

Typische intraoperative Komplikationen in der laparoskopischen Chirurgie

Die laparoskopische Cholezystektomie, Appendektomie, Fundoplikation, kolorektale Chirurgie und Leistenhernienchirurgie gehören heute zu den Routineeingriffen in der Allgemein- und Viszeralchirurgie. Für alle diese Eingriffe konnte mittlerweile in systematischen Reviews und Metaanalysen gezeigt werden, dass das perioperative Outcome nach Überwindung der Lernkurve besser ist als nach der offenen Chirurgie [10, 14, 16, 19, 20]. Die Lernkurve der laparoskopischen/endoskopischen Operationen ist jedoch deutlich länger als für die entsprechenden offenen Operationen, d. h., die komplikationsarme Durchführung dieser Eingriffe erfordert mehr Ausbildungsoperationen unter Anleitung. Aber auch der erfahrene laparoskopische Chirurg wird in Abhängigkeit von den anatomischen Gegebenheiten des Patienten und/oder bei ausgeprägten Befunden immer wieder an Grenzen der Methode stoßen, die ihn entweder aufgrund eines frühzeitigen eigenen Entschlusses oder durch Eintreten einer Komplikation zum Umsteigen auf ein offenes Verfahren zwingen. Deshalb ist es wichtig, sich mit den typischen intraoperativen Komplikationen der laparoskopischen Chirurgie auseinanderzusetzen, um sie nach Möglichkeit zu vermeiden. Treten intraoperative Komplikationen auf, ist es wichtig, sie frühzeitig zu erkennen und sie zu beherrschen oder auf ein offenes Vorgehen umzusteigen.

In der laparoskopischen Chirurgie muss zwischen folgenden intraoperativen Komplikationen unterschieden werden:

- Komplikationen der Lagerung,
- Komplikationen des Zugangs,
- Komplikationen des Pneumoperitoneums,
- operationsspezifische Komplikationen.

Komplikationen der Lagerung

Bei der laparoskopischen Chirurgie muss der Patient häufig in Extrempositionen gebracht werden, um die Organexposition durch die Schwerkraft und die dadurch bedingte Organverlagerungen zu verbessern. Deshalb müssen besondere Vorsichtsmaßnahmen bei der Lagerung zu laparoskopischen Eingriffen getroffen werden. Oberflächlich verlaufende und lange Nerven sind durch die Lagerung auf dem Operationstisch und Positionsveränderungen während der Operation besonders gefährdet. Gefährdet sind der Plexus brachialis, der N. ulnaris, der N. femoralis und der N. peroneus.

» Oberflächlich verlaufende und lange Nerven sind besonders gefährdet

Soll der Patient während der Operation in eine tiefe Trendelenburg-Position gebracht werden, sind gepolsterte Schulterstützen unverzichtbar (Abb. 1a). Auf der Seite des Operateurs und des kameraführenden Assistenten wird der Arm an-

gelagert. Der angelagerte Arm sollte sich in Pronationsstellung befinden, der Ellenbogenbereich gepolstert und der Arm locker am Körper fixiert sein. Der für die Anästhesie ausgelagerte Arm wird nicht mehr als 90° abduziert und auf einer gepolsterten Schiene gelagert (Abb. 1b). Im Beckenbereich sollten bei Eingriffen mit seitlicher Kippung des Operationstisches ebenfalls gepolsterte Beckenstützen angebracht werden (Abb. 1c). Bei Lagerung des Patienten auf dem Rektumtisch werden neben gepolsterten Beinschalen zusätzliche Gekissen für das Fibulaköpfchen zum Schutz des N. peroneus verwendet (Abb. 1c).

Komplikationen des Zugangs

Bei den Zugängen für die laparoskopische Chirurgie sollte man heute drei verschiedene Techniken diskutieren:

- geschlossene Technik mit der Veress-Nadel,
- offene Technik mit dem Hasson-Trokar,
- optischer Trokar mit stumpfer Spitze.

Die geschlossene Technik unter Verwendung der Veress-Nadel zur Anlage des Pneumoperitoneums und anschließendem blindem Ersteinstich mit einem Kegeltrokar ist die weltweit am häufigsten durchgeführte Technik. Dabei sind für die Überprüfung der korrekten Lage der Veress-Nadel der Aspirationstest und der Tropfentest besonders wichtig. Nach vollständiger Anlage des Pneumoperitoneums sollten dann unter optimaler

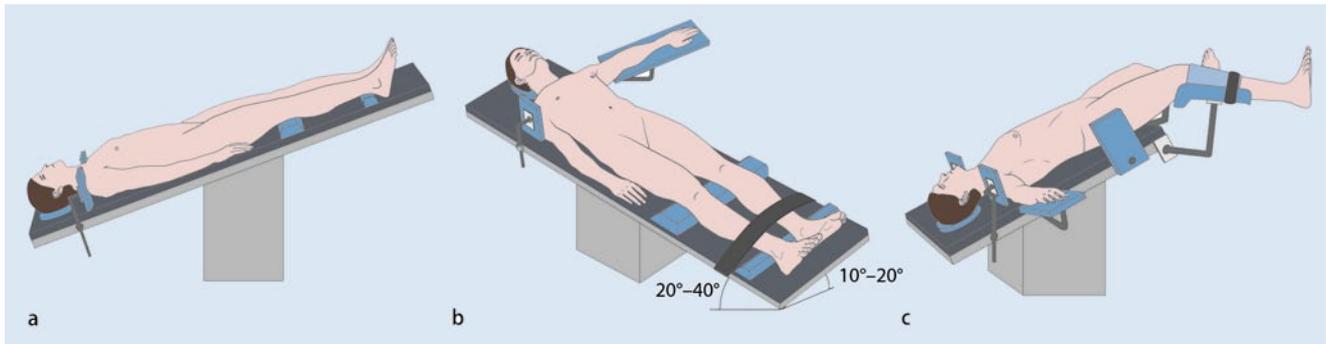


Abb. 1 **a** Gepolsterte Schulterstützen für eine tiefe Trendelenburg-Position. **b** Angelagerter Arm auf der Seite des Operateurs. **c** Gepolsterte Beckenstützen und Gekissen für das Fibulaköpfchen

