FACHÜBERGREIFEND 01.10.2023

„Ready Surgeon One?" – Chirurgie im virtuellen OP-Saal

Wer von uns würde angesichts der aktuellen Probleme in der chirurgischen Versorgung, wie Personalmangel, Versorgungslücken und finanzielle Einschränkungen, nicht gerne in eine andere Welt entfliehen und in einem virtuellen OP-Saal unter optimalen Bedingungen Patienten behandeln? So in etwa empfinden die Menschen im Roman „Ready Player One" von E. Cline, wenn sie aus der dystopen Realität in die OASIS fliehen, eine virtuelle Illusion, die nicht nur Spiel und Unterhaltung bietet, sondern auch Bildung, soziale Interaktion und Handel. Die OASIS ist nicht mehr nur Fiktion, sondern wird als eine der Referenzen gesehen, nach deren Vorbild aktuell das Metaverse erschaffen wird, eine neue Form der Internet-Kommunikation, für die bis 2030 ein Marktwert von 5 Billiarden Euro prognostiziert wird [1]. Ein Element dieser VR-Vision stellt das Taktile Internet dar, welches neueste mobile Datenkommunikationstechnik nutzt (u. a. 5G), die hohe Bandbreite mit minimalen Zeitverlusten und hoher Sicherheit verbindet und haptische Interaktionen mit hohem Immersionsgrad realisieren soll [2].

Wird unsere Zukunft somit eine virtuelle Welt sein, so wie die OASIS? Nun, zumindest der Autor Ray Kurzweil vermutet tatsächlich, dass wir im Jahr 2030 bereits den größten Teil unserer Zeit in virtuellen Welten verbringen werden [3]. Das Gesundheitswesen und seine Teilbereiche stellen hierbei bereits jetzt einen wesentlichen Anwendungsbereich dar: Virtuelle Kliniken und Behandlungsräume sowie Telediagnostik und -therapie sind angestrebte Innovationen. Angesichts der in Krankenhäusern anzutreffenden Realität, die häufig von fast rückschrittlichen, analogen Prozessen und persönlicher Leistungserbringung geprägt ist, dürften diese Ansätze zumindest aktuell noch als technische Spielerei einer fernen Zukunft abgetan werden. Derartige Visionen sind jedoch nicht allzu futuristisch. Simulation und Virtual Reality (VR) werden bereits seit Jahren in der Ausbildung unterschiedlicher Berufe eingesetzt und sind auch in der medizinischen Forschung längst fester Bestandteil – das mit gutem Grund.

Virtuelle Simulationen besitzen den großen Vorteil, dass sie Training unter unkritischen und standardisierten Bedingungen als Vorbereitung auf die Patientenversorgung gewährleisten, beliebig oft wiederholt werden können und die Erfassung von Metriken zur Bewertung der Leistung erlauben. Ein Musterbeispiel und der häufigste Vergleich für die Weiterbildung von Chirurg:innen ist hierfür das Training von Pilot:innen der zivilen und militärischen Luftfahrt, die regelhaft mithilfe von Simulatoren und in virtuellen Welten trainieren [4]. Das Simulatortraining hat nicht zuletzt dazu beigetragen, dass Fliegen heute die sicherste Form des Reisens darstellt und weltweit jährlich weniger als 200 Menschen bei Flugzeugunglücken sterben. Betrachtet man im Vergleich dazu die Anzahl an Komplikationen infolge medizinischer Maßnahmen, wird man zumindest nachdenklich. So schätzt eine Studie aus dem Jahr 2016 medizinische Behandlungsfehler und Fehleinschätzungen als dritthäufigste Todesursache ein, mit alleine in den USA jährlich mehr als 200.000 Todesfällen [5]. Die Schlussfolgerung liegt somit nahe, erfolgreiche Konzepte aus anderen Bereichen, wie eben der Luftfahrt, in die Medizin und insbesondere in die Chirurgie zu translatieren.

VR-Simulation der Chirurgie – eine besondere Herausforderung

Die Anforderungen an virtuelle Simulationen in der Chirurgie sind besonders hoch. So hängt der Erfolg einer Operation nicht nur von definierten chirurgischen Fähigkeiten, wie dem Instrumentenhandling, Nähen, Präparieren und dem spezifischen Fachwissen über die Erkrankung und die zu behandelnden Organe ab, sondern auch von der Einschätzung der prä- und intraoperativen Situation, von Teamführung, Entscheidungsfindung und Kommunikation [6]. Alleine 20 Prozent aller Komplikationen aus medizinischen Behandlungen könnten durch eine bessere Kommunikation und Teaminteraktion verhindert werden [7].

