

Gastroenterologie
<https://doi.org/10.1007/s11377-022-00662-3>
 Angenommen: 5. Dezember 2022

© The Author(s), under exclusive licence to
 Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von
 Springer Nature 2022

Redaktion

Ulrike W. Denzer, Marburg
 Axel Eickhoff, Hanau



„Mixed Reality“ – erste Erfahrungen aus der Leberchirurgie

G. Mero¹ · R. Donchev¹ · M. Banysch¹ · M. Hornstein² · T. Heuer² · G. M. Kaiser¹

¹Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie, St. Bernhard Hospital, Kamp-Lintfort, Deutschland

²Medizinische Klinik 1, St. Bernhard Hospital, Kamp-Lintfort, Deutschland

Zusammenfassung

Hintergrund: Die Fortschritte in der der Bildgebung ermöglichen eine bessere Diagnostik und damit auch sicherere viszeralmedizinische Eingriffe. Eine der aktuellen Entwicklungen ist der Einsatz der Mixed Reality (MR) im Operationssaal, eine „Mischung“ der Realität mit 3D-rekonstruierten präoperativen Bildern. In dieser Arbeit werden erste Erfahrungen bei der Anwendung der Mixed Reality im Bereich der Leberchirurgie vorgestellt.

Material und Methoden: In dieser Untersuchung wurden 8 Patienten (Alter 62–82 Jahre) mit einer primären Malignität der Leber ($n=4$) oder Lebermetastasen ($n=4$) erfasst und dokumentiert. Die benötigte Zeit zur vollständigen Vorbereitung der präoperativen Rekonstruktionen wurde analysiert und für jeden Fall eine Graduierung des Nutzens der neuen Verfahren im Behandlungsteam vorgenommen. Präoperativ wurde ein Open-Source-Softwarepaket für die Bildanalyse und wissenschaftliche Visualisierung angewendet.

Ergebnisse: Der notwendige Zeitrahmen für die Operationsvorbereitung ist beträchtlich und relevant für den klinischen Alltag (150–360 min). Die Autoren konnten für das Behandlungsteam subjektiv prä- und intraoperativ durch die Verwendung der neuen Technologie mehr Informationen über die Lage des Tumors sowie über die Beziehung zu anderen wichtigen intraabdominellen Strukturen gewinnen. Ein Nutzen im Bereich der Risikominimierung für den Patienten, schnelle Operationszeiten und eine schnellere Erholung konnte in dieser Studie noch nicht nachgewiesen werden.

Diskussion: Die MR-Technologie bietet eine enorme Breite an Anwendungsmöglichkeiten. Insbesondere hat sie ein hohes Potenzial für den viszeralmedizinischen Eingriff, Patientenaufklärung, aber auch die ärztliche Weiterbildung. Weitere Untersuchungen sind in Zukunft zur genaueren Objektivierung der Vor- und Nachteile in größeren Fallserien notwendig.

Schlüsselwörter

Lebertumoren · Tumormetastase · Informationswissenschaft · Computerassistierte Bildverarbeitung · Computersimulation

Hintergrund

Aktuelles Ziel in der Viszeralmedizin nach rasanter Entwicklung in der Bildgebung ist die verbesserte Visualisierung in Echtzeit, um die Behandlung einfacher, schneller und zuverlässiger zu machen. Die Einführung der sog. vermischten Realität (Mixed Reality, Merged Reality, MR) ermöglicht die Fusion von computergene-

rierten (CG-)Bildern und realer Umgebung [10]. Eine vergleichbare Innovation war zu Beginn des Jahrtausends die Einführung der fusionierten Positronenemissions-/ Computertomographie (PET/CT), die vor allem für komplexe onkologische Patienten sehr wichtig geworden ist [9].



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

Nomenklatur

Durch die virtuelle Realität (Virtual Reality, VR) wird eine künstliche, digitale Welt erschaffen. Der Anwender trägt etwa eine VR-Brille und taucht in einer „neuen“ computergenerierten Welt ab. Die Brille erkennt die Bewegungen des Anwenders und es wird eine Interaktion mit der virtuellen Welt möglich. Neben der Anwendung in Computerspielen oder Flugsimulatoren ist dies im medizinischen Bereich beim Lernen für Studenten, Weiterbildungsassistenten oder für Patientenaufklärung bereits heute hilfreich [2].

