficio especialmente relevante en subgrupos de pacientes con mayor complejidad técnica, como aquellos con índice de masa corporal elevado.

Como hipótesis secundaria, se plantea que el abordaje robótico proporciona ventajas en términos de radicalidad oncológica frente a la VATS, al facilitar una disección ganglionar mediastínica más completa y sistemática. Esta mayor exhaustividad en la linfadenectomía se traduciría en una estadificación patológica más precisa y podría asociarse a mejores resultados oncológicos y de supervivencia a medio y largo plazo.

OBJETIVOS

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo principal

1. Identificar subgrupos de pacientes con cáncer de pulmón no microcítico, estratificados según el índice de masa corporal (IMC), en los que la cirugía torácica asistida por robot se asocie a mejores resultados perioperatorios en comparación con la cirugía torácica videoasistida, con el fin de definir los perfiles de pacientes que obtienen un mayor beneficio de esta técnica y avanzar hacia un enfoque de cirugía torácica más precisa y personalizada.

3.2. Objetivos secundarios

2. Evaluar el impacto del abordaje robótico frente a la cirugía torácica videoasistida sobre la radicalidad oncológica tras la resección pulmonar anatómica en pacientes con cáncer de pulmón no microcítico, analizando la completitud de la resección, la calidad y extensión de la linfadenectomía mediastínica y el grado de *upstaging* ganglionar.
3. Analizar la asociación entre el abordaje quirúrgico empleado (cirugía torácica asistida por robot vs. cirugía torácica videoasistida) y los resultados oncológicos a medio y largo plazo, incluyendo la supervivencia global y la supervivencia libre de enfermedad, con el objetivo de determinar si la cirugía torácica asistida por robot aporta ventajas oncológicas relevantes y así contribuir a una selección más adecuada del abordaje quirúrgico en función de la calidad de la resección.

PUBLICACIONES ORIGINALES

4. PUBLICACIONES ORIGINALES

4.1. Robotic-Assisted Thoracoscopic Anatomical Lung Resection Improves Cardiopulmonary Outcomes in Patients With Body Mass Index ≥ 25 kg/m²: A Propensity Score Matching Analysis

ARTÍCULO I

Forcada C, Gómez-Hernández MT, Fuentes MG, Rivas CE, Novoa NM, Aranda JL, Varela G, Jiménez MF. **Robotic-Assisted Thoracoscopic Anatomical Lung Resection Improves Cardiopulmonary Outcomes in Patients With Body Mass Index ≥ 25 kg/m²: A Propensity Score Matching Analysis. Archivos de Bronconeumología 2023;59:779–781. DOI: 10.1016/j.arbres.2023.08.011**

ISSN: 0300-2896

Impact Index: 8.7 JCR Science Edition: 2023

Category: Respiratory System

Position in the category: 9 of 101 (D1-Q1)

RESUMEN

La cirugía torácica mínimamente invasiva puede verse condicionada por el índice de masa corporal (IMC), especialmente en pacientes con sobrepeso u obesidad, en quienes la complejidad técnica y el riesgo perioperatorio pueden incrementarse. El objetivo de este estudio fue comparar los resultados perioperatorios de la resección pulmonar anatómica realizada mediante cirugía torácica asistida por robot (RATS) frente a la cirugía torácica videoasistida (VATS), con especial énfasis en el impacto del IMC.

Se realizó un estudio retrospectivo unicéntrico que incluyó a 554 pacientes sometidos a segmentectomía, lobectomía o bilobectomía entre 2018 y 2022. Para minimizar sesgos de selección, se aplicó un emparejamiento por *puntaje de propensión* (1:1), obteniéndose dos cohortes comparables de 169 pacientes cada una. Se analizaron las tasas de complicaciones perioperatorias globales, mayores y cardiopulmonares, así como los resultados estratificados según el IMC (<25 vs. ≥ 25 kg/m²).

Tras el emparejamiento, el abordaje RATS se asoció a una reducción significativa de las complicaciones cardiopulmonares en comparación con la VATS (5,9 % vs. 12,4 %). En el subgrupo de pacientes con IMC ≥ 25 kg/m², la RATS mostró una menor morbilidad cardiopulmonar, una menor incidencia de neumonía y una estancia hospitalaria más corta. No se observaron diferencias significativas entre ambos abordajes en términos de morbilidad global, complicaciones mayores ni fugas aéreas prolongadas. En los pacientes con IMC <25 kg/m², los resultados perioperatorios fueron comparables entre ambas técnicas.

En conclusión, la RATS se asocia a ventajas clínicas relevantes frente a la VATS en pacientes con sobrepeso u obesidad sometidos a resección pulmonar anatómica, particularmente en lo relativo a la reducción de complicaciones cardiopulmonares. Estos hallazgos sugieren que la RATS podría ser especialmente beneficiosa en pacientes con mayor complejidad técnica, si bien serán necesarios estudios multicéntricos y prospectivos para confirmar estos resultados.



Scientific Letter

Robotic-Assisted Thoracoscopic Anatomical Lung Resection Improves Cardiopulmonary Outcomes in Patients With Body Mass Index ≥ 25 kg/m²: A Propensity Score Matching Analysis


To the Director,

In the last decades, video-assisted thoracic surgery (VATS) has been proven to be feasible, safe, and oncologically equivalent to traditional thoracotomy and it offers several advantages to patients compared to open approaches.¹ Therefore, it has become the standard of care for patients with operable pulmonary malignancies. As an alternative minimally invasive technique, robot-assisted thoracic surgery (RATS) has recently emerged for the treatment of patients requiring thoracic surgery.

Studies comparing RATS and VATS in terms of postoperative outcomes have shown contradictory clinical results.^{2–4} Additionally, RATS is frequently related to higher costs when compared to VATS.^{4,5} Nevertheless, to date, no studies have focused on how to maximize the advantages of RATS by recognizing those patients who would benefit more from such approach.

On the other hand, body mass index (BMI) has been associated to postoperative outcomes after lung resection for cancer, but the results are still conflicting^{6–9} and the impact of minimally invasive surgery in patients with different BMI ranges has not been fully characterized.

The aim of this study is to investigate if the type of minimally invasive approach (RATS or VATS) influences the occurrence of postoperative complications in anatomical lung resection according to patient's BMI.

A single-centre observational, retrospective, and comparative cohort study was conducted. All data were obtained from an institutional prospective, computerized database. Definition of variables was standardized.¹⁰ The inclusion criteria consisted of patients ages ≥ 18 years who underwent minimally invasive anatomic lung resection (segmentectomy, lobectomy, bilobectomy) from June 2018 to January 2022 according to standardized selection criteria.¹¹ Patients who underwent pneumonectomy or with missing data were excluded.

The choice of minimally invasive surgical approach (VATS or RATS) was mainly based on robot equipment availability, but not on tumour or patients' characteristics. All VATS procedures were performed by a team of five board certified thoracic surgeons. RATS anatomical resections were performed by two members of the same team who were Intuitive Surgical certified surgeons. Operative technique was standardized for both approaches as previously described.¹² Perioperative management was uniform for all patients throughout the study period.

Primary and secondary outcomes. The primary endpoint was overall morbidity, defined as any adverse event occurred within 30 days after the operation, or later if the patient was still in the hospital. Secondary endpoints were cardiopulmonary and major complications. Cardiopulmonary complications included respiratory failure, need for reintubation, prolonged mechanical ventilation > 24 h, pneumonia, atelectasis requiring bronchoscopy, pulmonary oedema, pulmonary embolism, acute respiratory distress syndrome/acute lung injury, arrhythmia requiring treatment, acute myocardial ischaemia, acute cardiac failure, stroke/transient ischaemic attack and acute kidney injury. Postoperative complications were classified according to the Dindo et al.¹³ and included as a binary variable (major, classes IIIA–V, or minor complications, classes I and II).

Propensity score matching. RATS and VATS cases were matched by propensity score matching (PSM) to ensure an even distribution of confounders between groups. The 1:1 nearest neighbour matching without replacement method was applied. The variables used for PSM were selected according to their clinical relevance and statistical significance: age, sex, BMI, ppoFEV1%, ppoDLCO% and tumour size.

Statistical analysis. Categorical variables were compared using the Pearson χ^2 test or Fisher's exact test. Normally distributed continuous variables are presented as the mean \pm standard deviation (SD), and Student's *t* test was used for comparisons. For continuous variables that were not normally distributed, data are presented as the median (interquartile range [IQR]) and were compared by the Mann–Whitney *U* test between the groups. The test level between the two groups was set at $\alpha = 0.05$ (bilateral), and a two-sided $p < 0.05$ was considered statistically significant. Subgroup analyses were performed for the perioperative outcomes according to BMI ranges. For this purpose, patients were divided into two groups according to BMI: under and normal weight group (BMI < 25 kg/m²) and overweight and obesity group (BMI ≥ 25 kg/m²).

The MatchIt package of R software, v4.2.2 (The R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria) was used for PSM, and SPSS software, v26.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) was used for further data analysis.

Our manuscript is reported according to the STROBE recommendations.

A total of 554 patients (385 VATS cases and 169 RATS cases) were included. After PSM, 169 VATS and 169 RATS patients were analyzed. There were no significant differences in any variables among groups. Table 1 shows perioperative outcomes of RATS and VATS before and after PSM. No statistically differences among group were found before matching regarding the evaluated outcomes. After PSM, the incidence of cardiopulmonary complications was significantly reduced in the RATS group (12.4% vs 5.9%, $p = 0.038$). No statistically significant difference in the rates

Table 1
Perioperative outcomes of RATS and VATS before and after PSM.

Outcome	Before PSM			After PSM		
	RATS (n = 169)	VATS (n = 385)	p-Value	RATS (n = 169)	VATS (n = 169)	p-Value
30-Day mortality, n (%)	1 (0.6)	3 (0.8)	1**	1 (0.6)	2 (1.2)	1**
Overall morbidity, n (%)	38 (22.5)	112 (29.1)	0.107*	38 (22.5)	48 (28.4)	0.212*
Cardiopulmonary morbidity, n (%)	10 (5.9)	41 (10.6)	0.076*	10 (5.9)	21 (12.4)	0.038*
Major morbidity, n (%)	10 (5.9)	35 (9.1)	0.208*	10 (5.9)	14 (8.3)	0.397*
Reintervention, n (%)	3 (1.8)	13 (3.4)	0.413**	3 (1.8)	4 (2.4)	1**
Prolonged air leak, n (%)	13 (7.7)	37 (9.6)	0.468*	13 (7.7)	12 (7.1)	0.835*
Pneumonia, n (%)	2 (1.2)	12 (3.1)	0.246**	2 (1.2)	7 (4.1)	0.174**
Arrhythmia, n (%)	3 (1.8)	9 (2.3)	1**	3 (1.8)	9 (5.3)	0.078*
Readmission, n (%)	6 (3.6)	31 (8.1)	0.051*	6 (3.6)	12 (7.1)	0.146**
Postoperative LOS, median (IQR), days	3 (2–4)	3 (3–5)	<0.001***	3 (2–4)	3 (3–4.5)	<0.001***

RATS: robotic-assisted thoracoscopic surgery; VATS: video-assisted thoracoscopic surgery; LOS: length of hospital stay; IQR: interquartile range.

* p-Value for Chi-squared test.

** p-Value for Fisher's exact test.

*** p-Value for Mann-Whitney U test.

Table 2
Subgroup analysis of postoperative outcomes between RATS and VATS according to BMI ranges after PSM.

Variable	BMI < 25 kg/m ²			BMI ≥ 25 kg/m ²		
	RATS (n = 70)	VATS (n = 75)	p-Value	RATS (n = 99)	VATS (n = 94)	p-Value
30-Day mortality, n (%)	0 (0)	1 (1.3)	1**	1 (1)	1 (1.1)	1**
Overall morbidity, n (%)	22 (31.4)	25 (33.3)	0.807*	16 (16.2)	23 (24.5)	0.151*
Cardiopulmonary morbidity, n (%)	6 (8.6)	7 (9.3)	0.873*	4 (4)	14 (14.9)	0.01*
Major morbidity, n (%)	8 (11.4)	7 (9.3)	0.679*	2 (2)	7 (7.4)	0.094**
Reintervention, n (%)	3 (4.3)	2 (2.7)	0.673**	0 (0)	2 (2.1)	0.236**
Prolonged air leak, n (%)	9 (12.9)	6 (8)	0.337*	4 (4)	6 (6.4)	0.529**
Pneumonia, n (%)	2 (2.9)	1 (1.3)	0.61**	0 (0)	6 (6.4)	0.012**
Arrhythmia, n (%)	2 (2.9)	4 (5.3)	0.682*	1 (1)	5 (5.3)	0.111**
Readmission, n (%)	2 (2.9)	5 (6.7)	0.444**	4 (4)	7 (7.4)	0.308*
Postoperative LOS, median (IQR), days	3 (2–4)	3 (3–4)	0.011***	2 (2–3)	3 (2.75–5)	<0.001***

BMI: body mass index; RATS: robotic-assisted thoracoscopic surgery; VATS: video-assisted thoracoscopic surgery; LOS: length of postoperative hospital stays; IQR: interquartile range.

* p-Value for Chi-squared test.

** p-Value for Fisher's exact test.

*** p-Value for Mann-Whitney U test.

of overall morbidity, major complications, prolonged air leak, pneumonia and arrhythmia was found.

Table 2 shows subgroup analysis of postoperative outcomes between RATS and VATS according to BMI ranges after PSM. The incidence of cardiopulmonary and pneumonia in the RATS group for patients with BMI ≥ 25 kg/m² was significantly lower, but not in the BMI < 25 kg/m² group.

The results of our study suggest that RATS might be superior to VATS in decreasing postoperative cardiopulmonary morbidity. These findings are consistent with those reported in two recently published meta-analysis^{2,4} but contradictory to those reported by others authors who did not find differences in postoperative morbidity rates among both approaches.^{3,14}

Interestingly, we also found that the incidence of cardiopulmonary and pneumonia was significantly reduced in patients ≥ 25 kg/m² approached by RATS. Therefore, selecting RATS in this subset of patients requiring anatomical lung resection could be considered cost-effective.

Our findings are comparable to those published by Li et al.¹⁵ who found a lower incidence of overall morbidity in patients with BMI ≥ 24 kg/m² undergoing robotic lobectomy. Similarly, Qu et al.¹⁶ found that for NSCLC patients with 24 kg/m² < BMI < 28 kg/m², RATS may provide better perioperative outcomes in terms of higher number of lymph nodes dissected and lower perioperative complications. However, in that study, for obese patients (BMI ≥ 28 kg/m²), RATS did not achieve better outcomes than VATS.

We speculate that RATS is associated to lower morbidity rates due to several reasons. First, the CO₂ insufflation used during RATS

approach allows thoracic surgeons to achieve a better view of the surgical field. The pressure of CO₂ pushes down on the diaphragm and compresses the pulmonary parenchyma, increasing the surgeon's workspace which may be quite limited in obese patients. Second, the increased pressure in the chest cavity may also effectively reduce the mild bleeding of the tissues.

Certain limitations constrain the broad interpretation of our data. Firstly, its retrospective nature is a limitation of our study. Additionally, data were obtained from a single public institution with standardized clinical pathways. Secondly, although the distribution of confounder variables among RATS and VATS groups was controlled by PSM, potential selection bias could not be fully eliminated. Therefore, our results should be confirmed in other patient cohorts from different multi-institutional databases.

In our series, RATS approach for anatomical lung resection is followed by a lower incidence of postoperative cardio-respiratory complications compared to VATS in patients with ≥ 25 kg/m².

Funding statement

The authors declare that no financial support was received regarding the content of this manuscript.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the content of this manuscript.

References

1. Demmy TL, Yendamuri S, D'Amico TA, Burfeind WL. Oncologic equivalence of minimally invasive lobectomy: the scientific and practical arguments. *Ann Thorac Surg*. 2018;106:609–17.
2. Mao J, Tang Z, Mi Y, Xu H, Li K, Liang Y, et al. Robotic and video-assisted lobectomy/segmentectomy for non-small cell lung cancer have similar perioperative outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Transl Cancer Res*. 2021;10:3883–93.
3. Zhang J, Feng Q, Huang Y, Ouyang L, Luo F. Updated evaluation of robotic- and video-assisted thoracoscopic lobectomy or segmentectomy for lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *Front Oncol*. 2022;12:853530.
4. Ma J, Li X, Zhao S, Wang J, Zhang W, Sun G. Robot-assisted thoracic surgery versus video-assisted thoracic surgery for lung lobectomy or segmentectomy in patients with non-small cell lung cancer: a meta-analysis. *BMC Cancer*. 2021;21:488.
5. Shanahan B, Kreaden US, Soronen J, Stamenkovic S, Redmond KC. Is robotic lobectomy cheaper? A micro-cost analysis. *J Robot Surg*. 2022;16:1441–50.
6. Li S, Wang Z, Huang J, Fan J, Du H, Liu L, et al. Systematic review of prognostic roles of body mass index for patients undergoing lung cancer surgery: does the "obesity paradox" really exist? *Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg*. 2017;51:817–28.
7. Wang C, Guo M, Zhang N, Wang G. Association of body mass index and outcomes following lobectomy for non-small-cell lung cancer. *World J Surg Oncol*. 2018;16:90.
8. Williams T, Gulaek BC, Kim S, Fernandez FG, Ferguson MK. Operative risk for major lung resection increases at extremes of body mass index. *Ann Thorac Surg*. 2017;103:296–302.
9. Panni S, Azzolina D, Massera F, Mastromarino MG, Papalia E, Baetto G, et al. The overweight paradox: impact of body mass index on patients undergoing VATS lobectomy or segmentectomy. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*. 2023;35:164–76.
10. Fernandez FG, Falcoz PE, Kozower BD, Salati M, Wright CD, Brunelli A. The Society of Thoracic Surgeons and the European Society of Thoracic Surgeons general thoracic surgery databases: joint standardization of variable definitions and terminology. *Ann Thorac Surg*. 2015;99:368–76.
11. Brunelli A, Kim AW, Berger KI, Addrizzo-Harris DJ. Physiologic evaluation of the patient with lung cancer being considered for resectional surgery: diagnosis and management of lung cancer, 3rd ed: American College of Chest Physicians evidence-based clinical practice guidelines. *Chest*. 2013;143:e1665–905.
12. Gómez-Hernández MT, Fuentes MG, Novoa NM, Rodríguez I, Varela G, Jiménez MF. The robotic surgery learning curve of a surgeon experienced in video-assisted thoracoscopic surgery compared with his own video-assisted thoracoscopic surgery learning curve for anatomical lung resections. *Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg*. 2022;61:289–96.
13. Dindo D, Demartines N, Clavien PA. Classification of surgical complications: a new proposal with evaluation in a cohort of 6336 patients and results of a survey. *Ann Surg*. 2004;240:205–13.
14. Liang H, Liang W, Zhao L, Chen D, Zhang J, Zhang Y, et al. Robotic versus video-assisted lobectomy/segmentectomy for lung cancer: a meta-analysis. *Ann Surg*. 2018;268:254–9.
15. Li R, Ma Z, Li Y, Qu C, Qiu J, Zhang Y, et al. Robotic-assisted thoracoscopic surgery improves perioperative outcomes in overweight and obese patients with non-small-cell lung cancer undergoing lobectomy: a propensity score matching analysis. *Thorac Cancer*. 2022;13:2606–15.
16. Qu C, Li R, Ma Z, Han J, Yue W, Aigner C, et al. Comparison of the perioperative outcomes between robotic-assisted thoracic surgery and video-assisted thoracic surgery in non-small cell lung cancer patients with different body mass index ranges. *Transl Lung Cancer Res*. 2022;11:1108–18.

