

Bedeutung und Potenzial des Simulationstrainings in der interventionellen Radiologie

Importance and potential of simulation training in interventional radiology

Autorinnen/Autoren

Kornelia Kreiser¹, Nico Sollmann², Martin Renz³

Institute

- 1 RKU, Department of Neuroradiology, University Hospital Ulm, Germany
- 2 Department of Diagnostic and Interventional Radiology, University Hospital Ulm, Germany
- 3 Departement of Diagnostic and Interventional Neuroradiology, Technical University of Munich Hospital Rechts der Isar, Munchen, Germany

Key words

education, treatment planning, patient-specific rehearsal, hightech simulation, 3D prints

eingereicht 01.12.2022

akzeptiert 22.03.2023

Artikel online veröffentlicht 03.05.2023

Bibliografie

Fortschr Röntgenstr 2023; 195: 883–889

DOI 10.1055/a-2066-8009

ISSN 1438-9029

© 2023, Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

Dr. Kornelia Kreiser

RKU, Department of Neuroradiology, University Hospital Ulm, Oberer Eselsberg 45, 89081 Ulm, Deutschland

Kornelia.Kreiser@rku.de

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund Simulationstraining ist heute in vielen medizinischen Disziplinen verfügbar und dient der Vermittlung von inhaltlichen Kenntnissen, manuellen Fertigkeiten und Teamfähigkeiten ohne potenzielle Patientengefährdung.

Methode Es wird erläutert, welche Simulationsmodelle und -methoden in der interventionellen Radiologie zur Verfügung stehen. Es werden Stärken und Schwächen sowohl von Simulatoren für nichtvaskuläre als auch vaskuläre radiologische Interventionen aufgezeigt und auf nötige zukünftige Entwicklungen eingegangen.

Ergebnisse Für nichtvaskuläre Eingriffe stehen sowohl individuell angefertigte als auch kommerziell erhältliche Phantome zur Verfügung. Die Interventionen laufen entweder unter Ultraschallkontrolle, computertomografisch gestützt oder im Rahmen von Mixed-reality-Methoden ab. Dem Verschleiß physischer Phantome kann mit der Eigenproduktion von 3D-gedruckten Modellen begegnet werden. Vaskuläre Interventionen können an Silikonmodellen oder Hightech-Simulatoren trainiert werden. Immer häufiger werden dabei auch reale Patientenfälle nachgebildet und präinterventionell simuliert. Der Evidenzgrad ist allerdings bei allen genannten Methoden niedrig.

Schlussfolgerung In der interventionellen Radiologie stehen zahlreiche Simulationsmethoden zur Verfügung. Training an Silikonmodellen und Hightech-Simulatoren für vaskuläre Interventionen hat das Potenzial, die prozedurale Dauer zu verringern. Dies ist mit einer verringerten Strahlendosis für Arzt und Patient assoziiert und trägt zumindest in der endovaskulären Schlaganfallbehandlung auch zu einem verbesserten Patientenoutcome bei. Auch wenn ein höherer Evidenzgrad erreicht werden muss, sollte Simulationstraining bereits heute in die Leitlinien der Fachgesellschaften und entsprechend in die Curricula der radiologischen Abteilungen integriert werden.

Kernaussagen:

- Es existieren zahlreiche Simulationsmethoden für nichtvaskuläre und vaskuläre radiologische Interventionen.
- Punktionsmodelle können kommerziell erworben oder mittels 3D-Druck angefertigt werden.
- Silikonmodelle und Hightech-Simulatoren erlauben patientenspezifisches Training.
- Simulationstraining senkt die Interventionsdauer, wovon Patient und Arzt profitieren.
- Eine Steigerung der Evidenz ist über den Nachweis reduzierter prozeduraler Zeiten möglich.

Zitierweise

- Kreiser K, Sollmann N, Renz M. Importance and potential of simulation training in interventional radiology. Fortschr Röntgenstr 2023; 195: 883–889

ABSTRACT

Background Simulation training is a common method in many medical disciplines and is used to teach content knowledge, manual skills, and team skills without potential patient danger.

Methods Simulation models and methods in interventional radiology are explained. Strengths and weaknesses of both simulators for non-vascular and vascular radiological interventions are highlighted and necessary future developments are addressed.

Results Both custom-made and commercially available phantoms are available for non-vascular interventions. Interventions are performed under ultrasound guidance, with computed tomography assistance, or using mixed-reality methods. The wear and tear of physical phantoms can be countered with in-house production of 3D-printed models. Vascular interventions can be trained on silicone models or high-tech simulators. Increasingly, patient-specific anatomies are replicated and simulated pre-intervention. The level of evidence of all procedures is low.

Conclusion Numerous simulation methods are available in interventional radiology. Training on silicone models and

hightech simulators for vascular interventions has the potential to reduce procedural time. This is associated with reduced radiation dose for both patient and physician, which can also contribute to improved patient outcome, at least in endovascular stroke treatment. Although a higher level of evidence should be achieved, simulation training should already be integrated into the guidelines of the professional societies and accordingly into the curricula of the radiology departments.

