

# Thoraxchirurgie: Das Zeitalter der minimalinvasiven Lobektomie

S. Veit



In den letzten Jahren haben die minimalinvasiven bzw. videothorakoskopischen (VATS) Resektionen das operative Spektrum in der Thoraxchirurgie revolutioniert. Dieser Beitrag soll zeigen, warum die VATS-Lobektomie für Patienten mit der Diagnose eines operablen Lungenkarzinoms Vorteile bringt, welchen Stellenwert sie innerhalb der Thoraxchirurgie bekommen hat, was bezüglich Indikationen und Komplikationen zu beachten ist und wohin die Zukunft der minimalinvasiven Thoraxchirurgie weist.

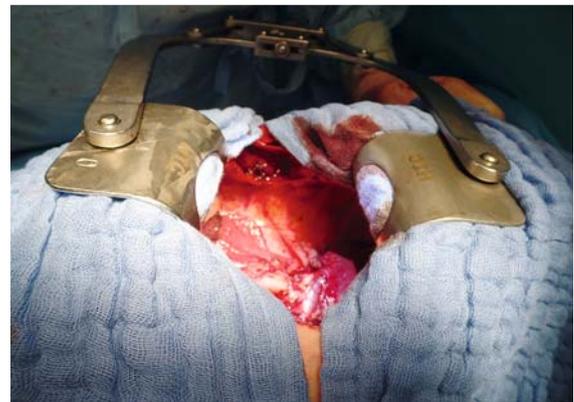
## ABKÜRZUNGEN

<b>BET</b>	brusterhaltende Therapie (beim Mammakarzinom)
<b>DKG</b>	Deutsche Krankenhausgesellschaft
<b>DLCO</b>	Diffusionskapazität der Lunge
<b>ESTS</b>	European Society of Thoracic Surgeons
<b>FEV<sub>1</sub></b>	forced expiratory Pressure in 1 Second (Einsekundenkapazität)
<b>HD</b>	high Definition
<b>NI-VATS</b>	nicht-intubierte VATS
<b>py</b>	Pack Years
<b>RATS</b>	Roboter-assistierte Thorakoskopie
<b>TNM-System</b>	Klassifizierungssystem nach Tumor, Nodes (Lymphknoten), Metastasen der UICC für maligne Tumoren
<b>VATS</b>	Video-assistierte Thorakoskopie

## Einleitung

Die Video-assistierte Thorakoskopie (VATS) hat die größten Fortschritte in den letzten 30 Jahren in der Thoraxchirurgie bewirkt. Dieses OP-Verfahren hat die Denkweise von Thoraxchirurgen verändert, die Instrumententechnik revolutioniert und die thoraxchirurgische Expertise weltweit zum Benefit unserer Patienten auf ein höheres Niveau gestellt [1].

Vor 30 Jahren wurde die VATS ausschließlich für kleinere thoraxchirurgische Eingriffe wie Pleurektomien bzw. Pleurabiopsien, Mediastinaltumorbiopsien oder Keilresektionen verwendet und von vielen als Gimmick der thoraxchirurgischen Operationen betrachtet. In den Jahren der Reifung und schließlich Perfektionie-



► **Abb. 1** Posterolaterale Thorakotomie mit einliegendem Rippenspreizer.

rung der VATS-Technik haben Thoraxchirurgen eine Menge gelernt. Heutzutage können von VATS-Experten broncho- und angioplastische anatomische Lungenresektionen minimalinvasiv durchgeführt werden. Die VATS-Lobektomie ist inzwischen Goldstandard in der Therapie des nicht-kleinzelligen Lungenkarzinoms in den Frühstadien [2].

## Definition der VATS-Lobektomie

Um die Wichtigkeit dieser Definition verstehen zu können, müssen kurz die offenen OP-Verfahren beschrieben werden: Am Anfang der Lungenresektionen stand die posterolaterale Thorakotomie, die 1891 erstmals von Tuffier durchgeführt wurde mit kompletter Durchtrennung des M. latissimus unterhalb der Skapulaspitze (► **Abb. 1**). Dieser Zugang führt zu einer sehr guten Exposition der Lunge und intrathorakalen Strukturen, gehört aber zu den schmerzhaftesten Inzisionen in der Chirurgie. 11–80% der Patienten leiden bis zu 2 Mona-

ten und mehr unter signifikanten Schmerzen nach einer Thorakotomie. Als chronisches **Postthorakotomiesyndrom** persistiert der Schmerz in bis zu 30% der Patienten über Jahre [3].

Eine geringe Verbesserung bringt die anterolaterale Thorakotomie, bei der lediglich die Fasern des M. serratus gespalten werden müssen und die deshalb von den meisten Thoraxchirurgen inzwischen bevorzugt wird.

#### HINTERGRUNDINFORMATION

##### Schmerzen im Rahmen einer Thorakotomie

Die Schmerzen einer Thorakotomie resultieren aus der Kombination von Inzision, Muskeldurchtrennung, Rippenfrakturen, kostochondraler Dislokation, thermischen Muskelschäden bei der Koagulation im langen Inzisionsbereich und Verletzung der parietalen Pleura. Das größte Trauma entsteht durch das Einsetzen eines Rippenspreizers und der damit verbundenen Interkostalnervenkompression und -schädigung über Stunden.

Anfangs wurden die endoskopischen Eingriffe in assistierter Technik über eine kleine Minithorakotomie mit zusätzlichem Zugang für die Kamera durchgeführt, wobei hier noch ein Rippenspreizer eingesetzt wurde und häufig auch noch mit Sicht durch die Inzision operiert wurde. Um die VATS-Lobektomien eindeutig von den Kamera-assistierten Lobektomien über eine Minithorakotomie abzugrenzen, hat 2007 die CALGB 39802 (Cancer and Leukemia Group B)-Studie Kriterien zur Definition einer VATS-Lobektomie erstellt (s. Infobox).

#### DEFINITION

##### VATS-Lobektomie

- kein Einsatz eines Rippenspreizers
- Inzisionslänge zum Bergen der Lunge maximal 8 cm
- individuelle Dissektion von Vene, Arterie und Bronchus
- Standard-Lymphadenektomie (analog offen chirurgisch)

Inzwischen wurde von der Uniportal VATS Interest Group (UVIG) ein Konsensusreport veröffentlicht, in dem 31 internationale Experten der uniportalen VATS-Lobektomie nach ihren Inzisionslängen gefragt wurden. Bei 26% lag die Inzisionslänge unter 4 cm, bei 45% bei 4 cm und bei 29% zwischen 6–8 cm [4]. Damit kann postuliert werden, dass inzwischen die Mehrheit der minimalinvasiv spezialisierten Thoraxchirurgen eine Inzisionslänge von  $\leq 4$  cm durchführt.

