

Welche Vorteile bringt der Einsatz von 3-D-Kameras in der gynäkologischen Laparoskopie?

What Are the Advantages of 3D Cameras in Gynaecological Laparoscopy?

Autoren

S. Baum^{1,2}, M. Sillem³, J. T. Ney⁴, A. Baum⁵, M. Friedrich⁶, J. Radosa², K. M. Kramer⁷, B. Gronwald⁸, S. Gottschling⁹, E. F. Solomayer⁴, A. Rody¹, R. Joukhadar¹⁰

Institute

- 1 Klinik für Frauenheilkunde und Geburtshilfe, UKSH Klinik für Frauenheilkunde und Geburtshilfe Campus Lübeck, Lübeck
- 2 Universitätsklinikum des Saarlandes, Klinik für Frauenheilkunde und Geburtshilfe, Homburg/Saar
- 3 Praxisklinik am Rosengarten, Mannheim
- 4 Klinik für Frauenheilkunde, Geburtshilfe und Reproduktionsmedizin, Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar
- 5 Praxis Prof. Dr. Dhom & Partner, Ludwigshafen
- 6 Frauenklinik, HELIOS-Klinikum Krefeld, Krefeld
- 7 Viszera Chirurgie-Zentrum, München
- 8 Zentrum für Palliativmedizin und Kinderschmerztherapie, Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg
- 9 Universitätsklinikum des Saarlandes, Zentrum für Palliativmedizin und Kinderschmerztherapie, Homburg/Saar
- 10 Universitätsfrauenklinik Würzburg, Würzburg

Schlüsselwörter

Laparoskopie, 3-D, Vorteil, klinischer Nutzen

Key words

laparoscopy, 3D, advantage, clinical use

eingereicht 27.4.2016

revidiert 22.9.2016

akzeptiert 9.11.2016

Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0042-120845>
Geburtsh Frauenheilk 2017; 77: 45–52 © Georg Thieme Verlag KG
Stuttgart · New York | ISSN 0016-5751

Korrespondenzadresse

Dr. Sascha Baum
UKSH Klinik für Frauenheilkunde und Geburtshilfe Campus Lübeck
Ratzeburger Allee 160, 23538 Lübeck
sascha.baum@uksh.de

ZUSAMMENFASSUNG

Einleitung In der gynäkologischen Chirurgie sind minimalinvasive Operationsmethoden zunehmend auf dem Vormarsch. Die Erweiterung des laparoskopischen OP-Spektrums resultiert u. a. aus einer zunehmenden Verbesserung der Bildgebung. In dieser Arbeit wird untersucht, welche praktischen Vorteile der Einsatz von 3-D-Kameras in der operativen Routine mit sich bringt.

Material und Methoden Es wurden 2 unterschiedliche 3-dimensionale Kamerasysteme mit einem 2-dimensionalen HD-System verglichen. Direkt postoperativ wurden hierzu die Erfahrungen der Operateure mittels Fragebogen erhoben.

Ergebnisse Im Vergleich zum 2-D-Kamerasystem ergaben sich signifikante Vorteile durch die Verwendung von 3-D-Kamerasystemen beim Nähen und Schneiden von Strukturen. Dagegen waren die Vorteile beim Koagulieren nur gering. Die allgemeinen Sichtverhältnisse und insbesondere die Tiefendarstellung des Raumes war durch die Verwendung von 3-D-Kameras signifikant verbessert im Vergleich zum 2-dimensionalen Bild. Dagegen zeigte sich in der Bildbreitendarstellung kein signifikanter Vorteil der stereoskopischen Kameras. Die Darstellung von Adhäsionen und nervalen Strukturen des Retroperitoneums zeigte sich bei 3-D-Kameras signifikant verbessert. Diese Signifikanz war bei Gefäßen, Ureter, Uterus und Ovarien nicht gegeben.

Schlussfolgerung Durch die räumliche Tiefendarstellung ergaben sich besonders signifikante Vorteile gegenüber 2-dimensionalen Kameras bei der Darstellung feiner anatomischer Strukturen. Mit dem Einsatz von 3-D-Kameras wird dem Operateur ein dem realen Situs näheres Monitorbild vermittelt. Daraus resultiert eine Erleichterung des laparoskopischen Operierens.

ABSTRACT

Introduction Minimally invasive operative techniques are being used increasingly in gynaecological surgery. The expansion of the laparoscopic operation spectrum is in part the result of improved imaging. This study investigates the practical advantages of using 3D cameras in routine surgical practice.

Materials and Methods Two different 3-dimensional camera systems were compared with a 2-dimensional HD system; the operating surgeon's experiences were documented immediately postoperatively using a questionnaire.

Results Significant advantages were reported for suturing and cutting of anatomical structures when using the 3D compared to 2D camera systems. There was only a slight advantage for coagulating. The use of 3D cameras significantly improved the general operative visibility and in particular the representation of spacial depth compared to 2-dimensional images. There was not a significant advantage for image width. Depiction of adhesions and retroperitoneal neural structures was significantly improved by the stereoscopic cameras, though this did not apply to blood vessels, ureter, uterus or ovaries.

Conclusion 3-dimensional cameras were particularly advantageous for the depiction of fine anatomical structures due to improved spacial

depth representation compared to 2D systems. 3D cameras provide the operating surgeon with a monitor image that more closely resembles actual anatomy, thus simplifying laparoscopic procedures.

Einleitung

In den letzten Jahren sind in der gynäkologischen Chirurgie minimalinvasive Operationsmethoden stark auf dem Vormarsch. In verschiedenen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die minimalinvasive Chirurgie bei leichten und mittelschweren Eingriffen Vorteile im Vergleich zur offenen Chirurgie zeigt [1–5].

Die Erweiterung des laparoskopischen Operationsspektrums ist zu einem großen Teil der Weiterentwicklung der technischen Geräte zu verdanken. Hierzu zählen zum einen besondere Instrumente, wie bspw. Ultraschallscheren, zum anderen ist aber vor allem die Verbesserung der optischen Darstellung zu nennen. Mit der Einführung von HD-(= high-definition-)Kameras und Monitoren verbesserte sich die Darstellung der anatomischen Strukturen, was vom Operateur als vorteilhaft empfunden wird und die operative Sicherheit erhöht [6].