Clara Forcada^a, María Teresa Gómez-Hernández^{a,b,c,*},
Marta G. Fuentes^{a,b,c}, Cristina E. Rivas^{a,b}, Nuria M. Novoa^{a,b,c},
José Luis Aranda^{a,b,c}, Gonzalo Varela^b, Marcelo F. Jiménez^{a,b,c}

^a Service of Thoracic Surgery, Salamanca University Hospital, Salamanca, Spain

^b Salamanca Institute of Biomedical Research, Salamanca, Spain

^c University of Salamanca, Salamanca, Spain

Corresponding author.

E-mail address: mtgh@usal.es (M.T. Gómez-Hernández).

4.2. Assessment of Feasibility and Prognostic Value of Sentinel Lymph Node Identification by Near-Infrared Fluorescence in Non-Small Cell Lung Cancer in Patients Undergoing Robotic Anatomic Lung Resections

ARTÍCULO II

Forcada C, Gómez-Hernández MT, Fuentes MG, Rivas CE, Jiménez MF.

Assessment of Feasibility and Prognostic Value of Sentinel Lymph Node Identification by Near-Infrared Fluorescence in Non-Small Cell Lung Cancer in Patients Undergoing Robotic Anatomic Lung Resections. Open Respiratory Archives 2023;5:100273. DOI: 10.1016/j.opresp.2023.100273

ISSN: 2659-6636

SJR: 0.153 Scimago JR: 2023

Category: Medicine - Pulmonary and Respiratory Medicine

Position in the category: Q4

RESUMEN

La disección ganglionar sistemática constituye el estándar quirúrgico para la estadificación del cáncer de pulmón no microcítico (CPNM); sin embargo, puede asociarse a morbilidad y no siempre garantiza una estadificación patológica óptima. En este contexto, la biopsia del ganglio linfático centinela (SLN) mediante fluorescencia con verde de indocianina (ICG) surge como una estrategia potencial para mejorar la detección de micrometástasis y optimizar la extensión de la linfadenectomía.

Se llevó a cabo un estudio prospectivo, observacional y unicéntrico que incluyó pacientes adultos con CPNM periférico resecable, sin evidencia de afectación ganglionar preoperatoria, sometidos a resección pulmonar anatómica mediante RATS asociada a

disección ganglionar sistemática entre septiembre de 2020 y junio de 2022. Se administró ICG por vía transpleural peritumoral y se utilizó imagen por infrarrojo cercano (NIR) para la identificación intraoperatoria del SLN. Los objetivos del estudio fueron evaluar la tasa de identificación del SLN, el *upstaging* ganglionar y su posible valor pronóstico en términos de supervivencia.

Se incluyeron 24 pacientes. La identificación del SLN fue posible en el 70,8 % de los casos. El *upstaging* ganglionar (cN0 → pN1–N2) se observó en el 7,1 % de los pacientes. Dos pacientes con SLN negativo presentaron metástasis ganglionares en la disección sistemática complementaria. Tras una mediana de seguimiento de 21,9 meses, la supervivencia global (SG) fue del 100 %. La supervivencia libre de enfermedad (SLE) fue del 100 % en los pacientes con SLN identificado y negativo, frente al 80 % en aquellos en los que no se logró identificar el SLN.

En conclusión, la identificación del ganglio linfático centinela mediante fluorescencia NIR con ICG durante la resección pulmonar RATS es una técnica factible y segura. Esta estrategia puede contribuir a mejorar la precisión del estadiaje patológico y podría tener impacto en los resultados oncológicos; no obstante, son necesarios estudios con mayor tamaño muestral y un seguimiento más prolongado para confirmar estos hallazgos.

Scientific letter

Assessment of Feasibility and Prognostic Value of Sentinel Lymph Node Identification by Near-Infrared Fluorescence in Non-Small Cell Lung Cancer in Patients Undergoing Robotic Anatomic Lung Resections



Evaluación de la factibilidad y el valor pronóstico de la identificación del ganglio centinela mediante fluorescencia cercana al infrarrojo en pacientes sometidos a resecciones pulmonares anatómicas robóticas por cáncer de pulmón no microcítico

Dear Editor,

Radical surgical resection remains the standard for diagnosis, staging, and treatment in patients with localized non-small cell lung cancer (NSCLC).¹ In addition to parenchymal resection, systematic nodal dissection (SND) is recommended.² However, SND is performed in less than 40% of patients with stage I NSCLC³ and can eventually associate complications such as chylothorax, pleural effusion, bleeding, bronchial fistula, oesophageal injury, and nerve damage.⁴

On the other hand, inadequate staging may result in patients presenting with undiagnosed metastatic nodal disease being classified as having early-stage disease and receiving no further adjuvant treatment, contributing to a 50–60% reduction in 5-year survival and an increase in the incidence of recurrences of 40%.^{5,6} Understaging can be attributed to inadequate lymph node sampling, the presence of occult micrometastases and/or inadequate histological processing.⁶

Sentinel lymph node (SLN) biopsy provides the benefit of evaluating lymph nodes with a higher risk of metastatic spread, guiding, and focusing histological analysis towards these high-risk nodes, enhancing the ability to detect micrometastases, and reducing morbidity associated with a non-directed and extensive lymphadenectomy.

Recently, several studies have demonstrated the usefulness of indocyanine green (ICG) and near-infrared (NIR) fluorescence imaging in lymph node mapping in cancer patients.^{7,8}

The main objective of this prospective study was to assess the feasibility and prognostic value of SLN mapping by fluorescence imaging with ICG in lung cancer surgery.

A prospective, observational, single-centre study was conducted. The project was approved by our institutional Clinical Research Ethics Committee and all patients signed the written informed consent. The inclusion criteria consisted of adult patients with proven or suspected peripheral surgically resectable NSCLC, without evidence of lymph node disease in the preoperative study who underwent robotic anatomical lung resection with SND between September 2020 and June 2022.

Patients with history of previous contralateral or ipsilateral lung resection were excluded.

The technique consisted of transpleural injection of 1 mL of ICG diluted in 20% human albumin (concentration of 2.5 mg/mL) into the peritumoral area as previously described.⁹

All procedures were performed using the Da Vinci X system (Intuitive Surgical, USA) by two board certified thoracic surgeons. Operative technique was standardized as previously described.¹⁰

SND was performed in all cases. The FireFly[®] system was turned on to assess all lymph nodes identified in the operating field. If a lymph node was fluorescent, it was resected, observed ex vivo to confirm its avidity with ICG and sent to the pathology department apart from the other lymph nodes.

The primary endpoint was the identification rate of one or more sentinel lymph node(s) by NIR fluorescence imaging after transpleural injection of ICG. The secondary endpoints were the nodal upstaging rate (cN0 → pN1–N2) and the pathological status of the rest of the lymph nodes in cases of negative SLNs.

A mid-term analysis of the overall survival (OS) and disease-free survival (DFS) was also performed to evaluate the prognostic value of SLN identification.

A total of 24 patients were included (Table 1). No adverse events were detected in relation to the peritumoral injection of ICG.

A SLN was identified in 17 patients (70.8%). The 7 SLN identification failures were attributed to technical issues related to intrapleural spread of the ICG during transpleural injection.

In all cases the SLN was single. In 5 cases, the SLN was located in a N1 interlobar station, in 5 was it was found in a N1 hilar station and in 7 patients it was identified in an N2 mediastinal station.

Further analyses focus on patients who had a successfully identified SNL (17 cases) and whose pathological examination confirmed a primary lung malignancy (14 cases). In one case, invasion of the SLN by metastasis was identified, corresponding to a lymph node upstaging of 7.1%. Two cases with negative SLN had a pN+ result in the definitive histological analysis (one intraparenchymal pN1 case and one skip-N2 metastasis pN2 case (negative SLN in region 11R and N2+ in region 7)).

Only patients with anatomopathological diagnosis of primary lung carcinoma pN0 in the definitive pathological analyses were included (n = 16).

The median follow-up was 21.86 months (IQR = 16.90–23.76). OS of the complete series was 100%. DFS was 100% (n = 11/11) in the case of pN0 SLNs (n = 11), while in cases in which the SLN was not identified (n = 5) it was 80% (n = 4/5). Recurrence occurred in a patient with stage IA2 adenocarcinoma, and was localized in the liver.

In the current study we reported a SLN identification rate of 70.8% with NIR fluorescence imaging after transpleural injection of ICG. These results are in line with those described by Phillips et al.¹¹

<https://doi.org/10.1016/j.opresp.2023.100273>

2659-6636/© 2023 Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica (SEPAR). Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Table 1
Characteristics of the population.

Variable	Population (n = 24)
Age (year), median (IQR)	67.9 (75.3–59.5)
Male sex, n (%)	7 (29.2)
Smoking status, n (%)	
Never	4 (16.7)
Former	12 (50)
Current	8 (33.3)
BMI (kg/m ²), median (IQR)	26.26 (28.42–23.52)
FEV1, median (IQR)	99 (114.5–84.25)
DLCO, median (IQR)	83 (103–75)
Comorbidities, n (%)	
Cardiopathy	3 (12.5)
Hypertension	8 (33.3)
COPD	4 (16.7)
Diabetes	2 (8.3)
Kidney insufficiency	2 (8.3)
Previous malignancy	10 (41.7)
Cancer clinical stage, n (%)	
IA1 (cT1aN0)	0 (0)
IA2 (cT1bN0)	6 (25)
IA3 (cT1cN0)	9 (37.5)
IB (cT2aN0)	3 (12.5)
IIA (cT2bN0)	3 (12.5)
IIB (cT3N0)	3 (12.5)
Induction treatment, n (%)	1 (4.17)
Surgical resection, n (%)	
Lobectomy	22 (91.7)
Bilobectomy	1 (4.2)
Pneumonectomy	1 (4.2)
Final histopathology, n (%)	
NSCLC	21 (87.5)
Adenocarcinoma	16
Squamous cell carcinoma	2
Carcinoid tumour	1
Other subtypes	2
Pulmonary metastases	2 (8.3)
Benign lesion	1 (4.2)

IQR: interquartile range; BMI: body mass index; FEV1, forced expiratory volume in one second; DLCO: diffusing capacity of the lung for carbon monoxide; COPD: chronic obstructive pulmonary disease; NSCLC: non-small cell lung cancer.

(67.5% of total cases and 77.4% in solid nodules) who also identified some critical factors in the success of SLN detection (injection of at least 1 mg of ICG, combination with albumin, and pulmonary ventilation after injection) and with those published by Stasiak et al.¹² (75%) who found a better identification rate with transbronchial injection of ICG compared with transpleural injection (77.6% vs 68.2%).

Our study shown an upstaging rate of 7.1%. However, two cases with a negative pN0 SLN had nodal metastasis on complementary dissection (one intraparenchymal N1 and one skip-N2 metastasis). Previous similar studies^{11–13} reported all patients with a negative pN0 SLN were cancer free on the final pathological analysis indicating that N0 status, when established with SLN mapping, reflects the true N0 status. Subsequently, these authors described a better DFS in patients with histologically negative SLN identified, which was also found in our study.

Our study has some limitations that must be taken into account: the small number of patients, the single institution experience, the restriction of surgical approach to robotic, and the short follow-up.

SLN mapping by NIR fluorescence imaging is a safe and feasible technique. This technique may help improve pathological staging and subsequently improve long-term outcomes of surgical NSCLC patients.

Funding

The authors declare that financial support was received regarding the content of this manuscript from the Spanish Society of Pulmonology and Thoracic Surgery (SEPAR): Research grants 2020.

Authors' contributions

Declaration of substantial contributions to:

1. Study conception and design: MTGH, MFJ.
2. Acquisition of data: MTGH, CF, MF, CR, MFJ.
3. Analysis and interpretation of data: MTGH, MFJ.
4. Drafting of the manuscript or critical revision for relevant intellectual content: MTGH, MFJ.
5. Final approval of the version to be submitted: MTGH, CF, MF, CR, MFJ.

Conflicts of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the content of this manuscript.

References

1. Postmus PE, Kerr KM, Ouderkirk M, Sonan S, Waller DA, Vansteenkiste J, et al. Early and locally advanced non-small-cell lung cancer (NSCLC): ESMO Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatment and follow-up. *Ann Oncol*. 2017;28:iv1–21.
2. Lardinois D, De Leyn P, Van Schil P, Porta RR, Waller D, Passlick B, et al. ESTS guidelines for intraoperative lymph node staging in non-small cell lung cancer. *Eur J Cardio-Thorac Surg*. 2006;30:787–92.
3. Hattori A, Matsunaga T, Takamochi K, Oh S, Suzuki K. Extent of mediastinal nodal dissection in stage I non-small cell lung cancer with a radiological pure-solid appearance. *Eur J Surg Oncol*. 2021;47:1797–804.
4. Watanabe A, Miyajima M, Mishina T, Tsuruta K, Takahashi Y, Maki R, et al. Video-assisted thoracoscopic surgery dissection for lung cancer treatment. *Surg Today*. 2017;47:1419–28.
5. Takizawa T, Terashima M, Koike T, Watanabe T, Kurita Y, Yokoyama A, et al. Lymph node metastasis in small peripheral adenocarcinoma of the lung. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1998;116:276–80.
6. Kubuschok B, Passlick B, Izbicki JR, Thetter O, Pastel K. Disseminated tumor cells in lymph nodes as a determinant for survival in surgically resected non-small-cell lung cancer. *J Clin Oncol*. 1999;17:19–24.
7. Liu H, Ding Z, Kota VG, Zhang X, Zhou J. Sentinel lymph node mapping in endometrial cancer: a systematic review and meta-analysis. *Oncotarget*. 2017;8:46601–10.
8. Schaafma BE, Miesog JSD, Hutteman M, van der Vorst JR, Kuppen PJK, Löwik CWGM, et al. The clinical use of indocyanine green as a near-infrared fluorescent contrast agent for image-guided oncologic surgery. *J Surg Oncol*. 2011;104:323–32.
9. Gilmore DM, Khullar OV, Colson VL. Developing intrathoracic sentinel lymph node mapping with near-infrared fluorescent imaging in non-small cell lung cancer. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2012;144:S80–4.
10. Gómez-Hernández MT, Fuentes MG, Novoa NM, Rodríguez I, Varela G, Jiménez MF. The robotic surgery learning curve of a surgeon experienced in video-assisted thoracoscopic surgery compared with his own video-assisted thoracoscopic surgery learning curve for anatomical lung resections. *Eur J Cardio-Thorac Surg*. 2022;61:289–96.
11. Phillips WW, Weiss KD, Digesu CS, Gill RR, Mazzola E, Tsukada H, et al. Finding the "true" N0 cohort: technical aspects of near-infrared sentinel lymph node mapping in non-small cell lung cancer. *Ann Surg*. 2020;272:583–8.
12. Stasiak F, Setzlinger J, Streit A, Wollbrecht C, Piccoli J, Siat J, et al. Sentinel lymph node in non-small cell lung cancer: assessment of feasibility and safety by near-infrared fluorescence imaging and clinical consequences. *J Pers Med*. 2022;13:90.
13. Digesu CS, Hachey KJ, Gilmore DM, Khullar OV, Tsukada H, Whang B, et al. Long-term outcomes after near-infrared sentinel lymph node mapping in non-small cell lung cancer. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2018;155:1280–91.

Clara Forcada^a, María Teresa Gómez-Hernández^{a,b,c,*}, Marta G. Fuentes^{a,b,c}, Cristina E. Rivas^{a,b}, Marcelo F. Jiménez^{a,b,c}

^a Service of Thoracic Surgery, Salamanca University Hospital, Salamanca, Spain

^b Salamanca Institute of Biomedical Research, Salamanca, Spain

^c University of Salamanca, Salamanca, Spain

* Corresponding author.

E-mail address: mtgh@usal.es (M.T. Gómez-Hernández).

4.3. Impact of Minimally Invasive Surgical Approach on Oncological Completeness of Resection in Lung Cancer Surgery

ARTÍCULO III

Forcada C, Gómez Hernández MT, Rivas CE, Fuentes MG, Colmenares Ó, Manama M, Aranda JL, Rodríguez M, Sánchez M, Jiménez MF. **Impact of Minimally Invasive Surgical Approach on Oncological Completeness of Resection in Lung Cancer Surgery. Surgical Oncology 2025;64:102310.** DOI: 10.1016/j.cireng.2023.10.003

ISSN: 0960-7404

Impact Index: 2.4 JCR Science Edition: 2023

Category: Surgery

Position in the category: 79 of 314 (Q2)

RESUMEN

La radicalidad oncológica, definida como la resección completa del tumor, es un pilar fundamental en la cirugía del cáncer de pulmón. El presente estudio tuvo como objetivo comparar la calidad oncológica de las resecciones pulmonares anatómicas realizadas mediante cirugía torácica videoasistida (VATS) frente a cirugía torácica asistida por robot (RATS), con especial atención a la completitud de la resección. Los objetivos secundarios incluyeron la evaluación de la calidad de la linfadenectomía, el *upstaging* nodal, la presencia de enfermedad residual y el número de estaciones linfáticas y ganglios extraídos.

Se realizó un estudio prospectivo monocéntrico que incluyó pacientes consecutivos sometidos a resección pulmonar anatómica mínimamente invasiva por cáncer de pulmón entre septiembre de 2023 y abril de 2025. Para equilibrar las características basales entre los grupos, se aplicó ponderación por solapamiento (*overlap weighting*) basada en

puntuaciones de propensión, calculadas según histología, estadio clínico T y N, y extensión de la resección. Los resultados oncológicos se compararon entre VATS y RATS mediante pruebas estadísticas adecuadas según el tipo y distribución de las variables.

De 358 pacientes evaluados, 255 cumplieron los criterios de inclusión (84 RATS y 171 VATS). Las tasas de resección completa, incompleta e incierta fueron del 62,0 %, 3,5 % y 34,5 %, respectivamente. Tras la ponderación por solapamiento, no se observaron diferencias significativas entre RATS y VATS en términos de resección completa (66,5 % vs. 60 %, $p = 0,557$), enfermedad residual (2,17 % vs. 1,92 %, $p = 0,802$), linfadenectomía adecuada (70,7 % vs. 61,8 %, $p = 0,181$) o *upstaging* nodal (19,7 % vs. 11,3 %, $p = 0,087$). No obstante, RATS se asoció con un mayor número de estaciones mediastínicas diseccionadas (mediana: 4 vs. 3, $p < 0,001$) y de ganglios linfáticos recuperados (mediana: 9 vs. 7, $p < 0,001$).

En conclusión, tanto RATS como VATS logran una radicalidad oncológica comparable en resecciones pulmonares anatómicas mínimamente invasivas. Sin embargo, la RATS permite una linfadenectomía más amplia, lo que podría mejorar la precisión del estadiaje y potencialmente influir en la toma de decisiones terapéuticas posteriores.



Impact of minimally invasive surgical approach on oncological completeness of resection in lung cancer surgery

Clara Forcada ^a, María Teresa Gómez-Hernández ^{a,b,c,*}, Cristina E. Rivas ^{a,b,c},
Marta G. Fuentes ^{a,b,c}, Óscar Colmenares ^{a,b}, Mario Manama ^{a,b}, José Luis Aranda ^{a,b,c},
Marta Rodríguez ^{b,c,d}, Mercedes Sánchez ^c, Marcelo F. Jiménez ^{a,b,c}

^a Service of Thoracic Surgery, Salamanca University Hospital, Salamanca, Spain

^b Salamanca Institute of Biomedical Research, Salamanca, Spain

^c University of Salamanca, Salamanca, Spain

^d Service of Pathology, Salamanca University Hospital, Salamanca, Spain

ARTICLE INFO

Keywords:

Non-small cell lung cancer
Complete surgical resection
Residual disease
Lymph node upstaging
Oncological radicality
Video-assisted thoracoscopic surgery
Robotic-assisted thoracic surgery

ABSTRACT

Objectives: Oncological radicality, defined as complete resection, is essential in lung cancer surgery. This study aimed to compare the oncological quality of anatomical lung resections performed via video-assisted thoracoscopic surgery (VATS) versus robotic-assisted thoracic surgery (RATS), focusing on completeness of resection. Secondary objectives included lymphadenectomy quality, nodal upstaging, residual disease, and the number of dissected lymph node stations and retrieved lymph nodes.