Teamplay wirkt sich aber nicht nur auf die Komplikationsrate, sondern auch unmittelbar auf die OP-Dauer aus [8]. Für die beteiligten Fachdisziplinen, aber insbesondere für Chirurg:Innen im Training stellt dabei ein sogenanntes Education Team Time Out am Anfang der Operation eine Möglichkeit dar, die intraoperative Kommunikation zu verbessern [9]. Darüber hinaus bedingen die zunehmende Integration neuer Technologien, wie der Robotik, steigende Anforderungen an die Mitarbeiter und die Teamkommunikation und verlangen, wie in der Luftfahrt, nach besonderen Formen des Trainings [10]. Der zunehmende Einsatz von Technologie beeinflusst darüber hinaus die etablierte Rollenverteilung im komplexen Gefüge des Operationssaals, wirkt sich signifikant auf den Arbeitsablauf aus und führt zu einer Erhöhung des mentalen Workloads und zu Stress [11]. Das Training von Abläufen und von sogenanntem Trouble-Shooting erhält somit einen neuen Stellenwert.

Chirurgisches Training mit VR

Virtuelle Simulatoren werden bereits seit Jahren in der chirurgischen Ausbildung genutzt, wobei der Fokus klar auf laparoskopischen bzw. robotischen Techniken liegt (Abb. 1). Eine sehr schöne Übersicht über die verfügbaren Simulatoren und die verschiedenen Lösungsansätze findet sich hierzu in der Arbeit von Li, die zudem auf zahlreiche Systeme für andere chirurgischen Disziplinen verweist. [12]. So führt der Übersichtsartikel neben den bekannten laparoskopischen Simulatoren LapSim, LapMentor und MIST VR auch VR-Trainer für die Arthroskopie und die Versorgung von Schenkelhalsfrakturen auf (Procedicus, TraumaVision). Wie in dem Artikel dargestellt, beruht der Vorteil dieser VR-Trainer in der Möglichkeit zur Erhebung objektiver Metriken, die eine sukzessive Verbesserung der operativen Fähigkeiten erlauben, und dem einfachen Zugriff auf immer realistischere operative Übungen. Dem gegenüber stehen die hohen Kosten der Anschaffung und Uniformität der Trainingsszenarien, die zudem gerade hinsichtlich der Haptik noch Verbesserungspotenzial aufweisen.

Der positive Nutzen des VR-Trainings ist unwidersprochen und wurde durch mehrere sehr gute Arbeiten belegt [13]. Eine exemplarisch aufgeführte Arbeit von Grantcharow untersucht etwa den Beitrag der VR für ein präoperatives „Warm-up" vor einer laparoskopischen Cholezystektomie. Hierzu wurden alle Probanden hinsichtlich ihrer operativen Fähigkeiten anhand einer Baseline-Operation bewertet, bevor sie in die „Warm-up"-Gruppe mit VR-Training oder in eine Gruppe ohne Training randomisiert wurden [14]. Obwohl die Mehrzahl der inkludierten Probanden bereits eine gewisse operative Expertise besaß, zeigte die Auswertung signifikant bessere Ergebnisse in der Bewertung der Warm-up Gruppe. Es profitieren jedoch nicht bereits trainierte Chirurg:Innen, sondern vor allem die Berufsanfänger vom virtuellen Training, wie eine unlängst publizierte Metaanalyse zeigen konnte [15].

