

Med Klin Intensivmed Notfmed
<https://doi.org/10.1007/s00063-023-01095-8>
Eingegangen: 16. Oktober 2023
Angenommen: 30. Oktober 2023

© The Author(s) 2023

Redaktion

Matthias Baumgärtel, Nürnberg
Michael Joannidis, Innsbruck



Medical Extended Reality in der digitalen Notfallmedizin

Von der Ausbildung zur klinischen Anwendung

Thomas C. Sauter¹ · Gert Krummrey^{1,2} · Wolf E. Hautz¹ · Tanja Birrenbach¹

¹ Universitätsklinik für Notfallmedizin, Inselspital Universitätsspital Bern, Bern, Schweiz

² Medizininformatik, Berner Fachhochschule, Biel, Schweiz

In diesem Beitrag

- High-acuity-low-occurrence-Situationen
- Medical Extended Reality
Augmented Reality • Virtual Reality (VR) • Mixed Reality
- HALO-Assist-Konzept zur sinnvollen Anwendung von MXR
Grundlage und Rahmenbedingungen • Simulationsbasierte Ausbildung • HALO-Assist in Augmented Reality
- Ausblick

Zusammenfassung

Hintergrund: Die Notfallmedizin steht vor der Herausforderung, mit begrenzten Ressourcen eine optimale Versorgung zu gewährleisten. Insbesondere in seltenen, aber kritischen Situationen (High-acuity-low-occurrence[HALO]-Situationen) ist fundiertes Fachwissen essenziell. Bisherige Ausbildungsansätze sind zeitlich begrenzt und ressourcenintensiv.

Ziel der Arbeit: Medical Extended Reality (MXR) bietet vielversprechende Lösungsansätze. Diese Arbeit gibt einen Einblick in die verschiedenen Bereiche von MXR und zeigt am Beispiel des HALO-MXR-Konzepts die Anwendung von MXR in der Notfallmedizin.

Ergebnisse und Diskussion: Die MXR umfasst Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) und Mixed Reality (MR). Die AR überlagert die reale Welt mit digitalen Informationen, verbessert die Wahrnehmung und ermöglicht interaktive Elemente. Die VR erzeugt eine künstliche 3D-Umgebung, in die der Nutzer eintaucht. Die MR kombiniert reale und virtuelle Elemente. Die MXR bietet Vorteile wie ortsunabhängiges Lernen, virtuelle Betreuung und Skalierbarkeit. Sie kann jedoch bestehende Ausbildungsformate nicht ersetzen, sondern sollte in ein Gesamtkonzept eingebettet werden.

Das HALO-MXR-Konzept am Inselspital Bern beinhaltet E-Learning, simulationsbasiertes Training in VR und den HALO-Assist-Support durch AR. Der HALO-Assist bietet rund um die Uhr AR-Unterstützung bei HALO-Prozeduren mit Kommunikation über Audio und Video mit eingeblendeten Annotationen und Flowcharts.

Schlussfolgerung: Die Integration von MXR in die Notfallmedizin verspricht eine effizientere Ressourcennutzung und erweiterte Trainingsmöglichkeiten. Das HALO-MXR-Konzept zeigt, wie MXR-simulationsbasiertes Training VR und AR effektiv kombiniert und die Anwendung von HALO-Prozeduren verbessert.

Schlüsselwörter

Virtuelle Realität · Erweiterte Realität · Medizinische Ausbildung · REBOA – Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

Hintergrund

In der Notfallmedizin müssen häufig unter Zeitdruck weitreichende und komplexe Entscheidungen getroffen und Interventionen durchgeführt werden. Finanzielle Ressourcenknappheit und Fachkräftemangel zusammen mit steigenden Patientenzahlen stellen die Notfallmedizin vor die große Herausforderung, mit begrenzten