Methods: A prospective single-center study included consecutive patients undergoing minimally invasive anatomical lung resection for lung cancer (September 2023–April 2025). Overlap weighting based on propensity scores—calculated using histology, clinical T and N stage, and extent of resection—was applied. Outcomes related to oncological radicality were compared between the VATS and RATS groups using appropriate statistical tests based on variable type and distribution.

Results: Of 358 patients, 255 met the inclusion criteria (84 RATS, 171 VATS). The rates of complete, incomplete, and uncertain resection were 62.0 %, 3.5 %, and 34.5 %, respectively. After overlap weighting, no significant differences were observed between RATS and VATS in complete resection (66.5 % vs. 60 %, $p = 0.557$), residual disease (2.17 % vs. 1.92 %, $p = 0.802$), adequate lymphadenectomy (70.7 % vs. 61.8 %, $p = 0.181$), or nodal upstaging (19.7 % vs. 11.3 %, $p = 0.087$). However, RATS yielded a higher number of mediastinal nodal stations dissected (median: 4 vs. 3, $p < 0.001$) and lymph nodes retrieved (median: 9 vs. 7, $p < 0.001$).

Conclusions: RATS and VATS achieved similar oncological radicality. However, RATS was associated with more extensive lymphadenectomy, potentially improving staging accuracy.

1. Introduction

Achieving radical (R0) resection is essential in the surgical treatment of non-small cell lung cancer (NSCLC). While the concept of residual tumour status (R status) was initially introduced by the American Joint Committee on Cancer (AJCC) in 1977 [1] based on margin involvement, it was later deemed insufficient to capture the full scope of surgical radicality. In response, expanded definitions incorporated additional criteria such as pleural invasion, status of the most distant resected lymph nodes, and the thoroughness of mediastinal lymphadenectomy. In 2005, the International Association for the Study of Lung Cancer

(IASLC) standardized these definitions, classifying resections as complete, incomplete, or uncertain [2], with proven prognostic relevance: both incomplete (R1–R2) and uncertain (R(un)) resections have been associated with significantly worse outcomes compared to R0 resections [3,4].

Minimally invasive surgery has become the standard approach for early-stage NSCLC [5]. While VATS is widely used, RATS has emerged more recently, offering technical advantages such as improved visualization and dexterity [6]. Some studies suggest that RATS may enable more thorough lymphadenectomy than VATS [7,8], but whether these differences impact the overall completeness of resection as defined by

* Corresponding author. Salamanca University Hospital, Salamanca, 37007, Spain.

E-mail address: mtgh@usal.es (M.T. Gómez-Hernández).

<https://doi.org/10.1016/j.suronc.2025.102310>

Received 4 September 2025; Received in revised form 8 October 2025; Accepted 28 October 2025

Available online 28 October 2025

0960-7404/© 2025 Elsevier Ltd. All rights are reserved, including those for text and data mining, AI training, and similar technologies.

the IASLC remains unclear. Previous work has explored the influence of technique on nodal dissection [9–11], yet no study has comprehensively assessed its role in achieving complete resection. This study aims to address this gap by comparing the oncological quality of anatomical lung resections performed with VATS and RATS, focusing on the rate of complete resection.

2. Methods

2.1. Ethical statement

The study was approved by the Clinical Research Ethics Committee (IRB code: 2023 07 1370), and written informed consent was obtained from all patients.

2.2. Study design, data source and patients

We conducted a single-centre, prospective, observational cohort study including patients aged >18 years who underwent anatomical lung resection (segmentectomy, lobectomy, bilobectomy, or pneumonectomy) with curative intent via VATS or RATS between September 2023 and April 2025. Exclusion criteria were: final histology other than lung cancer, neoadjuvant therapy, or prior ipsilateral lung surgery. Since this was a non-interventional study with no assignment of treatment and no causal effects assessed, the study was not registered in a public trial registry, in accordance with current recommendations for observational research. The initial sample size was estimated based on previous literature and institutional caseload, with approximately 100 patients planned. The final cohort included 358 patients, enhancing the robustness of the analysis. Formal sample size calculations were not performed due to the exploratory nature of the study and the use of a composite endpoint with multiple components.

2.3. Operative procedures

The choice of approach depended on robotic system availability—available once weekly—while VATS was available daily. All VATS procedures were performed by a team of seven board-certified thoracic surgeons. RATS anatomical resections were performed by two members of the same team who were Intuitive Surgical certified surgeons. The robotic thoracic surgery program was implemented in our department in 2018. By the start of this study, both surgeons had performed more than 200 robotic procedures, having extensively surpassed the learning curve. Surgical techniques were standardized across both groups, as previously described [12]. Nodal dissection followed the European Society of Thoracic Surgeons (ESTS) guidelines [13], which represent our institutional standard. Lymph node specimens were analysed using CK AE1/AE3 immunohistochemistry to detect micrometastases. Pleural lavage cytology was not routinely performed; cytological examination of pleural or pericardial fluid was limited to cases with intraoperative effusion.

2.4. Outcomes

The primary endpoint was oncological radicality, defined by IASLC criteria for complete resection [2]: a) negative microscopic margins; b) systematic or lobe-specific nodal dissection with ≥ 6 lymph nodes (≥ 3 mediastinal including subcarinal, and ≥ 3 hilar/intrapulmonary); c) no extracapsular node invasion; d) highest mediastinal node removed must be tumour-free. Incomplete resection included positive margins, extracapsular invasion, unremoved involved nodes, or malignant pleural/pericardial effusion. Uncertain resection referred to negative margins with: inadequate nodal assessment, highest mediastinal node involved, carcinoma in situ at bronchial margin, or positive pleural lavage cytology.

Secondary endpoints included: adequacy of lymphadenectomy

(IASLC criteria), residual disease, nodal upstaging, and the number of nodal stations and lymph nodes retrieved.

2.5. Statistical analysis

There were no missing data. Demographics, clinicopathological variables, and indicators of oncological radicality were compared between VATS and RATS. Continuous variables were expressed as median (IQR) or mean (SD), and categorical variables as frequencies and percentages. Normality and variance homogeneity were assessed with the Kolmogorov–Smirnov test. Student's *t*-test was used for normally distributed variables; otherwise, the Mann–Whitney *U* test was applied. Categorical variables were compared using Pearson's chi-squared or Fisher's exact test. $P < 0.05$ was considered statistically significant. To evaluate baseline balance between groups prior to adjustment, standardized mean differences (SMD) were calculated for continuous variables, and Phi coefficient or Cramér's *V* for categorical variables, as appropriate.

To minimize confounding, a propensity score analysis was conducted using logistic regression including clinically relevant variables: histology, clinical T and N stage, and extent of resection. Individual propensity scores were estimated and used to compute Inverse Probability of Treatment Weights (IPTW) and Overlap Weights (OW). Covariate balance was assessed using standardized mean differences (SMD) and visualized in a plot (Fig. 1). OW (red dots) achieved superior covariate balance compared to IPTW (turquoise dots), with most SMDs within ± 0.1 . Consequently, OW were used for adjusted comparisons. Standardized mean differences for all variables before and after weighting were reported, along with adjusted effect estimates and 95% confidence intervals for all outcomes. As the aim of the study was not to estimate a causal effect of the surgical approach but rather to compare oncological outcomes after adjustment for confounding, small residual imbalances do not compromise the validity of the analyses.

Post-weighting comparisons used statistical tests appropriate for weighted data. Categorical variables were analysed with a weighted chi-square test; discrete quantitative variables with a weighted rank-sum test. Weighted medians were also reported. To confirm adequate post-weighting balance, SMD, Phi coefficient, and Cramér's *V* were recalculated after weighting.

Additionally, a sensitivity analysis restricted to patients undergoing lobectomy and stratified analyses by procedure type were performed to assess the robustness of the results.

Data analysis was performed using RStudio (version 4.3.2; R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria), employing base R functions along with the survey, cobalt, ggplot2, and dplyr packages.

Our manuscript is reported according to the STROBE recommendations.

3. Results

A total of 358 patients were initially assessed. After excluding those with non-primary lung cancer ($n = 74$), prior ipsilateral lung surgery ($n = 7$), or neoadjuvant therapy ($n = 22$), 255 patients were included (84 RATS, 171 VATS). Fig. 2 shows the flowchart of patients assessed, excluded, and finally included in the analyses.

No RATS procedures were converted to open thoracotomy or VATS, whereas eight cases initially approached by VATS were converted to open thoracotomy, mainly due to active bleeding or risk of bleeding. No perioperative mortality was observed. Postoperative complications occurred in 14.3% of RATS and 23.4% of VATS patients ($p = 0.090$), with prolonged air leak being the most frequent (3.6% vs. 10.5%, $p = 0.058$).

Overall, complete, incomplete, and uncertain resection rates were 62.0%, 3.5%, and 34.5%, respectively. Uncertain resection was mainly due to inadequate lymphadenectomy, whereas positive margins and extracapsular invasion of involved lymph nodes led to incomplete

Table 1
Patient demographics and baseline characteristics before and after overlap weighting (OW).

Variable	Before OW				After OW			
	RATS (n = 84)	VATS (n = 171)	SMD/Phi/Cramer	p-value	RATS (n = 84)	VATS (n = 171)	SMD/Phi/Cramer	p-value
Age, median (IQR), years	69 (12)	69 (11)	-0.108	0.512 ^a	68 (11)	69 (11)	0.147	0.3831 ^d
BMI, median (IQR), kg/m ²	24.85 (7.6)	25.6 (6.3)	-0.013	0.256 ^a	25.1 (7.6)	25.5 (6.4)	0.053	0.5945 ^d
ppoFEV1, median (IQR)	87 (30.55)	75.89 (24.42)	0.503	0.000 ^a	87.58 (29.58)	77.37 (23.51)	0.420	0.0023 ^d
ppoDLCO, median (IQR)	73.43 (31.61)	67.79 (22.61)	0.396	0.012 ^a	79.63 (34.04)	69.05 (23.58)	0.362	0.0262 ^d
Male gender, n (%)	43 (51.2)	113 (66.1)	0.135	0.022 ^b	42 (50.24)	106 (61.70)	0.143	0.1011 ^e
Coronary disease, n (%)	6 (7.1)	11 (6.4)	0.000	0.831 ^b	6 (6.63)	11 (6.44)	0.005	0.9546 ^e
Arrhythmia, n (%)	2 (2.4)	17 (9.9)	0.119	0.031 ^b	2 (1.82)	17 (9.88)	0.210	0.0161 ^e
Stroke, n (%)	6 (7.1)	13 (7.6)	0.000	0.896 ^b	6 (7.40)	14 (8.12)	0.017	0.8465 ^e
CKD, n (%)	4 (4.8)	5 (2.9)	0.024	0.482 ^b	4 (4.99)	5 (2.64)	0.062	0.3443 ^e
Diabetes, n (%)	16 (19)	20 (11.7)	0.087	0.113 ^b	16 (18.66)	18 (10.75)	0.145	0.0957 ^e
Hypertension, n (%)	43 (51.2)	72 (42.1)	0.077	0.171 ^b	43 (51.16)	72 (42.34)	0.109	0.2078 ^e
Previous malignancy, n (%)	29 (34.5)	46 (26.9)	0.069	0.209 ^b	30 (35.32)	47 (27.47)	0.106	0.2238 ^e
ASA score, n (%)			0.055	0.308 ^b			0.099	0.2532 ^e
- I-II	39 (46.4)	91 (53.2)			39 (46.87)	94 (54.89)		
- III-IV	45 (53.6)	80 (46.8)			45 (53.12)	77 (45.11)		
Histology, n (%)			0.138	0.181 ^b			0.115	0.1558 ^e
- ADC	53 (63.1)	111 (64.9)			53 (63.15)	118 (69)		
- SCC	12 (14.3)	37 (21.6)			10 (12.42)	30 (17.65)		
- Neuroendocrine	14 (16.7)	15 (8.8)			17 (20.44)	19 (11.26)		
- Others	5 (6)	8 (4.7)			4 (3.99)	4 (2.09)		
cT, n (%)			0.219	0.007 ^b			0.192	0.0078 ^e
- T1	75 (89.3)	120 (70.2)			81 (95.97)	152 (88.94)		
- T2	7 (8.3)	32 (18.7)			3 (3.69)	16 (9.28)		
- T3	2 (2.4)	13 (7.6)			0 (0.34)	3 (1.49)		
- T4	0 (0)	6 (3.5)			0 (0)	0 (0.3)		
cN, n (%)			0.083	0.418 ^b			0.084	0.3957 ^e
- N0	83 (98.8)	167 (97.7)			83 (99.08)	168 (98.16)		
- N1	0 (0)	3 (1.8)			0 (0)	2 (1.38)		
- N2	1 (1.2)	1 (0.6)			1 (0.91)	1 (0.46)		
Extent of resection, n (%)			0.314	0.000 ^a			0.323	0.000 ^a
- Segmentectomy	53 (63.1)	52 (30.4)			57 (68.0)	65 (38.1)		
- Lo/Bilobectomy	31 (36.9)	117 (68.4)			27 (32.0)	105 (61.6)		
- Pneumonectomy	0 (0)	2 (1.2)			0 (0)	1 (0.3)		

IQR: interquartile range; BMI: body mass index; ppoFEV1: predicted postoperative forced expiratory volume in 1 s; predicted postoperative carbon monoxide lung diffusion capacity; CKD: chronic kidney disease; COPD: Chronic obstructive pulmonary disease; ASA: American Society of Anesthesiologists.

^a U-Mann Whitney test.

^b Chi-squared test.

^c Fisher exact test.

^d Weighted rank-sum test.

^e Weighted chi-square test.

adequate lymphadenectomy (70.73 % vs. 61.76 %, $p = 0.181$), residual disease (2.17 % vs. 1.92 %, $p = 0.802$) or nodal upstaging (19.67 % vs. 11.25 %, $p = 0.087$). Nonetheless, the RATS group showed a significantly higher number of mediastinal nodal stations dissected (median: 4 vs. 3, $p < 0.001$) and lymph nodes retrieved (median: 9 vs. 7, $p < 0.001$).

A sensitivity analysis restricted to patients undergoing lobectomy and stratified analyses by procedure type is presented in [Supplementary Table 1](#). The results were consistent with the main analysis.

4. Discussion

Complete resection, defined by well-established oncological and technical criteria, remains the cornerstone of surgical treatment for lung cancer, with its prognostic value consistently supported by multiple studies [3,14–17]. Patients who achieve complete resection demonstrate significantly better overall survival compared to those with uncertain or incomplete resection, even after adjusting for tumor-related, demographic, comorbidity, and treatment-related variables. Given its strong prognostic impact, identifying factors that influence the likelihood of complete resection is essential. While tumor characteristics are the primary determinant [18,19], the surgical approach may also contribute, particularly in anatomically or oncologically challenging cases [18]. With minimally invasive techniques now widely adopted as standard practice, it remains a subject of ongoing debate whether VATS

or robotic surgery offers any advantage in achieving optimal oncological outcomes.

In our series, the rate of complete resection was 62 %, while 3.5 % were classified as incomplete and 34.5 % as uncertain. These figures are in line with previously reported ranges [3,14–17,20–26], with complete resections reported between 33 % and 78.5 %, incomplete resections between 3 % and 38 %, and uncertain resections ranging from 14.5 % to 65.9 %. However, all these studies share a retrospective design.

The main finding of our study is that patients undergoing robotic anatomical lung resection achieved comparable rates of complete resection to those treated with VATS. The sensitivity analysis confirmed that the overall findings remained robust, with a possible advantage of RATS in lobectomies. Although previous evidence from Rasing et al. [18], based on a cohort of 7156 patients, demonstrated a 1.42-fold increased risk of incomplete resection associated with the open approach ($p = 0.008$), no prior studies have specifically addressed this question in the context of minimally invasive surgery.

In our series, as in the comprehensive IASLC review [27], most cases classified as uncertain resection were attributed to inadequate hilar or mediastinal lymph node dissection, underscoring the pivotal role of thorough nodal assessment in achieving complete resection. The importance of this aspect is such that authors like Thomas et al. [28] have implemented pilot quality improvement initiatives aimed specifically at enhancing intraoperative lymphadenectomy. It is important to

Table 2
Outcomes in oncological variables related to oncological radicality before and after overlap weighting (OW).

Outcome	Before OW			After OW		
	RATS (n = 84)	VATS (n = 171)	p-value	RATS (n = 84)	VATS (n = 171)	p-value
Complete resection, n (%)			0.701 ^a			0.557 ^d
- Complete	55 (65.5)	103 (60.2)		56 (66.5; IC95 %:56.1–76.9)	103 (60; IC95 %:52–68.1)	
- Incomplete	3 (3.6)	6 (3.5)		2 (2.2; IC95 %:0–4.8)	3 (1.8; IC95 %: 0–4)	
- Uncertain	26 (31)	62 (36.3)		26 (31.3; IC95 %:21.1–41.6)	65 (38; IC95 %: 30.1–46)	
Residual disease, n (%) ^f			0.753 ^a			0.802 ^d
- No residual disease	81 (96.4)	165 (96.5)		82 (97.83; IC95 %:95.2–100)	168(98.08; IC95 %:96–100)	
- Microscopic disease	3 (3.6)	5 (2.9)		2 (2.17; IC95 %: 0–4.8)	3 (1.83; IC95 %:0–3.9)	
- Macroscopic disease	0 (0)	1 (0.6)		0 (0)	0 (0.09; IC95 %:0–0.3)	
Microscopically tumor-free resection margins, n (%)	83 (98.8)	166 (97.1)	0.667 ^b	84 (99.47; IC95 %:98.4–100)	168(98.34; IC95 %:96.4–100)	0.303 ^d
Adequate lymphadenectomy (IASLC criteria), n (%)	59 (70.2)	109 (63.7)	0.304 ^c	59 (70.73; IC95 %:60.7–80.7)	106(61.76; IC95 %:53.8–69.7)	0.181 ^d
Absence of extracapsular extension, n (%)	82 (97.6)	170 (99.4)	0.253 ^b	83 (98.36; IC95 %:95.9–100)	170 (99.73; IC95 %:99.7–100)	0.098 ^d
Negative highest mediastinal lymph node, n (%)	80 (95.2)	166 (97.1)	0.482 ^b	80 (95.59; IC95 %:91.2–100)	166 (97.4)	0.461 ^d
Nodal upstaging, n (%)						
- cN0-pN1/N2	16 (19)	20 (11.7)	0.113 ^b	16 (19.67; IC95 %:10.9–28.5)	19 (11.25; IC95%:1–16.4)	0.087 ^d
- cN0-pN1	8 (9.5)	12 (7)	0.484 ^b	9 (10.24; IC95: 3.5–17)	11 (6.7; IC95 %: 2.6–10.8)	0.355 ^d
- cN0-pN2	8 (9.5)	8 (4.7)	0.134 ^b	8 (9.42; IC95 %:3.0–15.8)	8 (4.95; IC95 %: 1.2–7.9)	0.149 ^d
- cN1-pN2	0 (0)	0 (0)	–	0 (0)	0 (0)	–
Number of dissected stations, median (IQR)						
- N1	3 (2)	3 (1)	0.088 ^b	3 (2; IC95 %: 2.5–3.5)	2 (1; IC95 %: 1.5–2.5)	0.064 ^c
- N2	4 (2)	3 (1)	0.000 ^b	4 (1; IC95 %:3.5–4.5)	3 (1;IC95 %: 2.5–3.5)	0.0000 ^c
Number of biopsied/excised lymph nodes, median (IQR)						
- Total	9 (5)	7 (4)	0.000 ^b	9 (5; IC95 %: 8.0–10)	7 (3; IC95 %: 6.5–7.5)	0.000 ^c
- N1	3 (3)	3 (3)	0.967 ^b	3 (1; IC95 %: 2.5–3.5)	3 (1; IC95 %: 2.5–3.5)	–
- N2	6 (3)	4 (2)	0.000 ^b	6 (3; IC95 %: 5.5–6.5)	4 (2; IC95 %: 3.4–4.5)	0.000 ^c

RATS: robotic-assisted thoracic surgery; VATS: video-assisted thoracic surgery; IQR: Interquartile range.