» Durch die überlagerten Informationen wird eine „neue“ Realität erschaffen

Die erweiterte Wirklichkeit (Augmented Reality, AR) projiziert computergenerierte Bilder und Objekte in die reale Welt. Durch die überlagerten Informationen wird eine „neue“ Realität erschaffen. Hierfür werden ebenfalls besondere Brillen, Smartphones, Kameras oder Tablets verwendet. Die MR stellt die Verschmelzung von virtueller und realer Umgebung dar, in der digitale und physische Objekte nebeneinander existieren und miteinander interagieren können. Beide Arten der computergenerierten Realität werden häufig „erweiterte Realität“ genannt [16].

Anwendung der Mixed Reality in der Viszeralmedizin

Die heutigen Systeme zur erweiterten/vermischten Realität liefern computergenerierte Bilddaten in Echtzeit. Durch die MR-Systeme ist der Arzt nicht gezwungen, aus dem Situs während der Intervention auf einen Monitor zu schauen. Bei speziellen Head-mounted-Displays (HMD, manchmal auch als „Smartbrille“ bezeichnet) projizieren sich computergenerierte Bilder auf die natürliche Umgebung, die dann gleichzeitig mit der „realen Welt“ zu sehen sind.

Die MR-Technologie ist in Fachbereichen wie Unfallchirurgie und Neurochirurgie bereits ein etabliertes Verfahren zur intraoperativen Visualisierung von dreidimensional (3D-)rekonstruierten Bildern. In einer retrospektiven Studie bei Patienten

mit nichtrupturiertem Aneurysma der Arteria carotis anterior (ACoA) zeigte die Verwendung der 3D-Rekonstruktionen intraoperativ eine bessere Erkennung anatomischer Strukturen und beeinflusste die Wahl der Kopfpositionierung und der Operationszugänge und damit einen wichtigen Bestandteil der Operationsstrategie [18].

» Die virtuelle Operationsplanung muss die Mobilität und Flexibilität der Zielorgane einbeziehen

Die virtuelle Operationsplanung auf der Grundlage einer 3D-Rekonstruktion musste in der Viszeralmedizin die Hindernisse, wie Mobilität und Flexibilität der Zielorgane, einbeziehen. Eine der frühesten Experimente mit der AR in der Viszeralchirurgie war im Jahr 1992 die Visualisierung von Sonographiebildern durch ein HMD. Aber erst im Jahr 2003 wurden bereits eine Reihe von laparoskopischen Operationen mit Anwendung der AR beschrieben [3, 8, 15]. Multiple intraabdominelle Strukturen, wie die Leber, das kleine Becken oder die unmittelbar aus der Aorta ausgehenden Arterien, besitzen gute Voraussetzungen für eine regelrechte präoperative 3D-Rekonstruktion [5, 14].

Die für die MR erforderlichen Daten stammen von herkömmlichen Scannern (CT oder Magnetresonanztomographie, MRT). Es ist möglich, diese Rekonstruktionen mit kommerzieller oder selbst erstellter Software aus dem Format Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) zu erstellen [11]. Solche Rekonstruktionen können zur virtuellen Planung sowie zur besseren Orientierung und Navigation verwendet werden. Die AR und die MR sind besonders nützlich bei der Visualisierung kritischer Strukturen wie Hauptgefäße, Nerven oder Gallenwege. Durch die direkte Projektion dieser Strukturen auf den Patienten („gläserner Patient“) soll die MR die Sicherheit erhöhen und die für die Präparation erforderliche Zeit verkürzen.

» Der Chirurg kann das Gerät ohne Unterstützung steuern

Für die Leberchirurgie erfolgt nach der Segmentierung der Leber die befundadaptierte Operationsplanung. Der Chirurg

kann das Gerät ohne Unterstützung steuern und muss keine aseptischen Protokolle brechen. Eine weitere interessante Option ist die Gestenerkennung, mit der das Team auch auf sterilen Oberflächen oder in der Luft durch Körperbewegungen mit dem System interagieren kann.