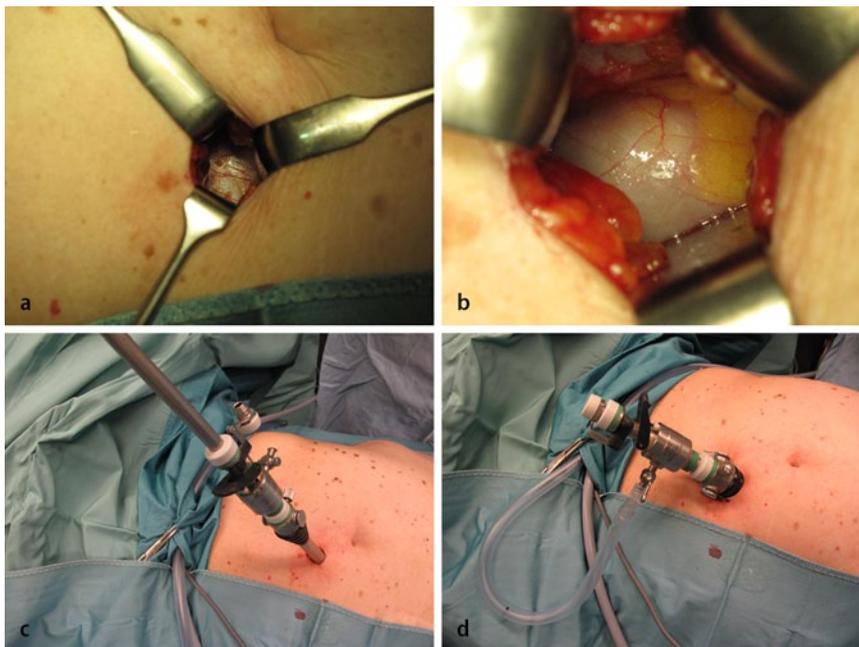


Abb. 2 **a** Darstellung der Faszie mit drei Langenbeck-Haken. **b** Nach Eröffnung des Peritoneums quillt Omentum majus oder Dünndarm vor. **c** Über einen 10-mm-Taststab wird der Hasson-Trokar eingeführt. **d** Fixierung des Hasson-Trokars an der Haut

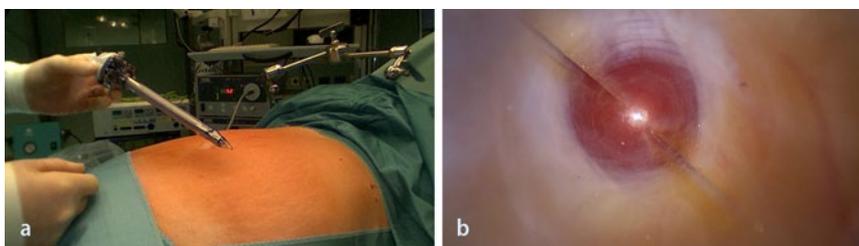


Abb. 3 **a** Optischer Trokar. **b** Mit der Optik im Trokar kann der Übergang von der Faszie zur Muskulatur dargestellt werden

Relaxation nur Kegeltrokare für den blinden Ersteinsteich verwendet werden. Die sog. „Sicherheitstrokare“ sind mit äußerster Skepsis zu betrachten. Hierbei handelt es sich um scharfe Trokare, deren Spitzen nach kompletter Durchdrin-

gung der Bauchwand, einschließlich Peritoneum, durch einen vorspringenden Schutzmechanismus abgesichert werden. Gerade bei jungen, schlanken Patienten mit muskelkräftiger Bauchwand bleibt dieser Schutzschild leicht am Pe-

ritoneum hängen und die scharfe Spitze kann zu schwerwiegenden Komplikationen führen.

Bei der offenen Technik wird nach der Hautinzision die Bauchwandfaszie mit drei Langenbeck-Haken dargestellt (**Abb. 2a**). Diese wird dann unter Sicht eingeschnitten und die darunterliegenden Muskeln auseinandergedrängt (**Abb. 2b**). Dann werden das hintere Blatt der Rektusscheide und/oder das Peritoneum ebenfalls mit den drei Langenbeck-Haken dargestellt und ebenfalls unter Sicht mit der Schere eröffnet (**Abb. 2c**). Anschließend kann der Hasson-Trokar mit einem 10-mm-Führungsstab in das Abdomen eingebracht und das Pneumoperitoneum angelegt werden (**Abb. 2d**).

Sowohl die geschlossene als auch die offene Technik stoßen bei sehr adipösen Patienten an ihre Grenzen und können zu erheblichen Komplikationen führen oder kaum durchführbar sein. Hier hat sich besonders in der Adipositaschirurgie die Alternative der Verwendung von optischen Trokaren entwickelt, die aber auch sinnvollerweise bei anderen laparoskopischen Eingriffen bei sehr adipösen Patienten eingesetzt werden können. Mehrere Hersteller bieten durchsichtige Einweginstrumente mit stumpfen Spitzen an, in die die 0-Grad-Optik eingebracht werden kann (**Abb. 3a**). Somit kann mit der Kamera der Weg des Trokars durch die einzelnen Bauchwandschichten bis in das Abdomen hinein beobachtet werden (**Abb. 3b**).

In einer gerade erschienenen Cochrane-Metaanalyse sind die verschiedenen Zugangstechniken noch einmal miteinander verglichen worden. In der Metaanalyse fand sich kein Unterschied in den

Raten an Gefäß- und Organverletzungen zwischen den verschiedenen Zugangstechniken. Die offene Technik zeigt in dieser Analyse signifikant weniger Fehlversuche in der Anlage des Pneumoperitoneums, seltener extraperitoneale Gasinsufflationen und weniger Verletzungen des Omentum majus [1].

In den der Metaanalyse zugrunde liegenden Studien wurden jedoch in der Regel voroperierte und stark übergewichtige Patienten ausgeschlossen [1].

Bei voroperierten Patienten bietet die offene Technik natürlich besondere Vorteile. Unabhängig von der verwendeten Zugangstechnik sollte in dieser Situation der Ersttrokar immer soweit wie möglich entfernt von dem voroperierten Gebiet platziert werden.

» Schwerwiegende Komplikationen können beim Einbringen des Ersttrokars auftreten

In einem systematischen Review von 38 Publikationen mit insgesamt 696.502 Laparoskopien mit der Veress-Nadel und blindem Ersteinstich traten 1575 Verletzungen (0,23%) auf. In 126 Fällen waren Gefäße oder Hohlorgane betroffen (0,018%; [2]).

Kommt es zu einer solchen schwerwiegenden Komplikation beim Einbringen des Ersttrokars, muss zur sicheren Beurteilung des Ausmaßes der Verletzung und der Beherrschung der Komplikation sofort umgestiegen werden. Dieses gilt ganz besonders für Gefäßverletzungen, da die Beurteilung des Verletzungsausmaßes bei der Blutung und der retroperitonealen Lage der Gefäße laparoskopisch äußerst schwierig ist. Natürlich sollte auch sofort ein erfahrener Gefäßchirurg hinzugezogen werden. Auch bei Darmverletzungen muss sicher beurteilt werden, ob nicht weitere Verletzungen vorliegen.