Key Points:

- There are numerous simulation methods for nonvascular and vascular radiologic interventions.
- Puncture models can be purchased commercially or made using 3D printing.
- Silicone models and hightech simulators allow patient-specific training.
- Simulation training reduces intervention time, benefiting both the patient and the physician.
- A higher level of evidence is possible via proof of reduced procedural times.

1. Einleitung

Den Anspruch auf gut ausgebildete Ärzte dürfte jeder Patient zu Recht besitzen. Jede medizinische Behandlung sollte mit der größtmöglichen Sorgfalt und Expertise durchgeführt werden und Komplikationen nicht nur erkannt, sondern auch beherrscht werden. Wie aber werden Ärzte zu Experten auf ihrem Gebiet? Welche Ausbildungsmethoden führen zu diesem hohen Level an Professionalität?

In den meisten (nichtmedizinischen) Ausbildungsberufen folgt auf eine theoretische Wissensvermittlung zunächst eine Phase des praktischen Übens an Trainingsobjekten und Modellen. Erst mit dem Erreichen einer gewissen Expertise darf der Anfänger reale Arbeitsaufträge ausführen. Auch in der Ausbildung von Medizinstudierenden spielen Modelle, Schauspielpatienten und Simulatoren eine immer größere Rolle. Danach, in der fachärztlichen Weiterbildung, steht dagegen zwischen dem vertiefenden theoretischen Wissenserwerb und der praktischen Anwendung am Patienten häufig kein Modell oder Testobjekt mehr.

Dabei wurden die ersten „Simulatoren“ bereits vor über 2500 Jahren entwickelt [1]. Es gibt zahlreiche, meist anekdotische Berichte der letzten Jahrhunderte von anatomischen Modellen aus Wachs, Holz oder Glas sowie mechanischen, teils auch hydraulischen Geräten [2]. Grundsätzlich negiert wird der Nutzen von Simulation in der medizinischen Weiterbildung zwar nicht, dennoch steigt die Akzeptanz und Einsatzhäufigkeit nur sehr langsam. Eine breite Anwendung findet Simulation heute vor allem in der Anästhesie. Nach der Einführung des Mannequins „Resusc-Anne“ in den 1960er Jahren führten zahlreiche Weiterentwicklungen zum heutigen Standard. Anhand computer- und ferngesteuerter Trainingsszenarien können anästhesiologische Notfälle ein-

zeln oder im Team trainiert werden. Zum Einsatz kommen diese regelhaft im Rettungsdienst, im Medizinstudium und in der ärztlichen Ausbildung [3]. Auch für viele geburtshilfliche, chirurgische und andere minimalinvasive Eingriffe gibt es bereits kommerziell erhältliche Simulatoren [4–6], deren Anwendung aber nur in Einzelfällen bereits in nationale Ausbildungsleitlinien Einzug gehalten hat [7, 8].

Gerade in der Weiterbildung kann allerdings die Übung an Modellen sowohl auf den ersten Einsatz am Patienten vorbereiten als auch ein nützliches begleitendes Werkzeug zur praktisch angeleiteten Wissensvermittlung darstellen. Simulation als Trainingsmethode eignet sich besonders in der Radiologie hervorragend zur Kompetenzvermittlung, da sowohl diagnostische als auch interventionelle Methoden ohnehin bildbasiert ablaufen. Ein Delphi-Panel unter dänischen Radiologen hat deshalb Themen identifiziert, die geeignet sind mittels Simulation trainiert zu werden. Interventionen betrafen dabei 6 von 13 genannten Prozeduren [9]:

- ultraschallgestützte Biopsien und Feinnadel-Aspirationen
- Punktionen und Drainagen
- Nierenbiopsien und Nephrostomien
- Feinnadel-Biopsien und Punktionen der Brust
- Computertomografisch (CT)-gestützte Biopsien oder Drainagen
- vaskuläre Interventionen inklusive Angiografien.

Im Folgenden soll ein Überblick über Einsatzmöglichkeiten, Schwächen und Stärken von Simulatoren sowohl für nichtvaskuläre radiologische Eingriffe als auch endovaskuläre radiologische Interventionen gegeben werden. ► **Tab. 1.** enthält relevante Aspekte zu Anwendungsgebieten, Bildgebungsmethoden, Kosten und Realitätsgrad.