Ressourcen eine optimale Notfallversorgung auf hohem Qualitätsniveau zu gewährleisten. Das Fehlen einer Facharztausbildung für Notfallmedizin in Deutschland, Österreich und in der Schweiz (DACH-Region) führt hier zu einer Lücke in der Expertise, die in einem Bereich mit komplexen Anforderungen ein großes Problem darstellt. In vielen Fällen ist die Ausbildung von Ärzten, die sich für Notfallmedizin in-

teressieren, noch mehr oder weniger eine Frage von „learning by doing“ oder basiert auf dem Dogma „see one, do one, teach one“ erschwert durch Schichtdienste und nicht planbare Arbeitsbelastung. Entsprechend zeigen Bedarfsanalysen den Wunsch nach interaktiven, zeitunabhängigen Lernformen, die moderne Formen des Wissenstransfers integrieren [12, 13].

High-acuity-low-occurrence-Situationen

Neben zahlreichen Routineaufgaben durchbrechen in unregelmäßigen Abständen sog. High-acuity-low-occurrence (HALO)-Situationen den Alltag in der klinischen und präklinischen Notfallmedizin. Diese Situationen zeichnen sich dadurch aus, dass sie zwar selten auftreten, aber gleichzeitig kritische Maßnahmen in kurzer Zeit sicher durchgeführt werden müssen. Welche Prozeduren und Situationen in die Gruppe der HALO-Ereignisse fallen, variiert je nach Setting, d. h. von Klinik zu Klinik und von Rettungsdienst zu Rettungsdienst, aber auch je nach Ausbildungsstand. Während in kleineren Häusern und für unerfahrene Notfallmediziner:innen bereits das Legen einer Thoraxdrainage als HALO bezeichnet werden kann, sind in größeren Zentren Prozeduren wie das Legen eines temporären Schrittmachers, das Legen einer „resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta“ (REBOA) oder chirurgische Atemwegssicherungen entsprechend selten, hoch akut und können Unsicherheiten, Probleme und Stress auslösen.

» Bei lange zurückliegendem Training werden HALO-Prozeduren unter Unsicherheit durchgeführt

Notaufnahmen und Rettungsdienste begegnen diesen HALO-Situationen bisher mit verschiedenen Trainingskonzepten, die in der Regel regelmäßige Simulationstrainings, Standard Operating Procedures und Ähnliches umfassen. Wo möglich und sinnvoll werden vereinzelt auch komplexere Trainings z. B. an Körperspendern oder Tiermodellen durchgeführt. Allerdings liegen solche Trainings in einer konkreten HALO-Situation oft schon Wochen oder Monate zurück. In der Konsequenz wer-

den HALO-Prozeduren entweder gar nicht, nicht zeitgerecht oder unter Unsicherheit durchgeführt, was potenziell erhebliche Auswirkungen auf die Gesundheit der Patient:innen sowie das Wohlbefinden der Mitarbeiter:innen hat. Je nachdem welche Maßnahmen im lokalen Kontext als HALO-Prozeduren angesehen werden, reichen die Folgen für die Patient:innen von vermeidbaren Beeinträchtigungen (z. B. durch eine verspätet eingelegte Thoraxdrainage) bis hin zum Tod (z. B. durch eine nicht eingelegte REBOA).

» Große Zentren lösen die Problematik von HALO-Situationen mit entsprechenden Bereitschaftsdiensten

Große Zentren lösen die Problematik von HALO-Situationen national und international durch die Vorhaltung entsprechender Bereitschaftsdienste. In der Fläche wird diese Möglichkeit aus nachvollziehbaren wirtschaftlichen Gründen in der Regel nicht genutzt und auch große Zentren können nicht rund um die Uhr Kompetenz in allen HALO-Verfahren sicherstellen.

Um diesen und ähnlichen Problemen zu begegnen, sind in den letzten Jahren neue technische Möglichkeiten entstanden, die sowohl die simulationsbasierte Ausbildung als auch die klinische Arbeit mit innovativen Techniken unterstützen können. Die Erweiterung der Realität, auch Medical Extended Reality (MXR) genannt, mit technischen Hilfsmitteln hat das Potenzial, die simulationsbasierte Ausbildung zu verändern, aber auch im klinischen Alltag unterstützend eingesetzt zu werden.