Neben diesen internationalen Empfehlungen bezüglich der Inzisionslänge gibt es länderspezifisch Empfehlungen der jeweiligen Fachgesellschaften, in Deutschland darf bei einer Inzisionslänge von  $< 6$  cm von einer minimalinvasiven Operation gesprochen werden. Insgesamt wird durch die genannten Definitionen eine Prozedur/Operation standardisiert, welche das chirurgische Trauma reduziert und die Ergebnisse verbessert – unter Einhaltung der onkologischen Prinzipien, die davor bei VATS-Operationen nicht etabliert gewesen sind.

#### FALLBEISPIEL

##### Fall 1: Resektionsmöglichkeiten per VATS

Es handelt sich um eine 48-jährige Patientin mit Mammakarzinom und BET in der Anamnese. Aktuell flaves Infiltrat von ca. 0,6–0,7 cm Größe zentral im Oberlappen links, zwischen Segment 2 und 3 gelegen. Palpation wurde selbst per Thorakotomie als schwierig eingestuft. Am OP-Tag CT-gesteuerte Drahtmarkierung des Rundherdes mit einem Spiraldraht durch die Radiologen. Videothorakoskopische Keilresektion des drahtmarkierten Areales, im aufgeschnittenen Präparat kein eindeutiger Tumor palpabel. Daraufhin intraoperativer Schnellschnitt mit Nachweis eines Adenokarzinoms vom lepidischen Subtyp im Keilresektat. Es wurde eine Lingulasparende Oberlappenresektion und damit onkologisch radikale Operation des Bronchialkarzinoms per VATS durchgeführt. Die Patientin läuft nach 1 Jahr wieder Marathon.

## Indikation und Technik

Die o. g. Definitionen vorausgesetzt, gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten, eine VATS-Lobektomie zu operieren:

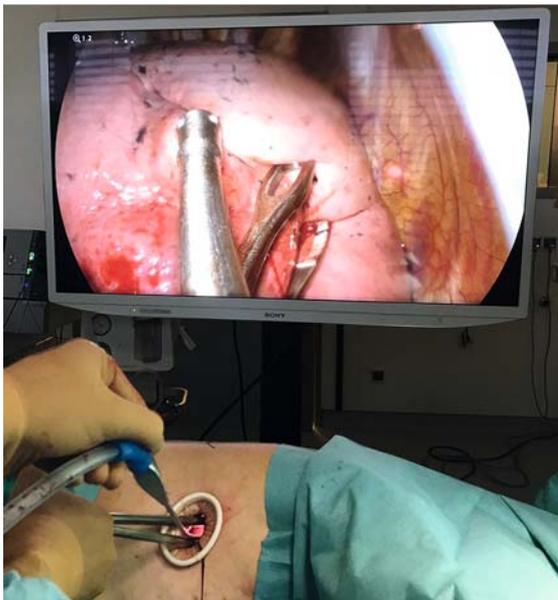
- über multiportale Inzisionen (2–4) (► **Abb. 2**) oder
- uniportal (► **Abb. 3**).

Die ersten Thoraxchirurgen, die thorakoskopische Lobektomien als Pioniere in größerer Anzahl durchgeführt hatten, haben über 4 Inzisionen operiert [5], inzwischen wird multiportal über 2 oder 3 Inzisionen vorgegangen. Die Variation der Lage der Hautinzisionen ist vielfältig, die meisten Kollegen stehen zur Operation ventral des Patienten, nur wenige Arbeitsgruppen führen eine VATS-Lobektomie von posterior durch.

2010 wurde die erste uniportale VATS-Lobektomie beschrieben [6], in der Zwischenzeit ist diese Methode weltweit verbreitet. Am häufigsten werden in China und dem restlichen ostasiatischen Raum Lobektomien uniportal durchgeführt, durch deren großes Operationsvolumen hat sich die Methode rasch verbreitet.



► **Abb. 2** Multiportale Inzisionen mit einliegender Thoraxdrainage nach Lobektomie links.



► **Abb. 3** Intraoperative Ansicht des uniportalen Zugangs bei Lobektomie rechts.

Bei der uniportalen VATS-Lobektomie steht der Operateur immer ventral des Patienten, i. d. R. befindet sich der Kameraassistent neben dem Operateur. Bislang konnte kein klinisch bedeutender Vorteil der uniportalen gegenüber der multiportalen VATS beschrieben werden [7].

Der operierende Chirurg sollte über die nahezu selbe operative und taktile Sicherheit in beiden Händen verfügen, da die Bewegungsfreiheit der Instrumente im Vergleich zum offenen Operieren häufiger eingeschränkt ist.

#### PRAXIS

##### Tipp

Es ist deshalb von großem Vorteil, wenn operative Manöver sowohl mit der rechten als auch mit der linken Hand durchgeführt werden können.

Die Operation erfolgt bei allen VATS-Operationen ausschließlich über den Blick auf dem Bildschirm, ein Blick in den Thorax über die Hilfsinzision ist obsolet und bei kleinen Schnitten auch nicht hilfreich. Die Schwierigkeit liegt in der Koordination der Instrumente und der Umsetzung eines 2-dimensionalen Bildes auf dem Bildschirm in einen 3-dimensionalen Operationssitus. Diese Schwierigkeit besteht bei allen endoskopischen Operationen, im Thorax ergibt sich durch die Anatomie der Rippen noch die zusätzliche Schwierigkeit, dass mit einer gewinkelten Optik von i. d. R. 30° operiert wird, damit der gesamte Thorax mit der Kamera erfasst werden kann. Dies stellt an den Kameraassistenten besondere Ansprüche, wobei die zu operierende Struktur für den Operateur immer mittig im Bildschirm gezeigt werden sollte.

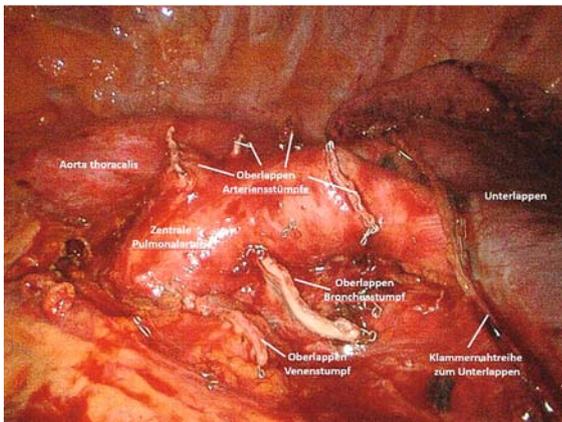
Seit 2006 sind 3D-Kamerasysteme auch für Winkeloptiken (15/30/45°) auf dem Markt, welche von verschiedenen Firmen angeboten werden. Mit diesen Kamerasystemen kann der Verlust des räumlichen Sehens kompensiert werden. Eine flächendeckende Durchsetzung dieser 3D-Technologie ist bisher in der Thoraxchirurgie nicht zu beobachten, da die 3D-Kamerasysteme in der minimalinvasiven Thoraxchirurgie bisher keine große Anwendung finden. Von vielen Kollegen wird das mehrstündige Tragen der 3D-Brille während der Operation und die damit verbundene zusätzliche Anstrengung, virtuelles 3D-Sehen umzusetzen, als unangenehm und belastend empfunden.