Ein großes Potenzial der MR findet sich zusätzlich im Trainingsbereich. Beispielsweise werden durch eine 3D-Konstruktion von virtuellen Operationen, wie laparoskopische Cholezystektomie oder laparoskopische Appendektomie, von einem erfahrenen Chirurgen durch den Einsatz der HoloLens-Brille (Microsoft, Redmond, WA, USA) wichtige Operationsschritte dem Weiterzubildenden beigebracht. In einer Arbeit mit 10 Ärzten in Weiterbildung für Viszeralchirurgie aus Mainz führte die Verwendung der MR zu einer verbesserten Bewegungsökonomie und weniger Fehlern [7]. Als eine interessante Einsatzmöglichkeit gilt auch die Patientenaufklärung mit Unterstützung durch MR in der Sprechstunde.

Methoden

In der Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie am St. Bernhard-Hospital in Kamp-Lintfort führten die Autoren die HoloLens-Technologie im Sommer 2020 ein. Seitdem erfolgten über 30 Operationen mit Unterstützung der HoloLens. Aktuell erfolgt die Anwendung von 2 HoloLens-Brillen zusammen mit einer unterstützenden Software (VSI, ApoQlar, Hamburg, Deutschland). Die von den Autoren verwendete Brille ist ein HMD mit vermischter Realität (MR), mit dem der Benutzer mithilfe von Hologrammen mit seiner Umgebung interagieren und gleichzeitig seine Sinne einbeziehen kann [1, 13]. Für die essenzielle Nutzung der Echtzeitfunktionen wird ein schnelles WLAN zum Zugriff auf die Cloud-Daten im Operationsbereich verwendet.

» Es wurden bereits sowohl laparoskopische als auch offene Eingriffe durchgeführt

Sowohl laparoskopische als auch offene Eingriffe wurden bereits durchgeführt. Für diese Serie wurden keine laparoskopischen Fälle ausgewählt, da hier die Anforderun-

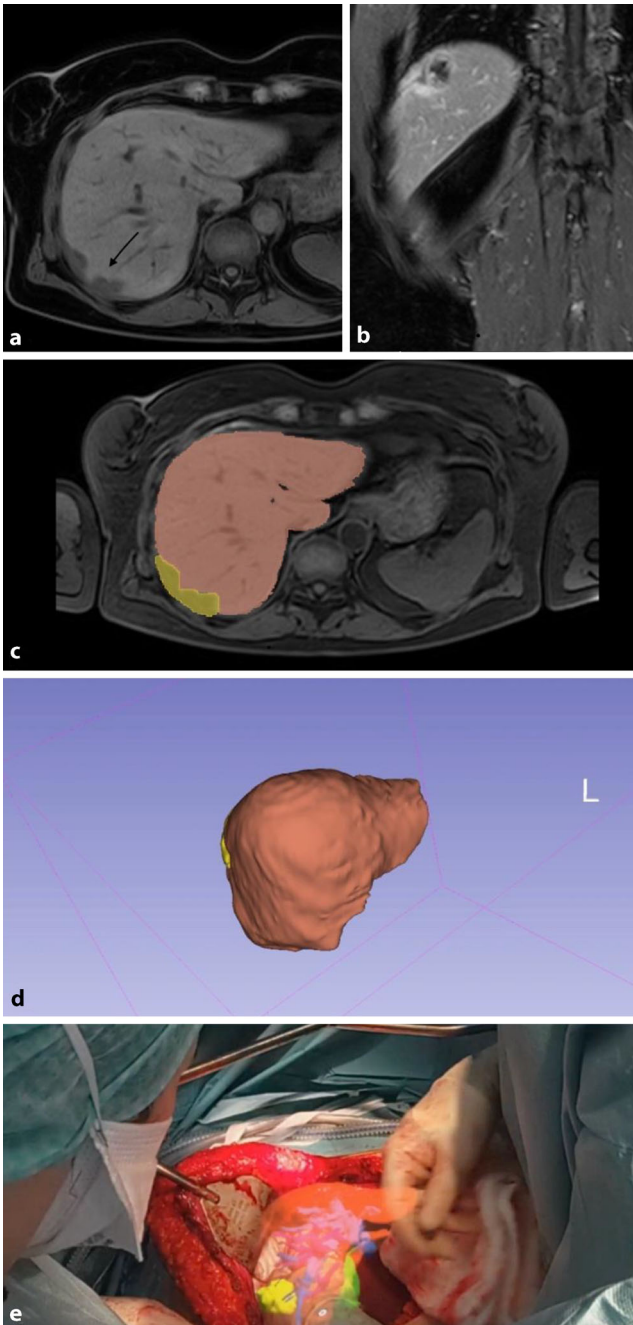


Abb. 1 ◀ Intraoperative Anwendung von dreidimensionaler (3D-)Rekonstruktion und Mixed Reality. **a, b** Die Magnetresonanztomographie zeigt eine resektable kolorektale Lebermetastase im rechten Leberlappen mit Kontakt zum Zwerchfell. **c, d** Die präoperative Vorbereitung der 3D-Rekonstruktionen durch die Software „3D-Slicer“. **e** Die intraoperative Überlagerung der 3D-Rekonstruktion über die reale Leber und damit die „virtuelle Visualisierung“ der Tumurlage und seinen Kontakten mit den anderen naheliegenden Strukturen