<p>► Tab. 1 Überblick über Simulatoren, deren Anwendungsgebiete, geschätzte Kosten, Realitätsgrad, den Einsatz von Röntgenstrahlung und die Option patientenspezifischen Trainings. € < 100 Euro, €€ < 10 000 Euro, €€€ < 50 000 Euro, €€€€ > 50 000 Euro; + = gering; ++ = sehr gering; +++ = in einigen Aspekten realistisch, ++++ = in vielen Aspekten realistisch.</p>							
	Anwendungsgebiet	Verfügbare Simulatoren	Geschätzte Kosten	Realitätsgrad	Röntgenstrahlung nötig	Patientenspezifisches Training möglich	
Nichtvasculäre Interventionen	Ultraschallgestützte Biopsien, Punktionen und Drainagen	Gelatine, Styropor	€	+	nein	nein	
		kommerzielle Phantome (Harz, Kunststoff, Silikon)	€€	++	nein	nein	
		3D-Druck (Harz, Kunststoff, Silikon)	€€	++	nein	ja	
Vasculäre Interventionen	Computertomografiegestützte Biopsien, Punktionen und Drainagen	Gelatine, Styropor	€	+	nur bei fluoroskopischer Anwendung	nein	
		kommerzielle Phantome (Harz, Kunststoff, Silikon)	€€	++		nein	
		3D-Druck	€€	++		a	
	Kathetergestützte Angiografien	kommerzielle Silikonmodelle	€€€	+++	optional	nein	
		3D-Druck Silikonmodelle	€€	+++	optional	ja	
		Hightech-Simulatoren	€€€€	++++	nein	ja	

2. Simulatoren

2.1 Anwendungen von Simulatoren in der nicht-vasculären Radiologie

2.1.1. Simulation von ultraschallgestützten Methoden

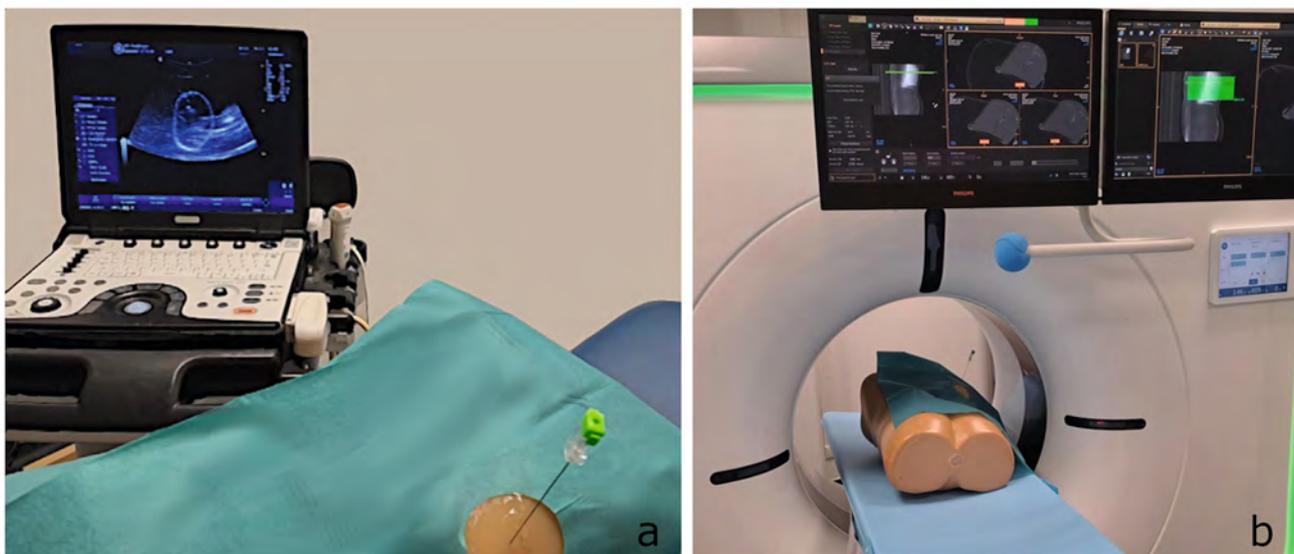
Die Technik diagnostischer Ultraschalluntersuchungen wie auch ultraschallgestützter Interventionen kann an vielerlei Modellen geübt werden: Preisgünstig sind selbstgemachte Gelatinemodelle [10], in die auch kleinere Objekte, wie z. B. Medikamentenkapseln, eingelassen werden können. Bis in den hohen vierstelligen Eurobereich kosten dagegen kommerzielle Phantome unterschiedlicher Organsysteme, gefertigt aus Kunststoff, Harz oder Silikon (► **Abb. 1a**) [11, 12]. Ein Review von Kahr et al. konnte 42 Studien zum Simulationstraining von ultraschallgestützten Prozeduren identifizieren, bescheinigte aber allen methodische Defizite unterschiedlicher Art: Fehlende Kontrollgruppen, fehlende Randomisierung oder die Testung des Erfolgs am selben Modell, wie es im Training verwendet wurde. 2 Studien konnten immerhin in der späteren klinischen Anwendung im Vergleich zu historischen Kontrollgruppen eine Reduktion der Komplikationsraten feststellen [13]. Keine der genannten Methoden ist zudem in der Lage dynamische Untersuchungsaspekte, wie Atembewegungen oder Darmmotilität, zu imitieren.