Im Vergleich zu den schweren Zugangskomplikationen beim Ersttrokar sind die Komplikationen bei der Platzierung der Arbeitstrokare unter optischer Kontrolle leicht laparoskopisch zu beherrschen. Hier handelt es sich am ehesten um Verletzungen der epigastrischen

Chirurg 2012 · 83:633–641 DOI 10.1007/s00104-011-2211-8
© Springer-Verlag 2012

F. Köckerling · S. Grund · D.A. Jacob

Typische intraoperative Komplikationen in der laparoskopischen Chirurgie

Zusammenfassung

Für alle häufigen laparoskopischen Eingriffe (Cholezystektomie, Appendektomie, Leistenhernienreparation, Fundoplikation, kolorektale Resektion) konnte inzwischen in systematischen Reviews und Metaanalysen gezeigt werden, dass sie im perioperativen Outcome zu besseren Ergebnissen führen als die offene Chirurgie. Dementsprechend gibt es nur sehr wenige Publikationen, die über die intraoperativen Komplikationen und ihr Management berichten. Hierbei muss unterschieden werden in Lagerungskomplikationen, Zugangskomplikationen und Komplikationen des Pneumoperitoneums, die bei allen laparoskopischen Eingriffen auftreten können, und in spezifische Komplikationen der einzelnen Eingriffe. Im Mittelpunkt der Auseinandersetzung mit dem Thema der intraoperativen Komplikationen muss natürlich die Vermeidungsstrategie für deren Auftreten

stehen. Bei eingetretenen intraoperativen Komplikationen geht es dann ganz besonders um deren Erkennung und Beherrschung, wobei besonders die Frage wichtig ist, welche Komplikation lässt sich noch laparoskopisch beherrschen und wann muss auf ein offenes Vorgehen umgestiegen werden. In der Regel sollte ein Verfahrenswechsel bei einer schwerwiegenden Komplikation erfolgen. Nur ein sehr erfahrener laparoskopischer Chirurg ist in der Lage, eingetretene Komplikationen auch sicher zu beherrschen, ohne den Patienten weiter zu gefährden. Im Zweifelsfall ist der Umstieg mit offener Versorgung der eingetretenen Komplikationen das Vorgehen mit dem geringeren Risiko.

Schlüsselwörter

Laparoskopie · Perioperatives Outcome · Komplikationen · Vermeidung · Management

Typical intraoperative complications in laparoscopic surgery

Abstract

For all common laparoscopic procedures (e. g. cholecystectomy, appendectomy, inguinal hernia repair, fundoplication and colorectal resection) it has been possible to demonstrate in systematic reviews and meta-analyses that they produce better results in terms of perioperative outcome than open surgery. Accordingly, there are very few publications that report on intraoperative complications and their management. In this respect a distinction must be made between positioning complications, access complications and complications related to the pneumoperitoneum, which can manifest in all laparoscopic procedures, as well as the specific complications associated with individual procedures.

The main focus of any consideration of intraoperative complications must of course be on strategies to prevent the occurrence. If

intraoperative complications have occurred, the most important aspect is the diagnosis and control with prime importance accorded to which complications can still be controlled using a laparoscopic approach and when an open procedure must be used. In general a switch to open surgery should be made in the event of serious complications. Only a highly experienced laparoscopic surgeon will be able to safely manage complications once they have occurred without putting the patient at further risk. In doubtful situations the approach that poses least risk is open surgery for complications that have already occurred.

Keywords

Laparoscopy · Perioperative outcome · Complications · Avoidance · Management

Gefäße. Diese lassen sich am besten durch U-Nähte oberhalb und unterhalb der Trokareinstichstelle unter Verwendung des sog. Fasziadaptors stillen (▣ Abb. 4). Heftige Blutungen, die sich nicht sofort kontrollieren lassen, können vorübergehend mit einem Blasenkatheter mit gefülltem Ballon unter Kompression ge-

nommen werden, um bessere Bedingungen für die Versorgung zu erhalten.

Komplikationen des Pneumoperitoneums

Das CO₂-Pneumoperitoneum induziert hämodynamische, pulmonale, renale, splanchnische und endokrine pathophy-

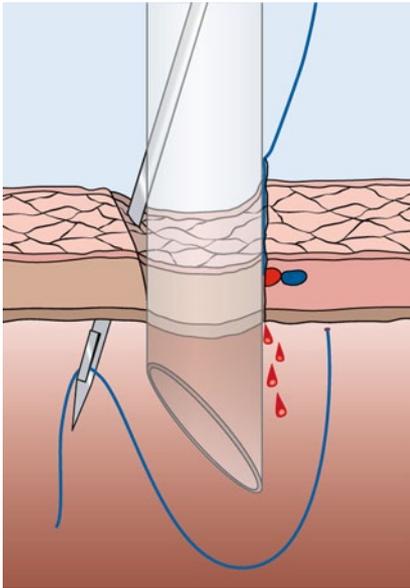


Abb. 4 ▲ U-Naht mit dem Fasziadapter bei blutenden epigastrischen Gefäßen

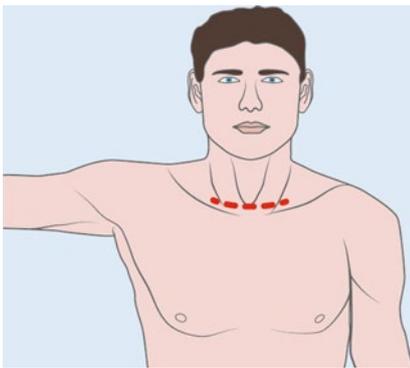


Abb. 5 ▲ Kollare Inzision zur Behandlung eines subkutanen Hautemphysems

siologische Veränderungen. Die meisten dieser Veränderungen sind klinisch dann nicht relevant, wenn eine adäquate Narkosedurchführung stattfindet. Dennoch können in Abhängigkeit vom intraabdominellen Druck, der Menge des resorbierten CO₂, dem zirkulatorischen Volumen des Patienten, der verwendeten Ventilationsstechnik, der zugrunde liegenden Erkrankung und der Art der Anästhesie in einigen Fällen Komplikationen auftreten.

Mit folgenden schwerwiegenden Komplikationen muss gerechnet werden [6]:

- **Kardiovaskuläre Komplikationen**
 - Hypertension
 - Hypotension
 - Arrhythmie
 - Pneumoperikardium
 - Herzstillstand

- **Pulmonale Komplikationen**
 - Hypoxämie
 - Barotrauma
 - Lungenödem
 - Atelektase
 - Gasembolie
 - Pneumothorax
 - Pneumomediastinum
- **Renale Komplikationen**
- **Subkutanes Hautemphysem**

Das Eintreten dieser schwerwiegenden Komplikationen erfordert die sofortige Hinzuziehung des erfahrensten Anästhesisten und die enge Abstimmung des Operateurs mit dem zuständigen Anästhesieteam. Als Sofortmaßnahme sollte der Eingriff zunächst abgebrochen und das Pneumoperitoneum abgelassen werden. Dann muss entschieden werden, ob die Komplikation mit anästhesiologischen Mitteln allein, unter Zuhilfenahme eines erweiterten Monitorings, gelöst werden kann oder ob besser auf ein offenes Vorgehen umgestellt werden muss. In einzelnen Fällen muss die Operation auch ganz abgebrochen werden, um den Patienten erst wieder in einen besseren klinischen Zustand zu bringen. Von chirurgischer Seite muss bei einem extremen Hautemphysem, das in 0,3–3% aller Laparoskopien auftritt, bei Mitbeteiligung der Halsweichteile und drohender Kompression der Atemwege eventuell eine kollare Inzision zum Ablassen des Gases aus dem subkutanen Raum durchgeführt werden (▣ Abb. 5).

Ein subkutanes Hautemphysem kann sekundär auch zu einem Pneumothorax und Pneumomediastinum führen. Da CO₂ im Thorax schnell resorbiert wird, muss nicht immer eine Drainage bei einem Pneumothorax gelegt werden. Kommt es jedoch zu Beatmungsproblemen oder besteht ein schwerer Kapnothorax muss eine Thoraxdrainage gelegt werden.