Medical Extended Reality

Unter MXR versteht man allgemein die Erweiterung der Grenzen der Realität der medizinischen Praxis und Ausbildung mit technischen Hilfsmitteln durch die Schaffung immersiver und interaktiver Erfahrungen. Die MXR umfasst die Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) und Mixed Reality (MR).

Augmented Reality

Die AR überlagert die reale Welt mit digitalen Informationen und verbessert die

Wahrnehmung der Umgebung durch Hinzufügen kontextbezogener und interaktiver digitaler Elemente, mit denen auch interagiert werden kann. Dabei bleibt die Verbindung mit der realen Welt erhalten. Die AR kann z. B. für die Einblendung von Vitalzeichen, Flussdiagrammen oder für Ausbildung und Training eingesetzt werden [11].

Virtual Reality (VR)

Die VR ist eine Technologie, bei der der Benutzer mithilfe eines am Kopf getragenen Geräts (VR-Headset) in eine künstliche 3D-Umgebung eintaucht. Grundlegend für das Lernen mit VR ist die Immersion, das Eintauchen in die virtuelle Umgebung und damit das Gefühl der Präsenz in der virtuellen Welt [7]. Die virtuelle Umgebung bietet Interaktionsmöglichkeiten, wie in den Händen gehaltene Controller oder zunehmend direkte Interaktion mit z. B. Hand-Tracking, die es den Nutzern ermöglicht, mit ihren eigenen Handbewegungen in die virtuelle Welt einzutauchen.

» Nutzer können in Zukunft mit ihren eigenen Handbewegungen in die virtuelle Welt eintauchen

Die VR-Simulationen haben sich als nützliches und wirksames Instrument vor allem für das Training chirurgischer und technischer Fähigkeiten erwiesen [10, 14]. Sie kann jedoch auch für das Training nichttechnischer Fertigkeiten genutzt werden [3]. Die Vorteile von VR für das Training von Notfallsituationen liegen vor allem in der Skalierbarkeit, die insbesondere für die beliebige Wiederholung von risikoreichen oder ressourcenintensiven Trainingsthemen wichtig ist. Im Idealfall ist ein autonomes Training möglich. Hierbei können die Auszubildenden selbständig und zeit- und ortsunabhängig lernen. Diese Vorteile waren insbesondere auch während der Kontaktrestriktionen in der Coronapandemie sinnvoll und nützlich [2].

Mixed Reality

Die MR verschmilzt virtuelle und reale Elemente und ermöglicht es, reale Objekte in virtuelle Umgebungen einzubinden und so virtuelle und reale Welt verschmelzen