Eine komplexere Trainingsmethode aller perkutanen Punktionen stellt die Nutzung von Mixed-Reality-Methoden dar. Auch hier wird unter Ultraschallkontrolle eine Nadel in ein synthetisches Modell eingebracht. Neben dem 2D-Ultraschallbild sieht der Lernende auf einem zweiten Bildschirm oder mithilfe einer Virtual-Reality-Brille die Nadel zusätzlich innerhalb einer 3D-Simulation der Anatomie z. B. der knöchernen Wirbelsäule, was die Interpretation des Ultraschallbilds erheblich erleichtert [14–16].

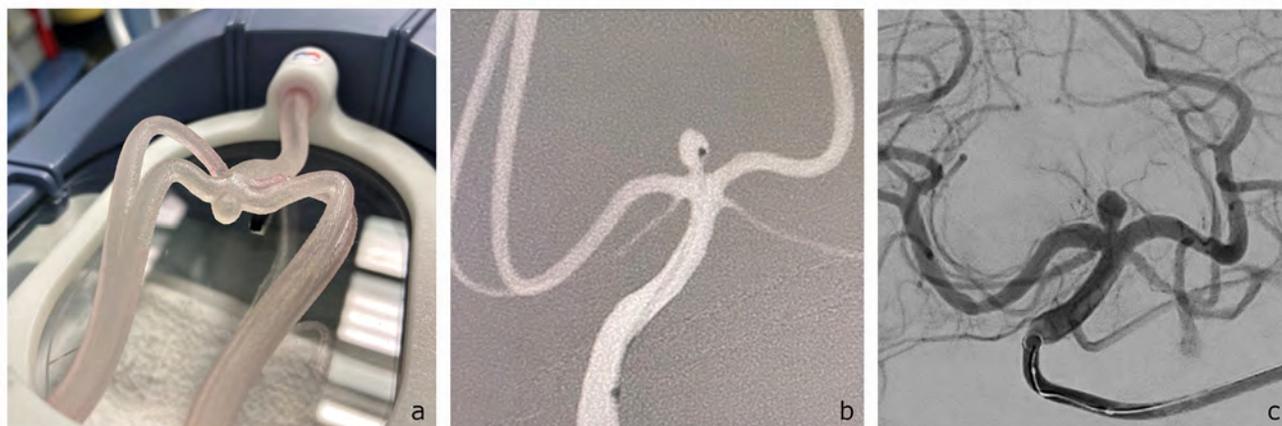
2.1.2. Simulation von computertomografiegestützten Methoden

CT-gestützte Interventionen werden bislang vorrangig mit Phantomen in realer Umgebung, also unter Einsatz von Röntgenstrahlung, geübt [17, 18]. Zur Anwendung kommen auch hier entweder selbst angefertigte oder kommerziell erhältliche Phantome (► **Abb. 1b**). CT-Interventionen können grundsätzlich unter Nutzung sequenzieller Schichtbilder oder mittels CT-Fluoroskopie durchgeführt werden. Bei der sequenziellen Technik werden üblicherweise auf Pedaldruck oder Auslösung im Schaltraum 3 Schichten im Abstand weniger Millimeter akquiriert, die jeweils nach der Manipulation des eingebrachten Gerätes zur Kontrolle der Position dienen. Hierzu kann der Interventionalist entweder im Raum bleiben oder diesen kurz verlassen. Sequenzielle CT-Interventionen lassen sich dementsprechend problemlos in einer realen CT-Umgebung üben, ohne dass sich der Trainierende unbedingt der Röntgenstrahlung aussetzen muss.

Die CT-Fluoroskopie erlaubt eine zeitlich höher aufgelöste Bildkontrolle, wie es beispielsweise bei Vertebroplastien von Vorteil ist. Das Punktionsgerät wird dabei unter permanenter gepulster Strahlung eingebracht und der Interventionalist steht während der ganzen Prozedur in nächster Nähe der Gantry [19]. Weil bei entsprechender Expertise mit der CT-Fluoroskopie die Strahlen-



► **Abb. 1** Kommerzielles Phantom **a** für ultraschallgestützte Interventionen, **b** für computertomografiegestützte Interventionen.



► **Abb. 2** **a** Patientenspezifisches Silikonmodell eines Basilariskopfaneurysmas; **b** Road-Map-Darstellung des Silikonmodells in der Angiografiesuite mit einliegendem Mikrokatheter; **c** reale Angiografie des Patienten zu Beginn der interventionellen Behandlung; zur Verfügung gestellt von T. Boeckh-Behrens.

belastung für den Patienten gegenüber der sequenziellen CT sogar gesenkt werden kann [20], wäre gerade hierfür ein strahlungsfreier Simulator sinnvoll und wünschenswert. Ein solcher ist in der Literatur allerdings bislang nicht erwähnt. Erst kürzlich beschrieben wurde dagegen eine Punktionstechnik, die zwar auf einer primären CT-Bildgebung beruht, aber zur Einbringung der Geräte eine Tracking-Kamera nutzt [21]. Angewandt wird dieses Verfahren bereits durch Neurochirurgen und Orthopäden im Rahmen navigierter Wirbelsäulenoperationen. Sowohl in der klinischen Anwendung, aber natürlich auch im Training, kann diese Methode den Einsatz von Röntgenstrahlen deutlich reduzieren.