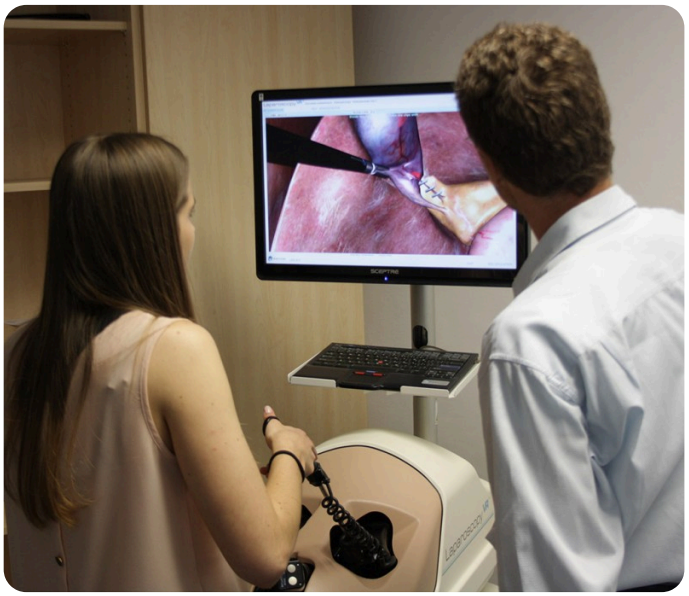

Abb. 1: Der Laparoskopie-Simulator Laparoscopy VR (CAE, Montreal, Kanada) simuliert realistisch definierte Skills, aber auch komplexe Operationen, wie hier eine Cholezystektomie. (© CTAC Trainingskurs, AG MITI, TU München)

Fallspezifische Simulation und Teamtraining

Die oben aufgeführten Simulatoren beschränken sich auf den Eingriff selbst bzw. auf Teilaspekte einer Operation oder definierte operative Fähigkeiten. Sie sparen bewusst den OP-Saal und andere Personen aus, was im Hinblick auf operative Fähigkeiten wohl insofern sinnvoll ist, als eine zu umfassende und immersive Simulation auch negative Effekte auf das Training haben kann. Die Entwicklung der hochimmersiven virtuellen Realität durch die Universitätsmedizin Mainz und die Universität Magdeburg (Abb. 2), die einen konventionellen VR-Laparoskopie-Trainer mit einer fotorealistischen VR-basierten OP-Simulation kombiniert, ermöglicht es, das Skills-Training in eine realistische Umgebung zu transferieren. Erste Untersuchungen ergaben, dass diese komplexe Simulation als realistischer angesehen und von den Probanden als anregender eingestuft wurde, das Skills-bezogene Training jedoch hierunter leidet [16]. Dies bestätigt auch eine vergleichbare skandinavische Studie, die zeigte, dass zu viele Details vom eigentlichen Training ablenken können [17]. Somit sollte die realistischere Simulation erst als weitere Stufe und nach dem Training am einfachen VR-Trainer angesehen werden, um Chirurg:Innen auf den Einsatz im Operationssaal vorzubereiten.

Umfängliche OP-Simulationen dienen somit weniger der Verbesserung der manuellen Fähigkeiten, sondern vor allem dem Teamtraining und der Optimierung der interdisziplinären Kooperation. Dies zeigt etwa die Arbeit von Szerbo, der ebenfalls verfügbare Skills-Trainer in eine VR-Umgebung integriert, hierbei aber vor allem auf die Teamkommunikation und Entscheidungsfindung fokussiert. Wie die Studie klar belegt, profitieren diese tatsächlich von dem hoch immersiven VR-Training [18]. Im Gegensatz dazu steht eine Studie zum Trouble-Shooting in der Laparoskopie, die nur auf die Verbesserung der Fähigkeiten einer Person abzielt und eben nicht auf die Interaktion im Team [19]. Auch wenn die Studie erfahrene Chirurg:innen und Trainees unterscheiden mag, so ist der Trainingseffekt der OP-Simulation doch gering. Die Autoren vermuten, dass dies an der wenig anspruchsvollen Aufgabe liegen könnte, aber eben gerade auch an der fehlenden Teaminteraktion. Entsprechend verwundert es nicht, dass die Probanden den hoch immersiven Ansatz als wenig geeignet für ein Training ansehen [19]. Die Studie zeigt hierbei, wie wichtig es ist, dass die angewandte Technologie bzw. VR-Umgebung zur zu trainierenden Fähigkeit passt und der Immersionsgrad und der Anspruch der Übung adäquat ist.