Der erste Einsatz eines 3-dimensionalen Kamerasystems in der Gynäkologie erfolgte bereits im Jahre 1993 [7]. Die stereoskopische, also 3-dimensionale (= 3-D) Sicht, führte hierbei zu einer signifikanten Verkürzung von Operationsschritten. Diese Zeitersparnis ist besonders bei komplexen Tätigkeiten erkennbar [8].

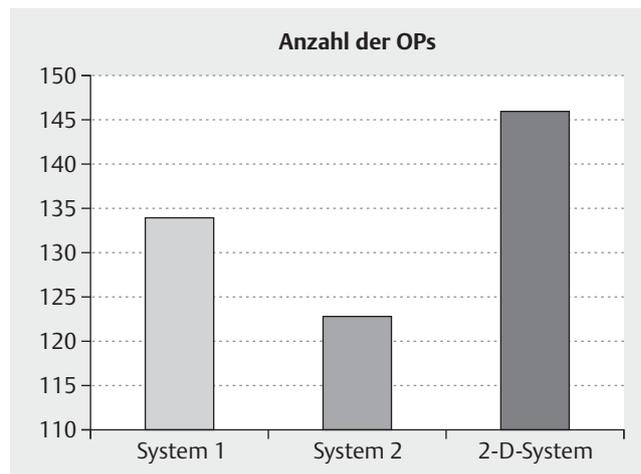
Mit dem Einsatz des DaVinci-Operationsroboter-Systems wurde auch erstmalig breitflächig ein 3-D-Kamerasystem in der endoskopischen Chirurgie verwendet. Dieses System zeigt sich als kostenintensive Alternative zur offenen bzw. laparoskopischen Chirurgie.

So wurde errechnet, dass bspw. die Mehrkosten bei einer Pyeloplastik, die mittels Roboter anstatt laparoskopisch durchgeführt wurde, um 20% höher liegen, bei ausreichend großer Fallzahl [9]. In zunehmendem Maße sind nun auch unterschiedliche 3-D-Kamerasysteme für die konventionelle laparoskopische Chirurgie verfügbar.

In unserer Klinik wird das gesamte laparoskopische Spektrum, bis hin zur radikalen Karzinomchirurgie, angeboten. Diese Eingriffe werden überwiegend mittels 2-D-Videosystemen durchgeführt, wobei aber auch der DaVinci-Operationsroboter verwendet wird.

Aus Sichtweise der Patientinnen ergeben sich durch das minimalinvasive Vorgehen deutliche Vorteile, wie reduzierte postoperative Schmerzen mit einem niedrigeren Analgetikaverbrauch, eine kürzere Hospitalisierungsdauer, eine schnellere Rückkehr zu den alltäglichen Aktivitäten und nicht zuletzt auch ein besseres kosmetisches Ergebnis [10, 11].

Trotz der Vorteile der laparoskopischen Chirurgie für die Patientin ergeben sich doch eine Reihe von Nachteilen aus Sicht des Operateurs, wie die reduzierten Bewegungsgrade und die eingeschränkte Ergonomie der Instrumente, was insgesamt für den Operateur mit einem vermehrten Stress einhergeht [11–13]. Die-



► **Abb. 1** Anzahl der mit den verschiedenen Systemen durchgeführten Operationen; System 1 = 3-D-System Storz, System 2 = 3-D-System Aesculap; 2-D-HD-System Storz.

se erhöhte Belastung für den Operateur kann durch technische Neuerungen reduziert werden. Um zu überprüfen, ob und in welchen operativen Situationen 3-D-Kameras Vorteile erbringen, wurden von uns 2 3-D-Kamerasysteme getestet. Unter experimentellen Bedingungen konnten bereits mehrfach die Vorteile von 3-D-Laparoskopiesystemen in Bezug auf Präzision und Effizienz gezeigt werden [14–19]. In unserem Fall erfolgte der Einsatz unter realen alltäglichen Operationsbedingungen.

Bei den operativen laparoskopischen Fähigkeiten sind 2 Voraussetzungen von höchster Bedeutung. Zum einen die Umsetzung einer 2-D-Information in einen 3-D-Situs und zum anderen die psychomotorische Hand-Augen-Koordination [20].

Ziel dieser Untersuchung war es, die Alltagstauglichkeit von 3-D-Kamerasystemen zu testen und zu eruieren, ob und in welchen Operationssituationen die 3-D-Darstellung Vorteile im Vergleich zur 2-D-Darstellung bietet.

Material und Methoden

Testmodalitäten

Es wurden 2 3-D-Kamerasysteme von insgesamt 5 erfahrenen Operateuren getestet.

Nachdem alle 5 Operateure jeweils eine Geräteschulung durch einen Produktmanager der jeweiligen Firma erhalten hatten, erfolgte eine 3-wöchige Eingewöhnungsphase. In dieser Phase wurden von den geschulten Operateuren Eingriffe aller Schwierigkeitsgrade vorgenommen, um eine gewisse Routine im Umgang

mit den Kamerasystemen zu entwickeln und sich an die 3-D-Darstellung der Strukturen zu gewöhnen.

Danach erfolgte dann die eigentliche Testphase, in der beide Systeme über mehrere Wochen nacheinander im täglichen Routineeinsatz waren.

Die Systeme wurden bei Operationen unterschiedlichster Schwierigkeitsgrade eingesetzt. Die Operateure füllten nach jeder Operation einen Fragebogen aus. Hier war es möglich, außer den Antworten auf die schon vorgegebenen Fragen noch einen freien Kommentar zur verwendeten Optik anzufügen.