Um ein Bild zu generieren, das dem menschlichen Sehvermögen möglichst nahe kommt, werden seit 2015 4K-Ultra-High-Definition-Systeme von der Industrie angeboten. Mit der 4K-Technologie werden durch die hohe Auflösung Sichtverhältnisse präzisiert, räumliches Sehen erleichtert und Bildinformationen vervierfacht. Mit den damit verbundenen großen Bildschirmen und einer Art „Kinogefühl“ setzt sich diese Technik zurzeit bei vielen minimalinvasiven Chirurgen durch.

#### Merke

**VATS-Lobektomien sind technisch anspruchsvolle Operationen. Neben der genauen Kenntnis der thorakalen Anatomie und Lagebeziehung der Strukturen ist eine entsprechende Umsetzung in 3-dimensionales Vorstellungsvermögen essenziell für eine sichere und zielgerichtete Operation. Ausreichende Routine im thorakoskopischen Operieren mit sicheren bimanuellen Fertigkeiten ist von entscheidender Bedeutung.**

Anatomische Lungenresektionen per VATS unterscheiden sich in den intraoperativen Resektionsrichtlinien und den einzelnen Operationsschritten nicht von den Resektionen über eine Thorakotomie: Die bronchovaskulären Strukturen (Arterien, Venen, Bronchus) müs-



► **Abb. 4** Abgesetzte Arterien, Venen und Bronchus nach VATS-Oberlappenektomie links.

sen separat durchtrennt werden (► **Abb. 4**) und bei onkologischen Resektionen die Lymphknoten systematisch und radikal entfernt werden.

Bei malignen Indikationen sind die Größe und Lage des Tumors sowie der hiläre Lymphknotenstatus (N1) ausschlaggebend, ob die Operation in minimalinvasiver Technik als VATS durchgeführt werden kann.

#### Cave

**Je zentraler ein Tumor liegt, umso schwieriger ist die Präparation an den Segmentarterien bzw. dem betroffenen Lappenbronchus, wo eine onkologisch saubere Dissektion und sichere Präparation der Gefäße technisch sehr herausfordernd werden kann.**

Eine Tumorf infiltration der intrapulmonalen und hilären Lymphknoten in die Pulmonalarterienäste und/oder das Bronchialsystem macht häufig eine broncho- oder angioplastische Erweiterung erforderlich. Deswegen wurde und wird der VATS-Zugang von vielen Thoraxchirurgen nur beim Lungenkarzinom im klinischen Stadium I eingesetzt.

Inzwischen ist ein Paradigmenwechsel eingetreten, nachdem wiederholt gezeigt werden konnte, dass ein OP-Team mit langjähriger Erfahrung mit VATS-Lobektomien auch Patienten in fortgeschrittenen Tumorstadien sicher und onkologisch radikal operieren kann. So werden von Experten weltweit bronchoplastische und angioplastische Lobektomien per VATS durchgeführt, Brustwandresektionen und selbst Pneumonektomien sind in solchen Zentren inzwischen in minimalinvasiver Technik möglich [8].

Wie groß der Anteil an Resektion per VATS in der jeweiligen Klinik ist, hängt neben der operativen Expertise auch vom Spektrum und der Verteilung der Tumorstadien ab. In Deutschland werden an den großen Lungen-

krebszentren häufig Patienten in fortgeschrittenen Stadien operiert, sodass eine Operation in minimalinvasiver Technik nicht immer möglich ist. Die Rate an VATS-Lobektomien liegt in den USA bei 30–40%. Die Datenbank der ESTS (European Society of Thoracic Surgeons) liefert Daten, die auf freiwilliger Basis gesammelt werden. Hier liegt die Rate bei 30% in Europa, 29% in Großbritannien und Irland, 65% in Dänemark und 46% in Italien [9]. Eine VATS-Lobektomie-Datenbank existiert in Deutschland nicht.

#### Merke

**Die Entscheidung, ob eine anatomische Resektion mittels VATS durchgeführt wird, liegt in der Kompetenz und Verantwortung des jeweiligen Operationsteams und sollte vom Erfahrungsstand und den damit verbundenen technischen Fertigkeiten in Zusammenschau mit dem präoperativen Tumorstadium geleitet werden.**

### Lernkurve der VATS-Lobektomie

Die VATS-Lobektomie muss, wie bisher die Standard-Lobektomie über eine Thorakotomie, als Ausbildungsoperation in die Facharztweiterbildung integriert werden. Dies stellt auch erhöhte Ansprüche an den assistierenden erfahrenen Chirurgen, da dieser nicht so einfach wie bei der offenen Lobektomie bei schwierigen Präparationsschritten in die Operation eingreifen und unterstützen kann. Vor der Durchführung einer VATS-Lobektomie sollte ein Trainee viele Basis-VATS-Eingriffe eigenständig operiert haben (z.B. Keilresektionen, Pleurektomien) und routinemäßig bei VATS-Lobektomien zugezogen bzw. die Kamera geführt haben [10].

Zusätzlich gibt es – oft mit Unterstützung durch die Industrie – VATS-Lobektomie-Kurse, die von erfahrenen minimalinvasiven Chirurgen zur Verbesserung der operativen Fertigkeiten bei der VATS-Lobektomie angeboten werden. Häufig finden diese Kurse im OP am Schwein oder an perfundierten Lungenmodellen statt und werden durch Hospitation bei Live-Operationen ergänzt.

Von der VATS-Lobectomy Consensus Group wurde der Versuch unternommen, einen Konsens bezüglich Kompetenz und Training in der VATS-Lobektomie zu finden [2]. Die im Folgenden aufgeführten Kennzahlen stellen Empfehlungen dar, die in jeder Klinik individuell geprüft und angepasst werden sollten:

- 50 Fälle sind erforderlich, um die technisch-chirurgische Lernkurve zu absolvieren.
- 30–50 Fälle als Ausbildungsoperationen pro Jahr für Assistenzärzte sind erforderlich, um Trainingszentrum für VATS-Lobektomie zu werden.

- 20–40 Fälle pro Jahr sollte jeder Thoraxchirurg operieren, um die VATS-Lobektomie-Kompetenz aufrecht zu erhalten.
- Der Start eines VATS-Lobektomie-Programms sollte im Rahmen von Proktorprogrammen begleitet werden [11].