Microscopic residual disease included microscopically positive surgical margins without macroscopic tumor and cases with extranodal extension of involved hilar or mediastinal lymph nodes.

Macroscopic residual disease referred to visible or palpable tumor remaining or unresected involved lymph nodes.

^a Chi-squared test.

^b Fisher exact test.

^c U-Mann Whitney test.

^d Weighted chi-square test.

^e Weighted rank-sum test.

^f No residual disease corresponded to negative surgical margins and a negative highest nodal station.

note that the total nodal count represents the combined contribution of lymph nodes harvested by the surgeon and those subsequently retrieved by the pathologist from the surgical specimen. While the number of intraparenchymal and hilar nodes may vary depending on the pathologist's technique, the extent and quality of mediastinal dissection are primarily determined by surgical performance. In our study, mediastinal nodal dissection was more extensive in the robotic group. However, although there was a trend toward more adequate lymphadenectomy, the differences did not reach statistical significance.

The total number of lymph nodes retrieved was also higher with the robotic approach. This finding aligns with previous studies suggesting that RATS may enable more extensive lymph node dissection than VATS [29]. However, a meta-analysis by Ma et al. [7] found no statistically significant differences between the two techniques regarding the number of harvested lymph nodes and nodal stations, although the sensitivity analysis suggested a tendency favouring RATS. Our results support this latter interpretation. In our experience, the robotic system's articulated EndoWrist, offering seven degrees of freedom, allows for greater precision in tissue dissection and facilitates lymph node retrieval in anatomically complex or deep locations, potentially enhancing the thoroughness of lymphadenectomy.

Moreover, the increased nodal yield in the robotic group was associated with a higher—though not statistically significant—rate of pathological nodal upstaging, a commonly used surrogate marker of lymphadenectomy quality. Similarly, Wilson et al. [30] and Kneuert et al. [10] reported significantly higher upstaging rates with robotic resections compared to VATS, further supporting the hypothesis that the robotic approach may enable a more comprehensive and accurate nodal

dissection.

After assessing lymphadenectomy quality, other IASLC criteria—such as extracapsular extension, resection margins, and the status of the highest mediastinal lymph node—should also be considered. While extracapsular extension is a tumour-related factor unlikely to be influenced by the surgical approach, resection margins and sampling of the highest mediastinal node may be affected by it. VATS allows for palpation, whereas RATS offers a three-dimensional view that may improve margin assessment. Moreover, the more extensive mediastinal dissection typically achieved with RATS could increase the likelihood of sampling higher nodal stations, such as 2R or 4L, which may still be free of tumour cells even when lower stations are involved. Nonetheless, in our series, no significant differences were observed between both approaches regarding these variables.

This study has several limitations. Despite the use of individual matching to reduce selection bias, the relatively small sample size and single-center design may limit generalizability. External validation in larger, multicenter cohorts is needed. Uncertain resection was mainly related to inadequate lymphadenectomy. Additionally, pleural cytology was only performed in cases with visible effusion, and pleural lavage was not routinely carried out. This may have led to underdetection of pleural dissemination, which has been reported in approximately 5 % [4] of patients; therefore, these cases should be categorized as uncertain resection. Long-term follow-up should be performed to assess the real impact of surgical approach and oncological radicality on oncological outcomes, including disease-free and overall survival. Finally, although surgical protocols are standardized at our institution, variability cannot be fully excluded: all RATS procedures were performed by two

dedicated console surgeons, whereas VATS resections were performed by seven surgeons, potentially introducing performance bias.

5. Conclusion

In this prospective cohort study comparing RATS and VATS for anatomical lung resection no statistically significant differences were observed in rates of complete resection, residual disease, adequate lymphadenectomy, and nodal upstaging. Notably, RATS was associated with a significantly higher number of mediastinal nodal stations dissected and total lymph nodes retrieved, suggesting a potential advantage in the thoroughness of nodal dissection. These findings support the oncological equivalence of RATS and VATS in lung cancer surgery, while also indicating that RATS may facilitate a more extensive mediastinal lymphadenectomy. Further multicenter studies with larger cohorts are needed to validate these results and determine their potential impact on long-term oncological outcomes.

CRedit authorship contribution statement

Clara Forcada: Writing – review & editing. **María Teresa Gómez-Hernández:** Writing – review & editing, Writing – original draft, Validation, Methodology, Investigation, Formal analysis, Data curation, Conceptualization. **Cristina E. Rivas:** Writing – review & editing, Writing – original draft, Conceptualization. **Marta G. Fuentes:** Writing – review & editing. **Oscar Colmenares:** Writing – review & editing. **Mario Manama:** Writing – review & editing. **José Luis Aranda:** Writing – review & editing. **Marta Rodríguez:** Writing – review & editing, Validation, Formal analysis. **Mercedes Sánchez:** Writing – review & editing, Writing – original draft, Software, Methodology, Formal analysis. **Marcelo F. Jiménez:** Writing – review & editing, Writing – original draft, Supervision, Project administration, Funding acquisition, Data curation, Conceptualization.

Data availability statement

The data underlying this article will be shared on reasonable request to the corresponding author.

Funding statement

This project was supported by a grant from the Castilla y León Regional Health Management (Gerencia Regional de Salud de Castilla y León), as well as funding from the Sociedad Castellano-Leonesa y Cantabra de Patología Respiratoria (SOCALPAR).

Declaration of interest statement

The authors declare that they have no financial, personal, or professional conflicts of interest that could inappropriately influence, or be perceived to influence, the content of this manuscript. All funding sources, institutional affiliations, and relationships relevant to the study have been fully disclosed, and the research was conducted independently of any commercial or non-academic influence.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.suronc.2025.102310>.

References

- Reporting AJC on CS and EB. Manual for Staging of Cancer. American Joint Committee for Cancer Staging and End-Results Reporting, 1977, p. 194, 1977.
- B. Rami-Porta, C. Wittekind, F. Goldstraw, International Association for the Study of Lung Cancer (IASLC) Staging Committee, Complete resection in lung cancer surgery: proposed definition, *Lung Cancer Amst. Neth.* 49 (2005) 25–33.
- J.G. Edwards, R. Chamsky, P. Van Schil, A.G. Nicholson, S. Durkin, E. Brambilla, et al., The IASLC lung cancer staging project: analysis of resection margin status and proposals for residual tumor descriptors for non-small cell lung cancer, *J. Thorac. Oncol. Off. Publ. Int. Assoc. Study Lung Cancer* 15 (2020) 344–359.
- P.C. Detterbeck, M. Ostrowski, H. Hoffmann, B. Rami-Porta, R.U. Chatterjee, J. Desimone, et al., The international association for the study of lung cancer lung cancer staging project: proposals for revision of the classification of residual tumor after resection for the forthcoming (Ninth) edition of the TNM classification of lung cancer, *J. Thorac. Oncol. Off. Publ. Int. Assoc. Study Lung Cancer* 19 (2024) 1052–1072.
- J.A. Howington, M.G. Blum, A.C. Chang, A.A. Bekirian, S.C. Murthy, Treatment of stage I and II non-small cell lung cancer: diagnosis and management of lung cancer, 3rd ed. American college of chest physicians evidence-based clinical practice guidelines, *Chest* 143 (2013) e2765–e3135.
- P.O. Velez-Cablan, E.P. Ng, J.P. Fontana, E.M. Tolosa, Robotic-assisted videothoracoscopic surgery of the lung, *Cancer Control J. Moffitt Cancer Cent.* 22 (2015) 314–325.
- J. Ma, X. Li, S. Zhao, J. Wang, W. Zhang, G. Sun, Robot-assisted thoracic surgery versus video-assisted thoracic surgery for lung lobectomy or segmentectomy in patients with non-small cell lung cancer: a meta-analysis, *BMC Cancer* 21 (2021) 488.
- D. Arámbura, L. Yildizkaya, M. Kępczyński, P. Izcarbáková, P. Benat, M. Mittak, et al., Robotic-assisted mediastinal lymphadenectomy in lung cancer: a narrative review, *J. Robot. Surg.* 39 (2025) 263.
- C. Obispo, S. Gall, R. Rami-Porta, A. Jaén, D. Gómez de Armentia, Carrasco S. Crowley, et al., Radicality of lymphadenectomy in lung cancer resections by thoracotomy and video-assisted thoracoscopic approach: a prospective, multicentre and propensity-score adjusted study, *Lung Cancer Amst. Neth.* 165 (2022) 63–70.
- P.J. Knezer, D.H. Churruarín, D.M. D'Souza, K. Mardani, M. Abdel-Razek, D. Thangarath, et al., Propensity-score adjusted comparison of pathologic nodal upstaging by robotic, video-assisted thoracoscopic, and open lobectomy for non-small cell lung cancer, *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 158 (2019) 1457–1466.e2.
- M.W. Brennan, L.H. DeGuzoff, A. Gossman, T.L. Denny, S. Venkataraj, The association of nodal upstaging with surgical approach and its impact on long-term survival after resection of non-small-cell lung cancer, *Eur. J. Cardio. Thorac. Surg. Off. J. Eur. Assoc. Cardio. Thorac. Surg.* 57 (2020) 888–895.
- M.T. Gómez-Hernández, M.G. Fuentes, N.M. Novoa, I. Rodríguez, G. Vamala, M. F. Jiménez, The robotic surgery learning curve of a surgeon experienced in video-assisted thoracoscopic surgery compared with his own video-assisted thoracoscopic surgery learning curve for anatomical lung resections, *Eur. J. Cardio. Thorac. Surg. Off. J. Eur. Assoc. Cardio. Thorac. Surg.* 61 (2022) 289–296.
- D. Landrotin, P. De Leyn, P. Van Schil, R.E. Porta, D. Waller, B. Paudyal, et al., ESTS guidelines for intraoperative lymph node staging in non-small cell lung cancer, *Eur. J. Cardio. Thorac. Surg. Off. J. Eur. Assoc. Cardio. Thorac. Surg.* 30 (2006) 787–792.
- Y. Ren, Y. She, H. Tang, J. Dong, G. Jiang, C. Wu, et al., Prognostic evaluation of the proposed residual tumor classification in a Chinese non-small cell lung cancer population, *J. Surg. Oncol.* 125 (2022) 1063–1070.
- R.U. Chatterjee, N.R. Faria, W. Stevens, C. Behndt, C. Houston-Harris, P. Ojebaka, et al., Beyond margin status: population-based validation of the proposed international association for the study of lung cancer residual tumor classification nomenclature, *J. Thorac. Oncol.* 15 (2020) 371–382.
- M. Gagliasso, G. Migliorini, F. Ardianese, Assessing the prognostic impact of the international association for the study of lung cancer proposed definitions of complete, uncertain, and incomplete resection in non-small cell lung cancer surgery, *Lung Cancer Amst. Neth.* 111 (2017) 124–130.
- Y. Katoenates, S. Nakamura, H. Uno, M. Goto, N. Ozeki, K. Fukumoto, et al., Prognostic value of uncertain resection for overall survival in non-small cell lung cancer, *Ann. Thorac. Surg.* 114 (2022) 1262–1268.
- M.J.A. Huang, M. Penn, A.C. Moreno, E.F.N. Hulman, G.J.M. Herder, P.W. N. Welvaart, et al., Predicting incomplete resection in non-small cell lung cancer preoperatively: a validated nomogram, *Ann. Thorac. Surg.* 111 (2021) 1052–1058.
- W.S. Rendi, Z. Yang, B.T. Heiden, P.P. Samson, D. Morgenstern, S.N. Waqar, et al., Factors associated with incomplete resection for large, locally invasive non-small cell lung cancer, *J. Thorac. Dis. [Internet]* (2024) [citado 26 de julio de 2025];16. Disponible en: <https://td.asngroups.org/article/view/85909>.
- J.K. Yun, G.D. Lee, S. Choi, Y.H. Kim, D.E. Kim, S.I. Park, et al., A validation study of the recommended change in residual tumor descriptors proposed by the international association for the study of lung cancer for patients with pN2 NSCLC, *J. Thorac. Oncol.* 16 (2021) 817–826.
- X. Wang, J.S. Cai, F. Yang, Investigation of the non-small cell lung cancer patients with uncertain resection: a population-based study, *Lung Cancer* 171 (2022) 47–55.
- J. Lee, J. Lee, Y.S. Hong, G. Lee, D. Kang, J. Yun, et al., Validation of the IASLC residual tumor classification in patients with stage III–IV non-small cell lung cancer undergoing noninvasive chemoradiotherapy followed by surgery, *Ann. Surg.* 277 (2023) e1355.
- Z. Wen, F. Fu, Y. Zhao, Z. Gao, H. Han, H. Li, et al., Residual tumor descriptors proposed by the international association for the study of lung cancer may not be applicable to stage I and ground-glass opacity-featured non-small cell lung cancer, *Transl. Lung. Cancer Res. [Internet]* (2025) [citado 26 de julio de 2025];12. Disponible en: <https://tlcr.asngroups.org/article/view/81063>.
- T. Chen, Y. Zhong, J. Wen, J. Deng, Y. She, Y. Zhu, et al., Prognostic significance of the proposed residual tumor classification in patients with NSCLC after sleeve

- lobectomy. *JTO Clin. Res. Rep.* [Internet] (2023) [citado 26 de julio de 2025];4. Disponible en: [https://www.jto.org/article/S2666-3643\(23\)00117-0/fulltext](https://www.jto.org/article/S2666-3643(23)00117-0/fulltext).
- [25] B. Verge, A. Bouck, P. Rahinel, C. Renaud, M. Cozoux, L. Bouchet, Evaluation of uncreosin resection for localized non-small cell lung cancer: the crucial prognosis of suboptimal lymph node assessment, *Ann. Thorac. Surg.* [Internet] (2025) [citado 26 de julio de 2025];0. Disponible en: [https://www.annalsthoracsurgery.org/article/S0003-4975\(25\)00170-5/fulltext](https://www.annalsthoracsurgery.org/article/S0003-4975(25)00170-5/fulltext).
- [26] C. Lin, L.C. Wang, J.F. Chang, K.H. Lin, Y.C. Yeh, P.K. Hsu, et al., The role of extensive lymph node dissection in the new grading system for lung adenocarcinoma, *Eur. J. Surg. Oncol.* [Internet] (2024) [citado 26 de julio de 2025];50. Disponible en: [https://www.ejso.com/article/S0748-7983\(24\)00592-4/abstract](https://www.ejso.com/article/S0748-7983(24)00592-4/abstract).
- [27] X. Cervera-Gine, A. Elenzaki, B. Lipsa, D. Sicalet, M. Scordet, A. Tallot, et al., Uncreosin resection in lung cancer: a comprehensive review of the international association for the study of lung cancer classification, *Cancers* 17 (2025) 1386.
- [28] P.A. Thomas, C. Briggis, A. Poindrain, M. Vasse, G. Brioude, D. Testa, et al., A pilot quality improvement initiative for lymph node dissection during lung cancer surgery, *Eur. J. Cardio-Thorac. Surg. Off. J. Eur. Assoc. Cardio-Thorac. Surg.* 66 (2024) eoa478L.
- [29] R. Rajaram, S. Mohanty, D.J. Bestrom, E.S. Proby, D.D. Gidoll, A. Bharat, et al., Nationwide assessment of robotic lobectomy for non-small cell lung cancer, *Ann. Thorac. Surg.* 103 (2017) 1092-1100.
- [30] J.L. Wilson, B.E. Lounis, R.J. Carfagna, B.J. Puck, E. Vallières, R.W. Aye, et al., The prevalence of nodal upstaging during robotic lung resection in early stage non-small cell lung cancer, *Ann. Thorac. Surg.* 97 (2014) 1901-1907.

4.4. Operative outcomes and middle-term survival of robotic-assisted lung resection for clinical stage IA lung cancer compared with video-assisted thoracoscopic surgery

ARTÍCULO IV

Forcada C, Gómez-Hernández MT, Rivas CE, Fuentes MG, Novoa NM, Varela G, Jiménez MF.

Operative outcomes and middle-term survival of robotic-assisted lung resection for clinical stage IA lung cancer compared with video-assisted thoracoscopic surgery.

Cirugía Española (English Edition) 2023;102(2):90-98. DOI: 10.1016/j.arbres.2023.08.011

ISSN: 0009-739X

Impact Index: 1.3 JCR Science Edition: 2023

Category: Surgery

Position in the category: 178 de 292 (Q3)

RESUMEN

Aunque la evidencia disponible aún es limitada, la utilización de la cirugía torácica asistida por robot (RATS) en resecciones pulmonares anatómicas por cáncer continúa en expansión. El objetivo de este estudio fue evaluar la seguridad y eficacia oncológica de RATS en comparación con la cirugía torácica videoasistida (VATS) en pacientes con cáncer de pulmón no microcítico (CPNM) en estadio cIA.

Se realizó un estudio retrospectivo unicéntrico que incluyó a todos los pacientes con CPNM en estadio cIA sometidos a resección pulmonar anatómica mediante RATS o VATS entre junio de 2018 y enero de 2022. Los casos se emparejaron mediante *propensity score matching* (PSM) según edad, sexo, histología y tipo de resección. Se compararon los resultados perioperatorios, así como la supervivencia global (SG) y la supervivencia libre

de enfermedad (SLE), mediante el método de Kaplan-Meier y la prueba de rangos logarítmicos.

Se incluyeron 321 pacientes (94 RATS y 227 VATS). Tras el PSM, se obtuvieron dos cohortes equilibradas de 94 pacientes cada una. La morbilidad global fue similar entre ambos grupos (20,2 % en RATS vs. 25,5 % en VATS, $P = 0,385$). El *upstaging* ganglionar también fue comparable (10,6 % en RATS vs. 12,8 % en VATS). Durante un seguimiento medio de 3,5 años, la tasa de recurrencia fue significativamente menor en el grupo RATS (6,4 % vs. 18,1 %, $P = 0,014$). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en SG y SLE entre ambos grupos ($P = 0,848$ y $P = 0,117$, respectivamente).

En conclusión, la RATS puede realizarse de manera segura en pacientes con CPNM en estadio inicial. En enfermedad cIA, el abordaje robótico se asocia a una menor recurrencia local sin comprometer la SG ni la SLE en comparación con VATS, lo que sugiere un potencial beneficio oncológico de RATS en términos de control local.