Insgesamt wurden mit beiden 3-D-Kamerasystemen 257 Operationen durchgeführt. Davon wurden mit der 3-D-Kamera der Firma Storz 134 und mit der der Firma Aesculap 123 Operationen vorgenommen. Mit dem 2-D-System der Firma Storz waren es 146 Eingriffe (► **Abb. 1**).

Eingesetzte Laparoskopiesysteme

Bei den getesteten Systemen handelte es sich um das Karl Storz 3-D-System (Karl Storz GmbH & Co. KG, Tuttlingen), im Verlauf als System 1 bezeichnet, und das Einstein Vision System® (Aesculap AG & Co. KG, Tuttlingen/B. Braun Melsungen AG, Melsungen), als System 2. Beide Systeme sind mittlerweile in modifizierten Versionen erhältlich, sodass durch diesen Artikel keiner der Anbieter einen Nachteil erfahren kann. Das System von Aesculap wurde sogar deutlich modifiziert, sodass jetzt die Kameraführung mittels Roboterarm hier entfällt. Bei der Kameraführung unterscheiden sich die beiden getesteten Systeme grundsätzlich. Die Kamera des Einstein Vision Systems von Aesculap wurde mittels steril überzogenem Roboterhaltearm geführt, der per Fernbedienung gesteuert wurde, während die 3-D-Kamera der Firma Storz freihändig geführt wurde.

Befragungsmodalitäten

Der Fragebogen bestand aus 9 Hauptfragegruppen. Diese waren z.T. nochmals untergliedert, sodass insgesamt 18 Punkte abgefragt wurden (► **Tab. 1**).

Die Beurteilung der verschiedenen Punkte erfolgte anhand einer Bewertung von 1 bis 5. Der Wert 1 stellte eine deutliche Verbesserung und die Bewertung von 5 eine Verschlechterung dar. Die Systeme wurden jeweils nacheinander im Routinebetrieb eingesetzt.

Statistische Methoden

Die statistische Auswertung wurde mit dem Programm SOFA-Statistics Version 1.4.1 durchgeführt. Die Auswertung der normalverteilten Gruppen erfolgte mit dem Mann-Whitney U-Test, dem exakten Test nach Fisher sowie dem χ^2 -Test.

► **Tab. 1** Auflistung der erhobenen Parameter.

Kameraführung
Sicht
<ul style="list-style-type: none"> ▪ allgemeine Sicht ▪ Bildtiefe ▪ Bildbreite
manuelle Tätigkeiten
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nähen ▪ Koagulieren ▪ Schneiden
Darstellung anatomischer Strukturen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gefäße ▪ Ureter ▪ Uterus ▪ Ovarien ▪ Adhäsionen ▪ Retroperitoneum
Bewegung
Beschlagen der Optik
Endbeurteilung im Vergleich zu 2-D-Systemen
Autofokussfunktion (wurde nur von einem System angeboten)
Instrumentierung

Ergebnisse

Bewertung Kameraführung

Obwohl beide Kamerasysteme in ihrem Grundaufbau sehr unterschiedlich waren, zeigten sich doch vergleichbare Bewertungen. Das Aesculap-System wies einen Mittelwert von 2,37 (Median = 2; SD = 0,90) im Vergleich zur Storz-Einheit mit einem fast identischen Mittelwert von 2,38 (Median = 2; SD = 0,99) auf. Diese Werte waren mit einem p-Wert von 0,853 nicht signifikant different.

Da sich das 3-D-System der Firma Storz vom äußeren Aufbau nicht wesentlich vom 2-D-System der gleichen Firma unterschied, wurde hier die Kameraführung des 2-D-Systems nicht extra ausgewertet. Aus den freien Kommentaren ging hervor, dass die 3-D-Kamera im Vergleich zur 2-D-Kamera eine stärkere Wärmenentwicklung zeigte, was wiederholt als unkomfortabel empfunden wurde.

Bewertung manueller Tätigkeiten

Bei den manuellen Tätigkeiten wurden durch den Fragebogen die Koagulation, das Durchtrennen von Strukturen und das Nähen abgefragt.

► **Tab. 2** Bewertung der manuellen Tätigkeiten der beiden 3-D-Systeme.

	MW System 1	MW System 2	p-Wert
Nähen	1,63	1,67	0,83
Schneiden	1,71	1,77	0,86
Koagulieren	2,52	2,42	0,73

► **Tab. 3** Vergleich der manuellen Tätigkeiten der 3-D-Systeme 1 und 2 mit dem 2-D-System.

	MW System 1	2-D-System	p-Wert	MW System 2	2-D-System	p-Wert
Nähen	1,63	3,4	0,044	1,67	3,4	0,047
Schneiden	1,71	2,8	0,049	1,77	2,8	0,0496
Koagulieren	2,52	3,1	0,11	2,42	3,1	0,093

► **Tab. 4** Mittelwerte der verschiedenen optischen Systeme in der Beurteilung unterschiedlicher anatomischer Strukturen.

	MW Gefäße	MW Ureter	MW Uterus	MW Ovarien	MW Adhäsionen	MW Retroperitoneum
System 1	2,25	2,31	1,91	1,75	1,41	1,32
System 2	1,96	2,44	1,83	1,81	1,45	1,42
2-D-System	2,83	2,83	2,79	2,58	2,67	3,01

In ► **Tab. 2** sind die Mittelwerte und p-Werte beider verwendeter 3-D-Systeme für diese Tätigkeiten aufgeschlüsselt. Hier ist erkennbar, dass es zwischen beiden Systemen keinen signifikanten Unterschied im Bereich der manuellen Tätigkeiten gibt.

► **Tab. 3** stellt die Bewertungen der manuellen Operationsprozeduren mit den 3 Systemen dar. Beim Vergleich von System 1 mit dem 2-D-HD-System ist erkennbar, dass das Nähen mit MW 1,63 (System 1) vs. MW 3,4 (2-D-System) ($p = 0,044$) und auch das Schneiden mit MW 1,71 (System 1) vs. MW 2,8 (2-D-System) ($p = 0,049$) signifikant besser durchführbar sind unter Verwendung einer 3-D-Optik. Eine nur geringe, nicht signifikante Verbesserung ist beim Koagulieren mit MW 2,52 (System 1) vs. MW 3,1 (2-D-System) ($p = 0,11$) erkennbar.