Da alle Modelle für CT-gestützte Interventionen denen der ultraschallgestützten Interventionen gleichen, muss auch hier

auf Atemexkursionen oder andere Organbewegungen verzichtet werden.

2.1.3 Einsatz von 3D-Druck-Modellen

Allen bisher genannten Methoden, die ein physisches Punktionsmodell benötigen, gemein ist der Nachteil des Verschleißes der Phantome, die nur für eine begrenzte Anzahl von Punktionen nutzbar sind. Mit 3D-Druckern Modelle aus Kunststoff, Harz oder Silikon selbst anfertigen zu können, eröffnet nicht nur für die Ausbildung von Ärzten, sondern auch bei der Aufklärung von Patienten oder der präinterventionellen Übung spezifischer Fälle neue Möglichkeiten. Durch die inzwischen gesunkenen Kosten für die Anschaffung eines 3D-Druckers wird auch die repetitive Produktion von Modellen zunehmend preisgünstiger. Tubuläre Gefäß-

modelle eignen sich zur Übung der Seldingertechnik und der Sondierung von Gefäßen, einzelne Organe zur Übung von Biopsien. Es können dazu DICOM-Datensätze (DICOM = Digital Imaging and Communications in Medicine) aller bildgebenden Modalitäten als Vorlage genutzt werden [22], sodass auch patientenspezifische Eingriffe geübt werden können.

2.2 Anwendungen von Simulatoren in der vaskulären Radiologie

2.2.1 Silikonmodelle

Transparente Silikonmodelle von Arterien oder Venen erlauben die Betrachtung von außen (► **Abb. 2a**). So kann das Verhalten von Kathetern, Stents und Coils oder auch die Interaktion von Stentretreivern mit (realen oder synthetischen) Thromben räumlich beobachtet werden. Allerdings ist die Haptik durch die deutlich höhere Reibung der Materialien an den Wänden des Modells nicht mit der Realität vergleichbar. Eine Verwendung der Silikonmodelle unter Röntgendurchleuchtung und mit Einsatz von Kontrastmittel oder opaken Thromben ist möglich, aber dann natürlich mit einer gewissen Röntgenstrahlenbelastung für den Trainierenden (und ggf. den Dozenten) verbunden (► **Abb. 2b**). Neben industriell hergestellten Modellen ist auch im vaskulären Bereich der Einsatz abteilungseigener 3D-Drucker beschrieben. Als Lehrmittel in der studentischen Ausbildung werden derartige Modelle zur eindrücklicheren Demonstration, aber auch zur eigenständigen Übung hoch eingeschätzt [23]. Das patientenspezifische Modell erlaubt die Übung des Eingriffs und die Testung verschiedener Materialien, was potenziell zu einer Reduktion sowohl der Interventionsdauer als auch der Materialkosten beitragen kann (► **Abb. 2c**).

Wu et al. beschreiben die Anwendung eines solchen Modells der gesamten Aorta sowohl unter Röntgendurchleuchtung als auch mithilfe einer Infrarotkamera. Letztere macht die Anwendung unabhängig von der Nutzung der Angiosuite und das Tragen von Schutzkleidung unnötig. Die Autoren konstatieren zudem, dass der Bildeindruck realistischer sei als bei einer direkten visuellen oder videoskopischen Betrachtung der Szene [24].

In flüssigkeitsgefüllten Modellen könnte auch die Vermeidung von Luftembolien und die korrekte Injektion von Kontrastmittel geübt werden. Erfahrungsgemäß ist es aber sehr schwierig, diese Systeme in der Vorbereitung komplett zu entlüften, sodass auf diesen Trainingsaspekt meist verzichtet wird. Einige Pumpen können neben laminarem auch pulsatilem Fluss erzeugen. Es ist jedoch anzunehmen, dass dies nur geringe Auswirkungen auf das Verhalten von Kathetern oder Implantaten hat. Ein größerer Einfluss dürfte bei der Applikation von Flüssigembolisaten oder Partikeln zu erwarten sein. In der einzigen hierzu verfügbaren Publikation zur Simulation von Chemoembolisierungen der Leber wird allerdings aufgrund technischer Hindernisse dennoch mit laminarem Fluss gearbeitet [25].