Da das subkutane Hautemphysem aufgrund des schlaffen Gewebes eher bei älteren und multimorbiden Patienten auftritt, muss die Fortsetzung des laparoskopischen Eingriffes besonders kritisch hinterfragt werden.

Operationsspezifische Komplikationen

Laparoskopische Cholezystektomie

Auch für den laparoskopischen Standardeingriff Cholezystektomie beträgt die Lernkurve 200 Operationen [23]. Besonders bei der akuten Cholezystitis bei Männern und geringer Erfahrung des Operateurs ist mit einer signifikant höheren Umsteigerate aufgrund von Komplikationen zu rechnen [8, 9, 18].

In der Literatur wird die Rate intraoperativer Komplikationen, wie signifikante Blutung, Darmverletzung und Leberverletzung, mit 1,6%, angegeben [8]. Weiterhin kommt es in 0,3% zu Gallengangsverletzungen und in 1,5% zu Gallecks. In einer weiteren Publikation werden intraoperative Komplikationen in 1,9% aller Gallenblasenentfernungen für einen Umstieg auf ein offenes Vorgehen verantwortlich gemacht, und zwar Gallengangsverletzungen, Verletzungen des Dünndarmmesenterium, Dünndarmverletzungen, Gallenblasenperforation mit Steinverlust und Blutung [4].

Sakpal et al. [18] geben als Ursachen für einen Umstieg 12 iatrogene Verletzungen an (0,54%), und zwar 7 Gallenblasenperforationen (0,3%), 3 Gallengangsverletzungen und 2 Darmverletzungen. Weiterhin führten 7 Blutungskomplikationen zum Umstieg (0,3%).

Abgesehen von der zugangsbedingten Blutungskomplikation kommt es intraoperativ am häufigsten zu Blutungen aus dem Leberbett. Dieses Problem tritt im Wesentlichen bei Patienten mit einer akuten oder chronisch stark veränderten Gallenblase auf, wenn es keine bindegewebige Schicht mehr zwischen der Gallenblasenwand und dem Leberbett gibt. Weiterhin blutet es auch stärker bei Patienten mit einer Leberzirrhose aus dem Leberbett. In einer Metaanalyse konnten Puggioni et al. [15] zeigen, dass es bei der Leberzirrhose in 26% zu relevanten Blutungsproblemen aus dem Leberbett kommt, während dies bei Patienten ohne Leberzirrhose nur in 3,1% vorkommt. Sowohl bei den stark veränderten Gallenblasenbefunden durch akute oder chronische Cholezystitis als auch beim Vorhandensein einer Leberzirrhose muss das He-

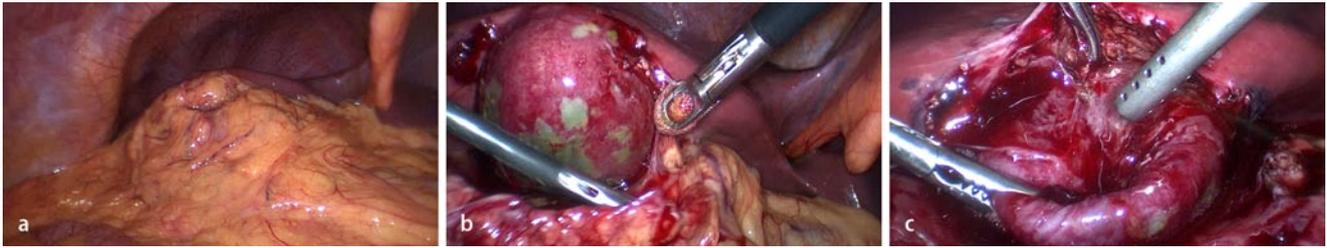


Abb. 6 ▲ **a** Typischer Befund einer schwersten akuten Cholezystitis. **b** Nach Abpräparation des großen Netzes zeigt sich eine partielle Gangrän der Gallenblase. **c** Progrades Herauspräparieren der Gallenblase aus dem Leberbett mit einem Sauger

rauspräparieren der Gallenblase aus dem Leberbett mit äußerster Sorgfalt und entsprechender Blutstillung erfolgen. In dieser Situation bewährt sich häufig die Saugerpräparation am besten, um in der richtigen Schicht zu bleiben. Nach dem Absetzen der Gallenblase kann dann das Leberbett gezielt mit Strom koaguliert und zusätzlich eine Blutstillung mit Fibrinkleber oder Stärkepulver erreicht werden. Auf jeden Fall sollte am Ende der Operation das Leberbett völlig blutrocken sein. Auch sollte in dieser Situation eine Drainage eingelegt werden. Ist die Blutung zu stark und lässt sich unter diesen Umständen keine kontrollierte Operation mehr durchführen, muss natürlich sofort umgestiegen werden. Die laparoskopische Beherrschung von Blutungen aus dem Leberbett ist stark abhängig von der Erfahrung des Operateurs.

Zwar führen nur in 0,3% der laparoskopischen Cholezystektomien iatrogene Gallenblasenperforationen zum Umstieg, aber insgesamt sind sie mit 10–30% sehr viel häufiger [21]. Das Problem dabei ist nicht die austretende Galleflüssigkeit, die abgesaugt werden kann, sondern der potenzielle Steinverlust. Einzelne größere Steine sind unproblematisch, sie können im Bergebeutel geborgen werden. Schwierig ist der Austritt von vielen kleinen Steinen, die sich im Oberbauch und zwischen den Darmschlingen verteilen. Die verloren gegangenen Steine können postoperativ auch zu ernsthaften Komplikationen führen, wie intraabdominelle Abszesse und Infektionen der Bauchwand [21]. Deshalb ist es unbedingt wichtig, einen Steinverlust zu vermeiden. Defekte in der Gallenblasenwand können mit Clips bzw. Naht verschlossen werden. Ausgetretene Steine sollten in einem Bergebeutel gesammelt werden. Lassen sich nicht alle verlorenen Steine finden oder laparos-

kopisch bergen, sollte auf ein offenes Vorgehen umgestiegen werden.

Finden sich eröffnete akzessorische Gallengänge im Leberbett oder ist die Versorgung des Zystikusstumpfes unsicher, muss zur Vermeidung von Gallelecks ein adäquater Verschluss vorgenommen werden. Der erfahrene laparoskopische Chirurg kann eine Versorgung durch Naht erreichen. Das setzt allerdings eine entsprechende Erfahrung mit dem endoskopischen Nähen voraus. Gelingt die sichere Versorgung mit endoskopischer Nahttechnik nicht, sollte ebenfalls auf ein offenes Vorgehen umgestiegen werden.

» Mit der „Fundus-first-Technik“ lassen sich Gallenwegsverletzungen vermeiden

Neben den Zugangskomplikationen stellt die Verletzung des Gallenganges bei der laparoskopischen Cholezystektomie die schwierigste und lebensbedrohliche Komplikation dar. In diesem Beitrag kann nicht auf die einzelnen Verletzungsmuster und deren chirurgische Behandlungsoptionen eingegangen werden. Natürlich kann eine solche Komplikation nur durch ein offenes Vorgehen behandelt werden und sollte nur von einem sehr erfahrenen Gallenwegs- und Leberchirurgen erfolgen. Dazu muss der Patient dann häufig in ein entsprechendes Zentrum verlegt werden. In diesem Beitrag soll es deshalb mehr um die optimale Vermeidungsstrategie von Gallenwegsverletzungen gehen.