Auch bei der Durchführung der operativen Tätigkeiten mit dem System 2 der 3-D-Systeme zeigte sich beim Nähen und Schneiden mit MW 1,67 (System 2) vs. MW 3,4 (2-D-System) $p = 0,047$ bzw. MW 1,77 (System 2) vs. MW 2,8 (2-D-System) $p = 0,0496$ eine signifikante und beim Koagulieren mit MW 2,42 (System 2) vs. MW 3,1 (2-D-System) $p = 0,093$ eine nicht signifikante Verbesserung gegenüber der 2-D-Kamera (► **Tab. 3**).

Bewertung der Sicht allgemein und zusätzlich der Tiefe des Raumes

In der Einstufung der allgemeinen Sichtverhältnisse war bei beiden 3-D-Systemen mit Mittelwerten von 1,60 (System 2) (Median = 2; SD = 0,64) bzw. 1,44 (System 1) (Median = 1; SD = 0,63) jeweils eine bessere Bewertung im Vergleich zu dem 2-D-System (Mittelwert = 3,1; Median = 2, SD = 0,51) erkennbar. Im Vergleich der 3-D-Kameras untereinander (System 1 MW 1,44 vs. System 2 MW 1,6) war kein signifikanter Unterschied erkennbar ($p = 0,53$).

Vergleicht man die 2-dimensionale Optik mit dem System 1 (MW 3,1 vs. 1,44; $p = 0,041$) bzw. mit dem System 2 (3,1 vs. 1,6; $p = 0,049$), war eine signifikante Verbesserung der allgemeinen Sicht durch Einsatz der 3-D-Technik empfunden worden.

Wie in der Analyse der allgemeinen Sichtverhältnisse gezeigt werden konnte, unterschieden sich beide 3-D-Einheiten auch nicht in der Darstellung der Raumtiefe voneinander. Hier lag der

Mittelwert des Aesculap-Systems bei 1,49 (Median = 1; SD = 0,56) und der der Storz-Einheit bei 1,63 (Median = 2; SD = 0,62; p -Wert = 0,15). Die Bewertung der Raumtiefe des 2-D-Systems ergab einen Mittelwert von 3,24 (Median = 2; SD = 0,64). Daraus resultiert eine signifikante Verbesserung der Raumbildgebung durch System 1 (MW 1,63 vs. 3,24; $p = 0,019$) und ein sehr signifikanter Vorteil mit der Verwendung von System 2 (MW 1,49 vs. 3,24; $p = 0,01$) im Vergleich zur 2-D-Kamera.

Die Darstellung der Bildbreite

Das System 1 wurde bez. der Breite der Bilddarstellung im Mittel mit 2,51 und das System 2 mit 2,48 bewertet. Dieser Unterschied war mit einem p-Wert von 0,88 nicht signifikant.

Das 2-D-Kamerasystem ergab einen Mittelwert von 2,63. Verglichen mit dem System 1 ergab sich hier mit $p = 0,83$ ebenso ein nicht signifikanter Unterschied wie auch im Vergleich zum System 2 ($p = 0,78$).

Darstellung anatomischer Strukturen

In ► **Tab. 4** sind die Mittelwerte der optischen Systeme in Bezug auf die Darstellung diverser anatomischer Beckenstrukturen dargestellt. Im Retroperitonealraum wurde auf die Bewertung der Darstellbarkeit nervaler Strukturen abgezielt.

Es zeigen sich zwischen den beiden 3-D-Kamerasystemen keine signifikanten Unterschiede in der Beurteilung der verschiedenen anatomischen Strukturen. Die Darstellung von Uterus und der Ovarien ist durch die 3-D-Kameras verbessert, jedoch nicht signifikant. Dagegen gelingt die Darstellung von Nerven (MW 1,32 [System 1] vs. MW 3,01 [2-D-System], $p = 0,03$ bzw. MW 1,42 [System 2] vs. MW 3,01 [2-D-System], $p = 0,04$) und Adhäsionen (MW 1,41 [System 1] vs. MW 2,67 [2-D-System], $p = 0,0497$ bzw. MW 1,45 [System 2] vs. MW 2,67 [2-D-System], $p = 0,0499$) mit den 3-dimensionalen Systemen signifikant besser als mit der 2-D-Kamera.

Bewegung

Aufgrund dessen, dass das Aesculap-Kamerasystem mittels Roboterarm gesteuert wurde, wurde hier kein Vergleich mit den manuell geführten Kameras gezogen. Somit werden die Differenzen nur zwischen der 3-dimensionalen und der 2-D-Kamera der Firma Storz dargestellt. Hierbei lag der Mittelwert bei 2,11 (Median = 2; SD = 0,39) für die 2-D-Kamera und bei 2,83 (Median = 2; SD = 0,55) für die 3-dimensionale (Storz) Kamera, was nicht signifikant war ($p = 0,37$). Die Auswertung der freien Kommentare zeigte jedoch, dass schnelle Bewegungen mit der 3-D-Kamera vereinzelt zu einem schwindelartigen Gefühl führten.

Beschlagen der Optik

Das Beschlagen der Kamera stellt eines der technischen Probleme der Laparoskopie dar. Die Systeme von Storz, die manuell geführt sind, hatten den Vorteil, dass diese deutlich zügiger zur Reinigung aus dem Situs entfernt werden konnten als das am Roboterarm fixierte System von Aesculap. Aus diesem Grunde sollte nur die Frequenz des Beschlagens der Optik bewertet werden.

Hierbei ergab sich für das 2-D-System ein Mittelwert von 2,94 (Median = 3; SD = 0,21), für das System 1 ein Wert von 3,01 (Median = 3; SD = 0,36) und das System 2 wurde im Mittel mit 2,86 (Median = 3; SD = 0,33) bewertet. Als p-Werte ergeben sich für den Vergleich der beiden 3-D-Systeme $p = 0,57$; System 1 mit dem 2-D-System $p = 0,87$ und System 2 mit dem 2-D-System $p = 0,84$.