Dass ein Training mit Silikonmodellen die angiografische Performance verbessert, konnte für die diagnostische Neuroangiografie bereits nachgewiesen werden [26]. Andere Autoren beschreiben die Anwendung zum fallspezifischen Training von arteriovenösen renalen Fisteln [27], Milzarterienaneurysmen [28]



► **Abb. 3** Hightech-Simulator während des Coilings eines Hirnarterienaneurysmas.

oder in der Vorbereitung von Aorten-Stentgrafts [29], allerdings ohne Daten zu Trainingseffekten zu präsentieren.

2.2.2 Hightech-Simulatoren

Hightech-Simulatoren wurden in den letzten 2 Jahrzehnten zunächst meist in Kursen verwendet, kommen aber inzwischen zunehmend auch in der klinikinternen Ausbildung zum Einsatz (► **Abb. 3**). Dabei werden reale Katheter verwendet, deren Bewegung innerhalb programmierter Szenarien gänzlich strahlungsfrei an Monitoren beobachtet werden können. Die Haptik der Schub-, Zug- und Drehbewegungen bzw. des Widerstandes bspw. in sehr kleinen Gefäßen kommt mittlerweile der Realität relativ nahe. Einzelne Modelle arbeiten auch mit Flüssigkeiten, sodass die Injektionsgeschwindigkeit oder das luftbläschenfreie Arbeiten geübt werden können [30]. Bei Integration des Simulators in eine Angiografiesuite können sogar reale Pedale, Monitore und C-Bögen verwendet werden, um auch deren Benutzung einzuüben. Dies ist insbesondere bei der Anwendung biplaner Angiografieranlagen von Nutzen und ermöglicht es, sich beim ersten Patienten ganz auf die individuelle Prozedur zu konzentrieren [31].

Patientenspezifische Daten können auch hier aus CT- oder MR-angiografischen DICOM-Daten – nach semiautomatischer Segmentierung der Gefäße – in STL-Files umgewandelt und in den Simulator integriert werden. Es bedarf dazu nicht notwendigerweise Daten über die vollständige Anatomie von der Punktionsstelle bis zum Zielgefäß. Fehlende Abschnitte können aus einer Auswahl von Templates ergänzt werden. Nielsen et al. identifizierten immerhin 11 Publikationen zu patientenspezifischem Simulationstraining im Vorfeld interventioneller Eingriffe [32]. 5 davon dienten der Vorbereitung von Carotisstenotings, 6 der Übung von EVAR (endovaskuläre Aortenreparatur)- bzw. TEVAR (thorakale endovaskuläre Aortenreparatur)-Prozeduren. Dabei konnte in allen Studien die Reduktion von ein oder mehreren der folgenden Parameter beobachtet werden: Gesamtdauer der Prozedur, Durchleuchtungszeit, Anzahl der Serien und Kontrastmittelmenge. Zudem kam es in einigen EVAR-Fällen nach der Simulation auch zu einer Anpassung des geplanten Vorgehens hinsichtlich Zugangsseite oder Größe der Implantate.

Von einer kürzeren Prozedur profitiert über die Reduktion der Strahlendosis nicht nur der Patient, sondern auch der durchführende Arzt und das übrige assistierende oder anästhesiologische Personal. Zudem geht eine längere Interventionsdauer mit einer höheren Rate an periprozeduralen Embolien einher [33, 34]. Es gibt also bereits klare Hinweise auf einen Benefit des Patienten vom Simulationstraining des Arztes. Der direkte Nachweis einer Senkung der – ohnehin relativ niedrigen Komplikationsraten – ist dagegen deutlich schwerer zu erbringen [35].

Derzeit noch eine klare Limitation stellt die Simulation sehr kleiner oder komplexer anatomischer Strukturen, etwa von zerebralen Aneurysmen oder arteriovenösen Malformationen dar. Dies gelingt weiterhin noch nicht realistisch genug und muss in der Zukunft deutlich verbessert werden. Erst dann kann das Training nicht nur für Anfänger, sondern auch für erfahrene Radiologen einen Mehrwert bieten.

3. Zusammenfassung

Grundsätzlich gibt es viele Anzeichen dafür, dass alle genannten Simulatoren zu einem höheren Verständnis von interventionellen Prozeduren beitragen können. Dem Verschleiß der physischen Phantome kann man heute gut mit 3D-gedruckten Modellen begegnen. Noch keine Lösung gibt es dagegen zum strahlungsfreien Training von fluoroskopischen CT-Punktionen. Ebenso finden sich auch keine Simulatoren für kernspintomografisch gestützte Punktionen.

Am weitesten fortgeschritten ist die Entwicklung von Silikonmodellen und Hightech-Simulatoren für vaskuläre Interventionen. Insbesondere das patientenspezifische Training an Nachbildungen realer Anatomien im Vorfeld von Interventionen erscheint vielversprechend (► **Abb. 2**).

