

Anas Amin Preukschas

Dr. med.

Mobile, echtzeitige und bettseitige erweiterte Realität in der Chirurgie

Fach/Einrichtung: Chirurgie

Doktorvater: Prof. Dr. med. Beat Peter Müller

Der Chirurg benötigt in der Behandlung von Patienten radiologische Bilddaten. Der Zugang zu diesen Bilddaten ist jedoch meist sowohl örtlich als auch zeitlich vom Patienten getrennt. In Notfallsituationen und bei komplexen Situationen auf der Intensivstation ist ein schneller und patientennaher Zugang zu Bilddaten essentiell. Mobile Technologien und dreidimensionale Visualisierung von Bilddaten ermöglichen die Durchführung einer mobilen, echtzeitigen und bettseitigen erweiterten Realität dieser Daten. Solch ein System zur erweiterten Realität im Sinne einer echtzeitigen und bettseitigen Fusion der dreidimensionalen Bilddaten mit dem Patienten könnte helfen, effizient, sicher und patientennah Entscheidungen zu treffen, die interdisziplinäre Kommunikation zu verbessern und notwendige medizinische Maßnahmen durchzuführen. Ziel dieser Arbeit war, die Machbarkeit und Genauigkeit eines Systems zur erweiterten Realität im Phantom- und Tierversuch zu evaluieren, sowie die klinische Machbarkeit im humanen Pilotversuch zu demonstrieren.

Im Phantomversuch wurde ein menschenähnlicher Torso mit Silikonorganen aus eigener Herstellung verwendet. Auf dem Abdomen dieses Phantoms wurden Marker für die erweiterte Realität und die Genauigkeitsmessung angebracht. Danach wurde eine Computertomographie durchgeführt und eine dreidimensionale Visualisierung dieser Bilddaten erzeugt und mit einem Tablet-Computer diese Visualisierung mit den Kamerabildern mittels punktbasierter rigider Registrierung fusioniert. Die Evaluation erfolgte innerhalb eines als Viertelkugel definierten Visualisierungsraumes. Dieser Raum wurde in 3 Distanzen (30, 45 und 60 cm), 9 Gierwinkel (-75°, -60°, -45°, -30°, 0°, 30°, 45°, 60° und 75°) und 6 Neigungswinkel (15°, 30°, 45°, 60°, 75° und 90°) eingeteilt und die Machbarkeit und der Reprojektionsfehler in den jeweiligen Positionen erfasst. Der Reprojektionsfehler ist als gemittelter Abstand der rückprojizierten zweidimensionalen Markermittelpunkte zu den manuell definierten Markermittelpunkten im dreidimensionalen Volumen definiert. Die Evaluation der Machbarkeit und Genauigkeit im Tierversuch erfolgte analog zum Phantomversuch. Abschließend wurde die Machbarkeit im klinischen Pilotversuch demonstriert. Im klinischen Versuch wurden die radiologischen

Bilddaten mittels Magnetresonanztomographie erzeugt. Innerhalb der Gruppen wurde ein Mehrgruppenvergleich mittels des Kruskal-Wallis-Tests durchgeführt. Bei einem statistisch signifikanten Ergebnis erfolgte der post-hoc paarweise Vergleich mittels Dunn-Test mit Bonferroni-Korrektur für multiples Testen. Das Signifikanzniveau α wurde auf 5% festgelegt.

Im Phantomversuch (N=10) war die Darstellung der erweiterten Realität in 83,9% des Visualisierungsraumes möglich. Die Durchführbarkeit war 78,5% bei 30cm Distanz und erhöhte sich bei 45 cm (85,0%; $p < 0,001$) und 60 cm (88,3 %; $p < 0,001$). In der Mitte des Phantoms lag sie bei 96,1 % und verringerte sich zur rechten Seite hin bei -30° (91,3%; $p < 0,001$), -45° (91,3%; $p = 1,0$), -60° (77,3; $p < 0,001$) und -75° (29,3%; $p < 0,001$) und auch zur linken Seite hin bei 30° (95,3%; $p = 1,0$), 45° (92,7%; $p = 0,269$), 60° (90%; $p = 0,269$) und 75° (89,3%; $p = 1,0$). Bei einem Neigungswinkel von 90° war sie bei 100% und verringerte sich bei 75° (94,4%; $p = 0,034$), 60° (91,9%; $p = 0,002$), 45° (89,6%; $p = 0,049$), 30° (83,7%; $p < 0,001$) und 15° (42,2%; $p < 0,001$). Der Reprojektionsfehler war im Mittel bei $2,83 \text{ mm} \pm 2,68 \text{ mm}$ (Minimum: 0,00 mm, Maximum: 21,21 mm, 95 %-Quantile: 6,71 mm). Bei 30cm Distanz war er bei $2,57 \pm 2,58 \text{ mm}$ und erhöhte sich bei 45cm ($2,64 \pm 2,53 \text{ mm}$; $p = 0,029$) und bei 60cm ($3,23 \pm 2,84 \text{ mm}$; $p < 0,001$).