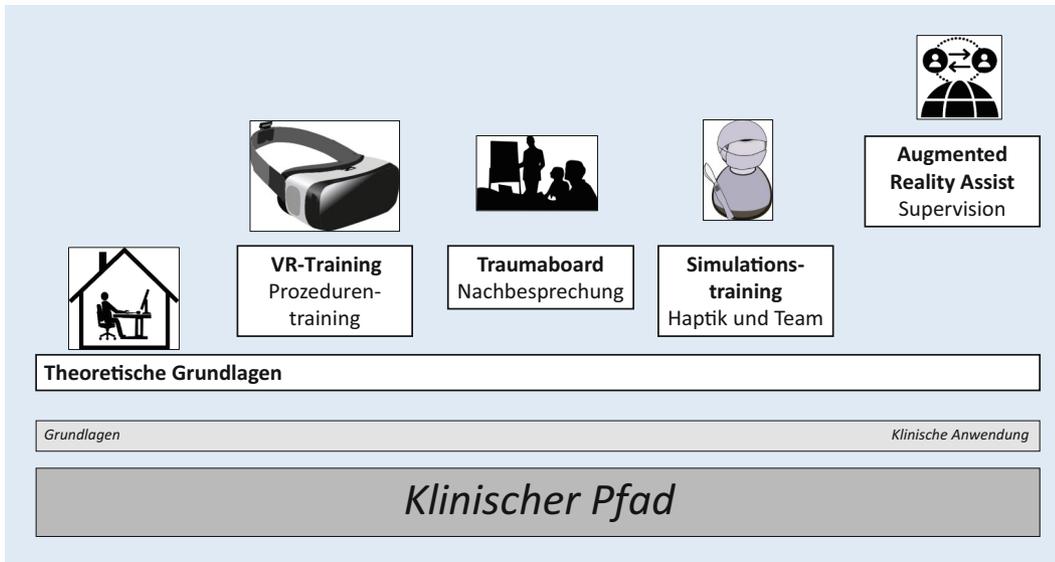


Abb. 1 ◀ HALO-Assist-MXR-Gesamtkonzept. HALO „high acuity low occurrence“, MXR Medical Extended Reality, VR Virtual Reality

zu lassen und Nachteile, wie die eingeschränkte Haptik der VR, zu überwinden. Aktuell wird diese Technik z. B. in der Ausbildung der kardiopulmonalen Reanimation verwendet, bei der ein wesentlicher Teil des Lernziels im haptischen Erleben und der korrekten mechanischen Durchführen der Herzdruckmassage liegt und verschiedene Formen der MXR eingesetzt werden können [5, 9].

Vor dem Hintergrund der zuvor beschriebenen Herausforderungen in der Notfallmedizin kann MXR eine vielversprechende Lösung sein, um zur Bewältigung der mannigfaltigen Herausforderungen beizutragen. Zu den potenziellen Vorteilen zählen

- die Flexibilität des ortsunabhängigen Lernens,
- ein virtuelles Tutoriensystem mit der Möglichkeit des Zugriffs auf Fachwissen von nahezu jedem geografischen Standort aus und
- die Skalierbarkeit von MXR-Anwendungen, die die Reichweite der Ausbildung erhöht und eine effizientere Nutzung der verfügbaren Ressourcen verspricht.

Für eine vertiefte Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten der Nutzung von MXR in der Notfallmedizin ist der Übersichtsartikel von Wu et al. zu empfehlen, der die Anwendungsmöglichkeiten der MXR in der Notfallmedizin zusammenfasst [15]. Tang et al. zeigen in ihrem systematischen Review den aktuellen Einsatz von MXR all-

gemein in der Ausbildung, aber auch in der klinischen Anwendung [14].

Allen Anwendungen von MXR ist gemeinsam, dass sie kein Wundermittel sein können, um bestehende Ausbildungsformate zu ersetzen, sondern dass sie in ein Gesamtkonzept für Ausbildung und Anwendung eingebettet sein sollten. Zur besseren Illustration der vielfältigen Möglichkeiten aber auch zum Aufzeigen der Herausforderungen wird hier ein Beispiel für ein MXR-unterstütztes Curriculum vorgestellt: das HALO-MXR-Konzept.

HALO-Assist-Konzept zur sinnvollen Anwendung von MXR

An der Universitätsklinik für Notfallmedizin (UKN) des Inselspitals Bern, dem größten Traumazentrum der Schweiz und einem der größten im DACH-Raum, wird seit dem Jahr 2020 das REBOA-Verfahren im klinischen Regelbetrieb bei lebensbedrohlichen Blutungen eingesetzt [8]. Pro Jahr werden zwischen 10 und 15 REBOA-Katheter bei polytraumatisierten Patient:innen eingebracht: Es handelt sich bei der REBOA also um eine HALO-Prozedur. Da die Indikation für REBOA selten und das Verfahren anspruchsvoll ist und die Einlage nur in äußerster Notfallsituation durchgeführt wird, gibt es keinen Raum für Fehler. Auch die bisher einzige randomisierte kontrollierte Studie zu REBOA (UK-REBOA Trail) betont die Risiken der Einlage und die Wichtigkeit der Ausbildung und Erfahrung mit der Nutzung des Tools [6]. Trotzdem ist

es bis jetzt unklar, wie die Ausbildung für diese Prozedur optimal aussehen sollte [4], weshalb die Autoren ein innovatives MXR-unterstütztes Konzept vorschlagen.