4. Ausblick

Die zunehmende Verbreitung von simulationsbasiertem Training in der interventionellen Radiologie sollte nun auch zu multizentrischen Bestrebungen führen den Evidenzgrad der Methoden weiter zu erhöhen. Gerade weil in der Radiologie häufig unter Einsatz von Röntgenstrahlen interveniert wird, sollte der Vorteil genutzt werden, dass über deren – technisch leicht zu messende – Reduktion ein entscheidender Benefit für Patient und Arzt erzielt werden kann. Dies ist sehr viel einfacher nachzuweisen als eine Abnahme der Komplikationen, für die es aufgrund der niedrigen Rate sehr hoher Patientenzahlen bedürfte. Zudem ist Simulationstraining über die Senkung der prozeduralen Dauer gerade in der endovaskulären Schlaganfallversorgung von großem Nutzen. Dass hier der Zeitfaktor einen erheblichen Einfluss auf das Patientenoutcome hat, wird nun erstmals in Norwegen im Rahmen einer landesweiten Studie ausgenutzt, die den positiven Effekt von Simulationstraining auf die nationalen Registerdaten von endovaskulär versorgten Schlaganfallpatienten untersucht [36]. Neben der sporadischen Anwendung von Modellen und Simulatoren in Kursen sollten diese Methoden deshalb auch in strukturierten Curricula der radiologischen Abteilungen verankert werden [31, 37]. Für das Curriculum der DeGIR-Zertifizierung ist die Nutzung von Simulatoren als Übungs- und Testmodalität bereits vorgesehen.

Interessenkonflikt

Das Forschungsgebiet von K.Kreiser ist den Geschäftsinteressen von Mentice AB (Göteborg, Schweden) ähnlich. Sie erhält von Mentice AB ausschließlich Reisekostenerstattung, aber keine persönlichen Honorare. Sie ist als Beraterin für Medtronic tätig. Die übrigen Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- [1] Badash I, Burt K, Solorzano CA et al. Innovationen in der Operationsimulation: ein Überblick über vergangene, aktuelle und zukünftige Techniken. *Ann Transl Med* 2016; 4: 453. doi:10.21037/atm.2016.12.24
- [2] Bienstock J, Heuer A. A review on the evolution of simulation-based training to help build a safer future. *Medicine* 2022; 101: e29503. doi:10.1097/MD.00000000000029503
- [3] Rothkrug A, Mahboobi SK. Simulation Training and Skill Assessment in Anesthesiology. 2022 bookchapter in: *StatPearls* [Internet]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557711/>
- [4] Satin AJ. Simulation in Obstetrics. *Obstet Gynecol* 2018; 132 (1): 199–209. doi:10.1097/AOG.0000000000002682
- [5] Pietersen PI, Bjerrum F, Tolsgaard MG et al. Standard Setting in Simulation-based Training of Surgical Procedures: A Systematic Review. *Ann Surg* 2022; 275 (5): 872–882. doi:10.1097/SLA.0000000000005209
- [6] Bube SH, Kingo PS, Madsen MG et al. National Implementation of Simulator Training Improves Transurethral Resection of Bladder Tumours in Patients. *Eur Urol Open Sci* 2022; 39: 29–35. doi:10.1016/j.euros.2022.03.003
- [7] https://register.awmf.org/assets/guidelines/015-083l_S3_Vaginale-Geburt-am-Termin_2021-03.pdf abgerufen am 29.11.2022
- [8] <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/021-014>, abgerufen am 29.11.2022
- [9] Nayahangan LJ, Nielsen KR, Albrecht-Beste E et al. Determining procedures for simulation-based training in radiology: a nationwide needs assessment. *Eur Radiol* 2018; 28 (6): 2319–2327. doi:10.1007/s00330-017-5244-7
- [10] <https://www.nephro-xperts.de/gelatine-ultraschall-phantome/>, abgerufen am 12.11.22
- [11] <https://medicallskilltrainers.cae.com/> abgerufen am 13.11.22
- [12] <https://www.anatomie-moedelle.de/Ultraschall-Modelle>, abgerufen am 13.11.22
- [13] Kahr Rasmussen N, Andersen TT, Carlsen J et al. Simulation-Based Training of Ultrasound-Guided Procedures in Radiology – A Systematic Review. *Ultraschall in Med* 2019; 40 (5): 584–602. doi:10.1055/a-0896-2714
- [14] <http://perk.cs.queensu.ca/contents/perktutor>, abgerufen am 13.11.22
- [15] Freschi C, Parrini S, Dinelli N et al. Hybrid simulation using mixed reality for interventional ultrasound imaging training. *Int J CARS* 2015; 10: 1109–1115. doi:10.1007/s11548-014-1113-x
- [16] Villard PF, Vidal FP, ap Cenydd L et al. Interventional radiology virtual simulator for liver biopsy. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2014; 9 (2): 255–267. doi:10.1007/s11548-013-0929-0
- [17] Picard M, Nelson R, Roebel J et al. Use of Low-Fidelity simulation laboratory training for teaching radiology residents CT-guided procedures. *J Am Coll Radiol* 2016; 13 (11): 1363–1368. doi:10.1016/j.jacr.2016.05.025
- [18] Baadh A, Fadl A, Georgiou N et al. A pilot program for use of a homemade phantom for CT biopsy simulation training. [Abstract No. 376]. *J Vasc Interv Radiol* 2015; 26 (Suppl. 2): S167
- [19] Nakatani M, Kariya S, Ono Y et al. Radiation Exposure and Protection in Computed Tomography Fluoroscopy. *Interv Radiol* 2022; 7 (2): 49–53. doi:10.22575/interventionalradiology.2022-0010