Lässt sich das Calot-Dreieck der Gallenblase nicht optimal exponieren oder liegen dort erhebliche akute oder chronische entzündliche Veränderungen vor, ist es empfehlenswert, wie in der offenen Chirurgie, auf ein progrades Vorgehen („Fundus-first-Technik“) umzustellen

(**Abb. 6**). Dabei wird die Gallenblase zuerst aus dem Leberbett herauspräpariert und erst zum Schluss die A. cystica und dann der Ductus cysticus freipräpariert. In mehreren Publikationen konnte nachgewiesen werden, dass mit der prograden Technik der laparoskopischen Cholezystektomie sowohl die Rate der Gallengangsverletzungen als auch die Umstiegsrate gesenkt werden kann [13, 24].

Gupta et al. [5] konnten zeigen, dass bei der akuten Cholezystitis durch den Umstieg von der konventionellen laparoskopischen Technik auf die prograde Technik der Cholezystektomie 16 von 19 Umstiegen vermieden werden konnten.

Wir selbst setzen diese Technik sehr großzügig ein, da sie keine Nachteile und nur Vorteile bietet. Bei ausgeprägten entzündlichen und narbigen Veränderungen im Calot-Dreieck, anatomischen Unklarheiten und schlechter Exposition dieses Bereiches stellt diese Technik das sicherere Vorgehen dar. Damit lassen sich potenzielle Gallenwegsverletzungen vermeiden.

Ein wichtiges diagnostisches Verfahren zur Klärung unklarer anatomischer Verhältnisse bzw. möglicher Verletzungen der Gallenwege stellt die intraoperative Cholangiographie dar. Solange noch keine Verletzung der Gallenwege eingetreten ist, hilft sie durch Klärung der tatsächlichen anatomischen Verhältnisse, Komplikationen zu vermeiden. Die Diagnostik einer bereits eingetretenen Komplikation führt zu einer früheren RepARATION des Defektes, die eine bessere Prognose hat als eine erst später erfolgte Diagnostik und Therapie [21].

Laparoskopische Appendektomie

Bei der laparoskopischen Appendektomie muss in etwa 10% aufgrund des anatomischen bzw. pathologischen Befundes und

eingetretener Komplikationen mit einem Umstieg auf ein konventionelles Vorgehen gerechnet werden [11]. Dabei liegt die Umsteigerate bei der komplizierten Appendizitis mit 21,2% signifikant höher als bei den Patienten ohne komplizierte Appendizitis mit 2,3% [25]. In den klinischen Fallserien von Liu et al. [11] war der häufigste Konversionsgrund eine ausgeprägte entzündliche Veränderung (3,5%), gefolgt von lokalisierter Perforation (1,2%) und diffuser Peritonitis (1%). Bei entsprechender Erfahrung lassen sich auch solche Befunde teilweise laparoskopisch beherrschen. Aber im Zweifelsfall ist der Umstieg bei solchen komplizierten Appendizitiden immer richtig.

In 0,8% der laparoskopischen Appendektomien lag eine schwere Entzündung oder Nekrose der Appendixbasis vor, die zum Umstieg führte. In diesen Fällen kann unter Umständen nach Mobilisation des Zökums eine Zökalspolresection mit dem linearen Klammernahtgerät vorgenommen werden, wobei keine Stenosierung der Ileozökalklappe erfolgen sollte. Bei Bedarf kann die Klammernahtreihe dann zusätzlich noch übernäht werden. Allerdings muss dafür das Zökum frei von Entzündungen sein und ebenso lang genug, damit eine sichere Versorgung mit dem linearen Klammernahtgerät erfolgen kann.

In der Serie von Liu et al. [11] kam es in 0,7% der laparoskopischen Appendektomien zu einer Blutung, und zwar aus epigastrischen Gefäßen, der A. appendicularis und Mesenterialgefäßen. In der Regel können solche Blutungen problemlos laparoskopisch versorgt werden. Aber auch hier gilt, dass im Zweifelsfall zügig umgestiegen werden sollte.

Weiterhin trat eine thermische Dünndarmverletzung (0,17%) auf, die intraoperativ diagnostiziert und dann offen versorgt wurde. Auch eine solche Verletzung kann bei entsprechender Erfahrung laparoskopisch übernäht werden. Ansonsten sollte besser umgestiegen werden.

Auch die retrozökale Lage der Appendix führt in einem relevanten Anteil (0,8%) zum Umstieg. Bei retrozökaler Lage der Appendix muss zunächst eine Mobilisation der Ileozökalregion vorgenommen werden. Auch das bereitet offensichtlich bei fehlender Erfahrung Schwierigkeiten

und kann zum Umstieg führen. Ansonsten lässt sich dieses Problem bei entsprechender Erfahrung natürlich laparoskopisch lösen.

Laparoskopische Leistenhernienreparation

Auf der Basis evidenzbasierter Daten lässt sich im kurz- und langfristigen Outcome kein Unterschied zwischen der total-extraperitonealen Patchplastik (TEP) und der transabdominellen Patchplastik (TAPP) darstellen. Im Trend weist die TAPP mehr Zugangs komplikationen auf und die TEP eine höhere Umsteigerate.

Nach Bittner [3] finden sich bei der TAPP folgende intraoperative Komplikationen:

- Läsion des N. cutaneus femoris lateralis 0,26%,
- Blutung 0,31%,
- Blasenläsion 0,09%,
- Darmläsion 0,1%.

Nach Tamme und Köckerling [22] muss bei der TEP mit folgenden intraoperativen Komplikationen gerechnet werden:

- Blutung epigastrische Gefäße 0,2%,
- Läsion der Harnblase 0,2%,
- Darmverletzung 0,02%,
- Konversion zu TAPP oder Lichtenstein 0,3%,
- Läsion des Ductus deferens 0,1%.

Intraoperative Blutungskomplikationen bei der TEP und TAPP entstehen am häufigsten durch Verletzung der Vasa epigastrica, entweder durch präparatorische Fehler oder bei der TEP zusätzlich durch den Ballontrokar. Bei heftiger Blutung erfolgt als Sofortmaßnahme eine instrumentelle Kompression. Dadurch kommt die Blutung in der Regel zunächst einmal zum Stillstand. Dann kann unter kontrollierten Bedingungen das blutende epigastrische Gefäß entweder geklippt oder mit einer endoskopischen Naht umstochen werden.

Blasenverletzungen treten besonders häufig nach urologischen Vorbehandlungen mit einem suprapubischen Katheter oder Voroperationen auf. Bei der TEP kann es bereits bei der Insufflation des Ballontrokar für die Schaffung des Extraperitonealraumes zu einem Einriss der

Blase kommen. Ansonsten ist die Blasenverletzung in der Regel eine Folge präparatorischer Fehler bzw. falscher Stromanwendung am Blasendach. Die Diagnose steht mit dem Austritt von Urin in den Extraperitonealraum. Bei entsprechender Erfahrung lässt sich die Blasenverletzung in der Regel problemlos laparoskopisch/endoskopisch beherrschen. Es wird zunächst intraoperativ ein Blasen katheter eingelegt, der dann postoperativ für ca. eine Woche verbleibt. Anschließend wird der Defekt mit resorbierbaren endoskopischen Nähten verschlossen. Nachfolgend wird noch eine Kontrolle auf Dichtigkeit durch Füllen der Blase mit Kochsalzlösung über den liegenden Blasen katheter durchgeführt.