gen an die MR deutlich höher sind und aus Sicht der Autoren die Anwendung noch nicht alltagstauglich ist. Der Hauptanteil der 25 Eingriffe mit MR-Unterstützung ist, wie auch in der bisherigen Literatur, in der onkologischen Chirurgie konzentriert.

» Es entsteht ein 3D-rekonstruiertes Bild der Leber und der zu behandelnden Tumoren

In dieser Arbeit wird die Anwendung der MR bei 8 viszeralchirurgischen Eingriffen

vorgelegt. Es wurden Patienten mit malignen Lebertumoren in die Studie eingeschlossen. Die nötige präoperative Zeit zur vollständigen Vorbereitung der Rekonstruktionen wurde dokumentiert und analysiert und eine Graduierung des Nutzens der neuen Technik im Behandlungsteam vorgenommen. Präoperativ erfolgte eine ausführliche Aufklärung der Patienten mithilfe der HoloLens-Brillen und eine Information über die intraoperative Verwendung von 3D-Rekonstruktionen und MR.

Die DICOM-Dateien der präoperativen Diagnostik wurden anonymisiert in eine 3D-Segmentierungssoftware hochgeladen (▣ Abb. 1a, b) [4]. Nach 3D-Rekonstruktion des gesamten Torsos werden zunächst die Leber und danach das Gefäßsystem getrennt gefärbt. Anschließend erfolgt die Markierung der Pathologie in einer separaten Schicht (▣ Abb. 1c). Somit entsteht ein 3D-rekonstruiertes Bild der Leber und der zu behandelnden Tumoren mit entsprechender Volumetrie (▣ Abb. 1d). Die Rekonstruktion wird in die HoloLens-Brillen innerhalb weniger Minuten hochgeladen auf ihre Qualität überprüft.

Durch Aufsetzen der HoloLens unmittelbar vor dem Hautschnitt werden die 3D-Rekonstruktionen durch ein speziell entwickeltes Programm nach Bedarf projiziert.

Nach der ersten Präparation und Darstellung der Leber kommt es, insbesondere bei initial makroskopisch nicht auf der Oberfläche sichtbaren Pathologien, zum Einsatz der 3D-Rekonstruktion. Die Rekonstruktion wird durch leichte Bewegungen beider Hände im sterilen Bereich auf die Leber des Patienten projiziert. Als topographische Punkte für eine sichere und zuverlässige Platzierung dienen „auffällige und patientenbezogene“ anatomische Orientierungspunkte. Nach Inspektion des Tumors in Bezug zu den anderen Strukturen der Leber (▣ Abb. 1e) erfolgt die Planung des weiteren Vorgehens (Hemihepatektomie, atypische Resektion) mit Unterstützung der MR.

» Nach der Operation gab das Behandlungsteam eine subjektive Bewertung zum Nutzen der Technologie ab

Nach der Operation gab das Behandlungsteam eine subjektive Bewertung zum prä-, intra- und postoperativen Nutzen der Technologie ab. Durch einen Fragebogen mit einfachen Fragen wie „Wie viel hat die Verwendung der MR intraoperativ Ihrer Meinung nach bei Fall 1 geholfen?“ wurden die Antworten erfasst und in der ▣ Tab. 2 dargestellt. Antwortmöglichkeiten waren: „viel“, „mittel“, „gar nicht“. Als Nutzen für das Outcome wurde eine vermutet schnellere Erholung des Patienten aufgrund von kürzeren Operationszeiten und limitierten

Tab. 1 Alter, Diagnose und die mit intraoperativer Unterstützung durch die HoloLens-Technologie durchgeführte Operation