Original article

Operative outcomes and middle-term survival of robotic-assisted lung resection for clinical stage IA lung cancer compared with video-assisted thoracoscopic surgery



Clara Forcada,^a María Teresa Gómez-Hernández,^{a,*} Cristina Rivas,^{a,b,c} Marta Fuentes,^{a,b,c} Nuria Novoa,^{a,b,c} Gonzalo Varela,^b Marcelo Jiménez^{a,b,c}

^aService of Thoracic Surgery, Salamanca University Hospital, Salamanca, Spain

^bSalamanca Institute of Biomedical Research, Salamanca, Spain

^cUniversity of Salamanca, Salamanca, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 11 July 2023

Accepted 30 October 2023

Available online 14 November 2023

Keywords:

Lung cancer

Morbidity

Postoperative outcomes

Survival

Disease free survival

VATS

RATS

ABSTRACT

Background: Despite limited published evidence, robotic-assisted thoracoscopic surgery (RATS) for anatomic lung resection in early-stage lung cancer continues growing. The aim of this study is to evaluate its safety and oncologic efficacy compared to video-assisted thoracoscopic surgery (VATS).

Methods: Single-centre retrospective study of all patients with resected clinical stage IA NSCLC who underwent RATS or VATS anatomic lung resection from June 2018 to January 2022. RATS and VATS cases were matched by propensity scoring (PSM) according to age, sex, histology, and type of resection. Short-term outcomes were compared, and the Kaplan-Meier method and log-rank test were used to evaluate the overall survival (OS) and disease-free survival (DFS).

Results: 321 patients (94 RATS and 227 VATS cases) were included. After PSM, 94 VATS and 94 RATS cases were compared. Demographics, pulmonary function, and comorbidity were similar in both groups. Overall postoperative morbidity was comparable for RATS and VATS cases (20.2% vs 25.5%, $P = 0.385$, respectively). Pathological nodal upstaging was similar in both groups (10.6% in RATS and 12.8% in VATS). During the 3.5-year follow-up period (median: 29 months; IQR: 18–39), recurrence rate was 6.4% in RATS group and 18.1% in the VATS group ($P = 0.014$). OS and DFS were similar in RATS and VATS groups (log rank $P = 0.848$ and $P = 0.117$, respectively).

Conclusion: RATS can be performed safely in patients with early-stage NSCLC. For clinical stage IA disease, robotic anatomic lung resection offers better oncologic outcomes in terms of recurrence, although there are no differences in OS and DFS compared with VATS.

© 2023 AEC. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

* Corresponding author.

E-mail address: mtgh@usal.es (M.T. Gómez-Hernández).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.cireng.2023.10.003>

2173-5077/© 2023 AEC. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Resultados postoperatorios y de supervivencia a medio plazo de las resecciones pulmonares asistidas por robot en el cáncer de pulmón en estadio clínico IA en comparación con la cirugía toracoscópica videosistida

RESUMEN

Palabras clave:

Cáncer de pulmón
Morbilidad
Resultados postoperatorios
Supervivencia
Supervivencia libre de enfermedad
VATS
RATS

Introducción: A pesar de la limitada evidencia disponible, el uso de la RATS en resecciones pulmonares anatómicas por cáncer continúa creciendo. El objetivo de este estudio es evaluar su seguridad y eficacia oncológica en comparación con la VATS.

Métodos: Estudio retrospectivo unicéntrico en el que se incluyeron todos los pacientes con CPNM en estadio cIA sometidos a resección pulmonar anatómica RATS o VATS entre junio de 2018 y enero de 2022. Los casos se emparejaron mediante puntuación de propensión (PSM) según edad, sexo, histología y tipo de resección. Se compararon los resultados a corto plazo y la supervivencia global (OS) y libre de enfermedad (DFS) mediante el método de Kaplan-Meier y la prueba de rangos logarítmicos.

Resultados: Se incluyeron 321 pacientes (94 RATS y 227 VATS). Tras el PSM, se compararon 94 VATS y 94 RATS. La morbilidad global fue comparable en ambos grupos (20.2 % en RATS vs 25.5 % en VATS, $P = 0.385$). El upstaging ganglionar fue similar en ambos abordajes (10.6% en RATS y 12.8% en VATS). Durante los 3.5 años de seguimiento, la tasa de recurrencia fue del 6.4 % en RATS y del 18.1 % en VATS ($P = 0.014$). OS y DFS fueron similares en los dos grupos (rango logarítmico $P = 0.848$ y $P = 0.117$, respectivamente).

Conclusión: La RATS se puede realizar de forma segura en pacientes con CPNM en estadio inicial. Para la enfermedad en estadio cIA, el abordaje robótico ofrece mejores resultados en términos de recurrencia, aunque no hay diferencias en la OS y la DFS en comparación con la VATS.

© 2023 AEC. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Introduction

According to last reported data, lung cancer continues being the leading cause of cancer-related death worldwide¹ with a 5-year net survival rate lower than 24%.² This poor survival rate is mainly due to the fact that in most countries less than 20% of lung cancer patients are diagnosed at stage I when the disease is still potentially resectable and curable.³ However, in the last decade, the development of lung cancer screening programs whose aim is reducing mortality in high-risk individuals through early detection, has led to an increased identification of small nodules and consequently to an enhanced diagnosis of early-stage lung cancer.⁴

On the other hand, surgical removal of the tumour remains the standard of care in patients with early-stage non-small cell lung cancer (NSCLC)⁵ and minimally invasive techniques such as video-assisted thoracoscopic surgery (VATS) have become the gold standard approach for its surgical treatment.^{5,6} Additionally, robot-assisted thoracic surgery (RATS) has recently emerged as an alternative minimally invasive approach for the treatment of patients with pulmonary malignancies and although robotic-assisted systems provide surgeons with some technical advantages over VATS approach,^{7,8} comparative studies between VATS and RATS are still limited in number and provide mixed and conflicting results. Regarding short-term outcomes, the superiority of

VATS or RATS remains unclear after the publication of two randomized controlled trials^{9,10} and several systematic reviews and meta-analysis¹¹⁻¹⁷ mainly based on retrospective series and propensity matched cohorts. Also, some studies have focused on comparing long-term oncological outcomes of patients undergoing anatomical lung resection for early-stage NSCLC based on the surgical minimally invasive approach (VATS or RATS).¹⁸⁻²³

Given the controversial results reported in previous studies, we intend to evaluate our institutional outcomes. Therefore, in this study we compare the perioperative outcomes, long-term overall survival (OS) and disease-free survival (DFS) of patients diagnosed with clinical stage IA NSCLC undergoing robotic anatomical lung resection with those of a propensity score matched group of patients treated with VATS with the purpose of comparing safety and oncologic effectiveness of RATS to VATS.

Our manuscript is reported according to the STROBE recommendations.

Methods

Study design, data source and patients

A single-centre observational, retrospective, and comparative cohort study was conducted. All data were obtained from an

institutional prospective, computerized database. Quality control of the data was assured by two successive audits made by the quality control manager of the unit, the first one at the moment of patient hospital discharge and the second before uploading the final records in the hospital central archive. The database included clinical and pathological variables, type of resection, intraoperative and postoperative data, complications, recurrence, and survival. Definition of variables were based on the standardized document of the Society of Thoracic Surgeons and the European Society of Thoracic Surgeons (ESTS)²⁴ and the classification of surgical complications proposed by Dindo et al.²⁵

The inclusion criteria consisted of patients aged ≥ 18 years old, who underwent VATS or RATS anatomical lung resection (segmentectomy, lobectomy or bilobectomy) with curative intent for a cito-histologically diagnosed clinical stage IA NSCLC (equal to or less than 3 cm in size, N0 and no signs of pleural involvement) between June 2018 and December 2022 in our centre. Patients who underwent pneumonectomy or received induction treatment were excluded from the study.

The preoperative staging was performed by routine computed tomography (CT) scan, brain magnetic resonance imaging or a cerebral CT scan and a fluorodeoxyglucose positron emission tomography scan (PET scan). For patients with abnormal mediastinal and/or hilar lymph nodes (LN) at CT and/or PET, endobronchial ultrasound (EBUS) was indicated for mediastinal and hilar staging. In case of negative EBUS and a highly suspicious malignant LN, mediastinoscopy was performed. Preoperative and postoperative staging was done using the 8th edition of the tumour, nodes, and metastasis (TNM) classification.²⁶

Operative procedures

The choice of minimally invasive surgical approach (VATS or RATS) was principally based on robot equipment availability, but not on tumour or patients' characteristics. All VATS procedures were performed by a team of five board certified thoracic surgeons. RATS anatomical resections were performed by two members of the same team who were Intuitive Surgical certified surgeons. Operative technique was standardized and homogeneous for both approaches as it was previously described.²⁷

Postoperative management

Perioperative management was uniform for all patients throughout the study period. Antibiotic prophylaxis consisted in one single dose of cefazoline 2 g, repeated after 6 h if surgery continued. Systematic nodal dissection was performed according to the guidelines of the ESTS.²⁸ Patients were extubated in the operating room and, after 6 h in the recovery room, transferred to the thoracic ward. At the beginning of the procedure, under direct vision, a paravertebral catheter was inserted for postoperative analgesia with bupivacaine and fentanyl infusion for a maximum of three days postoperatively. Oral paracetamol and non-steroid anti-inflammatory drugs were indicated thereafter. Nursing care was homogeneous in all cases and including incentive spirometry, early mobilisation and standardised intensive physiotherapy was indicated in all patients.²⁹

Follow-up

Short-term follow-up of thoracic surgeons was prospectively recorded in our institutional database. Middle-term follow-up data was retrospectively completed from 2018 to January 2023 by reviewing the patients' electronic records.

Outcomes

The primary endpoint was operative overall morbidity, defined as any adverse event occurred within 30 days after the operation, or later if the patient was still in the hospital and included pulmonary, cardiovascular, metabolic, gastrointestinal, urological, hematologic, neurological, and psychiatric complications and wound infection. Secondary endpoints were cardiopulmonary and major complications. Cardiopulmonary complications included respiratory failure, need for reintubation, prolonged mechanical ventilation >24 h, pneumonia, atelectasis requiring bronchoscopy, pulmonary oedema, pulmonary embolism, ARDS/AJL, arrhythmia requiring treatment, acute myocardial ischaemia, acute cardiac failure, stroke/TIA and acute kidney injury. Postoperative complications were classified according to the Clavien-Dindo systematic classification²⁵ of postoperative morbidity and included as a binary variable (major, including IIIA to V, or minor complications, including I and II classes of the score).

Short-term oncological outcomes including final pathological stage and nodal upstaging were also compared. Regarding middle-term outcomes, the endpoints were recurrence rate and overall survival (OS) and disease-free survival (DFS). Only medically confirmed relapses were considered. OS was defined as the time between surgery and death—whatever the cause—or date of the last follow-up. The DFS corresponded to the time from surgery to tumour recurrence of the same lung cancer (local, regional or distant) or death from any cause, whichever came first, with censorship at last follow-up.

Propensity score matching

To reduce the bias comparing outcomes among the two cohorts of patients due to confounding variables, a propensity score matching (PSM) was performed. The 1:1 nearest neighbour matching without replacement method was applied, in which each case was paired with an available control having the closest propensity score to it. Any remaining controls were left unmatched and excluded from further analysis. The distances between the samples of the 2 groups were calculated using the logistic regression. The variables used for propensity score matching were selected according to their clinical importance and statistical significance: age, sex, histology and type of resection (bi/lobectomy and anatomical segmentectomy). Covariate balance was assessed by SMD (standardised mean difference), before and after matching. SMD < 0.1 or 0.05 were considered good or excellent, respectively, to exclude residual imbalance.³⁰

Statistical analysis

Demographic characteristics of patients, clinicopathological data and perioperative outcomes in each group were analysed

and compared. Categorical variables were compared using the Pearson χ^2 test or Fisher's exact test. Normally distributed continuous variables are presented as the mean standard deviation (SD), and Student's t test was used for comparisons. For continuous variables that were not normally distributed, data are presented as the median (interquartile range [IQR]) and were compared by the Mann-Whitney U test between the groups. The test level between the two groups was set at $\alpha = 0.05$ (bilateral), and a two-sided $p < 0.05$ was considered statistically significant.

OS and DFS rates were examined for all included patients with Kaplan-Meier curves and compared between RATS and VATS approaches with the log-rank test.

The MatchIt package of R software, v4.2.2 (The R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria) was used for PSM, and SPSS software, v26.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) for further data analysis.

Results

A total of 321 patients (94 RATS and 227 VATS cases) were included. After PSM, 94 VATS and 94 RATS cases were

compared. The characteristics of the patients before and after PSM are presented in Table 1. The demographics, pulmonary function and comorbidity were similar in both groups and most of the covariates reached a good or excellent balance after matching.

Perioperative outcomes

The data for the perioperative outcomes of the RATS and VATS matched groups are listed in Table 2. There was no operative mortality. Thirty-day or in-hospital mortality was nil in the RATS group and 1.1% in the VATS group, overall morbidity was comparable among RATS and VATS cases (20.2% vs 25.5%, $P = 0.385$, respectively). No differences among groups were found on cardiopulmonary morbidity, major complications and the commonest postoperative complications. Postoperative length of hospital stay (LOS) was significantly shorter in the RATS group compared to that of VATS cases ($P < 0.001$).

Oncological outcomes and survival

87.2% of cases undergoing RATS anatomical resection were finally categorized as pathological stage I, while 83% of VATS

Table 1 – Patient demographics and baseline characteristics before and after PSM.

Variable	Before PSM		SMD	P-value	After PSM		SMD	P-value
	RATS (n = 94)	VATS (n = 227)			RATS (n = 94)	VATS (n = 94)		
Age, median (IQR), years	63 (57.25–69)	68 (63–74)	0.566	0.001*	63 (57.25–69)	65 (59–70)	0.097	0.419*
BMI, median (IQR), kg/m ²	25.84 (23.21–28.64)	26.04 (23.8–29.19)	0.111	0.257*	25.84 (23.21–28.64)	25.85 (23.1–28.75)	0.001	0.995*
ppoFEV1, median (IQR), %	82 (70.25–97)	75 (64.5–86)	0.359	0.001*	82 (70.25–97)	81 (66–91)	0.109	0.246*
ppoDLCO, median (IQR), %	64.82 (56.5–81.01)	63.37 (53.05–76.6)	0.164	0.103*	64.82 (56.5–81.01)	63.37 (55–77.39)	0.240	0.160*
Male gender, n (%)	34 (36.2)	170 (74.9)	0.846	<0.001**	34 (36.2)	39 (41.5)	0.109	0.454**
Coronary disease, n (%)	6 (6.4)	16 (7)	0.027	0.83**	6 (6.4)	1 (1.1)	0.284	0.118**
Arrhythmia, n (%)	3 (3.2)	10 (4.4)	0.064	0.763***	3 (3.2)	3 (3.2)	<0.001	1***
Stroke, n (%)	0 (0)	3 (1.3)	0.164	0.558***	0 (0)	1 (1.1)	0.147	1***
CKD, n (%)	2 (2.1)	18 (7.9)	0.268	0.050**	2 (2.1)	2 (2.1)	<0.001	1***
Diabetes, n (%)	9 (9.6)	46 (20.3)	0.303	0.021**	9 (9.6)	15 (16)	0.192	0.19**
Hypertension, n (%)	35 (37.2)	119 (52.4)	0.309	0.013**	35 (37.2)	36 (38.3)	0.022	0.88**
COPD, n (%)	31 (33)	97 (43.5)	0.218	0.081**	31 (33)	30 (31.9)	0.023	0.876**
History of malignancy, n (%)	40 (42.6)	99 (43.6)	0.021	0.862**	40 (42.6)	40 (42.6)	<0.001	1**
Invasive mediastinal staging, n (%)	5 (5.3)	36 (15.9)	0.348	0.01**	5 (5.3)	14 (14.9)	0.292	0.029**
cStage, n (%)			0.071	0.848*			0.161	0.546**
IA1	12 (12.8)	34 (15)			12 (12.8)	16 (17)		
IA2	54 (57.4)	124 (54.6)			54 (57.4)	47 (50)		
IA3	28 (29.8)	69 (30.4)			28 (29.8)	31 (33)		
Histology, n (%)			0.170	0.584**			0.158	0.76**
Adenocarcinoma	64 (68.1)	151 (66.5)			64 (68.1)	69 (73.4)		
Squamous cell carcinoma	18 (19.1)	49 (21.6)			18 (19.1)	13 (13.8)		
Typical or atypical carcinoid tumor	8 (8.5)	12 (5.3)			8 (8.5)	7 (7.4)		
Others	4 (4.3)	15 (6.6)			4 (4.3)	5 (5.3)		
Type of resection, n (%)			0.078	0.521**			<0.001	1**
Bi/lobectomy	75 (79.8)	188 (82.8)			75 (79.8)	75 (79.8)		
Segmentectomy	19 (20.2)	39 (17.2)			19 (20.2)	19 (20.3)		

IQR: interquartile range; BMI: body mass index; ppoFEV1: predicted postoperative forced expiratory volume in one second; predicted postoperative carbon monoxide lung diffusion capacity; CKD: chronic kidney disease; COPD: Chronic obstructive pulmonary disease.
* P-value for Mann-Whitney U test.
** P-value for Chi-squared test.
*** P-value for Fisher's exact test.

Table 2 – Perioperative outcomes of RATS and VATS after PSM.

Outcome	RATS (n = 94)	VATS (n = 94)	P-value
Overall morbidity, n (%)	19 (20.2)	24 (25.5)	0.385*
30-day mortality, n (%)	0 (0)	1 (1.1)	1**
Cardiopulmonary morbidity, n (%)	5 (5.3)	9 (9.6)	0.266*
Major morbidity, n (%)	6 (6.4)	9 (9.6)	0.419*
Reintervention, n (%)	2 (2.1)	3 (3.2)	1**
Prolonged air leak, n (%)	4 (4.3)	8 (8.5)	0.233*
Pneumonia, n (%)	0 (0)	1 (1.1)	1**
Arrhythmia, n (%)	1 (1.1)	3 (3.2)	0.621**
Readmission, n (%)	1 (1.1)	7 (7.4)	0.065**
Postoperative LOS, median (IQR), days	3 (2–4)	3 (3–4)	<0.001***

RATS: robotic-assisted thoracic surgery; VATS: video-assisted thoracic surgery; LOS: length of hospital stay.
 * P-value for Chi-squared test.
 ** P-value for Fisher's exact test.
 *** P-value for Mann-Whitney U test.

cases were finally diagnosed as pathological stage I. A higher number of nodal stations was removed through RATS approach. Pathological N1/N2 upstaging was similar in both groups (10.6% in RATS and 12.8% in VATS, $P = 0.65$). Six cases without nodal involvement were categorized as T3 due to the presence of PL3 (3 in the VATS group and 1 in the RATS) and the

presence of two nodules in the same lobe (one in the VATS group and 2 in the RATS group). Resection completeness (R0) was similar in both groups (98.9% in the RATS and 97.9% in VATS, $P = 1$). Postoperative adjuvant therapy was administered in 20.2% of RATS cases and 25.5% of VATS patients, $P = 0.385$. In patients without lymph node involvement, the

Table 3 – Oncological outcomes of RATS and VATS after PSM.