Eine fundierte Ausbildung zum thorakoskopischen Chirurgen ist unter Berücksichtigung der o. g. Fallzahlen deshalb häufig nur in High-Volume-Zentren (in Deutschland sind das häufig die nach DKG zertifizierten Lungenkrebszentren) möglich, da hier die entsprechende Fallzahl von VATS-Lungenresektionen erreicht wird, die als Ausbildungsoperationen für Ärzte in Weiterbildung unerlässlich sind.

## Komplikationsmanagement

### Pulmonalarterielle Blutung

Im Rahmen einer VATS-Lobektomie sind pulmonalarterielle Blutungen die bedeutendste Komplikation, die sofortigen Handlungsbedarf erfordert.

#### Cave

**Es bestehen limitierte Möglichkeiten zur Kontrolle und Versorgung von pulmonalarteriellen Blutungen.**

Bei den offenen Lobektomien wird häufig die zentrale Pulmonalarterie zu Beginn der Operation mit einem Tourniquet angeschlungen, um diese im Falle einer Blutung rasch und suffizient zuziehen zu können. Damit können die Blutung zum Stillstand gebracht und in Ruhe die entsprechenden Maßnahmen ergriffen werden. Prinzipiell kann die zentrale Pulmonalarterie auch videothorakoskopisch angeschlungen werden, was für angioplastische Resektionen und Pneumonektomien auch unerlässlich ist, jedoch erfolgt dieser Operationsschritt bei den einfachen Lobektomien nicht routinemäßig, da er anspruchsvoller ist als bei der offenen Operation.

Im Falle einer zentralen pulmonalarteriellen Blutung kann die Übersicht thorakoskopisch schnell verloren gehen, wenn die Kamera durch das Blut verschmutzt wird und/oder zu diesem Zeitpunkt noch keine Kompression der Blutung gelingen konnte.

#### Merke

**Die wichtigste Akutmaßnahme bei einer arteriellen Blutung aus der Pulmonalarterie stellt die sofortige Kompression durch einen vorbereiteten Stieltupfer dar.**

Es hängt dann von der individuellen Einschätzung des Operateurs ab, ob eine Konversion zur Thorakotomie durchgeführt werden muss oder ob die Chance be-

steht, die Blutung weiter in minimalinvasiver Technik zu versorgen.

Es können Hämostyptika in Vliesformat auf die Blutung gelegt werden, die mit Fibrinogen und Thrombin beschichtet sind. Bei Flüssigkeitskontakt werden diese Bestandteile aktiviert und bilden ein Fibringerinnsel. Die Applikation von speziellen Clips oder Nähten ist nur möglich, wenn die Pulmonalarterie im Bereich der Blutung bereits zuvor ausreichend präpariert wurde und dadurch genügend Übersicht besteht.

### Bronchusstumpfsuffizienz

Bronchusstumpfsuffizienzen sind im Zeitalter der Klammernahtreihen durch die sogenannten Endo-Stapler seltener geworden. Bei der VATS-Lobektomie werden bei den einfachen Lobektomien immer Stapler am Bronchusstumpf eingesetzt, die Lobektomien mit bronchoplastischer Rekonstruktion erfolgen weiter durch genähte Anastomosen. Nach diesen sogenannten Manschettenresektionen sollte eine Routinekontrolle der Anastomose durch eine flexible Bronchoskopie nach spätestens 7 Tagen durchgeführt werden, um die Wundheilung zu beurteilen.

### Postoperative Schmerzen

Langzeitkomplikationen wie das Postthorakotomiesyndrom können nach VATS-Lobektomie auch als „Post-VATS-Syndrom“ auftreten und bei 14–19% der Patienten über ein Jahr anhalten. Nach 2 Jahren werden von 4% der Patienten noch thorakale Schmerzen beschrieben [12]. Der direkt postoperative neuropathische Schmerz tritt bei einem Viertel der Patienten auf [13]. Anfangs bestehen häufig Sensibilitätsstörungen im entsprechenden Schnittniveau der Haut, die in die Brust ausstrahlen können. Diese bilden sich im Laufe der Monate zurück, können aber auch abgeschwächt persistieren.

### Intraoperative Konversion

Die intraoperative Konversionsrate der VATS-Lobektomie zur offenen Lobektomie beträgt während der Lernkurve bis zu 20% und sinkt mit steigender Erfahrung des OP-Teams auf 2–5%. Oberlappenresektionen sind am häufigsten von Konversionen betroffen, da hier die Verletzung eines pulmonalarteriellen Gefäßes öfters auftritt und die Gefäße zentral verletzt werden können [14]. Die hiläre Lymphadenopathie, bedingt durch kalzifizierte oder tumorbehaftete Lymphknoten mit Gefäßinfiltration, ist die häufigste Ursache für Gefäßverletzungen im Rahmen der Präparation.

## Vorteile der VATS-Lobektomie

Die perioperativen Vorteile der minimalinvasiven Lobektomie per VATS, verglichen mit der offenen Technik, liegen

- in einer verringerten Inzidenz bronchopleuraler Fisteln,
- in der Reduktion kardiorespiratorischer Komplikationen,
- in verringerten postoperativen Schmerzen/Schmerzmittelbedarf,
- in der Reduktion der perioperativen Mortalität und
- im Rückgang inflammatorischer Marker [15].

Die postoperative Leistungsfähigkeit und die Wiederaufnahme körperlicher Belastung ist besser und schneller als nach offener Lobektomie [16].

Die reduzierten postoperativen Komplikationen führen über die damit verbundene kürzere Krankenhausverweildauer zu einer deutlichen Kosteneffektivität der VATS-Lobektomie (sogenannte Profitlayer in der Sprache der Krankenhausökonomien).

Die schnellere körperliche Belastbarkeit kann den Zeitraum der Krankschreibung und damit die Wiederaufnahme des Arbeitsalltages bei berufstätigen Patienten deutlich verkürzen.

Langzeitergebnisse, die mittels Gesamtmortalität und krankheitsfreiem Intervall gemessen werden, sind nach VATS-Lobektomie mindestens gleich und teilweise besser, verglichen zur Lobektomie über eine Thorakotomie.

#### Merke

**Heutzutage gilt die VATS-Lobektomie als die empfohlene Standardoperation für Lungenkarzinome im Frühstadium, weil insgesamt eine bessere und schnellere Erholung von der Operation ohne Einschränkung der onkologischen Ergebnisse erzielt wird [17, 18].**

Für Thoraxchirurgen stellt die Gruppe der über 80-Jährigen (engl. „Octogenarians“) ein besonders schwieriges Kollektiv dar. Mit zunehmendem Lebensalter besteht eine abnehmende Indikation zur Operation, da bei sehr alten Patienten mindestens ein Risikofaktor für eine Lungenresektion besteht. Oft werden Patienten in diesem hohen Alter für inoperabel erklärt, obwohl der Anteil der Lungenkrebspatienten in diesem Kollektiv von 10% auf 17% über die letzten Jahrzehnte angestiegen ist.