Eine Darmläsion kann bei entsprechender Erfahrung laparoskopisch versorgt werden, ansonsten erfolgt eine offene Reparat ion. Problematisch ist die Verwendung eines synthetischen Netzes für den Bruchlückenverschluss bei ausgetretenem Darminhalt. Hier muss im Einzelfall das konkrete Vorgehen festgelegt werden. Kommt es zu einer Kontamination des Operationsgebietes mit Stuhl, sollte auf eine Netzverwendung verzichtet werden. In diesem Fall müsste auf eine netzfreie Methode (Shouldice, Bassini) umgestiegen werden.

Kommt es zu einer Verletzung des Ductus deferens, sollte dieser proximal und distal der Verletzungsstelle geklippt werden. Eine Naht des Defektes (ein Drittel der Zirkumferenz) kommt nur bei kleinen Läsionen infrage.

Verletzungen des N. cutaneus femoris lateralis und des N. genitofemoralis sind Folge der Präparation in der falschen Schicht oder falsche Stromanwendung. Bei Beachtung der schützenden Hüllschicht über den Nerven kommt es bei den laparoskopischen/endoskopischen Reparat ionsverfahren nicht zu Nervenläsionen. Deshalb liegt die Rate an chronischem Leistenschmerz nach der minimal-invasiven Leistenhernienoperation bei nur 1%.

Laparoskopische Fundoplikation

Die Häufigkeit der intraoperativen Komplikationen hängt stark davon ab, ob es sich um eine axiale Hiatushernie bei Re-

fluxerkrankung handelt oder um eine ausgeprägte paraösophageale Hernie mit Verlagerung großer Magenanteile in das Mediastinum. Hüttl et al. [7] berichten über eine Konversionsrate aufgrund intraoperativer Komplikationen in einer Multicenterstudie an 1614 Patienten von 2,2%. Dabei kam es in 0,9% zu Blutungen. In 0,2% trat eine Milzverletzung auf. Ebenfalls in 0,2% wurde der Ösophagus verletzt. In 0,06% wurde die Magenwand perforiert.

Wesentlich häufiger sind intraoperative Komplikationen bei den großen paraösophagealen Hernien und dem Upside-down-Magen bzw. Thoraxmagen. Hier berichtet Luketich [12] über eine intraoperative Komplikationsrate von 12%. Dabei handelt es sich in 3% um eine Magenverletzung, in 5% um eine Ösophagusperforation und in 4% um einen Pneumothorax durch Eröffnung der Pleura, die das Einbringen einer Thoraxdrainage notwendig machte.

» Die laparoskopische Blutstillung ist im Bereich des Milzhilus schwierig

Bei der axialen Hiatushernie treten nicht-milzbedingte Blutungen im Wesentlichen bei der Durchtrennung der Gastricae-breves-Gefäße auf. Für die Durchtrennung der Gastricae-breves-Gefäße hat sich die Ultraschallschere besonders bewährt. Dabei ist die magenwandnahe Durchtrennung zu beachten, da hier die Gefäße am besten zu identifizieren sind und optimal in die Branche der Schere hineingenommen werden können. Das ist besonders wichtig im Bereich des Milzhilus. Kommt es hier zu Blutungen, geht sehr schnell die Übersicht verloren und eine laparoskopische Blutstillung wird schwierig. Hier hilft zunächst eine längere Kompression mit einem Stieltupfer, bis sich die Blutung etwas beruhigt hat und mit dem Sauger Übersicht geschaffen wurde. Gelingt ein solches Manöver nicht, sollte sofort umgestiegen werden.

Milzverletzungen mit Kapseleinriss entstehen in der Regel durch zu starken Zug am Omentum majus in Milznähe. Umschriebene Kapseleinrisse können mit vorsichtiger Koagulation und Fibrin- klebung laparoskopisch beherrscht wer-

den. Größere Kapsel- oder Parenchym-einrisse bluten in der Regel so stark, dass eine laparoskopische Kontrolle der Blutung nicht gelingt. Hier steht der Milzerhalt im Vordergrund, der durch den Umstieg auf ein offenes Vorgehen in der Regel gelingt, wozu aber die Milz mobilisiert werden muss.

Magenwandverletzungen entstehen in der Regel durch zu starkes instrumentelles Fassen und Ziehen bei der Manipulation und Präparation des Magens. Besonders bei der ausgeprägten Verlagerung des Magens in das Mediastinum beim Thoraxmagen müssen heftige Zugkräfte zur Rückverlagerung des Magens in das Abdomen aufgebracht werden, da der Magen in der Regel seit Jahrzehnten mit einem großen Bruchsack im Mediastinum fixiert ist. Deshalb ist die bessere Strategie, den Magen zunächst im Bruchlack zu belassen und den Bruchsack selbst so weit wie möglich aus dem Mediastinum herauszupräparieren. Dabei wird so lange wie möglich der Zug nur auf den Bruchsack ausgeübt. Mit zunehmender Herauspräparation des Bruchsackes aus dem Mediastinum lässt sich dann auch der Magen zusammen mit dem perigastrischen Fettgewebe des Omentum majus und minus, das ebenfalls in das Mediastinum verlagert ist, leichter in das Abdomen zurückverlagern. Kommt es zu Magenwandperforationen können diese von einem erfahrenen Laparoskopiker problemlos endoskopisch übernäht werden. Ist die Versorgung unübersichtlich durch das perigastrische Fettgewebe oder handelt es sich um einen längerstreckigen Einriss sollte auf ein offenes Vorgehen umgestiegen werden.

Typischerweise lässt sich beim Thoraxmagen aufgrund des großen Bruchsackes und des perigastrischen Fettgewebes im Bruchsack der Ösophagus nur schwer identifizieren. Das führt leicht zu präparatorischen Verletzungen des Ösophagus aufgrund einer Fehlinterpretation der Anatomie.

Deshalb ist es zur sicheren Identifizierung des Ösophagus hilfreich, sich von der Anästhesie einen 32-Charrier-Magenschlauch bis in den Magen vorschieben zu lassen, auch wenn das bei der Präparation hinderlich ist. Sobald der Ösophagus dann sicher identifiziert ist, kann der

Magenschlauch auch wieder gezogen werden. Günstig ist auch eine stumpfe Präparation des Ösophagus mit einem Stieltupfer. Ist es zu einer Verletzung des Ösophagus gekommen, hängt das weitere Vorgehen von dem Ausmaß des Defektes ab. Umschriebene Defekte der Ösophagusmuskulatur ohne Eröffnung der Schleimhaut lassen sich bei entsprechender Erfahrung problemlos durch eine endoskopische Naht versorgen. Langstreckige Einrisse der Wand und der Schleimhaut sind kritisch zu sehen und sollten zum Umstieg zwingen. Auf jeden Fall sollte die Versorgung des Ösophagusdefektes intraoperativ durch eine flexible Endoskopie überprüft und mit Blaulösung die Dichtigkeit kontrolliert werden. Auch eine postoperative radiologische Kontrolle sollte frühzeitig angestrebt werden.