Grundlage und Rahmenbedingungen

Das gesamte Konzept ist in **Abb. 1** zusammengefasst und ein beispielhafter Aufbau des Augmented-Reality-HALO-Assist-Systems mit Provider im Schockraum und externem Support ist in **Abb. 2** dargestellt. Eine wichtige Grundlage der Entwicklung ist die Erstellung eines klinischen Pfads unter Einbezug aller beteiligten Spezialisten, der nicht nur die Indikationen für die REBOA-Einlage, sondern auch das weitere Vorgehen nach der Einlage umfasst. Diese Theorie über die Indikation, das lokale Vorgehen und ein theoretisches schrittweises Vorgehen bei der REBOA-Implantation mit Videos wird als E-Learning zur Verfügung gestellt. Im Rahmen der Qualitätssicherung werden zudem alle REBOA-Patient:innen und solche, die sich potenziell für dieses Verfahren qualifiziert hätten, in einem monatlich stattfindenden interdisziplinären Traumaboard besprochen.

Simulationsbasierte Ausbildung

Ein weiterer Baustein ist der simulationsbasierte Ausbildungsteil bestehend aus VR-Training und vor Ort-Training.

Die Autoren bieten zeitunabhängig ein REBOA Training in VR an, das von ihnen spe-



Abb. 2 ◀ Aufbau des Augmented Reality HALO-Assist. HALO „high acuity low occurrence“

ziell für das Selbststudium zusammen mit einer VR-Firma entwickelt wurde. Lernziel des VR-Trainings ist der prozedurale Ablauf, d. h. das Erlernen des schrittweisen Durchführens des Eingriffs. Die Entwicklung und Evaluation der „usability“ ist separat detailliert beschrieben [1]. Mit dem VR-Training ist ein angeleiteter Modus möglich, bei dem der Eingriff Schritt für Schritt vom virtuellen Tutor instruiert wird. Ebenfalls ist das Training durch beliebig viele Personen durchführbar und z. B. eine Instruktion durch einen erfahrenen REBOA-Provider aus den USA möglich. Das VR-Training ist zeitunabhängig verfügbar und kann ohne Trainer selbstständig durchgeführt und für Wiederholungen und Auffrischungen genutzt werden.

» Die Anwendung von HALO-Assist mit Augmented-Reality-Brille wird in Simulationsübungen trainiert

Zusätzlich umfasst das Training eine vierteljährlich angebotene klassische Simulation mit haptischer Simulationspuppe zum Erfahren der echten Materialien und Erleben der Haptik. Wichtig ist hier, dass die Anwendung des im nachfolgenden beschriebenen HALO-Assist mit Augmented-Reality-Brille bereits im Rahmen von Simulationsübungen trainiert wird. Dieses Training ist nicht nur für den HALO-Assist-Provider am Patienten zum Erlernen des Umgangs mit der AR-Brille wichtig, sondern auch für den HALO-Assist-Support zu Hause, da die technischen Fallstricke, aber auch Eigenheiten der Kommunikation, wie z. B. die Gefahr der Ablenkung über die AR-

Brille etc., diskutiert und trainiert werden müssen.

HALO-Assist in Augmented Reality

Aufbauend auf das E-Learning und die simulationsbasierte Ausbildung inklusive VR-Training wurde ein „HALO-Assist-Support“ genannter Hintergrunddienst eingerichtet, der rund um die Uhr hinzugezogen werden kann und durch Augmented Reality in der Indikationsstellung, Durchführung und Nachsorge der HALO-Prozeduren unterstützt. Aktuell ist der HALO-Assist für die Einlage einer REBOA am Insepspital seit Januar 2023 im Regelbetrieb.