Fall	Alter	Diagnose	Operation
1	62	Lebermetastase Segment 6 (UICC 4)	Leberresektion Segment 6
2	77	Lebermetastase Segment 4, 5 und 6 (UICC 4)	Hemihепatektomie rechts
3	74	Lebermetastase Segment 6 (UICC 4)	Hemihепatektomie rechts
4	67	CCC Segment 2 und 3 (UICC 1)	Linkslaterale Leberresektion
5	74	HCC Segment 3 und 4 (UICC 2)	Hemihепatektomie links
6	71	Multilokuläres HCC (UICC 2)	Atypische Leberresektion
7	82	Lebermetastase Segment 6 (UICC 4)	Leberresektion Segment 6
8	71	CCC Segment 4, 5 und 8 (UICC 4)	Resektion der Lebersegmente 4, 5 und 8

CCC cholangiozelluläres Karzinom, HCC hepatozelluläres Karzinom, UICC Union for International Cancer Control

Tab. 2 Vorbereitungszeit für die intraoperative Verwendung der HoloLens-Technologie/Mixed Reality und Nutzen für das Behandlungsteam. Als Nutzen für das chirurgische Outcome wurde die mögliche Risikominimierung für den Patienten durch sicheres Operieren, schnellere Operationszeiten und evtl. schnellere Erholung definiert

Fall	Vorbereitungszeit (min)	Operationszeit (min)	Nutzen bei Planung	Nutzen intraoperativ	Nutzen für das Outcome
1	360	179	Viel	Viel	Viel
2	360	231	Viel	Viel	Viel
3	250	244	Mittel	Gar nicht	Gar nicht
4	280	170	Mittel	Gar nicht	Gar nicht
5	180	165	Mittel	Gar nicht	Gar nicht
6	320	206	Viel	Viel	Viel
7	180	130	Viel	Mittel	Gar nicht
8	150	191	Viel	Viel	Viel

Resektionen durch die Verwendung der 3D-Rekonstruktionen in der HoloLens definiert.

Ergebnisse

Das Alter der Patienten ($n = 8$) variierte zwischen 62 und 82 Jahren (Median 76 Jahre). Es wurden 4 Patienten mit Lebermetastasen, 2 mit hepatozellulärem Karzinom (HCC) und 2 mit cholangiozellulärem Karzinom (CCC) operiert. Weitere Details, wie Lokalisation der Tumoren und Art der Leberresektionen, sind **Tab. 1** zu entnehmen.

Es zeigten sich in den ersten Monaten nach der Einführung der Technologie sehr lange Vorbereitungszeiten durch die aufwendigen präoperativen Bildrekonstruktionen. Die Dauer beträgt im Durchschnitt in der hier vorgestellten Fallserie im Median noch 5 h („range“ 150–360 min) mit sinkendem Zeitaufwand im Verlauf.

Nach der Exploration des Situs sind die Bilder der präoperativen Diagnostik (CT, MRT, PET/CT) innerhalb von wenigen Minuten komplikationslos aus der HoloLens-Brille aufzurufen. Nach der Präparation und schließlich Resektion der Leber ist die Verwendung der MR aus Sicht der Autoren bei deutlich veränderter Lage des Organs allerdings eingeschränkt. Zum Vergleich der geplanten Resektionsgrenze mit der durchgeführten Resektion empfiehlt sich dann die Repositionierung des Organs in seine initiale Anatomie und die neue Projektion der 3D-Rekonstruktion zum Abgleich.

» Eine Überlagerung der 3D-Rekonstruktion auf der Leber des Patienten ist einfach zu erreichen

Aus der bisherigen Erfahrung ist eine Überlagerung der 3D-Rekonstruktion auf der Leber des Patienten einfach zu erreichen. Insbesondere vor der Mobilisation und Re-

sektion ist MR eine gute Möglichkeit, mehr Information über die geplante Resektion zu gewinnen (**Tab. 2**).

Es zeigte sich ein hoher Nutzen während der Vorbereitung und Planung der Operation durch die Rekonstruktionen und Verwendung der MR. Durch die Färbung, Messung und Markierung verschiedener Strukturen der Leber war das Operationsteam bereits präoperativ in der Selbsteinschätzung mit der zu erwartenden intraoperativen Anatomie besser vertraut. Intraoperativ war der Nutzen sehr divergent in der Beurteilung der Behandlungsteams. Aber immerhin in 5 der 8 Fälle erschien der Nutzen intraoperativ von Vorteil. So konnten alle Tumoren in sano (R0) reseziert werden. Postoperativ schien der Nutzen für das Outcome geringer.