Vergleich der 3-dimensionalen Optiken zum 2-D-System

Bei diesem Punkt sollte aus Sicht der Operateure erfragt werden, ob durch den Einsatz von 3-D-Kameras eine Verbesserung bzw. eine Erleichterung der operativen Bedingungen erreicht werden kann.

Das 3-D-Storz-System wurde von den Operateuren mit 1,94 im Mittel und die Aesculap-Kamera mit 1,89 bewertet. Daraus ergibt sich ein p-Wert von 0,87 zwischen beiden 3-D-Kameras. Die 2-D-Kamera wurde durchschnittlich mit 2,67 eingestuft. Das System 1 ($p = 0,08$) und das System 2 ($p = 0,073$) zeigten somit beide eine nicht signifikante Verbesserung im Vergleich zur 2-dimensionalen Optik.

Bewertung Autofokus

Eine eingebaute Autofokusfunktion hatte nur das System von Storz. Dieser Autofokus zeigte sich im Routineeinsatz als zuverlässig und schnell reagierend. Bei den 134 Operationen ergab sich ein Mittelwert von 1,63 mit einer Standardabweichung von 0,62 (Median = 2).

Diskussion

Beide 3-D-Systeme bewiesen im klinischen Einsatz ihre Alltags-tauglichkeit. Als Unterschied konnte das Einstein-Vision-System der Firma Aesculap, im Vergleich zum Storz-System, mit einer Full-HD-Darstellung und einer Steuerung per Roboterarm aufwarten. Dagegen hatte die 3-D-Kamera der Firma Storz einen Autofokus, der die Schärfe des Bildes selbstständig nachregulierte.

Trotz dieser Unterschiede wurden beide Kamerakonzepte von den Operateuren mit 2,38 für die manuell geführte Optik und 2,37 für die per Roboterarm gesteuerte Kamera fast gleich bewertet.

Diese sehr ähnliche Bewertung resultiert wohl am ehesten daraus, dass die beiden Systeme nacheinander im zeitlichen Abstand von mehreren Wochen und nicht parallel eingesetzt wurden. So empfanden die Operateure den zuverlässigen Autofokus der einen Kamera als vorteilhaft und bei dem anderen System dagegen die realitätsnähere HD-Bildgebung. Beide Kamerakonzepte zeigten ihre Vorteile und erklären so die fast gleiche Bewertung. Eine Kombination beider Techniken würde hier wohl eine Ideallösung darstellen.

Welchen Stellenwert die mittlerweile verfügbare 4 k 2-D-Technik, also die 4-fache HD-Auflösung im Vergleich zur 3-D-HD-Technologie hat, ist bisher noch nicht untersucht worden.

Bei der Kameraführung hatten beide Systeme jeweils ihre Vor- und Nachteile. Die Kamera von Aesculap war deutlich größer und schwerer im Vergleich zu der von Storz, wodurch eine Steuerung per Hand über einen längeren Zeitraum schwierig erscheint. Dagegen erlaubte die Bedienung mittels Roboterarm eine kontinuierliche Bewegung und ermöglichte es, dass kleinere Eingriffe praktisch ohne Assistenz durchführbar waren.

Die deutlich kleinere und leichtere Kamera von Storz dagegen konnte auch bei längeren Operationen problemlos manuell geführt werden. Als nachteilig erwies sich die relativ hohe Wärmeentwicklung dieser Kamera im Vergleich zur 2-D-Kamera, was als unangenehm empfunden wurde.

Da es zu dem Roboterarm keine vergleichbare Konstruktion der Firma Storz gab, wurde hier auf eine Bewertung dieses Systems verzichtet.

3-D-Monitore haben eine geringere Helligkeit als 2-D-Monitore, weshalb eine stärkere Abdunkelung des Operationssaals notwendig ist [26]. Eine weitere Voraussetzung, um den 3-dimensionalen Effekt zu erzielen, ist das Tragen einer Brille, was von den Operateuren oft als unkomfortabel empfundenen wird [27, 30]. Dies sind 2 technische Nachteile der 3-D-Darstellung.

Wie aus ► **Tab. 2, 3 und 4** ersichtlich, zeigen sowohl beim Nähen als auch beim Schneiden beide stereoskopischen Kameras sehr gute und vergleichbare Ergebnisse, die nicht signifikant differenzieren waren. Demgegenüber wird das 2-D-HD-Kamerasystem signifikant schlechter bewertet. Bei der 3. manuellen Tätigkeit, dem Koagulieren, stellt sich die Situation anders dar. Hier zeigen sich zwischen den beiden 3-D-Systemen und der 2-D-Optik keine signifikanten Unterschiede.

Das Koagulieren wird unter 3-D-Sicht auffallend schlechter als die anderen manuellen Tätigkeiten eingestuft. Ursächlich hierfür ist die plastischere Darstellung der Schwebepartikel des Koagulationsrauchs, wie aus den schriftlichen Kommentaren der Operateure ersichtlich war, was als störend empfunden wurde. Wie in unserer Analyse, so konnten auch zahlreiche andere Autoren eine Verbesserung der manuellen Tätigkeit unter Verwendung stereoskopischer Kameras nachweisen. Hierbei handelte es sich jedoch, im Gegensatz zu unserer Untersuchung, um standardisierte manuelle Abläufe unter Laborbedingungen, bei denen der gemessene Parameter die Zeit war [21–25, 27, 34, 41, 45–47].

Durch die Verwendung von 2-D-Systemen kommt es zu einer veränderten visuellen Wahrnehmung, die durch die reduzierte Tiefenwahrnehmung hervorgerufen wird [28]. Aufgrund des Verlusts der Tiefenwahrnehmung bei der 2-dimensionalen Laparoskopie stellt diese eine größere Herausforderung für den Operateur dar als die offene Operationstechnik [29,30]. Diese Wahrnehmungsprobleme der 2-dimensionalen Laparoskopie versucht die 3-D-Laparoskopie zu beheben. So bringen die 3-D-Videosysteme dem endoskopisch Operierenden die stereoskopische Sicht zurück [32–37].