» Die AR-Brille stellt beim Start eine Verbindung zum HALO-Assist-Support her

Der HALO-Assist besteht beim Provider im Schockraum aus einer HoloLens 2 (Microsoft, Redmond, WA, USA; ▣ Abb. 3) sowie einem Laptop beim assistierenden HALO-Assist-Support. Der HALO-Assist-Support wird bei Anmeldung eines hämodynamisch instabilen Traumatpatienten oder einer schweren postpartalen Blutung alarmiert. Im Traumateam wird vor Eintreffen der Patient:in eine Person als HALO-Assist-Provider vor Ort bestimmt und mit der AR-Brille ausgestattet. Die AR-Brille ist ausschließlich auf mobiles Internet über ein Mobilfunknetz angewiesen und kann sowohl im Schockraum als auch präklinisch eingesetzt werden.

Die AR-Brille ist so konfiguriert, dass sie beim Start eine Verbindung zum HALO-Assist-

Support herstellt. Dabei kommt eine Audio- und Videoverbindung analog einer normalen Videokonferenz am Computer zustande. Der HALO-Assist-Support kann sehen, was der HALO-Assist-Provider sieht und – auch in sehr lauter hektischer Umgebung – mit ihr/ihm sprechen. Daneben hat der HALO-Assist-Support die Möglichkeit, dem Provider in seinem Blickfeld eine stationäre Annotation, z. B. einen Pfeil oder eine sonstige Markierung, einzublenden oder ein Flussdiagramm anzuzeigen (▣ Abb. 4). Der Provider selbst kann Objekte frei im Raum positionieren. Dazu erkennt die AR-Brille die Gesten des Providers. Die Bedienung funktioniert auch mit sterilen Handschuhen oder unter schwierigen Beleuchtungsbedingungen.

Die Autoren haben den Einsatz des HALO-Assists inkl. einer technischen Einführung in ihr Simulationstrainings integriert, um die Hemmschwelle zum Einsatz der Technologie zu senken und Vertrauen und Akzeptanz in die Idee des HALO-Assist und der Augmented-Reality-Technologie zu schaffen. Darüber hinaus zeichnen sie alle HALO-Prozeduren auf, um Training, Qualitätssicherung und Implementationsforschung zu ermöglichen.

Um den HALO-Assist in seiner Funktion zu unterstützen und die Dokumentation der HALO-Prozeduren zu vereinheitlichen, haben die Autoren eine „REBOA-Checkliste“ für den HALO-Assist-Support entwickelt, in der die Details der Prozedur dokumentiert werden. Insbesondere Parameter, wie Zeitpunkt des Aortenverschlusses oder Ballonvolumen, die für den



Abb. 3 ◀ Einblenden von visuellen Hilfen. Der HALO-Assist-Support kann dem HALO-Assist-Provider beliebige Objekte in sein Blickfeld, wie einen Pfeil (gelb) oder ein Flussdiagramm, einblenden. Der Provider kann die Objekte durch einfache Gesten im Raum positionieren. HALO „high acuity low occurrence“



Abb. 4 ▲ HALO-Assist. Ein HALO-Assist-Support kann remote sehen, was der HALO-Assist-Provider (im Bild) vor Ort sieht, ohne dass die AR-Brille stört, selbst wenn der Operator Brillenträger ist. Support und Provider können miteinander sprechen, auch wenn es sehr laut ist, ohne dass es andere stört. HALO „high acuity low occurrence“