Diskussion

Die MR ist eine neue Technologie, die in der Viszeralmedizin und insbesondere Leberchirurgie ein großes Potenzial hat. Allerdings ist die Technologie sowohl präoperativ als auch intraoperativ für den Chirurgen noch sehr zeitaufwendig. Nach mehr als einem Jahr Erfahrung benötigen die Autoren weiterhin 3–5 h zur vollständigen Rekonstruktion der 3D-Bilder. Aktuell sind multiple Softwares in Entwicklung, die nicht nur automatisierte Färbung, Trennung und Segmentierung aller Organen im Abdomen durchführen, sondern auch präzise die Volumetrie und die Abstände zwischen den verschiedenen Strukturen mit Anwendung von künstlicher Intelligenz errechnen können. Sollte die Vorbereitungszeit in der Zukunft durch Automatisierung relevant kürzer werden, könnte die MR-Technologie auch für weniger komplexe Eingriffe verwendet werden.

» Die Visualisierung kann ohne ein Risiko für die intraoperative Sterilität verwendet werden

Die präoperative Bildbearbeitung sowie die intraoperative Visualisierung der 3D-Bilder führt zu mehr Informationen über die Lage des Tumors sowie die Beziehung zu anderen wichtigen Strukturen. Diese Visualisierung kann vom Operateur oder vom Assistenten (oder simultan beim Einsatz von 2 HoloLens-Billen) ohne ein Risiko

für die intraoperative Sterilität verwendet werden. Nach bisheriger Erfahrung und Auswertung der aktuell limitierten Patientenzahl beurteilen die Autoren die prä- und intraoperative Anwendung der Technologie bei komplexen Lebereingriffen als vorteilhaft. Die tiefen Lebertumoren konnten durch die Echtzeitvisualisierung der präoperativen CT- oder MRT-Bilder einfacher als durch die intraoperative Sonographie lokalisiert werden. Anders als in der Arbeitsgruppe von Al Janabi et al. aus dem King's College, London hat keins der von den Autoren befragten Operationsteams ein Problem mit dem Gewicht der HoloLens bei längerer Anwendung oder einen intraoperativen Ausfall des Systems aufgrund einer schwachen Batterieleistung beklagt [1].

Ein Nutzen im Bereich der Risikominimierung für den Patienten, schnelle Operationszeiten und verbesserte Erholung konnten weder subjektiv noch objektiv in Rahmen dieser Untersuchung eindeutig nachgewiesen werden. Trotz des prospektiven Charakters dieser Arbeit bleibt die Patientenzahl gering und durch das Fehlen einer Randomisierung können keine relevanten statistischen Vergleiche erreicht werden. Gezielt im Bereich der Leberchirurgie werden in der Zukunft weitere Studien zur Objektivierung des Nutzens der MR benötigt.

» Ein großes Potenzial der HoloLens liegt im Einsatz bei laparoskopischen und robotischen Operationen

Ein großes Potenzial der HoloLens liegt im Einsatz bei laparoskopischen und robotischen Operationen. Neben der verbesserten intraoperativen Navigation ergeben sich weitere Aspekte wie die verbesserte Ergonomie für das Operationsteam. Nach einer Untersuchung von Wauben et al. berichteten 74% der befragten minimal-invasiv tätigen Chirurgen über einschränkende Nackenschmerzen aufgrund einer falschen Monitorposition und 88% der Chirurgen beklagten muskuläre Ermüdung wegen der verlängerten statischen Belastungen [17]. Der Einsatz der MR kann durch das Erlangen neuer Freiheitsgrade und die Ermöglichung von wechselnden Positionen ergonomische Fehlbelastungen ver-

ringern. Die ersten Schritte für die Verwendung der MR in der Robotik sind bereits eingeleitet und vielversprechend [12].

Ein weiteres Potenzial liegt in der intraoperativen Unterstützung des Operationsteams durch einen ortsfernen, aber per MR in Echtzeit zugeschalteten erfahrenen Chirurgen. Einer im *Deutschen Ärzteblatt* vorgestellten repräsentativen Umfrage zufolge ist mehr als die Hälfte der deutschen Bevölkerung dafür offen. In der Gruppe der 16- bis 29-Jährigen sind sogar zwei Drittel für eine Onlineunterstützung, wenn es sie als Patienten selbst betrifft [6].