Way et al. zeigen, dass die visuelle Fehleinschätzung der 2-dimensionalen Laparoskopie zu 97% die Ursache für Fehler bei laparoskopischen Operationen ist [31]. Demgegenüber zeigten Alarimi et al., dass die verbesserte Tiefenwahrnehmung bei der 3-D-Laparoskopie zu einer verbesserten Qualität der laparoskopischen Chirurgie und damit auch zu einer Verbesserung der Patientensicherheit führen kann [27].

Die Sichtverhältnisse zwischen beiden 3-D-Systemen zeigten in unserer Untersuchung, mit einer Bewertung von 1,44 für das System 1 bzw. 1,6 für das System 2, vergleichbare, nicht signifikante Unterschiede. Dagegen waren die Sichtbedingungen der stereoskopischen Kameras im Vergleich zur 2-D-Optik signifikant besser. Bei der Darstellung der Raumtiefe war zwischen den beiden 3-D-Kameras nur ein geringer Unterschied. Jedoch war der Unterschied zwischen der 2-dimensionalen Kamera zu den beiden 3-D-Kameras mit einem p-Wert von 0,019 bzw. 0,01 signifikant bzw. sehr signifikant. Analog zu unserer Untersuchung konnten auch Jones et al. zeigen, dass die verbesserte Tiefendarstellung den wichtigsten Nutzen der 3-D-Kamerasysteme darstellt [41]. Dieses Resultat wird auch aus den freien Kommentaren der Operateure in unserer Studie nochmals untermauert.

Während die räumliche Tiefendarstellung eine gravierende Verbesserung durch die 3-D-Systeme erfuhr, zeigte die Darstellung der Bildbreite nur marginale Unterschiede zwischen den Kameraeinheiten.

Bei dem Vergleich der Darstellung verschiedener anatomischer Strukturen, wozu auch Adhäsionen gerechnet wurden, war erkennbar, dass es zwischen den beiden 3-D-Kamerasystemen keine gravierenden Unterschiede gab.

Uterus, Ovarien, Ureteren und Gefäße konnten mittels 3-D-Kameras jedoch nicht signifikant besser dargestellt werden. Dagegen war die Darstellung von Adhäsionen und retroperitonealer Nerven mittels der beiden 3-D-Systeme signifikant besser verglichen mit dem 2-dimensionalen System.

Aus dieser Tatsache ergibt sich, dass sich der Einsatz von 3-D-Technik bei filigraneren Strukturen wie Adhäsionen und Nerven als besonders vorteilhaft erweist. Bei größeren Organstrukturen wie Ureteren, Gefäßen, Ovarien oder des Uterus waren die Vorteile von 3-D-Optiken geringer.

Die Bewertung der Bewegungen der Kameras ergab, dass die manuell geführte 3-D-Kamera schlechter bewertet wurde als das 2-D-System. Der Unterschied stellte sich als nicht signifikant dar.

Ein Vergleich der deutlich schwereren und größeren Aesculap-Kamera, die deshalb wohl überwiegend mittels Roboterarm gesteuert wird, mit den Storz-Systemen erfolgte nicht.

Als Ursache für diese schlechtere Bewertung zeigte sich aus den freien Antworten der Operateure, dass gerade schnelle Bewe-

gungen mit der 3-D-Kamera wiederholt zu kurzfristigen Schwindelgefühlen und Übelkeit führten, was als unangenehm empfunden wurde. Diese Problematik der 3-D-Technik ist schon länger bekannt und wurde auch von Mueller et al. und Chan et al. aufgezeigt [25, 38, 39]. Da das Setting für alle Operateure gleich war, lässt sich hier als Hauptursache ein stereoskopischer Fehler vermuten. Diese unerwünschten Nebenwirkungen wie Kopfschmerz, Schwindel und Übelkeit wurden schon öfters in den einzelnen Studien beschrieben, jedoch mit uneinheitlichen Ergebnissen [30, 40–43].

Insgesamt lässt sich jedoch feststellen, dass diese unerwünschten Effekte der 3-D-Technik seltener in Untersuchungen neueren Datums zu finden sind, was wohl aus der verbesserten Bildqualität resultiert [27, 30, 34, 44].

Ein Beschlagen bzw. Anlaufen der Optik, wie es bspw. durch Koagulieren oder durch das Einführen der Kameralinse von der kühleren Raumtemperatur in den wärmeren Intraoperitonealraum auftritt, zeigte sich in gleichem Maße bei allen Optiken.

In der Gesamtbewertung zwischen der 2-D-Kamera (MW 2,67) und den beiden 3-D-Einheiten (System 1 MW 1,94 bzw. System 2 MW 1,89) zeigt sich mit einem p-Wert von 0,08 bzw. 0,073 kein signifikanter, jedoch ein deutlicher Unterschied.

Trotz sehr unterschiedlicher Aufbauten der 3-D-Kameras stellen diese Systeme für die Operateure und damit auch für die Patienten eine Verbesserung bzw. einen Vorteil dar.

Schlussfolgerungen

Für den Operateur

Die 3-D-Technik ermöglicht dem Operateur eine zusätzliche Darstellung der Raumtiefe und eine verbesserte plastische Erfassung der Organstrukturen. Daraus resultiert eine Erleichterung bei der Durchführung manueller Tätigkeiten. Insgesamt zeigt sich so eine weitere Annäherung der Situsdarstellung an die Bedingungen der offenen Chirurgie.

Diese realere Situsdarstellung kann zu einer Stressreduktion beim Operateur führen.

Für die Patientin

Die 3-D-Technik erleichtert die Durchführung schwierigerer Operationschritte, wodurch die Operationsdauer verkürzt werden kann. Aus den Vorteilen der 3-D-Darstellung für den Operateur kann für die Patientin eine Zunahme der Sicherheit resultieren.