Bei einer ausgeprägten paraösophagealen Hernie bzw. einem Thoraxmagen ist der Bruchsack regelhaft mit der Pleura verwachsen. Beim Herauspräparieren des Bruchsackes aus dem Mediastinum kommt es deshalb häufig zu Pleuraeröffnungen. Nicht in jedem Fall erfordert das die Einlage einer Thoraxdrainage. Gelingt es, die Pleura mit einer resorbierbaren endoskopischen Naht zu verschließen, wird das CO₂-Gas schnell von der Pleura resorbiert und es tritt postoperativ kein Pneumothorax auf. Lässt sich der Defekt jedoch nicht identifizieren bzw. die Pleura nicht mit einer Naht verschließen, sollte intraoperativ eine Thoraxdrainage eingelegt werden.

Laparoskopische kolorektale Chirurgie

In der Qualitätssicherungsstudie „Laparoskopische kolorektale Chirurgie“ aus den Jahren 1995 bis 2004 mit insgesamt 4834 eingebrachten Patienten lag die Konversionsrate bei 5,6% und die intraoperative Komplikationsrate bei 5,4% [17]. In dieser Studie kam es in 81 Fällen zu Blutungen (1,7%), in 64 Fällen zu iatrogenen Darmverletzungen (1,3%), in 15 Fällen zu Ureterverletzungen (0,3%) und in 5 Fällen zu Blasenverletzungen (0,1%; [17]).

Blutungskomplikationen bei laparoskopischen kolorektalen Eingriffen entstehen am häufigsten durch Milzverletzungen, iatrogene Einrisse und Eröffnung

von Mesenterialgefäßen und Blutungen aus dem präsakralen Venenplexus. Ursache ist in der Regel eine Präparation in der falschen anatomischen Schicht und/oder forcierter Zug am Dickdarmmesenterium bzw. am Omentum majus. Bei stärkeren Blutungen sollte sofort umgestiegen werden. Kleine Einrisse der Milzkapsel können koaguliert und mit Fibrinklebung behandelt werden. Umschriebene Blutungen aus dem Dickdarmmesenterium können koaguliert, geklippt oder umstochen werden. Danach muss sorgfältig kontrolliert werden, ob die Durchblutung des verbleibenden Darmes ausreichend ist. Ansonsten sollte ebenfalls umgestiegen werden. Blutungen aus dem präsakralen Venenplexus bei dorsaler Rektummobilisation sind laparoskopisch schwer zu versorgen, da bei der typischen Trokarplatzierung bei Sigma- und Rektumresektionen der Anstellwinkel für das Koagulationsinstrument ungünstig ist. Hier helfen abwinkelbare Instrumente oder ein zusätzlicher 5-mm-Trokar oberhalb der Symphyse zum optimalen Einsatz des Koagulationsinstrumentes.

Iatrogene Darmverletzungen entstehen durch zu scharfe Fassinstrumente und forcierten Einsatz von stumpfen Fassinstrumenten am Dickdarm.

➤ Für laparoskopische kolorektale Eingriffe sollten auf jeden Fall nur spezielle atraumatische Fassinstrumente verwendet werden.

Zusätzlich muss man darauf achten, den Dickdarm am besten nur im Bereich der Tänen und der Appendices epiploicae zu fassen. Weiterhin sollte der Zug nur langsam und gleichmäßig und nicht ruckhaft ausgeführt werden.

Die Versorgung der iatrogenen Darmverletzungen hängt vom Ausmaß und der Lokalisation der Verletzung ab. Umschriebene Läsionen im mobilisierten Dickdarmabschnitt können von einem erfahrenen Laparoskopiker endoskopisch übernährt werden. Liegt ein längerstreckiger Einriss bis in den mesenterialen Teil des Dickdarmes vor, wird die Versorgung schwierig und erfordert unter Umständen eine erweiterte Kolonresektion bzw. eine zusätzliche Segmentresektion, die auf jeden Fall zu einem Umstieg führen sollte.

Ureterverletzungen lassen sich durch konsequente Darstellung des linken Ureters bei allen laparoskopischen Sigma- und Rektumoperationen vermeiden. Lässt sich der Ureter nicht sicher darstellen, sollte auf jeden Fall umgestiegen werden. Dieses ist auch notwendig bei einer kompletten iatrogenen Durchtrennung des Ureters, um ihn nach Legen einer Ureterschleife wieder anastomosieren zu können. Umschriebene Verletzungen des Ureters bei erhaltener Kontinuität können nach endoskopischer Platzierung einer Ureterschleife durch endoskopische Naht verschlossen werden. Aber auch das erfordert viel Erfahrung mit dem endoskopischen Nähen und sollte dem erfahrenen laparoskopischen Chirurgen vorbehalten sein.

Verletzungen der Blase treten bei der Präparation im kleinen Becken bei laparoskopischen Rektumeingriffen auf. Da bei diesen Eingriffen in der Regel bereits ein Blasenkateter liegt, können die Blasendefekte einfach endoskopisch übernährt werden. Die Blasenableitung sollte dann für 7 Tage belassen werden. Liegt die Verletzung im Bereich des Trigonus der Blase, müssen zunächst beide Ureteren geschient werden. Zur vollständigen postoperativen Harnableitung ist eine zusätzliche suprapubische Katheterplatzierung notwendig. Auch die sichere Versorgung des Blasendefektes in diesem Bereich ist schwierig und sollte gegebenenfalls ebenfalls zum Umstieg führen.

Fazit für die Praxis

- Als intraoperative Komplikationen laparoskopischer Eingriffe können allgemeine Komplikationen auftreten, wie Lagerungskomplikationen, Zugangskomplikationen und Komplikationen des Pneumoperitoneums, sowie spezifische Komplikationen der einzelnen Eingriffe.
- Zur Vermeidung intraoperativer Komplikationen sind spezielle operative Strategien zu beachten.
- Bei eingetretenen intraoperativen schwerwiegenden Komplikationen sollte ein Verfahrenswechsel eingeleitet werden. Im Zweifelsfall ist der Umstieg mit offener Versorgung der ein-

getretenen Komplikationen das Vorgehen mit dem geringeren Risiko.