Zusätzlich steigt die absolute Zahl an über 80-Jährigen, die an Lungenkrebs im Stadium I–II erkranken. In einigen Studien konnte nun gezeigt werden, dass die über 80-Jährigen von der VATS-Lobektomie besonders profitieren, da die postoperative Morbidität und Mortalität in dieser Altersgruppe im Vergleich zur offenen Lobektomie deutlich niedriger ist [19, 20]. Ein weiterer Vorteil bei diesen sehr alten Patienten liegt darin, dass ein höherer Anteil direkt nach Hause entlassen werden

kann, da sich die minimalinvasiv operierten alten Patienten schneller von der Operation erholen als beim offenen Vorgehen.

Die Lungenfunktion nach VATS-Lobektomie ist weit weniger eingeschränkt als nach offener Lobektomie [21]. Die bessere Vitalkapazität und FEV<sub>1</sub> nach minimalinvasiver Lobektomie wird durch das niedrigere Schmerzniveau und das geringere chirurgische Trauma der Weichteile und Nerven der Thoraxwand erklärt. Dadurch können Patienten tiefer einatmen, die Atemhilfsmuskeln sind weniger beeinträchtigt, und die Intensität der körperlichen Belastung kann früher gesteigert werden. So können Patienten mit eingeschränkter pulmonaler Funktion von der VATS-Lobektomie profitieren.

Ob damit die pneumologisch-funktionellen Kriterien vor einer anatomischen Lungenresektion in Zukunft angepasst werden, bleibt abzuwarten.

## Ausblicke

### Roboter-assistierte Thorakoskopie (RATS)

In einem Artikel über die minimalinvasiven Lobektomien müssen auch die Roboter-assistierten Operationen (RATS) erwähnt werden. Der Roboter unterscheidet sich in der Anwendung immens von der Videothorakoskopie. Bei der VATS steht der Chirurg stundenlang in einer teilweise unbequemen Position, während er bei der RATS in ergonomischer Position an der Konsole sitzt und damit die Roboterarme steuert.

Die Roboterarme können in jeder beliebigen Position arretiert werden: So können die Lunge optimal exponiert und die Instrumente positioniert werden. Im Falle einer Blutung kann nach Klemmen der Blutung und Einfrieren der Roboterarme Zeit gewonnen werden, um das weitere Vorgehen in Ruhe zu planen.

Das Robotersystem garantiert eine hervorragende Sicht dank 10-facher Vergrößerung des intraoperativen Situs und einer 3D-high-Definition (HD)-Kamera, die nicht von einem Kameraassistenten gehalten werden muss und daher auch ein komplett wackelfreies Bild liefert. Die Roboterarme haben 7 Freiheitsgrade, dadurch können komplexe chirurgische Manöver in engstem Raum (z.B. Mediastinum) komfortabel und sicher durchgeführt werden [22].

Den großen „Gegner“ des Roboters stellt der sehr hohe Kostenaufwand dar. Nicht nur die Anschaffungskosten (700 000–2 000 000 Euro), sondern auch die hohen laufenden Kosten der Verbrauchsmaterialien (sterile Abdeckung der Roboterarme, Wartungskosten, Instrumente- und Staplerkosten) rechtfertigen in den meisten außeruniversitären thoraxchirurgischen Abteilungen nicht die Anschaffung eines Roboters. Das wird

sich in den nächsten eineinhalb Jahren ändern, wenn das Monopol des da Vinci-Systems (Intuitive Surgical Inc., Sunnyvale, CA, USA) fällt und Robotersysteme anderer Firmen auf den Markt kommen. Dies wird unweigerlich zu einer enormen Reduktion der Anschaffungskosten sowie laufenden Kosten eines Robotersystems führen.

Ein onkologischer Benefit konnte bisher für die RATS-Lobektomien nicht beschrieben werden. Ob eine gründlichere Lymphadenektomie und damit ein potenzielles Upstaging mit dem Roboter besser durchgeführt werden kann als mit der VATS, konnte bisher nicht sicher belegt werden [23]. Die Lernkurve der RATS-Operationen wird mit 20 Lobektomien angegeben [22].

Bezüglich postoperativer Schmerzen wird bei der RATS trotz der höheren Anzahl an Zugängen – i. d. R. 4 Roboterarme – kein vermehrtes Auftreten eines „Post-RATS-Syndroms“ im Vergleich zur VATS beschrieben [24]. Mit den Roboterarmen entstehen nur geringe Hebelkräfte im Hautniveau, welche bei der VATS einen Grund für das Auftreten von chronischen Schmerzen am Thorax darstellen können. Das thorakale Taubheitsgefühl wird auch für die RATS-Operationen beschrieben [25].

Die Entwicklung eines „Single-Port“-Robotersystems wird im Moment in den Wet Labs getestet und verspricht eine weitere Reduktion des Inzisionstraumas. Dabei werden die 4 Roboterarme dann durch eine Inzision in den Thorax/Bauchraum geführt und erst intrathorakal/intraabdominell ohne Einschränkung der Beweglichkeit ausgefahren.

### Nicht-intubierte VATS (NI-VATS)

Eine weitere Methode, die in Zukunft das Spektrum der VATS erweitern wird, ist die nicht-intubierte VATS (NI-VATS). Unter Spontanatmung werden Patienten in Analgosedierung mit Epiduralkatheter oder paravertebralem Block sowie Sauerstoff über eine Venturimaske operiert [26]. Bei den Lobektomien stellt die Verwendung von Larynxmasken eine Möglichkeit dar, den Atemweg im Notfall rasch zu sichern [27].

Von chirurgischer Seite müssen die Inzisionen mit Lokalanästhetikum infiltriert werden, ebenso wird nach Eröffnen des Thorax und damit dem Auftreten eines Pneumothorax der N. vagus im umgebenden Fettgewebe mit Lokalanästhetikum infiltriert, um Hustenstöße des Patienten zu vermeiden und somit einen ruhigen Operationssitus zu generieren. Der N. phrenicus sollte ebenfalls im umgebenden Fettgewebe mit Lokalanästhetikum infiltriert werden, um Bewegungen des Zwerchfells zu minimieren und damit Exkursionen und Unruhe im OP-Situs zu verhindern.