Weiterhin ist es so möglich, komplexere Eingriffe minimalinvasiv durchzuführen, was für die Patientinnen mit einer schnelleren Rekonvaleszenz im Vergleich zur offenen Chirurgie einhergeht.

Zu den Schwächen dieser Studie ist anzumerken, dass es sich bei den Ergebnissen hier um subjektive Einschätzungen von Operateuren handelt und nicht um standardisiert erhobene objektive Messungen von reproduzierbaren Tätigkeiten.

Darin besteht aber gleichzeitig auch die Stärke der Untersuchung. Es wurde überprüft, inwiefern 3-D-Technik bei einer größeren Zahl von Operationen aller Schwierigkeitsgrade Vorteile erbringt, und ob diese Technik unter Routinebedingungen alltags-tauglich ist.

Insgesamt führt die 3-D-Bildgebung zu einer Verbesserung der Sichtverhältnisse, was besonders durch Tiefendarstellung des Raumes erzielt wird. Diese zusätzliche Plastizität bringt zum einen signifikante Vorteile in der Darstellung der Anatomie und hier besonders bei feinen Strukturen. Zum anderen fallen dem Operateur aber auch komplexere Operationstätigkeiten wie das Nähen durch den Einsatz der Stereoskopie deutlich leichter.

Die 3-D-Technik erwies sich in dieser Untersuchung als voll alltagstauglich und stellte eine signifikante Verbesserung der operativen Bedingungen dar, was für den Operateur eine Erleichterung der Operation bedeutet und für die Patientin einen Sicherheitsgewinn erbringt.

Interessenkonflikt

Der Autor hat keinerlei Interessenkonflikt.

Literatur

- [1] Dagher I, Di Giuro G, Dubrez J et al. Laparoscopic versus open right hepatectomy: a comparative study. *Am J Surg* 2009; 198: 173–177
- [2] Keus F, de Jong JA, Gooszen HG et al. Laparoscopic versus open cholecystectomy for patients with symptomatic cholelithiasis. *Cochrane Database Syst Rev* 2006; (4): CD006231
- [3] Laine S, Rantala A, Gullichsen R et al. Laparoscopic vs. conventional Nissen fundoplication: a prospective randomized study. *Surg Endosc* 1997; 11: 441–444
- [4] Medeiros LR, Stein AT, Fachel J et al. Laparoscopy versus laparotomy for benign ovarian tumor: a systematic review and meta-analysis. *Int J Gynecol Cancer* 2008; 18: 387–399
- [5] Sauerland S, Lefering R, Neugebauer EA. Laparoscopic versus open surgery for suspected appendicitis. *Cochrane Database Syst Rev* 2004; (4): CD001546
- [6] Van Bergen P, Kunert W, Buess GF. The effect of high-definition imaging on surgical task efficiency in minimally invasive surgery: an experimental comparison between three-dimensional imaging and direct vision through a stereoscopic TEM rectoscope. *Surg Endosc* 2000; 14: 71–74
- [7] Wenzl R, Pateisky N, Husslein P. Erstmöglicher Einsatz eines 3D-Videoendoskopes in der Gynäkologie. *Geburtsh Frauenheilk* 1993; 53: 776–778
- [8] Wagner OJ, Hagen M, Kurmann A et al. Three-dimensional vision enhances task performance independently of the surgical method. *Surg Endosc* 2012; 10: 2961–2968
- [9] Kommu SS, Murphy D, Patel SP. Robot-assisted pyeloplasty vs. laparoscopic pyeloplasty – a preliminary cost comparison in United Kingdom setting. *Proceedings of the 24th World Congress of Endourology*; 2006; Cleveland, OH, USA: A224
- [10] Ahmed I, Paraskeva P. A clinical review of single-incision laparoscopic surgery. *Surgeon* 2011; 9: 341–351
- [11] Xin H, Zelek J, Camahan H, eds. *Laparoscopic Surgery, perceptual Limitation and Force: a Review*. First Canadian Student Conference on biomedical Computing; 2006. Kingston, Ontario Canada. Online: https://www.researchgate.net/profile/John_Zelek2/publication/237774967_Laparoscopic_surgery_perceptual_limitations_and_force_A_review/links/0f31752dd5bf019665000000.pdf; Stand: 20.01.2014
- [12] Szeto GP, Cheng SW, Poon JT et al. Surgeons' static posture and movement repetitions in open and laparoscopic surgery. *J Surg Res* 2012; 172: e19–e31
- [13] Dakin G, Gagner M. Comparison of laparoscopic skills performance between standard instruments and two surgical robotic systems. *Surg Endosc* 2003; 17: 574–579
- [14] Bueß GF, van Bergen P, Kunert W et al. Vergleichsstudie verschiedener 2-D- und 3-D-Sichtsysteme in der minimal-invasiven Chirurgie. *Chirurg* 1996; 67: 1041–1046
- [15] Crosthwaite G, Chung T, Dunkley P et al. Comparison of direct vision and electronic two- and three dimensional display systems on surgical task efficiency in endoscopic surgery. *Br J Surg* 1995; 82: 849–851
- [16] Peitgen K, Walz MV, Holtmann G et al. A prospective randomized experimental evaluation of three-dimensional imaging in laparoscopy. *Gastrointest Endosc* 1996; 44: 262–267
- [17] Storz P, Buess G, Kunert W et al. 3D HD versus 2D HD: surgical task efficiency in standardised phantom tasks. *Surg Endosc* 2012; 26: 1454–1460
- [18] Leite M, Carvalho AF, Costa P et al. Assessment of laparoscopic skills performance: 2D versus 3D vision and classic instrument versus new handheld robotic device for laparoscopy. *Surg Innov* 2016; 23: 52–61
- [19] Aggarwal R, Grantcharov T, Moorthy K et al. Toward feasible, valid, and reliable video-based assessments of technical surgical skills in the operating room. *Ann Surg* 2008; 247: 372–379
- [20] Hasson HM, Jason H. Information retention and skill acquisition after CME meetings. *Laparosc Today* 2007; 6: 4–6; 2012; 26: 2961–2968
- [21] Kunert W, Storz P, Kirschniak A. For 3D laparoscopy: a step towards advanced surgical navigation: how to get maximum benefit from 3D vision. *Surg Endosc* 2013; 27: 696–699
- [22] Alaraimi B, El Bakbak W, Sarker S et al. A randomized prospective study comparing acquisition of laparoscopic skills in three-dimensional (3D) vs. two-dimensional (2D) laparoscopy. *World J Surg* 2014; 38: 2746–2752
- [23] Wilhelm D, Reiser S, Kohn N et al. Comparative evaluation of HD 2D/3D laparoscopic monitors and benchmarking to a theoretically ideal 3D pseudodisplay: even well-experienced laparoscopists perform better with 3D. *Surg Endosc* 2014; 28: 2387–2397
- [24] Ciciona A, Autorino R, Breda A et al. Three-dimensional vs. standard laparoscopy: comparative assessment using a validated program for laparoscopic urologic skills. *Urology* 2013; 82: 1444–1450
- [25] Kneist W, Huber T, Paschold M et al. 3D virtual reality laparoscopic simulation in surgical education – results of a pilot study. *Zentralbl Chir* 2016; 141: 297–301
- [26] LaGrange CA, Clark CJ, Gerber EW et al. Evaluation of three-dimensional vision laparoscopic modalities: robotics versus three-dimensional vision laparoscopy versus standard laparoscopy. *J Endourol* 2008; 22: 511–516
- [27] Sun CC, Chiu AW, Chen KK et al. Assessment of a three-dimensional operating system with skill tests in a pelvic trainer. *Urol Int* 2000; 64: 154–158
- [28] Mueller M, Camartin C, Dreher E et al. Three-dimensional laparoscopy. Gadget or progress? A randomized trial on the efficacy of three-dimensional laparoscopy. *Surg Endosc* 1999; 13: 469–472
- [29] Smith R, Schwab K, Day A et al. Effect of passive polarizing three-dimensional displays on surgical performance for experienced laparoscopic surgeons. *Br J Surg* 2014; 101: 1453–1459
- [30] Tanagho YS, Andriole GL, Paradis AG et al. 2D versus 3D visualization: impact on laparoscopic proficiency using the fundamentals of laparoscopic surgery skill set. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2012; 22: 865–870
- [31] Honeck P, Wendt-Nordahl G, Rassweiler J et al. Three-dimensional laparoscopic imaging improves surgical performance on standardized ex vivo laparoscopic tasks. *J Endourol* 2012; 26: 1085–1088
- [32] Silvestri M, Simi M, Cavallotti C et al. Autostereoscopic three-dimensional viewer evaluation through comparison with conventional interfaces in laparoscopic surgery. *Surg Innov* 2011; 18: 223–230
- [33] Feng C, Rozenblit JW, Hamilton AJ. A computerized assessment to compare the impact of standard, stereoscopic, and high-definition laparoscopic monitor displays on surgical technique. *Surg Endosc* 2010; 24: 2743–2748