Outcome	RATS (n = 94)	VATS (n = 94)	P-value
pStage, n (%)			0.504*
IA1	16 (17)	17 (18.1)	
IA2	28 (29.8)	34 (36.2)	
IA3	11 (11.7)	6 (6.4)	
IB	27 (28.7)	21 (22.3)	
IIA	0 (0)	0 (0)	
IIB	5 (5.3)	9 (9.6)	
IIIA	5 (5.3)	7 (7.4)	
IIIB	1 (1.1)	0 (0)	
IVA	1 (1.1)	0 (0)	
Number of removed nodal stations, median (IQR)	5 (4–6)	4 (4–5)	<0.001***
Nodal Up-Staging (cN0 – pN+), n (%)	10 (10.6)	12 (12.8)	0.650*
cN0 – pN1	4 (4.3)	5 (5.3)	1**
cN0 – pN2	6 (6.4)	7 (7.4)	0.774*
Resection completeness (R0), n (%)	93 (98.9)	92 (97.9)	1**
Adjuvant therapy, n (%)	19 (20.2)	24 (25.5)	0.654*
Chemotherapy	15 (16)	17 (18.1)	
Chemotherapy + targeted therapy	0 (0)	1 (1.1)	
Chemoradiotherapy	4 (4.3)	4 (4.3)	
Chemoradiotherapy + immunotherapy	0 (0)	1 (1.1)	
Radiotherapy	0 (0)	1 (1.1)	
Disease recurrence, n (%)	6 (6.4)	17 (18.1)	0.014*
Locoregional	4 (4.3)	12 (12.8)	
Distant	1 (1.1)	3 (3.2)	
Local and metastatic	1 (1.1)	2 (2.1)	
Death cause, beyond day 30, n (%)			0.149*
Related to the lung cancer	2 (2.5)	7 (7.0)	
Related to another cancer	3 (3.5)	1 (1.0)	
Non-cancer disease	3 (3.5)	2 (2.0)	

RATS: robotic-assisted thoracic surgery; VATS: video-assisted thoracic surgery.
 * P-value for Chi-squared test.
 ** P-value for Fisher's exact test.
 *** P-value for Mann-Whitney U test.

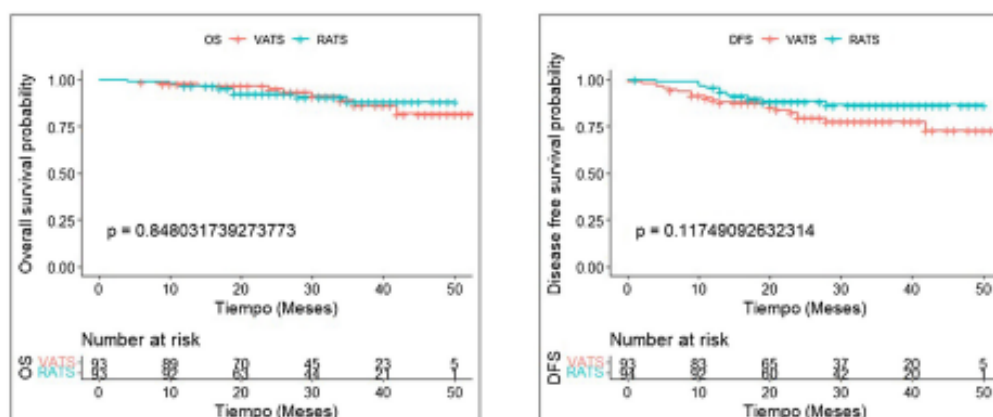


Fig. 1 – Overall survival and disease-free survival.

Table 4 – Middle-term survival of patients surviving beyond day 30 after surgery, according to VATS and RATS procedure.

	RATS (n = 94)	VATS (n = 93)
Follow-up, median (IQR), months	28 (16.75–38)	29 (19.5–39.5)
Overall Survival		
Number of deaths	8	10
1-year OS, % (95% CI)	96.8 (93.2–100)	97.8 (94.9–100)
2-year OS, % (95% CI)	92.5 (86.9–95.8)	95.1 (90.5–100)
3-year OS, % (95% CI)	88.2 (80.5–96.7)	86.3 (77.4–95.2)
4-year OS, % (95% CI)	88.2 (80.5–96.7)	81.8 (70.3–95.2)
Disease-free survival		
Number of events	11	20
1-year DFS, % (95% CI)	95.7 (91.7–99.9)	89.1 (82.9–95.7)
2-year DFS, % (95% CI)	88.3 (81.7–95.5)	79.5 (71.1–88.8)
3-year DFS, % (95% CI)	86.5 (79.2–94.4)	77.6 (68.8–87.6)
4-year DFS, % (95% CI)	86.5 (79.2–94.4)	72.8 (61.1–86.7)

RATS: robotic-assisted thoracic surgery; VATS: video-assisted thoracic surgery; IQR: interquartile range; CI: confidence interval.

main reason for indicating adjuvant chemotherapy was pleural invasion which was found in 9.6% of all RATS cases and 14.9% of VATS series ($P = 0.266$). During the 3.5-year follow-up period (median: 29 months; IQR: 18–39), recurrence rate was 6.4% in RATS group; meanwhile, in the VATS group, recurrence was observed in 18.1% ($P = 0.014$). Details are shown in Table 3.

After propensity-score matching, OS and DFS were similar in RATS and VATS groups (log rank $P = 0.848$ and log rank $P = 0.117$, respectively) (Fig. 1). The 5-year OS and DFS of patients who had undergone anatomical lung resection by RATS or VATS could not be estimated, but the 4-year OS and DFS were estimated at 88.2% (80.5–96.7) and 86.5% (79.2–94.4), respectively in the RATS group and at 81.8% (70.3–95.2) and 72.8% (61.1–86.7), respectively in the VATS group. Details are shown in Table 4.

Discussion

Controversy still exists about the optimal surgical approach to early-stage NSCLC. Ideally, the chosen approach should be safe and minimize patient postoperative morbidity to enhance recovery and maximize oncologic efficacy in order to obtain optimal long-term outcomes.

Our study compared the two currently used minimally invasive approaches focusing not only on the short-term but also, on the middle-term oncological outcomes in patients with clinical stage IA NSCLC using data collected from a single high-volume referral centre. Furthermore, propensity matched analysis potentially reduced heterogeneities between populations and allowed comparison between similar patients.

Our results demonstrated that RATS, a recently developed surgical approach, can be performed safely in comparison to currently mature and well-known VATS approach, providing similar OS and DFS in clinical stage I NSCLC patients. Moreover, we found that the cumulative recurrence rate was significantly lower in the RATS group compared to VATS.

Our findings corroborate the results of different studies focused on evaluating feasibility and safety of robotic anatomical lung resection compared to VATS approach. In 2017 a systematic-review and meta-analysis conducted by Wei et al.³¹ demonstrated that RATS lobectomy was a feasible and safe technique and could achieve equivalent short-term outcomes compared to VATS. Another recently published meta-analysis came to the same conclusion indicating that perioperative outcomes of RATS and VATS for NSCLC are equivalent.^{12,14-17,32} In the current study, we demonstrated the statistically significant advantage of RATS over VATS in terms of length of hospital stay as it has been also proven in two of the previously mentioned meta-analysis,^{14,17} although the difference found was not clinically relevant (median LOS: 3 days in both groups).

To assess the oncologic effectiveness of robotic approach in clinical stage IA NSCLC, we evaluated the prevalence of nodal upstaging in both groups, and no differences were found among RATS and VATS approach. Similar results were published by Lee et al.³³ who retrospectively reviewed clinically node-negative patients with lung cancer undergoing VATS or robotic lobectomy showing no difference in pN1 and pN2 upstaging in cT1 tumours between VATS and RATS (6.7% vs. 7.5% and 5.9% vs. 5%, respectively; $P = 0.97$). Nevertheless, in the current study, a higher number of nodal stations was removed through RATS approach ($P < 0.001$). We speculate that this difference was attributable to the higher capability of RATS in dissecting lymph nodes. In our experience, the robotic system allows the surgeon to dissect around smaller vessels, bronchi, and surrounding lymph nodes more efficiently than VATS due to the wrist-like action of the robotic instruments conferring superiority in this regard.

Nonetheless, we found an incidence of locoregional recurrence of 5.3% (5/94) in the RATS group, versus 14.9% (14/94) in the VATS one within the follow-up period of 29 months. Several factors such as tumour size, resection margin and lymph node dissection may influence the occurrence of local recurrence in resected early-stage NSCLC. In the current study, a higher rate of VATS cases was finally staged as IIB-III A and require adjuvant therapy, although no significant differences were found regarding resection completeness. Additionally, RATS approach achieved a higher number of nodal stations removed, although nodal upstaging was slightly higher in the VATS group. These results could be explained by the fact that pathological upstaging, even if it is related to the number of lymph nodes removed, it is also determined by the real N2 involvement, which for stage I NSCLC is directly related to the aggressiveness of the tumour. All these facts considered together could explain the difference in locoregional incidence among both groups.

However, OS and DFS showed no statistical difference when the two groups were compared. Similarly, Casiraghi et al.²³ in a matched analysis comparing long-term outcomes of RATS, VATS and open surgery in stage I NSCLC patients found a higher incidence of recurrences, in particular local recurrences, in VATS compared to RATS and open surgery. Like us, they did not found differences in OS and cancer-specific survival between VATS and RATS. Furthermore, in 2017, Yang et al.²⁰ conducted a propensity-score matched analysis study to compare long-term outcomes among RATS, VATS, and open lobectomy for clinical stage I NSCLC patients, showing that the 5-year OS for RATS, VATS and open surgery was 77.6%, 73.5% and 77.9%, respectively, without a statistically significant difference. However, 5-year DFS rates were 72.7%, 65.5%, and 69.0%, respectively, with a statistically significant difference between the robotic and VATS groups ($P = 0.047$).

Our study presents several limitations. First, although individual matching decreased selection bias among groups, our study is limited by its retrospective nature. Furthermore, the variables used for PSM (age, sex, histology, and type of resection) were selected according to their clinical importance regarding especially middle-term outcomes. Nonetheless, the distribution of other confounder variables mainly influencing short-term outcomes was homogeneous among RATS and VATS groups. Secondly, RATS series includes patients who underwent surgery during the learning curve, when patients were carefully selected leading to a higher prevalence of female cases and a lower need for invasive staging. Additionally, data were obtained from a single public institution and the sample size was limited. Therefore, our results should be confirmed in additional patient cohorts from different multi-institutional databases and longer follow-up. Thirdly, we did not analyse the total number of lymph nodes removed which is considered one of the main ways to assess the effectiveness of NSCLC surgery. Instead, we measured oncological outcomes in terms of nodal upstaging, recurrence incidence and OS and DFS, which allowed us to understand the possible differences between approaches.

Conclusion

RATS can be performed safely in patients with early-stage NSCLC. For clinical stage IA disease, robotic anatomic lung resection offers better oncologic outcomes in terms of recurrence, although there are no differences in OS and DFS compared with VATS.

Funding

None.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest directly or indirectly related to the contents of the manuscript.

REFERENCES

- Cancer today [Internet]. [citado 18 de mayo de 2023]. Available from: <http://gco.iarc.fr/today/home>.
- SURVIMARK-2 - viz1 [Internet]. [citado 18 de mayo de 2023]. Available from: https://gco.iarc.fr/survival/survmark/visualizations/viz1/?groupby=%22country%22&period=%225%22&cancer_site=%22Lung%22&country=%22Australia%22&year=%222014%22&gender=%22All%22&sorting=%220%22.
- SURVIMARK-2 - viz8 [Internet]. [citado 18 de mayo de 2023]. Available from: https://gco.iarc.fr/survival/survmark/visualizations/viz8/?cancer=%22NSLUNG%22&country=%22Australia%22&gender=%220%22&age_group=%2215-99%22&show_ci=%22%22&groupby=%22country%22.
- Adams SJ, Stone E, Baldwin DR, Vliegthart R, Lee P, Fintelmann FJ. Lung cancer screening. *Lancet Lond Engl*. 2023;401:390-408.
- Postmus PE, Kerr KM, Oudkerk M, Senan S, Waller DA, Vansteenkiste J, et al. Early and locally advanced non-small-cell lung cancer (NSCLC): ESMO Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatment and follow-up. *Ann Oncol Off J Eur Soc Med Oncol*. 2017;28:iv1-21.
- Howington JA, Blum MG, Chang AC, Balekian AA, Murthy SC. Treatment of stage I and II non-small cell lung cancer: diagnosis and management of lung cancer, 3rd ed: American College of Chest Physicians evidence-based clinical practice guidelines. *Chest*. 2013;143:e278S-313S.
- Peters BS, Armijo PR, Krause C, Choudhury SA, Oleynikov D. Review of emerging surgical robotic technology. *Surg Endosc*. 2018;32:1636-55.
- Velez-Cubian FO, Ng EP, Fontaine JP, Toloza EM. Robotic-assisted videothoracoscopic surgery of the lung. *Cancer Control J Moffitt Cancer Cent*. 2015;22:314-25.
- Veronesi G, Abbas AES, Muriara P, Lembo R, Bottoni E, Ferroni G, et al. Perioperative outcome of robotic approach versus manual videothoracoscopic major resection in patients affected by early lung cancer: results of a randomized multicentric study (ROMAN Study). *Front Oncol*. 2021;11:726408.
- Jin R, Zheng Y, Yuan Y, Han D, Cao Y, Zhang Y, et al. Robotic-assisted versus video-assisted thoracoscopic lobectomy: short-term results of a randomized clinical trial (RVlob Trial). *Ann Surg*. 2022;275:295-302.
- Aiolfi A, Nosotti M, Micheletto G, Khor D, Bonitta G, Perali C, et al. Pulmonary lobectomy for cancer: systematic review and network meta-analysis comparing open, video-assisted thoracic surgery, and robotic approach. *Surgery*. 2021;169:436-46.
- Ng CSH, MacDonald JK, Gilbert S, Khan AZ, Kim YT, Louie BE, et al. Optimal approach to lobectomy for non-small cell lung cancer: systemic review and meta-analysis. *Innov Phila Pa*. 2019;14:90-116.
- O'Sullivan KE, Kreaden US, Hebert AE, Eaton D, Redmond KC. A systematic review and meta-analysis of robotic versus open and video-assisted thoracoscopic surgery approaches for lobectomy. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2019;28:526-34.
- Ma J, Li X, Zhao S, Wang J, Zhang W, Sun G. Robot-assisted thoracic surgery versus video-assisted thoracic surgery for lung lobectomy or segmentectomy in patients with non-small cell lung cancer: a meta-analysis. *BMC Cancer*. 2021;21:498.
- Wu H, Jin R, Yang S, Park BJ, Li H. Long-term and short-term outcomes of robot- versus video-assisted anatomic lung resection in lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2021;59(4):732-40.
- Mao J, Tang Z, Mi Y, Xu H, Li K, Liang Y, et al. Robotic and video-assisted lobectomy/segmentectomy for non-small cell lung cancer have similar perioperative outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Transl Cancer Res*. 2021;10:3883-93.
- Zhang J, Feng Q, Huang Y, Ouyang L, Luo F. Updated evaluation of robotic- and video-assisted thoracoscopic lobectomy or segmentectomy for lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *Front Oncol*. 2022;12:853530.
- Montagne F, Chaari Z, Bottet B, Sarsam M, Mbadanga F, Selim J, et al. Long-term survival following minimally invasive lung cancer surgery: comparing robotic-assisted and video-assisted surgery. *Cancers*. 2022;14:2611.
- Kneuert PJ, D'Souza DM, Richardson M, Abdel-Rasoul M, Moffatt-Bruce SD, Merritt RE. Long-term oncologic outcomes after robotic lobectomy for early-stage non-small-cell lung cancer versus video-assisted thoracoscopic and open thoracotomy approach. *Clin Lung Cancer*. 2020;21:214-24. e2.
- Yang HX, Woo KM, Sima CS, Bains MS, Adusumilli PS, Huang J, et al. Long-term survival based on the surgical approach to lobectomy for clinical stage I nonsmall cell lung cancer: comparison of robotic, video-assisted thoracic surgery, and thoracotomy lobectomy. *Ann Surg*. 2017;265:431-7.
- Sesti J, Langan RC, Bell J, Nguyen A, Turner AL, Hilden P, et al. A Comparative analysis of long-term survival of robotic versus thoracoscopic lobectomy. *Ann Thorac Surg*. 2020;110:1139-46.
- Kent MS, Hartwig MG, Vallières E, Abbas AE, Cerfolio RJ, Dylewski MR, et al. Pulmonary open, robotic and thoracoscopic lobectomy (PORTal) study: survival analysis of 6,646 cases. *Ann Surg*. 2023. <http://dx.doi.org/10.1097/SLA.0000000000005820>. Epub ahead of print.
- Casiraghi M, Mariolo AV, Mohamed S, Sedda G, Maisonneuve P, Mazzella A, et al. Long-term outcomes of robotic-assisted, video-assisted and open surgery in non-small cell lung cancer: a matched analysis. *J Clin Med*. 2022;11:3363.
- Fernandez FG, Falcoz PE, Kozower BD, Salati M, Wright CD, Brunelli A. The Society of Thoracic Surgeons and the European Society of Thoracic Surgeons general thoracic surgery databases: joint standardization of variable definitions and terminology. *Ann Thorac Surg*. 2015;99:368-76.
- Dindo D, Demartines N, Clavien PA. Classification of surgical complications: a new proposal with evaluation in a cohort of 6336 patients and results of a survey. *Ann Surg*. 2004;240:205-13.
- Goldstraw P, Chansky K, Crowley J, Rami-Porta R, Asamura H, Eberhardt WEE, et al. The IASLC lung cancer staging project: proposals for revision of the TNM stage groupings in the forthcoming (Eighth) edition of the TNM classification for lung cancer. *J Thorac Oncol Off Publ Int Assoc Study Lung Cancer*. 2016;11:39-51.
- Gómez-Hernández MT, Fuentes MG, Novoa NM, Rodríguez I, Varela G, Jiménez MF. The robotic surgery learning curve of a surgeon experienced in video-assisted thoracoscopic surgery compared with his own video-assisted thoracoscopic surgery learning curve for anatomical lung resections. *Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg*. 2022;61:289-96.
- Lardinois D, De Leyn P, Van Schil P, Porta RR, Waller D, Passlick B, et al. ESTS guidelines for intraoperative lymph node staging in non-small cell lung cancer. *Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg*. 2006;30:787-92.
- Varela G, Ballesteros E, Jiménez MF, Novoa N, Aranda JL. Cost-effectiveness analysis of prophylactic respiratory

- physiotherapy in pulmonary lobectomy. *Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg.* 2006;29:216-20.
30. Austin PC. Balance diagnostics for comparing the distribution of baseline covariates between treatment groups in propensity-score matched samples. *Stat Med.* 2009;28:3083-107.
 31. Wei S, Chen M, Chen N, Liu L. Feasibility and safety of robot-assisted thoracic surgery for lung lobectomy in patients with non-small cell lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *World J Surg Oncol.* 2017;15:98.
 32. Hu J, Chen Y, Dai J, Zhu X, Gonzalez-Rivas D, Jiang G, et al. Perioperative outcomes of robot-assisted vs video-assisted and traditional open thoracic surgery for lung cancer: A systematic review and network meta-analysis. *Int J Med Robot Comput Assist Surg MRCAS.* 2020;16:1-14.
 33. Lee BE, Shapiro M, Rutledge JR, Korst RJ. Nodal upstaging in robotic and video assisted thoracic surgery lobectomy for clinical N0 lung cancer. *Ann Thorac Surg.* 2015;100:229-33. discussion 233-234.

DISCUSIÓN

5. DISCUSIÓN

Las técnicas mínimamente invasivas se han consolidado como el estándar quirúrgico en el tratamiento del cáncer de pulmón en estadios tempranos. Sin embargo, pese a la expansión progresiva de la cirugía torácica asistida por robot (RATS), persiste una falta de consenso sobre sus ventajas reales frente a la cirugía torácica videoasistida (VATS), particularmente en términos de morbilidad, radicalidad oncológica y resultados a largo plazo. Esta incertidumbre se ve acentuada por la heterogeneidad de los estudios disponibles y por la ausencia de criterios claros que permitan seleccionar de forma racional el abordaje quirúrgico más adecuado para cada perfil de paciente.