Der Vorteil der NI-VATS zeigt sich v. a. bei Patienten mit stark emphysematös umgebautem Lungengewebe. Durch die mechanische Beatmung wird dieses Lungengewebe zusätzlich überbläht und im Sinne eines Barotraumas geschädigt. Muskelrelaxanzien und intravenöse Analgetika können in ihrer Dosierung bei der NI-VATS deutlich reduziert werden, die Patienten sind schneller wach und haben weniger Nebenwirkungen durch die Narkosedikation. V. a. demente oder prä-demente Patienten profitieren von der Reduktion dieser Medikamente.

Die Indikation zur NI-VATS-Lobektomien muss sehr streng gestellt werden. Patienten müssen einen Body-Mass-Index <30 haben, sie müssen hämodynamisch stabil und im Zweifel einfach zu intubieren sein.

Diese Lobektomien sollten ausnahmslos von chirurgisch und thoraxanästhesiologisch sehr erfahrenen Teams durchgeführt werden, damit die Operationszeit und das Risiko intraoperativer Komplikationen auf ein Minimum reduziert werden [28].

### FALLBEISPIEL

#### Fall 2: Non-intubated VATS

Die pulmonal kachektische 68-jährige Patientin mit ausgeprägtem homogenem Lungenemphysem, anamnestisch 80 py und intermittierend pernasaler O<sub>2</sub>-Therapie (1–2 l/min), stellt sich mit spikuliertem Rundherd (Durchmesser ca. 9–10 mm) des linken Lungenunterlappens vor. FEV<sub>1</sub> 20% vom Soll (0,47 l), DL<sub>CO</sub> 29%, kardialer Risikoscore 0.

Eine CT-gesteuerte Punktion zur Dignitätssicherung wurde von Seiten der Radiologen wegen zu hohen Pneumothoraxrisikos abgelehnt. Es wurde eine nicht-intubierte Videothoraskopie links mit Keilresektion des Lungenunterlappens und Lymphadenektomie durchgeführt. Nachweis eines Adenokarzinoms, Lymphknoten tumorfrei (pT1a, pN0, L0, V0, R0, cM0). Entlassung am 5. postoperativen Tag, weiter mobile Sauerstofftherapie wie zuvor empfohlen.

In der Tumornachsorge mittels CT-Thorax und körperlicher Untersuchung seit eineinhalb Jahren rezidivfrei, kommt zu den Nachsorgeterminen ohne mobiles Sauerstoffgerät.

### Zusammenfassung

Der Anteil der VATS-Lobektomien wird in Zukunft weiter steigen. Thoraxchirurgische Abteilungen, die diesen Eingriff nicht routinemäßig in ihr Spektrum integrieren, werden sich vor Zuweisern und Klinikverwal-

tungen rechtfertigen müssen und Probleme mit der Rekrutierung von Weiterbildungsassistenten bekommen.

Die Vorteile der minimalinvasiven Lobektomie sind beeindruckend und die onkologischen Langzeitergebnisse gleichwertig zur offenen Lobektomie. VATS-Lobektomien beim nicht-intubierten Patienten werden in den nächsten Jahren deutlich zunehmen und die Invasivität der Operation weiter reduzieren. Die Anzahl der Kliniken, die RATS-Lobektomien anbieten, wird steigen, wenn weitere Firmen Robotersysteme auf den Markt bringen und diese Verfahren damit deutlich kostengünstiger werden.

Bessere Screening-Programme bei Risikopatienten für Lungenkrebs, rasende Fortschritte in der Thoraxonkologie und weitere Minimalisierung des operativen Traumas bei Lungenresektionen werden die Gesamttherapie und Prognose für Lungenkrebspatienten in den nächsten Jahren entscheidend verbessern.

#### KERNAUSSAGEN

- Die VATS-Lobektomie (VATS = Video-assistierte Thorakoskopie) ist ein technisch anspruchsvolles Operationsverfahren, das nur von erfahrenen thorakoskopischen Chirurgen mit ausreichender jährlicher Fallzahl an Operationen durchgeführt werden kann und soll.
- Mit zunehmender Erfahrung des OP-Teams und durch die Verbesserung der Operationsinstrumente, Kamerasysteme und Stapler in den letzten Jahren können heutzutage auch fortgeschrittene und zentral gelegene Lungenkarzinome von entsprechenden Expertenteams per VATS operiert werden.
- Das deutlich reduzierte Schmerzniveau nach VATS-Lobektomien führt zu einer schnelleren Mobilisation und kürzeren Krankenhausverweildauer, was besonders in der Gruppe der über 80-jährigen Patienten mit einer geringeren Morbidität und Mortalität einhergeht und bei sorgfältiger Selektion somit mehr Operationen in diesem Kollektiv ermöglicht.
- Die onkologischen Langzeitergebnisse nach VATS-Lobektomie sind gleichwertig zur offenen Lobektomie.
- RATS-Operationen (Roboter-assistierte Thorakoskopie) und NI-VATS-Lobektomien (nicht-intubierte VATS) werden helfen, das operative Trauma für die Patienten zu reduzieren und das perioperative Setting weniger invasiv zu gestalten.

## Schlüsselwörter

Thoraxchirurgie, Lobektomie, Lungenkrebs, Bronchialkarzinom, minimalinvasive Chirurgie

## Interessenkonflikt

### Erklärung zu finanziellen Interessen

Forschungsförderung erhalten: nein; Honorar/geldwerten Vorteil für Referententätigkeit erhalten: nein; Bezahlter Berater/interner Schulungsreferent/Gehaltsempfänger: nein; Patent/Geschäftsanteile/Aktien (Autor/Partner, Ehepartner, Kinder) an Firma (Nicht-Sponsor der Veranstaltung): nein; Patent/Geschäftsanteile/Aktien (Autor/Partner, Ehepartner, Kinder) an Firma (Sponsor der Veranstaltung): nein.

### Erklärung zu nicht-finanziellen Interessen

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

## Autorinnen/Autoren



### Stefanie Veit

Dr. med., Jahrgang 1974. Seit 09/2016 Chefarztin der Klinik für Thoraxchirurgie am Krankenhaus Nordwest, Frankfurt am Main. Schwerpunkte: Minimalinvasive Thoraxchirurgie, operative Therapie entzündlicher Lungenerkrankungen, Medical Education in der Thoraxchirurgie.

## Korrespondenzadresse

Dr. med. Stefanie Veit  
Krankenhaus Nordwest  
Klinik für Thoraxchirurgie  
Steinbacher Hohl 2–26  
60488 Frankfurt am Main  
Deutschland  
E-Mail: veit.stefanie@khnw.de

## Wissenschaftlich verantwortlich gemäß Zertifizierungsbestimmungen

Wissenschaftlich verantwortlich gemäß Zertifizierungsbestimmungen für diesen Beitrag ist Dr. med. Stefanie Veit, Frankfurt a. M.