Korrespondenzadresse

PD Dr. D.A. Jacob

Klinik für Visceral- und Gefäßchirurgie,
Zentrum für Minimal Invasive Chirurgie,
Zentrum für Adipositaschirurgie,
Vivantes Klinikum Spandau,
Neue Bergstr. 6, 13585 Berlin
dietmar.jacob@vivantes.de

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt für sich und seine Koautoren an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

1. Ahmad G, O'Flynn H, Duffy JM et al (2012) Laparoscopic entry techniques. *Cochrane Database Syst Rev* 2:CD006583
2. Azevedo JL, Azevedo OC, Miyahira SA et al (2009) Injuries caused by Veress needle insertion for creation of pneumoperitoneum: a systematic literature review. *Surg Endosc* 23:1428–1432
3. Bittner R (2006) Ergebnisse der TAPP bei der Primärhernie. In: Bittner R, Leibl BJ, Ulrich M (Hrsg) *Chirurgie der Leistenhernie*. Karger, Basel, S 143–152
4. Chandio A, Timmons S, Majeed A et al (2009) Factors influencing the successful completion of laparoscopic cholecystectomy. *JLS* 13:581–586
5. Gupta A, Agarwal PN, Kant R, Malik V (2004) Evaluation of fundus-first laparoscopic cholecystectomy. *JLS* 8:255–258
6. Gutt CN, Oniu T, Mehrabi A et al (2004) Circulatory and respiratory complications of carbon dioxide insufflation. *Dig Surg* 21:95–105
7. Huttli TP, Hohle M, Meyer G, Schildberg FW (2002) Antireflux surgery in Germany. Results of a representative survey with analysis of 2,540 antireflux operations. *Chirurg* 73:451–461
8. Kanakala V, Borowski DW, Pellen MG et al (2011) Risk factors in laparoscopic cholecystectomy: a multivariate analysis. *Int J Surg* 9:318–323
9. Kortram K, Reinders JS, Ramshorst B van et al (2010) Laparoscopic cholecystectomy for acute cholecystitis should be performed by a laparoscopic surgeon. *Surg Endosc* 24:2206–2209
10. Li X, Zhang J, Sang L et al (2010) Laparoscopic versus conventional appendectomy – a meta-analysis of randomized controlled trials. *BMC Gastroenterol* 10:129
11. Liu SI, Siewert B, Raptopoulos V, Hodin RA (2002) Factors associated with conversion to laparotomy in patients undergoing laparoscopic appendectomy. *J Am Coll Surg* 194:298–305
12. Luketich JD, Raja S, Fernando HC et al (2000) Laparoscopic repair of giant paraesophageal hernia: 100 consecutive cases. *Ann Surg* 232:608–618
13. Mahmud S, Masaud M, Canna K, Nassar AH (2002) Fundus-first laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc* 16:581–584
14. Peters MJ, Mukhtar A, Yunus RM et al (2009) Meta-analysis of randomized clinical trials comparing open and laparoscopic anti-reflux surgery. *Am J Gastroenterol* 104:1548–1561 (quiz 1547, 1562)

15. Puggioni A, Wong LL (2003) A metaanalysis of laparoscopic cholecystectomy in patients with cirrhosis. *J Am Coll Surg* 197:921–926
16. Purkayastha S, Tilney HS, Georgiou P et al (2007) Laparoscopic cholecystectomy versus mini-laparotomy cholecystectomy: a meta-analysis of randomised control trials. *Surg Endosc* 21:1294–1300
17. Rose J, Schneider C, Yildirim C et al (2004) Complications in laparoscopic colorectal surgery: results of a multicentre trial. *Tech Coloproctol* 8(Suppl 1):25–28
18. Sakpal SV, Bindra SS, Chamberlain RS (2010) Laparoscopic cholecystectomy conversion rates two decades later. *JSL* 14:476–483
19. Schmedt CG, Sauerland S, Bittner R (2005) Comparison of endoscopic procedures vs Lichtenstein and other open mesh techniques for inguinal hernia repair: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Surg Endosc* 19:188–199
20. Schwenk W, Haase O, Neudecker J, Muller JM (2005) Short term benefits for laparoscopic colorectal resection. *Cochrane Database Syst Rev* CD003145
21. Shamiyeh A, Wayand W (2004) Laparoscopic cholecystectomy: early and late complications and their treatment. *Langenbecks Arch Surg* 389:164–171
22. Tamme C, Köckerling F (2006) Ergebnisse der total extraperitonealen Hernioplastik – TEP. In: Bittner R, Leibl BJ, Ulrich M (Hrsg) *Chirurgie der Leistenhernie*. Karger, S 179–187
23. Voitk AJ, Tsao SG, Ignatius S (2001) The tail of the learning curve for laparoscopic cholecystectomy. *Am J Surg* 182:250–253
24. Wang YC, Yang HR, Chung PK et al (2006) Role of fundus-first laparoscopic cholecystectomy in the management of acute cholecystitis in elderly patients. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 16:124–127
25. Wullstein C, Barkhausen S, Gross E (2001) Results of laparoscopic vs. conventional appendectomy in complicated appendicitis. *Dis Colon Rectum* 44:1700–1705

Mikrooperationen an lebenden Zellen

Mikrochirurgische Eingriffe, beispielsweise am Auge, sind seit Jahrzehnten Routine. Doch wie steht es mit einer lebenden Zelle als Operationsgebiet?

Ansätze, die Prinzipien der klassischen Chirurgie auf Behandlungen an Zellmembranen übertragen, werden derzeit von Wissenschaftlern aus Erlangen untersucht. Bei diesen chirurgischen Eingriffen, auf zellulärer und subzellulärer Ebene, ersetzen Nanopartikel und Laser das Operationsbesteck beim Schneiden, Greifen und Verschließen von Schnitten. Erkenntnisse der Molekularbiologie sollen dabei praktisch und therapeutisch anwendbar werden. Die Forscher verwenden Nanopartikel, die in einer Art optischer Falle gefangen und präzise über eine Oberfläche bewegt werden. Lenkt man einen Laserstrahl auf einen solchen Nanopartikel, dann wirkt das Teilchen, sofern Wellenlänge und Partikelgröße zusammenpassen, wie eine Linse. Direkt hinter dem Partikel erreicht der Strahl in einem kleinen Bereich eine sehr hohe Intensität wodurch er wie ein chirurgisches Skalpell wirkt.

Diese Methodik, die zunächst an nicht-biologischen Werkstoffen untersucht wurde, macht durch präzise Positionierung und einen extrem kleinen Durchmesser des Laserfokusses das Verfahren interessant für die subzelluläre Chirurgie. Durch die Entwicklung dieser berührungslosen Nanoinstrumente wird es ermöglicht, Schnitte in die Zellmembran zu setzen, in das Zellinnere vorzudringen und dort zu operieren. In einem weiteren Schritt ist der Einsatz optischer Pinzetten geplant. Sie sollen einzelne Mikro- und Nanopartikel berührungslos bewegen und in die Zelle schleusen. Durch die perforierte Membran können so Partikel in die Zelle gebracht oder einzelne Strukturen im Zellinneren, wie etwa Mitochondrien gezielt bearbeitet, verändert oder entfernt werden. Damit kann in Zukunft untersucht werden, wie wichtige zelluläre Kommunikationswege und Strukturen auf solche Eingriffe reagieren und ob sich ihre Funktion verändert. Aufschlüsse werden speziell über die Möglichkeiten erwartet, per Nanochirurgie die molekularen Mechanismen zu manipulieren, die den Zelltod steuern. Hier zeigen sich vielfältige Einsatzmöglichkeiten vor allem in der Tumorthherapie, der Nervenre-

neration oder der künstlichen Züchtung von Gewebe, dem Tissue Engineering.

Quelle: Universität Erlangen-Nürnberg, www.uni-erlangen.de

Walter Bodenschatz (Bad Kreuznach)