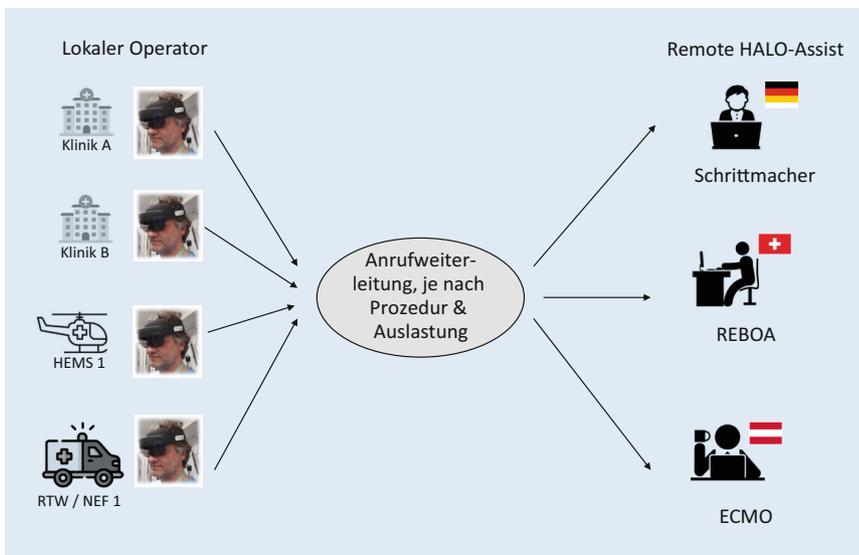


Abb. 5 ▲ Struktur des HALO-Assist-Netzwerks. HALO „high acuity low occurrence“, REBOA „resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta“, ECMO extrakorporale Membranoxygenierung

weiteren Verlauf entscheidend sind, werden so zuverlässig dokumentiert.

Zentren an verschiedenen Standorten zu definieren (▣ Abb. 5).

Ausblick

Wie bei allen MXR-Technologien kann auch beim HALO-Assist und dem VR-Training der Vorteil der Skalierbarkeit nur bei ausreichender Verbreitung voll zum Tragen kommen. Der Einsatz dieses MXR-Konzepts ist keineswegs auf eine Klinik oder die Indikation REBOA beschränkt. Vielmehr können sowohl die Anzahl der beteiligten Kliniken und Kompetenzzentren als auch die HALO-Indikationen erweitert und auf den präklinischen Bereich ausgedehnt werden. So wäre es denkbar, verfahrensspezifische

Fazit für die Praxis

- Vor dem Hintergrund der dargestellten Herausforderungen in der Notfallmedizin, insbesondere bei der Bewältigung von High-acuity-low-occurrence (HALO)-Situationen, eröffnet die Integration von Medical Extended Reality (MXR) vielversprechende Möglichkeiten zur Bewältigung der vielfältigen Anforderungen.
- Die Flexibilität des ortsunabhängigen Lernens, die Möglichkeit der virtuellen Unterstützung von nahezu jedem geografischen Standort aus sowie die Skalierbarkeit von MXR-Anwendungen versprechen eine effizientere Nutzung der vorhandenen Ressourcen und eine Erweiterung der Reichweite der Ausbildung.

Korrespondenzadresse



Prof. Dr. med. Thomas C. Sauter, MME

Universitätsklinik für Notfallmedizin, Inselspital
Universitätsklinik Bern
Freiburgstr. 16c, 3010 Bern, Schweiz
thomas.sauter@insel.ch