» Die MR-Technologie kann auch für die Ausbildung sehr hilfreich sein

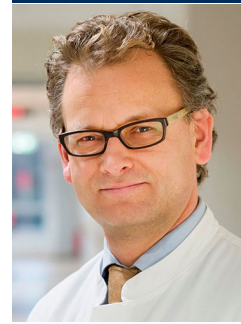
Die MR-Technologie kann auch für die Ausbildung und Weiterbildung der Medizinstudenten/-innen und Assistenzärzten/-innen sehr hilfreich sein [6, 13]. In der Klinik der Autoren wurde mit dem Einsatz der HoloLens-Brillen in den präoperativen Sprechstunden als ein zusätzliches Mittel für eine ausführliche und plastisch gut vermittelbare Aufklärung der Patienten begonnen. Die ersten Erfahrungen diesbezüglich sind sehr vielversprechend und initiale Befürchtungen bezüglich einer drastisch verlängerten Aufklärungszeit haben sich bisher nicht bestätigt.

Natürlich steckt die Anwendung der MR noch immer im Anfangsstadium, hat aber enormes Potenzial. Weitere Entwicklungen gehen rasant voran und aus der Vision MR ist bereits Realität für erste Anwendungen im Operationssaal geworden.

Fazit für die Praxis

- Eins der aktuellen Ziele in der Viszeralmedizin ist die Visualisierung der präoperativen Diagnostik in Echtzeit während einer Intervention.
- Die Autoren konnten durch ihre bisherige Erfahrung einen direkten Zusammenhang sowohl während der Vorbereitung als auch intraoperativ zwischen der Komplexität des Eingriffs und dem Nutzen der Mixed-Reality-Technologie feststellen.
- Ein großes Potenzial der HoloLens liegt im Einsatz bei laparoskopischen und robotischen Operationen.
- Zur weiteren Evaluation des potenziellen Nutzens sind Studien mit größerer Anzahl von Patienten und Randomisierung nötig.

Korrespondenzadresse



Prof. Dr. G. M. Kaiser

Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie,
St. Bernhard Hospital
Bürgermeister-Schmelzing-Straße 90,
47475 Kamp-Lintfort, Deutschland
gernot.kaiser@st-bernhard-hospital.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. G. Mero, R. Donchev, M. Banysch, M. Hornstein, T. Heuer und G. M. Kaiser geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. Al Janabi HF, Aydin A, Palaneer S, Macchione N, Al-Jabir A, Khan MS, Dasgupta P, Ahmed K (2020) Effectiveness of the HoloLens mixed-reality headset in minimally invasive surgery: a simulation-based feasibility study. *Surg Endosc* 34:1143–1149
2. Barteit S, Lanfermann L, Bärnighausen T, Neuhann F, Beiersmann C (2021) Augmented, mixed, and virtual reality-based head-mounted devices for medical education: systematic review. *JMIR Serious Games* 9:e29080
3. Bernhardt S, Nicolau SA, Soler L, Doignon C (2017) The status of augmented reality in laparoscopic surgery as of 2016. *Med Image Anal* 37:66–90
4. Fedorov A, Beichel R, Kalpathy-Cramer J, Finet J, Fillion-Robin J-C, Pujol S, Bauer C, Jennings D, Fennessy FM, Sonka M, Buatti J, Aylward SR, Miller JV, Pieper S, Kikinis R (2012) 3D Slicer as an image computing platform for the quantitative imaging network. *Magn Reson Imag* 30(9):1323–1341
5. Giuliani F, Viganò L, De Rose AM, Mirza DF, Lapointe R, Kaiser G, Barroso E, Ferrero A, Isoniemi H, Lopez-Ben S, Popescu I, Ouellet JF, Hubert C, Regimbeau JM, Lin JK, Skipenko OG, Ardito F, Adam R (2021) Liver-first approach for synchronous colorectal metastases: analysis of 7360 patients from the livermetasurvey registry. *Ann Surg Oncol* 28:8198–8208
6. Glöser S (2021) Umfrage: Zuspruch für Online-Unterstützung von OP-Teams. *Dtsch Arztebl* 118:4
7. Heinrich F, Huettl F, Schmidt G et al (2021) HoloPointer: a virtual augmented reality pointer for laparoscopic surgery training. *Int J CARS* 16:161–168