Uno de los aspectos más explorados en la literatura es el papel del índice de masa corporal (IMC) como modulador de los resultados quirúrgicos. Aunque el IMC se ha asociado a una mayor complejidad técnica y a un incremento del riesgo de complicaciones postoperatorias tras la resección pulmonar, la evidencia disponible es contradictoria y, en muchos casos, no diferencia entre los distintos abordajes mínimamente invasivos. En este contexto, nuestro estudio aporta información relevante al analizar de forma específica el impacto del IMC en los resultados perioperatorios de RATS y VATS, planteando la hipótesis de que la RATS podría ofrecer ventajas en pacientes técnicamente más complejos, como aquellos con IMC elevado (45,46).

En nuestra cohorte inicial de 554 pacientes, no se observaron diferencias significativas en los resultados perioperatorios entre ambos abordajes. Sin embargo, tras el emparejamiento por *puntaje de propensión*, que permitió una comparación más equilibrada entre grupos, la RATS se asoció a una reducción significativa de las complicaciones cardiopulmonares postoperatorias en comparación con la VATS. Este hallazgo constituye uno de los resultados más relevantes del estudio, ya que sugiere que determinadas ventajas de la RATS pueden no ser evidentes en análisis no ajustados, pero sí emerger tras un control riguroso de los factores de confusión.

El análisis por subgrupos refuerza esta observación, mostrando que la reducción de la morbilidad cardiopulmonar y de la neumonía se concentra principalmente en pacientes con $IMC \geq 25 \text{ kg/m}^2$ intervenidos mediante RATS, mientras que no se observaron diferencias en pacientes con IMC inferior. Este resultado apoya la idea de que el beneficio de la RATS no es uniforme, sino dependiente del perfil del paciente, y sugiere que el IMC podría ser un criterio clínicamente útil para la selección del abordaje quirúrgico. Desde una perspectiva práctica, estos hallazgos apuntan a que la RATS podría ofrecer una mejor relación riesgo-beneficio en pacientes con sobrepeso u obesidad moderada, un subgrupo cada vez más prevalente en la práctica clínica.

Nuestros resultados concuerdan parcialmente con estudios previos que han descrito una menor morbilidad perioperatoria con RATS en pacientes con IMC elevado, aunque contrastan con otras series que no han demostrado diferencias significativas (53,54). Esta disparidad probablemente refleja diferencias en el diseño de los estudios, en la experiencia quirúrgica, en los criterios de selección de pacientes y en la definición de los desenlaces evaluados.

Desde el punto de vista fisiopatológico, la menor morbilidad observada con RATS podría explicarse por varios mecanismos. La insuflación de CO_2 mejora la exposición del campo quirúrgico al desplazar el diafragma y comprimir el parénquima pulmonar, lo que resulta especialmente ventajoso en pacientes obesos. Asimismo, la presión intratorácica generada puede contribuir a una reducción del sangrado de bajo volumen, facilitando una disección más precisa y potencialmente menos traumática.

Otro pilar fundamental de esta tesis lo constituyen la evaluación de la linfadenectomía y la radicalidad oncológica. La disección ganglionar constituye un componente esencial del tratamiento quirúrgico del cáncer de pulmón no microcítico (CPNM), no solo por su impacto en la estadificación patológica, sino también por su influencia en la indicación de

tratamientos adyuvantes y en el control locorregional de la enfermedad. No obstante, la extensión óptima de la linfadenectomía continúa siendo motivo de debate, dado que una disección excesiva puede incrementar la morbilidad sin aportar beneficios oncológicos claros.

En este contexto, la identificación del ganglio linfático centinela mediante fluorescencia con verde de indocianina (ICG) y tecnología NIR representa una estrategia prometedora para individualizar la extensión de la linfadenectomía. En nuestro estudio, la tasa de identificación del ganglio centinela alcanzó el 70,8 %, con una tasa de upstaging del 7,1 %. Aunque se identificaron dos falsos negativos, nuestros resultados son concordantes con la literatura, que sugiere que un ganglio centinela histológicamente negativo se asocia a una mejor supervivencia libre de enfermedad (SLE). Estudios previos han señalado que los pacientes con SLN pN0 negativo no presentaban enfermedad en el análisis patológico final, evidenciando que el mapeo del ganglio centinela permite determinar con precisión el verdadero estado N0. Además, estos trabajos describieron una mejor SLE en los casos con ganglio centinela negativo, hallazgo que coincide con nuestras observaciones (55–57).

No obstante, el tamaño muestral limitado, el uso exclusivo del abordaje robótico y el corto seguimiento obligan a interpretar estos resultados con cautela, y subrayan la necesidad de estudios prospectivos multicéntricos que validen la utilidad del ganglio centinela en la individualización de la linfadenectomía y en la optimización de la radicalidad oncológica.

Otro eje central de nuestra investigación es la evaluación de la radicalidad oncológica y de la linfadenectomía en el contexto de la cirugía mínimamente invasiva. La resección completa, definida según criterios oncológicos y técnicos establecidos por la IASLC, continúa siendo la piedra angular del tratamiento quirúrgico del CPNM y constituye un determinante pronóstico clave. Los pacientes que logran una resección completa (R0) presentan supervivencia global (SG) significativamente superior en comparación con

aquellos con resección incierta o incompleta, incluso tras ajustar por características tumorales, demográficas, comorbilidades y factores relacionados con el tratamiento. Garantizar esta radicalidad oncológica es, por tanto, esencial para maximizar los resultados a largo plazo y reducir el riesgo de recurrencia. En este contexto, la resección completa no solo depende de la extirpación del tumor primario, sino también de una evaluación ganglionar exhaustiva, que permita un correcto estadiaje y guíe la indicación de tratamientos adyuvantes.

En nuestro estudio, se comparó por primera vez como variable primaria de resultado la tasa de resección completa entre RATS y VATS dentro del ámbito de la cirugía mínimamente invasiva. La proporción global de resecciones completas fue del 62 %, mientras que las incompletas representaron un 3,5 % y las inciertas un 34,5 %, cifras concordantes con rangos previamente descritos en la literatura. Como en la revisión integral de la IASLC, la mayoría de las resecciones clasificadas como inciertas se debieron a disección insuficiente de ganglios hiliares o mediastínicos, subrayando la importancia crítica de una evaluación ganglionar completa para garantizar la radicalidad quirúrgica.

Tras aplicar un emparejamiento por overlap weighting, no se observaron diferencias significativas entre ambos abordajes en la tasa de resección completa, enfermedad residual, linfadenectomía adecuada ni upstaging ganglionar. Sin embargo, la RATS permitió reseca un mayor número de estaciones mediastínicas y de ganglios totales, reflejando una evaluación ganglionar más exhaustiva sin comprometer la radicalidad oncológica. Este hallazgo sugiere que, aunque la RATS no se traduce en diferencias significativas en la resección completa global, sí podría ofrecer ventajas técnicas relevantes en escenarios anatómicamente complejos. La mayor amplitud de la disección mediastínica y el mayor número de ganglios obtenidos en RATS probablemente se relacionan con la precisión, la visión tridimensional y la mayor libertad de movimiento del sistema EndoWrist, facilitando

la linfadenectomía incluso en zonas de difícil acceso. Este mayor rendimiento ganglionar se acompañó de una tendencia a un mayor upstaging, un marcador indirecto de calidad de la disección, consistente con estudios previos de Wilson et al. y Kneuert et al. (36,47). Estos hallazgos refuerzan la hipótesis de que la RATS puede favorecer una linfadenectomía más completa y sistemática, aunque factores biológicos del tumor siguen determinando de manera decisiva la probabilidad de resección completa y los resultados oncológicos a largo plazo.

Al evaluar la calidad de la linfadenectomía, es fundamental considerar criterios adicionales de la IASLC, como la presencia de extensión extracapsular, los márgenes de resección y el estado del ganglio mediastínico más alto. La extensión extracapsular depende principalmente de las características del tumor y, por lo tanto, es poco probable que varíe según el abordaje quirúrgico. En contraste, los márgenes de resección y el muestreo del ganglio mediastínico más alto pueden verse influenciados por la técnica empleada: mientras que la VATS permite la palpación directa de estructuras, la RATS aporta visión tridimensional de alta definición y mayor libertad de movimiento, lo que podría mejorar la precisión en la evaluación de los márgenes y facilitar el acceso a estaciones mediastínicas superiores, como 2R o 4L. A pesar de estas ventajas técnicas, en nuestra serie no se observaron diferencias significativas entre ambos abordajes respecto a estos parámetros, lo que sugiere que, si bien la RATS puede ofrecer mayor capacidad técnica, su impacto sobre la calidad oncológica medida por estos criterios específicos requiere un análisis más amplio y con mayor número de pacientes.

Este estudio presenta varias limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. Aunque se aplicó emparejamiento por puntaje de propensión para reducir el sesgo de selección, el tamaño limitado de la cohorte y el diseño unicéntrico restringen la generalización de los hallazgos, por lo que sería necesario validar los resultados en

cohortes más amplias y multicéntricas. La mayoría de las resecciones clasificadas como inciertas se debieron a una linfadenectomía insuficiente, lo que resalta la importancia de una evaluación ganglionar exhaustiva. Adicionalmente, la citología pleural se realizó únicamente en derrames visibles y el lavado pleural no fue rutinario, lo que podría haber subestimado la diseminación pleural, presente en aproximadamente un 5 % de los pacientes. Por último, se requiere un seguimiento a largo plazo para evaluar el impacto del abordaje quirúrgico y de la radicalidad oncológica sobre la supervivencia. A pesar de la estandarización de los protocolos quirúrgicos, la variabilidad en la experiencia y técnica de los cirujanos podría haber introducido un sesgo de desempeño que conviene considerar.

En conclusión, nuestros resultados muestran que la RATS permite una disección mediastínica más amplia y un mayor número de ganglios extraídos, reflejando una evaluación ganglionar más completa sin comprometer la resección completa ni la radicalidad oncológica. Aunque estas ventajas técnicas no se traducen en diferencias significativas en upstaging, la RATS se posiciona como un abordaje seguro y eficaz, especialmente útil en escenarios anatómicos o técnicamente complejos, donde la precisión y maniobrabilidad son determinantes para optimizar la calidad de la cirugía.

Aunque la RATS y la VATS se utilizan cada vez más en el cáncer de pulmón, existe escasa evidencia sobre su impacto en los resultados a largo plazo. La mayoría de los estudios previos se centran en complicaciones perioperatorias y recuperación temprana, mientras que los efectos sobre supervivencia, recurrencia tumoral y progresión de la enfermedad han sido poco evaluados. Esta limitación dificulta establecer comparaciones definitivas entre ambos abordajes y resalta la necesidad de estudios que analicen sistemáticamente los resultados oncológicos y funcionales a medio y largo plazo.

Dentro de los abordajes mínimamente invasivos, la RATS ha surgido como una alternativa a la VATS, aportando mayor precisión y maniobrabilidad quirúrgica. La evidencia disponible

es limitada y heterogénea, pero los estudios publicados muestran resultados comparables en términos de seguridad y eficacia oncológica en estadios tempranos de CPNM, con la posible ventaja de una disección ganglionar más sistemática (52,58).

En nuestro estudio, centrado en pacientes con CPNM en estadio clínico IA, se compararon ambos abordajes mediante emparejamiento por puntaje de propensión, lo que permitió una comparación más equilibrada entre poblaciones similares. Los resultados confirman que la RATS es un abordaje seguro, con SG y SLE similares a la VATS. Además, se observó una menor recurrencia locorregional en el grupo RATS, lo que podría asociarse a una evaluación ganglionar más exhaustiva, consistente con la tendencia reportada por otros autores (36,47), quienes también encontraron un mayor número de ganglios extirpados y un upstaging superior con la RATS. La estancia hospitalaria mostró una ligera ventaja estadística para la RATS, aunque la diferencia no fue clínicamente relevante, con una mediana de tres días en ambos grupos.

Para valorar la eficacia oncológica del abordaje robótico, se analizó la tasa de upstaging ganglionar, sin observar diferencias significativas entre RATS y VATS, coincidiendo con los hallazgos de Lee et al. (59), quienes tampoco encontraron diferencias en la migración a pN1 y pN2 en tumores cT1. Sin embargo, el abordaje RATS permitió la resección de un mayor número de estaciones ganglionares, probablemente debido a la mayor precisión del sistema robótico, que facilita la disección alrededor de estructuras vasculares y bronquiales, lo que representa una ventaja técnica frente a VATS. Este hallazgo es consistente con metaanálisis previos, como el de Ma et al. (60), que muestran un mayor rendimiento ganglionar con RATS sin comprometer la radicalidad oncológica.

Durante un seguimiento promedio de 29 meses, la recurrencia locorregional fue menor en el grupo RATS, lo que podría explicarse por una linfadenectomía más sistemática y la menor necesidad de tratamiento adyuvante por reclasificación de estadio. A pesar de estas

diferencias técnicas, no se observaron diferencias significativas en SG ni SLE, lo que coincide con los resultados de Park et al. (40), quienes demostraron que la lobectomía RATS en estadios tempranos de CPNM ofrece supervivencia específica por estadio comparable a la VATS.

Nuestro estudio presenta varias limitaciones. A pesar del emparejamiento por puntaje de propensión, el diseño retrospectivo y unicéntrico, junto con el tamaño muestral limitado, restringen la generalización de los hallazgos y requieren validación en cohortes multicéntricas con seguimiento más prolongado. La serie RATS incluyó pacientes durante la curva de aprendizaje, con selección cuidadosa y menor necesidad de estadificación invasiva, lo que podría haber influido en los resultados. Por último, no se evaluó el impacto económico del abordaje robótico, un factor relevante dado que la RATS suele asociarse a costos superiores a la VATS.

En conclusión, nuestros hallazgos sugieren que la RATS ofrece resultados oncológicos comparables a la VATS en CPNM estadio clínico IA, con la ventaja de una evaluación ganglionar más sistemática y menor recurrencia locorregional, aunque sin diferencias significativas en SG o SLE. Estos resultados son consistentes con estudios previos (39,41,42,61–64) y refuerzan la seguridad y factibilidad de la lobectomía RATS en estadios tempranos. Estudios futuros deberán validar estos resultados en cohortes más amplias, evaluar el impacto económico y analizar los efectos a largo plazo sobre supervivencia y recurrencia tumoral.

Finalmente, una limitación relevante de la presente tesis es que ninguno de los estudios incluidos ha abordado el análisis económico comparativo entre la RATS y la VATS. Aunque nuestros resultados sugieren que la RATS puede asociarse a una menor morbilidad cardiopulmonar en subgrupos seleccionados de pacientes, particularmente aquellos con

mayor complejidad técnica, no es posible determinar si estos beneficios clínicos se traducen en una ventaja desde el punto de vista del coste-efectividad.

La RATS conlleva costes directos superiores relacionados con la adquisición y el mantenimiento de la plataforma, el instrumental específico y el tiempo de quirófano, especialmente durante la curva de aprendizaje. En ausencia de un análisis económico formal, no puede establecerse si la reducción observada en determinadas complicaciones postoperatorias, la tendencia a una recuperación más favorable o una potencial disminución de la recurrencia locorregional compensan estos costes adicionales.

Este aspecto resulta particularmente relevante en sistemas sanitarios públicos, donde la asignación de recursos debe basarse no solo en la eficacia clínica, sino también en la eficiencia. Por tanto, futuros estudios deberían integrar de manera sistemática análisis de costes directos e indirectos, así como evaluaciones de coste-utilidad, para definir con mayor precisión el papel de la RATS en el tratamiento del CPNM y establecer en qué escenarios clínicos su utilización está realmente justificada.

En conjunto, los resultados de esta tesis muestran que la RATS constituye un abordaje seguro y eficaz para el tratamiento del CPNM en estadios tempranos, ofreciendo resultados oncológicos comparables a la VATS en términos de SG y SLE. Además, la RATS permite una evaluación ganglionar más completa y sistemática, con mayor número de estaciones y ganglios resecaados, lo que se traduce en una menor recurrencia locorregional y podría favorecer una planificación más precisa de tratamientos adyuvantes. Nuestros estudios también sugieren que la RATS podría reducir la morbilidad cardiopulmonar en pacientes con IMC elevado y facilitar la resección en escenarios anatómicamente complejos, sin comprometer la radicalidad oncológica ni la resección completa. No obstante, los hallazgos deben interpretarse con cautela debido a limitaciones como el tamaño muestral, el diseño unicéntrico, el corto seguimiento y la falta de análisis económico, lo que resalta

la necesidad de estudios prospectivos multicéntricos que evalúen de manera integral tanto la eficacia clínica como la eficiencia de los abordajes mínimamente invasivos.

CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES

1. La cirugía torácica asistida por robot se asocia con una menor incidencia de complicaciones cardiopulmonares en pacientes con índice de masa corporal (IMC) \geq 25 kg/m², lo que sugiere que este abordaje puede ser preferible en este subgrupo de pacientes con mayor riesgo perioperatorio.
2. No se identificaron diferencias significativas entre cirugía torácica asistida por robot y cirugía torácica videoasistida en cuanto a tasas de resección completa ni en la presencia de enfermedad residual, confirmando la equivalencia oncológica general de ambos abordajes en resecciones pulmonares anatómicas.
3. La cirugía torácica asistida por robot permitió resecar un mayor número de estaciones ganglionares y ganglios linfáticos, lo que refleja una linfadenectomía mediastínica más exhaustiva y un estadiaje patológico más preciso, potencialmente relevante para la planificación terapéutica y el pronóstico.
4. La cirugía torácica asistida por robot es segura en pacientes con cáncer de pulmón en estadio inicial. En particular, en el estadio IA, mostró una menor tasa de recurrencia en comparación con cirugía torácica videoasistida, sin que se observaran diferencias significativas en supervivencia global ni en supervivencia libre de enfermedad.
5. En conjunto, estos hallazgos respaldan la equivalencia oncológica entre cirugía torácica asistida por robot y cirugía torácica videoasistida, al tiempo que sugieren que la cirugía robótica puede ofrecer ventajas específicas en la calidad de la disección ganglionar y en la seguridad perioperatoria de determinados subgrupos de pacientes, contribuyendo así a una cirugía torácica más precisa y personalizada.

BIBLIOGRAFÍA

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Cancer (IARC) TIA for R on. Global Cancer Observatory. 2022 [citado 13 de enero de 2026]. Global Cancer Observatory (GLOBOCAN). Disponible en: <https://gco.iarc.fr/>
2. Rina A, Maffeo D, Minnai F, Esposito M, Palmieri M, Serio VB, et al. The Genetic Analysis and Clinical Therapy in Lung Cancer: Current Advances and Future Directions. *Cancers*. 19 de agosto de 2024;16(16):2882.
3. Smolarz B, Łukasiewicz H, Samulak D, Piekarska E, Kołaciński R, Romanowicz H. Lung Cancer—Epidemiology, Pathogenesis, Treatment and Molecular Aspect (Review of Literature). *Int J Mol Sci*. 26 de febrero de 2025;26(5):2049.
4. Chaitanya Thandra K, Barsouk A, Saginala K, Sukumar Aluru J, Barsouk A. Epidemiology of lung cancer. *Współczesna Onkol*. 2021;25(1):45-52.
5. Koning HJ de, Aalst CM van der, Jong PA de, Scholten ET, Nackaerts K, Heuvelmans MA, et al. Reduced Lung-Cancer Mortality with Volume CT Screening in a Randomized Trial. *N Engl J Med*. 6 de febrero de 2020;382(6):503-13.
6. The National Lung Screening Trial Research Team. Reduced Lung-Cancer Mortality with Low-Dose Computed Tomographic Screening. *N Engl J Med*. 4 de agosto de 2011;365(5):395-409.
7. CDC. United States Cancer Statistics. 2025 [citado 13 de enero de 2026]. U.S. Cancer Statistics Lung Cancer Stat Bite. Disponible en: <https://www.cdc.gov/united-states-cancer-statistics/publications/lung-cancer-stat-bite.html>
8. Lim TY, Park S, Kang CH. A Meta-Analysis Comparing Lobectomy versus Segmentectomy in Stage I Non-Small Cell Lung Cancer. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg*. 5 de agosto de 2019;52(4):195-204.
9. Ginsberg RJ, Rubinstein LV. Randomized trial of lobectomy versus limited resection for T1 N0 non-small cell lung cancer. Lung Cancer Study Group. *Ann Thorac Surg*. septiembre de 1995;60(3):615-22; discussion 622-623.
10. Bertolaccini L, Casiraghi M, Uslenghi C, Diotti C, Mazzella A, Caffarena G, et al. Advances in lung cancer surgery: the role of segmentectomy in early-stage management. *Expert Rev Respir Med*. 1 de septiembre de 2024;18(9):669-75.
11. Saji H, Okada M, Tsuboi M, Nakajima R, Suzuki K, Aokage K, et al. Segmentectomy versus lobectomy in small-sized peripheral non-small-cell lung cancer (JCOG0802/WJOG4607L): a multicentre, open-label, phase 3, randomised, controlled, non-inferiority trial. *The Lancet*. abril de 2022;399(10335):1607-17.
12. Hattori A, Suzuki K, Takamochi K, Wakabayashi M, Sekino Y, Tsutani Y, et al. Segmentectomy versus lobectomy in small-sized peripheral non-small-cell lung cancer with radiologically pure-solid appearance in Japan (JCOG0802/WJOG4607L): a post-hoc supplemental analysis of a multicentre, open-label, phase 3 trial. *Lancet Respir Med*. febrero de 2024;12(2):105-16.