## Literatur

- [1] Sihoe ADL. The evolution of VATS lobectomy. In: Cardose P, ed. Topics in thoracic surgery. Rijeka, Croatia: Intech; 2011: 181–210
- [2] Yan TD, Cao C, D'Amico TA et al., on behalf of the International VATS Lobectomy Consensus Group. Video-assisted thoracoscopic surgery lobectomy at 20 years: a consensus statement. Eur J Cardio-Thorac Surg 2014; 45: 633–639

- [3] Rogers M, Duffy J. Surgical aspects of chronic post-thoracotomy pain. *Eur J Cardio-Thorac Surg* 2000; 18: 711–716
- [4] Bertolaccini L, Batirel H, Brunelli A et al. Uniportal video-assisted thoracic surgery lobectomy: a consensus report from the Uniportal VATS Interest Group (UVIG) of the European Society of Thoracic Surgeons (ESTS). *Eur J Cardiothorac Surg* 2019; 56: 224–229. doi:10.1093/ejcts/ezz133
- [5] McKenna RJ, Houck W, Fuller CB. Video-assisted thoracic surgery lobectomy: experience with 1100 cases. *Ann Thorac Surg* 2006; 81: 421–425
- [6] Gonzales-Rivas D, Fieira E, Delgado M et al. Uniportal video-assisted thoracoscopic lobectomy. *J Thorac Dis* 2013; 5: S234–S245
- [7] Sihoe ADL. Uniportal lung cancer surgery: state of the evidence. *Ann Thorac Surg* 2019; 107: 962–972
- [8] Gonzalez-Rivas D, Yang Y, Stupnik T et al. Uniportal video-assisted thoracoscopic bronchovascular, tracheal and carinal sleeve resections. *Eur J Cardiothorac Surg* 2016; 49 (Suppl. 01): i6–i16
- [9] Santambrogio L, Musso V. VATS lobectomy: does surgical heterogeneity prevent evidence on pain control? *J Thorac Dis* 2018; 10 (Suppl. 09): S1029–S1031. doi:10.21037/jtd.2018.03.189
- [10] Konge L, Petersen RH, Hansen HJ et al. No extensive experience in open procedures is needed to learn lobectomy by video-assisted thoracic surgery. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2012; 15: 961–965. doi:10.1093/icvts/ivs405
- [11] Divisi D, Barone M, Zaccagna G et al. Video-assisted thoracoscopic lobectomy learning curve: what program should be offered in a residency course? *J Vis Surg* 2017; 3: 143
- [12] Stammberger U, Steinacher C, Hillinger S et al. Early and long-term complaints following video-assisted thoracoscopic surgery: evaluation in 173 patients. *European J Cardio-Thorac Surg* 2000; 18: 7–11
- [13] Homma T, Doki Y, Yamamoto Y et al. Risk factors of neuropathic pain after thoracic surgery. *J Thorac Dis* 2018; 10: 2898–2907
- [14] Amore D, Di Natale D, Scaramuzzi R et al. Reasons for conversion during VATS lobectomy: what happens with increased experience. *J Vis Surg* 2018; 4: 53
- [15] Swanson S, Herndorn J, D'Amico T et al. Video-assisted thoracic surgery lobectomy: report of calgb 39802-a prospective, multi-institution feasibility study. *J Clin Oncol* 2007; 25: 4993–4997
- [16] Hartwig MG, D'Amico TA. Thoracoscopic lobectomy: the gold standard for early-stage lung cancer? *Ann Thorac Surg* 2010; 89: S2098–S2101. doi:10.1016/j.athoracsur.2010.02.102
- [17] Howington JA, Blum MG, Chang AC et al. Treatment of stage I and II non-small cell lung cancer: diagnosis and management of lung cancer, 3rd edn. American College of Chest Physicians Evidence-Based Clinical Practice Guidelines. *Chest* 2013; 143: e2785–e3135
- [18] Whitson BA, Groth SS, Duval SJ et al. Surgery for early-stage non-small cell lung cancer: a systematic review of the video-assisted thoracoscopic surgery versus thoracotomy approaches to lobectomy. *Ann Thorac Surg* 2008; 86: 2008–2016
- [19] Pagès PB, Mariet AS, Madelaine L et al. Impact of video-assisted thoracic surgery approach on postoperative mortality after lobectomy in octogenarians. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2019; 4: 1660–1667
- [20] Sarkaria IS, Gorrepati ML, Mehendale S et al. Lobectomy in octogenarians: real world outcomes for robotic-assisted, video-assisted thoracoscopic, and open approaches. *J Thorac Dis* 2019; 11: 2420–2430
- [21] Kaseda S, Aoki T, Hangai N et al. Better pulmonary function and prognosis with video-assisted thoracic surgery than with thoracotomy. *Ann Thorac Surg* 2000; 70: 1644–1646
- [22] Ricciardi S, Davini F, Zirafa CC et al. From “open” to robotic assisted thoracic surgery: why RATS and not VATS? *J vis Surg* 2018; 4: 107
- [23] Toker A, Özyurtkan MO, Demirhan Ö et al. Lymph node dissection in surgery for lung cancer: comparison of open vs. video-assisted vs. robotic-assisted approaches. *Ann Thorac Cardiovasc Surg* 2016; 22: 284–290. doi:10.5761/atcs.oa.16-00087
- [24] van der Ploeg APT, Ayez N, Akkersdijk GP et al. Postoperative pain after lobectomy: robot-assisted, video-assisted and open thoracic surgery. *J Robot Surg* 2020; 14: 131–136. doi:10.1007/s11701-019-00953-y
- [25] Kwon ST, Zhao L, Reddy RM et al. Evaluation of acute and chronic pain outcomes after robotic, video-assisted thoracoscopic surgery, or open anatomic pulmonary resection. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2017; 154: 652–659.e1. doi:10.1016/j.jtcvs.2017.02.008
- [26] Gonzales-Rivas D, Bonome C, Fieira E et al. Non intubated video-assisted thoracoscopic lung resections: the future of thoracic surgery? *Eur J Cardio-Thorac Surg* 2016; 49: 721–731
- [27] Gaetano R. Non-intubated uniportal lung surgery. *Eur J Cardio-Thorac Surg* 2016; 49: i3–i5. Im Internet (Stand: 17.07.2020): <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezv412>
- [28] Ambrogi V, Taje R, Mineo TC. Nonintubated Video-Assisted Wedge Resections in Peripheral Lung Cancer. *Thorac Surg Clin* 2020; 30: 49–59. doi:10.1016/j.thorsurg.2019.08.006

## Bibliografie

*Pneumologie* 2020; 74: 684–694

**DOI** 10.1055/a-0887-8373

**ISSN** 0934-8387

© 2020, Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,  
70469 Stuttgart, Germany

## Punkte sammeln auf [CME.thieme.de](https://cme.thieme.de)



Diese Fortbildungseinheit ist in der Regel 12 Monate online für die Teilnahme verfügbar. Den genauen Einsendeschluss finden Sie unter <https://cme.thieme.de>. Sollten Sie Fragen zur Online-Teilnahme haben, finden Sie unter <https://cme.thieme.de/hilfe> eine ausführliche Anleitung. Wir wünschen viel Erfolg beim Beantworten der Fragen!