Er betrug in der Mitte des Phantoms $2,81 \pm 2,66 \text{ mm}$; Zur rechten Seite -30° ($2,82 \pm 2,68 \text{ mm}$; $p = 1,0$), -45° ($2,80 \pm 2,40 \text{ mm}$; $p = 1,0$), -60° ($2,71 \pm 2,27 \text{ mm}$; $p = 1,0$) und -75° ($3,47 \pm 3,26 \text{ mm}$; $p < 0,001$) und zur linken Seite 30° ($2,65 \pm 2,59 \text{ mm}$; $p = 1,0$), 45° ($2,62 \pm 2,78 \text{ mm}$; $p = 1,0$), 60° ($2,95 \pm 2,69 \text{ mm}$; $p < 0,001$) und 75° ($3,07 \pm 3,02 \text{ mm}$; $p = 1,0$). Er betrug $2,39 \pm 2,13 \text{ mm}$ bei einem Neigungswinkel von 90° und veränderte sich bei 75° ($2,68 \pm 2,19 \text{ mm}$; $p = 0,042$), 60° ($2,23 \pm 2,04 \text{ mm}$; $p < 0,001$), 45° ($2,74 \pm 2,52 \text{ mm}$; $p < 0,001$), 30° ($3,11 \pm 2,97 \text{ mm}$; $p = 0,001$) und 15° ($4,04 \pm 3,76 \text{ mm}$; $p < 0,001$).

Im Tierversuch war die Darstellung der erweiterten Realität in 79,3 % des Visualisierungsraumes möglich. Die Durchführbarkeit war bei 30cm Distanz bei 78,3% und erhöhte sich bei 45 cm (80,4%; $p = 0,039$) und verringerte sich bei 60 cm (79,1 %; $p = 0,272$). In der Mitte des Tieres war die sie bei 96,1% und verringerte sich zur rechten Seite hin bei -30° (84%; $p < 0,001$), -45° (85,3%; $p = 1,0$), -60° (72%; $p < 0,001$) und -75° (42,7%; $p < 0,001$) und zur linken Seite hin bei 30° (92%; $p = 0,536$), 45° (82,7%; $p < 0,001$), 60° (78,7%; $p = 0,347$) und 75° (77,3%; $p = 1,0$). Bei einem Neigungswinkel von 90° war sie 100% und verringerte sich bei 75° (97,8%; $p = 1,0$), 60° (95,6%; $p = 0,608$), 45° (89,6%; $p < 0,001$), 30° (77%; $p < 0,001$) und 15° (34,1%; $p < 0,001$). Der Reprojektionsfehler ergab beim Tier einen Mittelwert von $2,83 \text{ mm} \pm 2,68 \text{ mm}$ (Minimum: 0,00 mm, Maximum: 21,21 mm, 95 %-Quantile: 6,71 mm). Bei 30cm Distanz war er $2,70 \pm 2,33 \text{ mm}$ und erhöhte sich bei 45cm ($3,39 \pm 2,84 \text{ mm}$; $p < 0,001$) und bei 60cm ($4,42 \pm 3,44 \text{ mm}$;

$p < 0,001$). Er betrug in der Mitte des Tieres bei $3,42 \pm 2,44$ mm. Zur rechten Seite -30° ($4,02 \pm 3,37$ mm; $p=0,211$), -45° ($3,84 \pm 3,07$ mm; $p=1,0$), -60° ($3,97 \pm 3,35$ mm; $p=1,0$) und -75° ($4,81 \pm 4,09$ mm; $p=0,123$). Zur linken Seite 30° ($3,43 \pm 2,83$ mm; $p=1,0$), 45° ($3,13 \pm 2,85$ mm; $p=0,146$), 60° ($2,99 \pm 2,36$ mm; $p=1,0$) und 75° ($2,76 \pm 2,77$ mm; $p < 0,018$). Er betrug $2,91 \pm 2,15$ mm bei einem Neigungswinkel von 90° und veränderte sich bei 75° ($3,13 \pm 2,29$ mm; $p=0,283$), 60° ($3,13 \pm 2,39$ mm; $p=1,0$), 45° ($3,58 \pm 3,02$ mm; $p=0,008$), 30° ($3,93 \pm 3,54$ mm; $p=0,618$) und 15° ($5,02 \pm 4,54$ mm; $p < 0,001$). Der Reprojektionsfehler im Phantomversuch war im Vergleich zum Tierversuch signifikant geringer ($2,83$ mm vs. $3,52$ mm, $P < 0,001$, zweiseitig). Die mobile, echtzeitige und bettseitige erweiterte Realität am Menschen konnte in einem realitätsnahen Schockraumsetting erfolgreich durchgeführt werden. Mobile, echtzeitige und bettseitige erweiterte Realität für die klinische Anwendung ist machbar, robust und genau. Der klinische Arbeitsablauf wird minimal beeinflusst. Der Mensch-Maschine-Schnittstelle war einfach und intuitiv zu benutzen. Die Machbarkeit und Genauigkeit ist geeignet für die klinische Erprobung und Benutzung eines solchen Systems. Die erweiterte Realität war in den peripheren Positionen des definierten Visualisierungsraumes fehleranfälliger und ungenauer. Hauptgründe für Fehler waren die Verdeckung der Marker und der Registrierungsalgorithmus. Markerlose Trackingverfahren oder die Verwendung anderer Marker könnte die Durchführbarkeit noch steigern. Die Genauigkeit war im Phantommodell höher als im Tiermodell. Mögliche beeinflussende Faktoren sind die Atembewegung und das Immobilisierungsverfahren beim Tierversuch. 95% der gemessenen Reprojektionsfehler waren < 10 mm und somit für den klinischen Gebrauch geeignet. In dem untersuchten System werden Organbewegungen und -deformationen noch nicht berücksichtigt. Eine Implementierung eines Kompensationsmechanismus könnte die Genauigkeit verbessern. Die vorliegende Studie zeigt das Potential der erweiterten Realität den ambulanten und stationären medizinischen Behandlungsprozess zu verändern. Das derzeitige System kann in einem nächsten Schritt in einer klinischen Pilotstudie evaluiert werden.