- [34] Supe AN, Kulkarni GV, Supe PA. Ergonomics in laparoscopic surgery. *J Minim Access Surg* 2010; 6: 31–36
- [35] Shore EM, Lefebvre GG, Husslein H et al. Designing a standardized laparoscopy curriculum for gynecology residents: a Delphi approach. *J Grad Med Educ* 2015; 7: 197–202
- [36] van Bergen P, Kunert W, Bessell J et al. Comparative study of two-dimensional and three-dimensional vision systems for minimally invasive surgery. *Surg Endosc* 1998; 12: 948–954
- [37] Sahu D, Mathew MJ, Reddy PK. 3D laparoscopy – help or hype; initial experience of a tertiary health centre. *J Clin Diagn Res* 2014; 8: NC01–NC03
- [38] Falk V, Mintz D, Grünenfelder J et al. Influence of three-dimensional vision on surgical telemanipulator performance. *Surg Endosc* 2001; 15: 1282–1288
- [39] Kihara K, Fujii Y, Masuda H et al. New three-dimensional head-mounted display system, TMDU-S-3D system, for minimally invasive surgery application: procedures for gasless single-port radical nephrectomy. *Int J Urol* 2012; 19: 886–889
- [40] Zdichavsky M, Schmidt A, Luithe T et al. Three-dimensional laparoscopy and thoracoscopy in children and adults: a prospective clinical trial. *Minim Invasive Ther Allied Technol* 2015; 24: 154–160
- [41] Way LW, Stewart L, Gantert W et al. Causes and prevention of laparoscopic bile duct injuries: analysis of 252 cases from a human factors and cognitive psychology perspective. *Ann Surg* 2003; 237: 460–469
- [42] Chan AC, Chung SC, Yim AP et al. Comparison of two-dimensional vs. three-dimensional camera systems in laparoscopy surgery. *Surg Endosc* 1997; 11: 438–440
- [43] Taffinder N, Smith SG, Huber J et al. The effect of a second-generation 3D endoscope on the laparoscopic precision of novices and experienced surgeons. *Surg Endosc* 1999; 13: 1087–1092
- [44] Hanna GB, Shimi SM, Cuschieri A. Randomised study of influence of two-dimensional versus three-dimensional imaging on performance of laparoscopic cholecystectomy. *Lancet* 1998; 351: 248–251
- [45] Votanopoulos K, Brunicardi F, Thornby J. Impact of three dimensional vision in laparoscopic training. *World J Surg* 2008; 32: 110–118
- [46] Tevaearai HT, Mueller XM, Segesser LK. 3-D vision improves performance in a pelvic trainer. *Endoscopy* 2000; 32: 464–468
- [47] Lusch A, Bucur PL, Menhadji AD et al. Evaluation of the impact of three-dimensional vision on laparoscopic performance. *J Endourol* 2014; 28: 261–266