Ein weiterer Grund für die schlechte Bewertung in dieser Studie könnte aber auch die fehlende Benchmark gewesen sein, die der Bewertung der Leistung dient und als Trainingsmotivation fungiert. Dies ist insofern verwunderlich, da dies gerade die Stärke der VR-Simulation darstellt, die aufgrund der digitalen Umsetzung in idealer Weise Metriken ableiten kann. Wie es besser geht, zeigt die Arbeitsgruppe um D. Jones, die einen KI-basierten Algorithmus nutzt, um die Performance in einer VR-OP-Simulation zu erfassen. Auch wenn die gewählte Situation eines Feuers im OP ein seltenes Ereignis darstellen mag, konnten mehrere Studien des Teams die Eignung dieser Simulation belegen. Zudem zeigen die Arbeiten sehr schön, dass sich die VR insbesondere für nicht alltägliche und möglichweise gefährliche Simulationen eignet [20]. Somit stellt die Kombination der herkömmlichen Simulatoren für den Beginn der Lernkurve mit der immersiven VR-Simulation in der Chirurgie eine Möglichkeit dar, auch erfahrene Chirurg:Innen in Extremsituationen und/oder Teamtraining zu trainieren. Die Möglichkeiten der VR sind hierbei nahezu unbegrenzt, wie eine aktuelle Arbeit eindrucksvoll belegt. Sie nutzt nicht nur herkömmliche VR-Trainer und eine virtuelle OP-Simulation, sondern integriert diese in eine umfassende Trainingsumgebung, die u.a. über eine Bibliothek und DICOM-Bilddatenbank verfügt. Das dargestellte Lehrkrankenhaus kommt der Idee eines „Surgical Metaverse" somit bereits schon sehr nahe [21]. Der virtuelle OP dient nicht nur dem Training von Chirurg:Innen, sondern hilft auch Patient:Innen die Angst vor operativen Eingriffen zu nehmen [20] bzw. Student:innen, die keinen freien Zugang zum OP haben [22].

Telemedizin und intraoperative Guidance

Virtuelle OP-Szenarien dienen aber nicht nur dem patientenunabhängigen Training, sondern können auch fallbegleitend eingesetzt werden. Der Hintergedanke hierbei ist die Unterstützung eines weniger erfahrenen Teams durch externe Expertise im Sinne der Telemedizin. Anstatt einer reinen audiovisuellen Verbindung erlaubt eine derartige Simulation die freie Bewegung im Raum und den Zugriff auf relevante Kontext-Informationen. Dies kann in Verbindung mit einer Videokommunikation erfolgen (Mixed-Reality/Augmented Reality) oder als alleinige VR-Reproduktion. Auch wenn derartige Ansätze noch unter der verfügbaren Datenbandbreite leiden,

können durch die Verwendung von Avataren und Punktewolken, bereits akzeptable Simulationen erreicht werden [23]. So nutzte ein Team an der TU München modernste Kompressionstechniken und Algorithmen, um teleassistierte Notfallversorgungen zu ermöglichen, wie etwa bei einer Kraniotomie [24] oder aber für Eingriffe an der Wirbelsäule. Zudem wurde das System in der Behandlung von Intensivszenarien im Rahmen der COVID Versorgung evaluiert, wobei auf alle Geräteparameter (u.a. Beatmung, Monitoring) und KIS-Dokumente zugegriffen werden konnte [25]. Im Gegensatz zur oben aufgeführten Simulation handelt es sich hierbei um ein virtuelles Abbild einer realen Szene, das in Echtzeit realisiert wird.

Abb. 2: „Ready Surgeon One"– Entwicklung der hoch immersiven virtuellen Realität in der laparoskopischen Simulation kombiniert virtuelle Operationsumgebungen mit chirurgischem Skills-Training. (© Universitätsmedizin Mainz, BMBF-Projekt 16SV8057 „AVATAR", Foto: Dr. Laura Hanke)

Digitaler Zwilling und Model-basierte Ansätze

Jenseits der Simulation von interdisziplinärem Arbeiten und spezifischen Skills, gewinnt die VR-Simulation auch in der Prozessoptimierung und Entwicklung neuer Technologien an Bedeutung. So nutzt die Forschungsgruppe MITI der TU München aktuell OP-Simulationen für die Evaluation und Optimierung mobiler Robotersysteme [26] oder auch, um Workflowprozesse im OP und in der Klinik anzupassen [27] (Abb. 3). Auf Basis zuvor erfasster Daten (Aktivitäten im OP, Patientenworkflow, etc.) können, wie in der Industrie-Logistik, komplexe Prozesse simuliert werden und die Einflüsse von räumlichen Änderungen oder technischen Modifikationen untersucht werden. Neben den oben genannten Indikationen sehen wir aber auch ein hohes Potenzial für chirurgische Prozesse und Operationen. Hierbei können sowohl zuvor aufgenommene Daten als Grundlage dienen oder die Modellierung erfolgt anhand von Realtime-Daten, die in sogenannten Szenengrafen abgebildet werden, und es werden einzelne Objekte (Personen, Geräte) auf Basis von Attributen und Interaktionen in einem simulierten Netzwerk zueinander in Verbindung gebracht [28]. Durch eine nun mögliche multidimensionale Betrachtung der Objektinteraktion und Ableitung von definierten Metriken erwartet man hierdurch zukünftig Verbesserungen des Gesamtworkflows [29].