Unter <https://eref.thieme.de/CXCWXAQ> oder über den QR-Code kommen Sie direkt zur Startseite des Wissenstests.

VNR 2760512020158720280



### Frage 1

Wie häufig ist das Postthorakotomiesyndrom?

- A Es tritt sehr selten auf.
- B Es wird nur bei posterolateralen Thorakotomien beschrieben.
- C Jeder thorakotomierte Patient hat ein Postthorakotomiesyndrom.
- D Das Postthorakotomiesyndrom tritt in maximal 20% der Fälle nach Thorakotomie auf.
- E Es kann bei bis zu 80% der Patienten nach Thorakotomie auftreten.

### Frage 2

Wie häufig ist das Post-VATS-Syndrom?

- A Es tritt nur selten auf.
- B Das Post-VATS-Syndrom tritt genau so häufig wie das Postthorakotomiesyndrom auf.
- C Ob es zu einem Post-VATS-Syndrom kommt, hängt entscheidend von der Anzahl der VATS-Inzisionen ab.
- D Das Post-VATS-Syndrom in Form von thorakalen Schmerzen kann bei bis zu 25% der Patienten direkt postoperativ auftreten.
- E Das Post-VATS-Syndrom tritt nur bei 1–2% der Patienten auf.

### Frage 3

Was gibt es für Besonderheiten bei den thorakoskopischen Kamerasystemen?

- A Luftinsufflation ist ebenso wie bei der Laparoskopie obligat.
- B Im Notfall sollte der Operateur auf den Blick in den Thorax über die Hilfsinzision zurückgreifen.
- C Verwendung von Trokaren an den Inzisionsstellen ist obligat.
- D Am häufigsten werden Kamerasysteme mit 30°-Optiken eingesetzt.
- E 4K-Technologie eignet sich für Lungenoperationen nicht.

### Frage 4

Eine der folgenden Aussagen zu den verschiedenen minimal-invasiven Verfahren ist *nicht* richtig. Welche?

- A Die multiportale VATS (VATS = Video-assistierte Thorakoskopie) wird kaum noch durchgeführt.
- B Nicht-intubierte VATS (NI-VATS)-Lobektomien sollten nur von Expertenteams durchgeführt werden.
- C RATS und VATS sind in etwa kostengleich.
- D Die erste uniportale VATS wurde 2010 beschrieben.
- E RATS-Operationen (= Roboter-assistierte Thorakoskopien) zeigen kein verbessertes onkologisches Outcome.

### Frage 5

Zur Definition der VATS-Lobektomie gehört welche der folgenden Aussagen *nicht*?

- A ohne Einsatz eines Rippenspreizers
- B individuelle Dissektion von Vene, Arterie und Bronchus
- C Standard-Lymphadenektomie (analog offen chirurgisch)
- D Inzisionslänge zum Bergen der Lunge maximal 8 cm
- E Ein Rippenspreizer kann in schwierigen Fällen passager eingesetzt werden.

### Frage 6

Welche der Aussagen hinsichtlich der Konsensempfehlung zur VATS-Lobektomie-Kompetenz ist korrekt?

- A Die Anzahl ist unerheblich; die Teilnahme an VATS-Kursen und Wet Labs ist obligat.
- B Die Lernkurve hat man mit 10 VATS-Lobektomien absolviert und finalisiert.
- C Trainingszentrum für die VATS-Lobektomie sind Kliniken mit 20 Fällen pro Jahr.
- D Zur Aufrechterhaltung der Operationskompetenz sind 20–40 Fälle pro Jahr empfohlen.
- E Die VATS-Lobektomie eignet sich nicht als Ausbildungsoperation.

## Punkte sammeln auf CME.thieme.de

Fortsetzung ...

### Frage 7

Welche der folgenden Aussagen zu den Vorteilen der VATS-Lobektomie gegenüber der Lobektomie über Thorakotomie ist *falsch*?

- A Das Schmerzniveau nach VATS-Lobektomie ist geringer.
- B Die postoperative Leistungsfähigkeit ist schneller wiederhergestellt.
- C Bei den über 80-Jährigen ist die Mortalität und Morbidität nach VATS-Lobektomie niedriger.
- D Die onkologischen Langzeitergebnisse sind etwas schlechter.
- E Die postoperative Lungenfunktion ist nicht so stark eingeschränkt.

### Frage 8

Wodurch sind die Komplikationen der VATS-Lobektomie gekennzeichnet?

- A Die Bronchusstumpfsuffizienz ist eine häufige Komplikation.
- B Die Konversionsrate bei Komplikationen kann in erfahrenen Zentren auf 2 % sinken.
- C Die VATS-Lobektomie ist nahezu komplikationsfrei.
- D Intraoperative Blutungen erfordern immer eine Konversion.
- E Da intraoperative Blutungen nur schwer kontrolliert werden können, wird bei jeder VATS-Lobektomie die zentrale Pulmonalarterie zu Beginn der Operation mit einem Tourniquet angeschlossen, der bei Blutung sofort zugezogen werden kann.

### Frage 9

Welche Aussage zur multiportalen und uniportalen VATS-Lobektomie ist richtig?

- A Die uniportale VATS hat für den Patienten viele Vorteile.
- B Die uniportale VATS macht die Anwesenheit eines kameraführenden Assistenten überflüssig.
- C Die uniportale und multiportale VATS sind anspruchsvolle Operationen.
- D Uniportale VATS-Lobektomien werden nur in Asien durchgeführt.
- E Die multiportale VATS wird immer über 3 Zugänge durchgeführt.

### Frage 10

Eine der allgemeinen Aussagen zur RATS-Lobektomie ist *falsch*. Welche?

- A Die RATS-Technik liefert ein 10-fach vergrößertes Bild für den Operateur.
- B Der Operateur sitzt an der OP-Konsole und steuert die Roboterarme.
- C Die onkologischen Vorteile der RATS-Lobektomie gegenüber der VATS-Lobektomie sind in Studien nachgewiesen worden.
- D Die Roboterarme sind im Gegensatz zu den VATS-Instrumenten um ein Vielfaches rotierbar.
- E Das Monopol der Firma Intuitive Surgical Inc. für das da Vinci-System fällt in eineinhalb Jahren; mit der Markteinführung diverser anderer Modelle ist zu rechnen.