13. Ryu Nakajima. LB9. Long-Term Outcomes of Segmentectomy versus Lobectomy in Small-Sized Peripheral Non-Small Cell Lung Cancer: A 10-Year Follow-Up Analysis of the Phase 3 Randomized Trial (JCOG0802/WJOG4607L) [Internet]. American Association for Thoracic Surgery Annual Meeting; 2025 [citado 13 de enero de 2026]. Disponible en: <https://www.aats.org/resources/long-term-outcomes-of-segmente-10304>
14. Altorki N, Wang X, Kozono D, Watt C, Landrenau R, Wigle D, et al. Lobar or Sublobar Resection for Peripheral Stage IA Non-Small-Cell Lung Cancer. *N Engl J Med*. 9 de febrero de 2023;388(6):489-98.
15. Altorki N, Wang X, Damman B, Mentlick J, Landreneau R, Wigle D, et al. Lobectomy, segmentectomy or wedge resection for peripheral clinical T1aN0 non-small cell lung cancer: a post-hoc analysis of CALGB 140503 (Alliance). *J Thorac Cardiovasc Surg*. enero de 2024;167(1):338-347.e1.
16. Rajaram R, Huang Q, Li RZ, Chandran U, Zhang Y, Amos TB, et al. Recurrence-Free Survival in Patients With Surgically Resected Non-Small Cell Lung Cancer. *CHEST*. mayo de 2024;165(5):1260-70.
17. Hüyük M, Fiocco M, Postmus PE, Cohen D, Von Der Thüsen JH. Systematic review and meta-analysis of the prognostic impact of lymph node micrometastasis and isolated tumour cells in patients with stage I-IIIa non-small cell lung cancer. *Histopathology*. abril de 2023;82(5):650-63.
18. Thomas PA. Lymph node dissection during sublobar resection: why, when and how? *J Thorac Dis*. abril de 2018;10(Suppl 10):S1145-50.
19. Herpel E, Muley T, Schneider T, Palm E, Kieslich de Hol D, Warth A, et al. A pragmatic approach to the diagnosis of nodal micrometastases in early stage non-small cell lung cancer. *J Thorac Oncol Off Publ Int Assoc Study Lung Cancer*. agosto de 2010;5(8):1206-12.
20. Postmus PE, Kerr KM, Oudkerk M, Senan S, Waller DA, Vansteenkiste J, et al. Early and locally advanced non-small-cell lung cancer (NSCLC): ESMO Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatment and follow-up. *Ann Oncol*. julio de 2017;28:iv1-21.
21. Rami-Porta R, Wittekind C, Goldstraw P. Complete resection in lung cancer surgery: proposed definition. *Lung Cancer*. 1 de julio de 2005;49(1):25-33.
22. Edwards JG, Chansky K, Van Schil P, Nicholson AG, Boubia S, Brambilla E, et al. The IASLC Lung Cancer Staging Project: Analysis of Resection Margin Status and Proposals for Residual Tumor Descriptors for Non-Small Cell Lung Cancer. *J Thorac Oncol*. 1 de marzo de 2020;15(3):344-59.
23. Detterbeck FC, Ostrowski M, Hoffmann H, Rami-Porta R, Osarogiagbon RU, Donington J, et al. The International Association for the Study of Lung Cancer Lung Cancer Staging Project: Proposals for Revision of the Classification of Residual Tumor After Resection for the Forthcoming (Ninth) Edition of the TNM Classification of Lung Cancer. *J Thorac Oncol*. 1 de julio de 2024;19(7):1052-72.

24. Lardinois D, Deleyn P, Vanschil P, Porta R, Waller D, Passlick B, et al. ESTS guidelines for intraoperative lymph node staging in non-small cell lung cancer☆. *Eur J Cardiothorac Surg.* noviembre de 2006;30(5):787-92.
25. Wong MKH, Sit AKY, Au TWK. Minimally invasive thoracic surgery: beyond surgical access. *J Thorac Dis* [Internet]. junio de 2018 [citado 14 de enero de 2026];10(Suppl 16). Disponible en: <https://jtd.amegroups.org/article/view/21907>
26. Vannucci F, Gonzalez-Rivas D. Is VATS lobectomy standard of care for operable non-small cell lung cancer? *Lung Cancer.* octubre de 2016;100:114-9.
27. Stephens N, Rice D, Correa A, Hoffstetter W, Mehran R, Roth J, et al. Thoracoscopic lobectomy is associated with improved short-term and equivalent oncological outcomes compared with open lobectomy for clinical Stage I non-small-cell lung cancer: a propensity-matched analysis of 963 cases†. *Eur J Cardiothorac Surg.* 1 de octubre de 2014;46(4):607-13.
28. Nwogu CE, D’Cunha J, Pang H, Gu L, Wang X, Richards WG, et al. VATS lobectomy has better perioperative outcomes than open lobectomy: CALGB 31001, an ancillary analysis of CALGB 140202 (Alliance). *Ann Thorac Surg.* febrero de 2015;99(2):399-405.
29. Embun R, Martínez Hernández N, Call S, de Olaiz Navarro B, Zabaleta J, Ramos R, et al. Video-Assisted Thoracic Surgery and Anatomical Lung Resections. Where Do We Stand? National Survey by the Spanish Society of Thoracic Surgery. *Cir Esp Engl Ed.* 1 de enero de 2017;95(1):24-9.
30. Nagahiro I, Andou A, Aoe M, Sano Y, Date H, Shimizu N. Pulmonary function, postoperative pain, and serum cytokine level after lobectomy: a comparison of VATS and conventional procedure. *Ann Thorac Surg.* 1 de agosto de 2001;72(2):362-5.
31. Paul S, Altorki NK, Sheng S, Lee PC, Harpole DH, Onaitis MW, et al. Thoracoscopic lobectomy is associated with lower morbidity than open lobectomy: a propensity-matched analysis from the STS database. *J Thorac Cardiovasc Surg.* febrero de 2010;139(2):366-78.
32. Toker A, Özyurtkan MO, Demirhan Ö, Ayalp K, Kaba E, Uyumaz E. Lymph Node Dissection in Surgery for Lung Cancer: Comparison of Open vs. Video-Assisted vs. Robotic-Assisted Approaches. *Ann Thorac Cardiovasc Surg.* 2016;22(5):284-90.
33. Jiang Y, Su Z, Liang H, Liu J, Liang W, He J. Video-assisted thoracoscopy for lung cancer: who is the future of thoracic surgery? *J Thorac Dis.* agosto de 2020;12(8):4427-33.
34. Abbas AE. Surgical Management of Lung Cancer: History, Evolution, and Modern Advances. *Curr Oncol Rep.* diciembre de 2018;20(12):98.
35. Velez-Cubian FO, Ng EP, Fontaine JP, Toloza EM. Robotic-Assisted Videothoracoscopic Surgery of the Lung. *Cancer Control.* julio de 2015;22(3):314-25.
36. Wilson JL, Louie BE, Cerfolio RJ, Park BJ, Vallières E, Aye RW, et al. The Prevalence of Nodal Upstaging During Robotic Lung Resection in Early Stage Non-Small Cell Lung Cancer. *Ann Thorac Surg.* junio de 2014;97(6):1901-7.

37. Gharagozloo F, Margolis M, Tempesta B, Strother E, Najam F. Robot-assisted lobectomy for early-stage lung cancer: report of 100 consecutive cases. *Ann Thorac Surg.* agosto de 2009;88(2):380-4.
38. Schaafsma BE, Mieog JSD, Hutteman M, Van Der Vorst JR, Kuppen PJK, Löwik CWGM, et al. The clinical use of indocyanine green as a near-infrared fluorescent contrast agent for image-guided oncologic surgery. *J Surg Oncol.* septiembre de 2011;104(3):323-32.
39. Mao J, Tang Z, Mi Y, Xu H, Li K, Liang Y, et al. Robotic and video-assisted lobectomy/segmentectomy for non-small cell lung cancer have similar perioperative outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Transl Cancer Res.* septiembre de 2021;10(9):3883-93.
40. Park BJ, Melfi F, Mussi A, Maisonneuve P, Spaggiari L, Silva RKCD, et al. Robotic lobectomy for non-small cell lung cancer (NSCLC): Long-term oncologic results. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1 de febrero de 2012;143(2):383-9.
41. Zhang J, Feng Q, Huang Y, Ouyang L, Luo F. Updated Evaluation of Robotic- and Video-Assisted Thoracoscopic Lobectomy or Segmentectomy for Lung Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Oncol.* 12 de abril de 2022;12:853530.
42. Ma J, Li X, Zhao S, Wang J, Zhang W, Sun G. Robot-assisted thoracic surgery versus video-assisted thoracic surgery for lung lobectomy or segmentectomy in patients with non-small cell lung cancer: a meta-analysis. *BMC Cancer.* diciembre de 2021;21(1):498.
43. Kneuert PJ, Singer E, D'Souza DM, Abdel-Rasoul M, Moffatt-Bruce SD, Merritt RE. Hospital cost and clinical effectiveness of robotic-assisted versus video-assisted thoracoscopic and open lobectomy: A propensity score-weighted comparison. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1 de mayo de 2019;157(5):2018-2026.e2.
44. Novellis P, Bottoni E, Voulaz E, Cariboni U, Testori A, Bertolaccini L, et al. Robotic surgery, video-assisted thoracic surgery, and open surgery for early stage lung cancer: comparison of costs and outcomes at a single institute. *J Thorac Dis.* febrero de 2018;10(2):790-8.
45. Williams T, Gulack BC, Kim S, Fernandez FG, Ferguson MK. Operative Risk for Major Lung Resection Increases at Extremes of Body Mass Index. *Ann Thorac Surg.* 1 de enero de 2017;103(1):296-302.
46. Parini S, Azzolina D, Massera F, Mastromarino MG, Papalia E, Baietto G, et al. The Overweight Paradox: Impact of Body Mass Index on Patients Undergoing VATS Lobectomy or Segmentectomy. *Semin Thorac Cardiovasc Surg.* 1 de marzo de 2023;35(1):164-76.
47. Kneuert PJ, Cheufou DH, D'Souza DM, Mardanzai K, Abdel-Rasoul M, Theegarten D, et al. Propensity-score adjusted comparison of pathologic nodal upstaging by robotic, video-assisted thoracoscopic, and open lobectomy for non-small cell lung cancer. *J Thorac Cardiovasc Surg.* noviembre de 2019;158(5):1457-1466.e2.

48. Yang CFJ, Sun Z, Speicher PJ, Saud SM, Gulack BC, Hartwig MG, et al. Use and Outcomes of Minimally Invasive Lobectomy for Stage I Non-Small Cell Lung Cancer in the National Cancer Data Base. *Ann Thorac Surg.* marzo de 2016;101(3):1037-42.
49. Casiraghi M, Mariolo AV, Mohamed S, Sedda G, Maisonneuve P, Mazzella A, et al. Long-Term Outcomes of Robotic-Assisted, Video-Assisted and Open Surgery in Non-Small Cell Lung Cancer: A Matched Analysis. *J Clin Med.* 11 de junio de 2022;11(12):3363.
50. Kent MS, Hartwig MG, Vallières E, Abbas AE, Cerfolio RJ, Dylewski MR, et al. Pulmonary Open, Robotic, and Thoracoscopic Lobectomy (PORTaL) Study: Survival Analysis of 6646 Cases. *Ann Surg.* junio de 2023;277(6):1002-9.
51. Tasoudis PT, Diehl JN, Merlo A, Long JM. Long-term outcomes of robotic versus video-assisted pulmonary lobectomy for non-small cell lung cancer: systematic review and meta-analysis of reconstructed patient data. *J Thorac Dis.* 31 de octubre de 2023;15(10):5700-13.
52. Mirza W, Javid A, Khan ME, Uneeb M, Khan A, Khan HM, et al. Robotic-assisted vs video-assisted thoracoscopic lobectomy for non-small cell lung cancer: a GRADE-assessed systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials on surgical quality, perioperative, and oncologic outcomes. *J Robot Surg.* 1 de octubre de 2025;19(1):651.
53. Li R, Ma Z, Li Y, Qu C, Qiu J, Zhang Y, et al. Robotic-assisted thoracoscopic surgery improves perioperative outcomes in overweight and obese patients with non-small-cell lung cancer undergoing lobectomy: A propensity score matching analysis. *Thorac Cancer.* septiembre de 2022;13(18):2606-15.
54. Qu C, Li R, Ma Z, Han J, Yue W, Aigner C, et al. Comparison of the perioperative outcomes between robotic-assisted thoracic surgery and video-assisted thoracic surgery in non-small cell lung cancer patients with different body mass index ranges. *Transl Lung Cancer Res.* junio de 2022;11(6):1108-18.
55. Phillips WW, Weiss KD, Digesu CS, Gill RR, Mazzola E, Tsukada H, et al. Finding the “True” N0 Cohort: Technical Aspects of Near-infrared Sentinel Lymph Node Mapping in Non-small Cell Lung Cancer. *Ann Surg.* octubre de 2020;272(4):583-8.
56. Stasiak F, Seitlinger J, Streit A, Wollbrett C, Piccoli J, Siat J, et al. Sentinel Lymph Node in Non-Small Cell Lung Cancer: Assessment of Feasibility and Safety by Near-Infrared Fluorescence Imaging and Clinical Consequences. *J Pers Med.* 30 de diciembre de 2022;13(1):90.
57. Digesu CS, Hachey KJ, Gilmore DM, Khullar OV, Tsukada H, Whang B, et al. Long-term outcomes after near-infrared sentinel lymph node mapping in non-small cell lung cancer. *J Thorac Cardiovasc Surg.* marzo de 2018;155(3):1280-91.
58. Lampridis S, Maraschi A, Le Reun C, Routledge T, Billè A. Robotic versus Video-Assisted Thoracic Surgery for Lung Cancer: Short-Term Outcomes of a Propensity Matched Analysis. *Cancers.* 21 de abril de 2023;15(8):2391.

59. Lee BE, Shapiro M, Rutledge JR, Korst RJ. Nodal Upstaging in Robotic and Video Assisted Thoracic Surgery Lobectomy for Clinical N0 Lung Cancer. *Ann Thorac Surg.* julio de 2015;100(1):229-34.
60. Ma J, Li X, Zhao S, Wang J, Zhang W, Sun G. Robot-assisted thoracic surgery versus video-assisted thoracic surgery for lung lobectomy or segmentectomy in patients with non-small cell lung cancer: a meta-analysis. *BMC Cancer.* 3 de mayo de 2021;21(1):498.
61. Wei S, Chen M, Chen N, Liu L. Feasibility and safety of robot-assisted thoracic surgery for lung lobectomy in patients with non-small cell lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *World J Surg Oncol.* diciembre de 2017;15(1):98.
62. Ng CSH, MacDonald JK, Gilbert S, Khan AZ, Kim YT, Louie BE, et al. Optimal Approach to Lobectomy for Non-Small Cell Lung Cancer: Systemic Review and Meta-Analysis. *Innov Technol Tech Cardiothorac Vasc Surg.* abril de 2019;14(2):90-116.
63. Wu H, Jin R, Yang S, Park BJ, Li H. Long-term and short-term outcomes of robot- versus video-assisted anatomic lung resection in lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Cardiothorac Surg.* 29 de abril de 2021;59(4):732-40.
64. Hu J, Chen Y, Dai J, Zhu X, Gonzalez-Rivas D, Jiang G, et al. Perioperative outcomes of robot-assisted vs video-assisted and traditional open thoracic surgery for lung cancer: A systematic review and network meta-analysis. *Int J Med Robot.* octubre de 2020;16(5):1-14.

ANEXOS

8. ANEXOS

8.1. Anexo 1



VNIVERSIDAD
SALAMANCA



Facultad de
Medicina

PROGRAMA DE DOCTORADO
"CIRUGÍA Y ODONTOESTOMATOLOGÍA"

Doctorando/a: Clara Forcada Barreda
Título de la tesis doctoral: EVALUACIÓN DE LA CIRUGÍA TORÁCICA ASISTIDA POR ROBOT EN LA RESECCIÓN PULMONAR ANATÓMICA: IMPACTO EN LOS RESULTADOS PERIOPERATORIOS, LA ESTADIFICACIÓN GANGLIONAR Y LOS RESULTADOS ONCOLÓGICOS
Director/a(es): Marcelo F. Jiménez López y M^a Teresa Gómez Hernández

Declaración sobre el uso de IA y originalidad de la tesis

En cumplimiento de la normativa vigente de la Universidad de Salamanca relativa a la **originalidad, el uso de Inteligencia Artificial y la prevención del plagio** en tesis doctorales,

DECLARO:

1. Que la tesis presentada es un trabajo original, fruto de mi investigación personal, y que las ideas, datos o textos de terceros han sido debidamente citados y referenciados conforme a las normas académicas.
2. Que no existe plagio en ninguna de sus formas (textual, parafraseo indebido, autoplagio no justificado, o uso no autorizado de materiales ajenos).
3. Que cualquier uso de herramientas de **Inteligencia Artificial** se ha limitado a funciones auxiliares (p. ej. corrección lingüística, traducción o apoyo técnico), sin sustituir mi autoría en la concepción, análisis, discusión e interpretación científica.
4. Que el texto ha sido sometido a verificación con programas antiplagio, cuyos resultados han sido revisados y subsanados en caso necesario.
5. Que me comprometo a responder ante el tribunal sobre cualquier aspecto relativo a la originalidad y autoría del trabajo.

En Salamanca, a 18 de febrero de 2026.

18/02/2026

X Clara Forcada Barreda

Clara Forcada Barreda

Firma del/de la doctorando/a: ___ Firmado por: FORCADA BARREDA CLARA - 71737984H

Firma del/de la director/a(es): _____

JIMENEZ LOPEZ
MARCELO
FERNANDO -
24158646K
Firmado digitalmente
por JIMENEZ LOPEZ
MARCELO FERNANDO
- 24158646K
Fecha: 2026.02.18
18:23:23 +01'00'

GOMEZ
HERNANDEZ
MARIA TERESA
- 70817940C
Firmado digitalmente
por GOMEZ
HERNANDEZ MARIA
TERESA - 70817940C
Fecha: 2026.02.18
18:02:12 +01'00'