Abb. 3: Im BFS-Projekt AURORA (BFS AZ-1409-19) entwickeln wir derzeit ein mobiles Roboter-Assistenzsystem, das u. a. in einer virtuellen OP-Umgebung optimiert und validiert wird. Die Abbildung zeigt in diesem Zusammenhang die 2-D-OP-Simulation mit den einzelnen OP-Sälen und Arbeitspunkten und den Arbeitspfaden der als roten Kreis gezeichneten Roboter. (© Lukas Bernhard, AG MITI, TU München)

Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Dieser kurze Übersichtsartikel zeigt bereits die Vielzahl an Anwendungsbereichen und den potentiellen Nutzen virtueller OP-Umgebungen, sowohl für Training und Ausbildung, aber auch für die Prozessoptimierung und Technologieentwicklung. Während höher immersive Simulationen bislang an der verfügbaren Rechenleistung und der Komplexität der Szenen scheiterten, dürften derartige Probleme aufgrund technischer Weiterentwicklungen zukünftig weniger bedeutsam sein. Zudem existieren kommerziell verfügbare Modelle für die OP-Simulation, welche die Umsetzung ebenfalls unterstützen. Eine umfassende Simulation chirurgischer Operationen hingegen stellt weiter eine Herausforderung dar, da diese nicht nur die (idealerweise patientenindividuelle) virtuelle Anatomie sowie Gewebe und Objektinteraktionen abbilden muss, sondern auch Komplikationen (wie z. B. Blutungen oder Minderperfusionen) und die biomechanischen Eigenschaften (Elastizität, Reißfestigkeit etc.) realistisch simulieren sollte. Nur so kann ein effektives, virtuelles, chirurgisches Training aller Weiterbildungsstufen in Zukunft möglich sein. Eine deutsche Initiative unter Einbindungen ausgewiesener Experten aus Klinik und Computerwissenschaften ist aktuell bemüht, diesen Ball aufzunehmen und eine neue Form des chirurgischen Trainings auf Basis von VR-Simulation zu realisieren [30].

Auch wenn medizinische Behandlung immer eine direkte Beziehung zwischen Patient:innen und Ärzt:innen sein sollte, ist davon auszugehen, dass die virtuelle Realität und damit der virtuelle OP-Saal zukünftig eine wesentliche Rolle spielen werden.