Funding. Open access funding provided by University of Bern

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. T.C. Sauter, G. Krummrey, W.E. Hautz und T. Birrenbach 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.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Birrenbach T, Wespi R, Hautz WE et al (2023) Development and usability testing of a fully immersive VR simulation for REBOA training. *Int J Emerg Med* 16:67. <https://doi.org/10.1186/s12245-023-00545-6>
- Birrenbach T, Zbinden J, Papagiannakis G et al (2021) Effectiveness and utility of virtual reality simulation as an educational tool for safe performance of COVID-19 diagnostics: prospective, randomized pilot trial. *JMIR Serious Games* 9:e29586. <https://doi.org/10.2196/29586>
- Braçq M-S, Michinov E, Jannin P (2019) Virtual reality simulation in nontechnical skills training for healthcare professionals: a systematic review. *Sim Healthcare* 14:188–194. <https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000347>
- Engberg M, Taudorf M, Rasmussen NK et al (2020) Training and assessment of competence in resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA)—a systematic review. *Injury* 51:147–156. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.11.036>
- Fijačko N, Metličar Š, Kleesiek J et al (2023) Virtual reality, augmented reality, augmented virtuality, or mixed reality in cardiopulmonary resuscitation: which extended reality am I using for teaching adult basic life support? *Resuscitation* 192:109973. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2023.109973>
- Jansen JO, Hudson J, Cochran C et al (2023) Emergency department resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta in trauma patients with exsanguinating hemorrhage: the UK-REBOA randomized clinical trial. *JAMA*. <https://doi.org/10.1001/jama.2023.20850>
- Kardong-Edgren S, Farra SL, Alinier G, Young HM (2019) A call to unify definitions of virtual reality. *Clin Simul Nurs* 31:28–34. <https://doi.org/10.1016/j.jecns.2019.02.006>
- Knapp J, Jakob DA, Haltmeier T et al (2022) „Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta“ bei schwer verletzten Patienten im Schockraum: eine Fallserie. *Anaesthesiologie* 71:599–607. <https://doi.org/10.1007/s00101-022-01100-3>
- Kuyt K, Park S-H, Chang TP et al (2021) The use of virtual reality and augmented reality to enhance cardio-pulmonary resuscitation: a scoping review. *Adv Simul* 6:11. <https://doi.org/10.1186/s41077-021-00158-0>
- Kyaw BM, Saxena N, Posadzki P et al (2019) Virtual reality for health professions education: systematic review and meta-analysis by the digital health education collaboration. *J Med Internet Res* 21:e12959. <https://doi.org/10.2196/12959>
- Munzer BW, Khan MM, Shipman B, Mahajan P (2019) Augmented reality in emergency medicine: a scoping review. *J Med Internet Res* 21:e12368. <https://doi.org/10.2196/12368>
- Sauter TC, Exadaktylos A, Krummrey G et al (2018) Development, implementation and first insights of a time- and location-independent longitudinal postgraduate curriculum in emergency medicine. *GMS J Med Educ* 35(4):Doc44. <https://doi.org/10.3205/ZMA001190>
- Shappell E, Ahn J (2017) A needs assessment for a longitudinal emergency medicine intern

Medical extended reality in digital emergency medicine. From education to clinical application

Background: Emergency medicine faces the challenge of providing optimal care with limited resources. Especially in rare but critical situations (high-acuity low occurrence [HALO] situations), sound expertise is essential. Previous training approaches are time-limited and resource-intensive.

Aim of the work: Medical extended reality (MXR) offers promising solutions. This article gives insight into the different areas of MXR and shows the application of MXR in emergency medicine using the HALO-MXR concept as an example.

Results and discussion: MXR encompasses augmented reality (AR), virtual reality (VR) and mixed reality (MR). AR overlays digital information on the real world, enhancing perception and enabling interactive elements. VR creates an artificial three-dimensional (3D) environment in which the user is immersed. MR combines real and virtual elements. MXR offers advantages such as location-independent learning, virtual mentoring and scalability. However, it cannot replace existing training formats, but should be embedded in an overall concept. The HALO-MXR concept at Inselspital Bern includes e-learning, simulation-based training in VR and on-site, and HALO-Assist support through augmented reality. HALO-Assist provides around-the-clock AR support for HALO procedures via audio and video communication as well as overlaid annotations, objects and flowcharts.

Conclusion: The integration of MXR into emergency medicine promises more efficient use of resources and enhanced training opportunities. The HALO-MXR concept demonstrates how MXR effectively combines simulation-based training in VR and AR assist to enhance the application of HALO procedures.

Keywords

Virtual reality · Augmented reality · Medical education · REBOA – Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta

- curriculum. *WestJEM* 18:31–34. <https://doi.org/10.5811/westjem.2016.9.31493>
- Tang YM, Chau KY, Kwok APK et al (2022) A systematic review of immersive technology applications for medical practice and education—trends, application areas, recipients, teaching contents, evaluation methods, and performance. *Educ Res Rev* 35:100429. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2021.100429>
- Wu T-C, Ho C-TB (2023) A scoping review of metaverse in emergency medicine. *Australas Emerg Care* 26:75–83. <https://doi.org/10.1016/j.uec.2022.08.002>

Hinweis des Verlags. Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.