8. Konishi K, Hashizume M, Nakamoto M, Kakeji Y, Yoshino I, Taketomi A, Sato Y, Tamura S, Maehara Y (2016) Augmented reality navigation system for endoscopic surgery based on three-dimensional ultrasound and computed tomography: application to 20 clinical cases. *International Congress Series*, Bd. 1281. Kyushu University, Elsevier BV, S 537–542
9. Li J, Kuehl H, Grabelius F, Müller SP, Radunz S, Antoch G, Nadalin S, Broelsch CE, Gerken G, Paul A, Kaiser GM (2008) Preoperative assessment of hilar cholangiocarcinoma by dual-modality PET/CT. *J Surg Oncol* 98:438–443
10. Park BJ, Hunt SJ, Martin C, Nadolski GJ, Wood BJ, Gade TP (2020) Augmented and mixed reality: technologies for enhancing the future of IR. *J Vasc Interv Radiol* 31:1074–1082
11. Pham DL, Xu C, Prince JL (2000) Current methods in medical image segmentation. *Annu Rev Biomed Eng* 2:315–337
12. Piana A, Gallioli A, Amparore D, Diana P, Territo A, Campi R, Gaya JM, Guirado L, Checucci E, Bellin A, Paolu J, Serni S, Porpiglia F, Breda A (2022) Three-dimensional augmented reality-guided robotic-assisted kidney transplantation: breaking the limit of atheromatic plaques. *Eur Urol* 82:419–426
13. Shuhaiber JH (2004) Augmented reality in surgery. *Arch Surg* 139:170–174
14. Soler L, Delingette H, Malandain G, Ayache N, Koehl C, Clément JM, Dourthe O, Marescaux J (2000) An automatic virtual patient reconstruction from CT-scans for hepatic surgical planning. *Stud Health Technol Inform* 70:316–322
15. Ukimura O et al (2010) Augmented reality for image-guided surgery in urology. In: Dasgupta P, Fitzpatrick J, Kirby R, Gill IS (Hrsg) *New technologies in urology. New techniques in surgery series*, Bd. 7. Springer, London
16. Vávra P, Roman J, Zonča P, Ihnát P, Němec M, Kumar J, Habib N, El-Gendi A (2017) Recent development of augmented reality in surgery: a review. *J Healthc Eng* 2017:4574172
17. Wauben LS, van Veelen MA, Gossot D, Goossens RH (2006) Application of ergonomic guidelines during minimally invasive surgery: a questionnaire survey of 284 surgeons. *Surg Endosc* 20:1268–1274
18. Zawy Alsofy S, Sakellaropoulou I, Nakamura M, Ewelt C, Salma A, Lewitz M, Welzel Saravia H, Sarkis HM, Fortmann T, Stroop R (2020) Impact of virtual reality in arterial anatomy detection and surgical planning in patients with unruptured anterior communicating artery aneurysms. *Brain Sci* 10:963

Mixed reality technology—initial experience from liver surgery

Background: Developments in imaging technology enable better diagnostics and, thus, also safer visceral interventions. One of the most recent developments is the use of mixed reality in the operating room, a “mixture” of reality with three-dimensional (3D) reconstructed preoperative images. Thus, we present our first experiences with the application of mixed reality in the field of liver surgery.

Materials and methods: Eight patients (age 62–82 years) with primary liver malignancy ($n = 4$) or liver metastases ($n = 4$) were studied and documented in this work. The time required to fully prepare the preoperative reconstructions was analyzed and the benefits of the new technology were graded by the members of the treatment team for each case. We use an open-source software for image analysis and scientific visualization preoperatively.

Results: The time required to prepare for the operation is considerable and relevant for the everyday clinical practice (150–360 min). We were able to gain more information about tumor location and the relationship to other important intra-abdominal structures preoperatively and intraoperatively through the use of the technology. We have not yet been able to demonstrate a benefit in the area of risk minimization for the patient, faster operation times or faster recovery in this study.

Conclusion: Mixed reality technology offers an enormous range of possible applications. In particular, it has great potential for visceral surgery, patient education, but also medical training. Further investigations are necessary to more precisely assess the advantages and disadvantages in larger case series.

Keywords

Liver neoplasms · Neoplasm metastasis · Information science · Computer-assisted image processing · Computer simulation