Literatur

[1] https://www.mckinsey.com/capabilities/growth-marketing-and-sales/our-insights/value-creation-in-the-metaverse 2022. Zugriff am 29.07.2023.
[2] BMBF. https://www.forschung-it-sicherheit-kommunikationssysteme.de/forschung/kommunikationssysteme/5g-taktiles-internet. Zugriff am 3.8.2023].
[3] Kurzweil, R. https://www.thekurzweillibrary.com/foreword-to-virtual-humans Zugriff am 27.07.2023].
[4] Dymora, P., B. Kowal, M. Mazurek, and S. Romana. The effects of Virtual Reality technology application in the aircraft pilot training process. in IOP conference series: materials science and engineering. 2021. IOP Publishing.
[5] Makary, M.A. and M. Daniel, Medical error—the third leading cause of death in the US. Bmj, 2016. 353.
[6] Darzi, A., S. Smith, and N. Taffinder, Assessing operative skill. Needs to become more objective. Bmj, 1999. 318(7188): p. 887-8.
[7] Griffen, F.D., et al., Violations of Behavioral Practices Revealed in Closed Claims Reviews. Annals of Surgery, 2008. 248(3): p. 468-474.
[8] Catchpole, K., A. Mishra, A. Handa, and P. McCulloch, Teamwork and error in the operating room: analysis of skills and roles. Annals of surgery, 2008. 247(4): p. 699-706.
[9] Huber, T., et al., Education Team Time Out in Oncologic Visceral Surgery Optimizes Surgical Resident Training and Team Communication–Results of a Prospective Trial. Journal of Surgical Education, 2023.
[10] Schiff, L., et al., Quality of communication in robotic surgery and surgical outcomes. JSLS: Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons, 2016. 20(3).
[11] Weber, J., et al., Effects of flow disruptions on mental workload and surgical performance in robotic-assisted surgery. World journal of surgery, 2018. 42: p. 3599-3607.
[12] Li, L., et al., Application of virtual reality technology in clinical medicine. American journal of translational research, 2017. 9(9): p. 3867.
[13] Lehmann, K.S., et al., A prospective randomized study to test the transfer of basic psychomotor skills from virtual reality to physical reality in a comparable training setting. Annals of surgery, 2005. 241(3): p. 442.
[14] Calatayud, D., et al., Warm-up in a virtual reality environment improves performance in the operating room. Annals of surgery, 2010. 251(6): p. 1181-1185.
[15] Humm, G., et al., The impact of virtual reality simulation training on operative performance in laparoscopic cholecystectomy: meta-analysis of randomized clinical trials. BJS open, 2022. 6(4): p. zrac086.
[16] Huber, T., et al., New dimensions in surgical training: immersive virtual reality laparoscopic simulation exhilarates surgical staff. Surgical endoscopy, 2017. 31: p. 4472-4477.
[17] Frederiksen, J.G., et al., Cognitive load and performance in immersive virtual reality versus conventional virtual reality simulation training of laparoscopic surgery: a randomized trial. Surgical endoscopy, 2020. 34: p. 1244-1252.
[18] Scerbo, M.W., et al. A virtual operating room for context-relevant training. in Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. 2007. Sage Publications Sage CA: Los Angeles, CA.
[19] Abelson, J.S., et al., Virtual operating room for team training in surgery. The American Journal of Surgery, 2015. 210(3): p. 585-590.
[20] De, S., C.D. Jackson, and D.B. Jones, Intelligent Virtual Operating Room for Enhancing Nontechnical Skills. JAMA surgery, 2023. 158(6): p. 662-663.
[21] Chheang, V., et al. Towards virtual teaching hospitals for advanced surgical training. in 2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW). 2022. IEEE.
[22] Pérez-Escamirosa, F., et al., Immersive virtual operating room simulation for surgical resident education during COVID-19. Surgical Innovation, 2020. 27(5): p. 549-550.
[23] Yu, K., et al., Avatars for teleconsultation: Effects of avatar embodiment techniques on user perception in 3d asymmetric telepresence. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2021. 27(11): p. 4129-4139.
[24] Yu, K., et al. Magnoramas: Magnifying dioramas for precise annotations in asymmetric 3d teleconsultation. in 2021 IEEE Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR). 2021. IEEE.
[25] Roth, D., et al. Real-time mixed reality teleconsultation for intensive care units in pandemic situations. in 2021 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW). 2021. IEEE.
[26] Bernhard, L., et al., Mobile service robots for the operating room wing: balancing cost and performance by optimizing robotic fleet size and composition. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 2023. 18(2): p. 195-204.
[27] Amato, C., et al., The hospital of the future: rethinking architectural design to enable new patient-centered treatment concepts. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 2022. 17(6): p. 1177-1187.
[28] Hamoud, I., et al. ST (OR) S^ 2S: Spatio-Temporal Object Level Reasoning for Activity Recognition in the Operating Room. in Medical Imaging with Deep Learning. 2023.
[29] Özsoy, E., et al., Multimodal semantic scene graphs for holistic modeling of surgical procedures. arXiv preprint arXiv:2106.15309, 2021.
[30] Benz, S. https://www.surgical-simulation.net/ Zugriff am 4.8.2023].

Autor:in des Artikels

Prof. Dr. med. Dirk Wilhelm

Technische Universität München

School of Medicine

Klinikum rechts der Isar, Klinik

Poliklinik für Chirurgie

CTAC, Sektion für Computer- und Telematik assistierte Chirurgie der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie (DGCH)

PD Dr. med. Tobias Huber

Klinik für Allgemein-, Viszeral- und Transplantationschirurgie
Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität
Mainz
CTAC, Sektion für Computer- und Telematik assistierte Chirurgie der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie (DGCH)

Wilhelm D, Huber T: „Ready Surgeon One?" – Chirurgie im virtuellen OP-Saal. Passion Chirurgie. 2023 Oktober; 13(10): Artikel 03_02.