- [20] Cahalane AM, Habibollahi S, Staffa SJ et al. Helical CT versus intermittent CT fluoroscopic guidance for musculoskeletal needle biopsies: impact on radiation exposure, procedure time, diagnostic yield, and adverse events. *Skeletal Radiology* 2022;. Epub ahead of print. doi:10.1007/s00256-022-04226-y
- [21] Van den Bosch V, Salim HS, Chen NZ et al. Augmented Reality-Assisted CT-Guided Puncture: A Phantom Study. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2022; 45 (8): 1173–1177. doi:10.1007/s00270-022-03195-y
- [22] Trace AP, Ortiz D, Deal A et al. Radiology's Emerging Role in 3-D Printing Applications in Health Care. *J Am Coll Radiol* 2016; 13: 856–862.e4. doi:10.1016/j.jacr.2016.03.025
- [23] Goudie C, Kinnin J, Bartellas M et al. The Use of 3D Printed Vasculature for Simulation-based Medical Education Within Interventional Radiology. *Cureus* 2019; 11 (4): e4381. doi:10.7759/cureus.4381
- [24] Wu TC, Weng JY, Lin CJ et al. Patient-Specific 3D-Print Extracranial Vascular Simulators and Infrared Imaging Platform for Diagnostic Cerebral Angiography Training. *Healthcare* 2022; 10 (11): 2277. doi:10.3390/healthcare10112277
- [25] Aramburu J, Antón R, Fukamizu J et al. In Vitro Model for Simulating Drug Delivery during Balloon-Occluded Transarterial Chemoembolization. *Biology* 2021; 10 (12): 1341. doi:10.3390/biology10121341
- [26] Miranpuri AS, Nিকেle CM, Akture E et al. Neuroangiography simulation using a silicone model in the angiography suite improves trainee skills. *J Neurointerv Surg* 2014; 6 (7): 561–564. doi:10.1136/neurintsurg-2013-010826
- [27] Morita R, Abo D, Soyama T et al. Usefulness of preoperative simulation with patient-specific hollow vascular models for high-flow renal arteriovenous fistula embolization using a preloading coil-in-plug technique. *Radiol Case Rep* 2022; 17 (10): 3578–3586. doi:10.1016/j.radcr.2022.07.028
- [28] Itagaki MW. Using 3D printed models for planning and guidance during endovascular intervention: a technical advance. *Diagn Interv Radiol* 2015; 21 (4): 338–341. doi:10.5152/dir.2015.14469
- [29] Stana J, Grab M, Kargl R et al. 3D printing in the planning and teaching of endovascular procedures. *Radiologie* 2022. doi:10.1007/s00117-022-01047-x
- [30] <https://cathi.de/en/hardware-products#hardware-systems>, abgerufen am 30.11.2022
- [31] Kreiser K, Gehling K, Zimmer C. Simulation in Angiography – Experiences from 5 Years Teaching, Training, and Research. *Fortschr Röntgenstr* 2019; 191 (6): 547–552. doi:10.1055/a-0759-2248
- [32] Nielsen CA, Lönn L, Konge L et al. Simulation-Based Virtual-Reality Patient-Specific Rehearsal Prior to Endovascular Procedures: A Systematic Review. *Diagnostics* 2020; 10 (7): 500. doi:10.3390/diagnostics10070500
- [33] Chuah KC, Stuckey SL, Berman IG. Silent embolism in diagnostic cerebral angiography: detection with diffusion-weighted imaging. *Australas Radiol* 2004; 48 (2): 133–138. doi:10.1111/j.1440-1673.2004.01273.x
- [34] Bendszus M, Koltzenburg M, Burger R et al. Silent embolism in diagnostic cerebral angiography and neurointerventional procedures: a prospective study. *Lancet* 1999; 354: 1594–1597. doi:10.1016/S0140-6736(99)07083-X
- [35] Kreiser K, Gehling KG, Ströber L et al. Simulation Training in Neuroangiography: Transfer to Reality. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2020; 43 (8): 1184–1191. doi:10.1007/s00270-020-02479-5
- [36] Schneider MS, Sandve KO, Kurz KD et al. Metric based virtual simulation training for endovascular thrombectomy improves interventional neuroradiologists' simulator performance. *Interventional Neuroradiology* 2022. doi:10.1177/15910199221113902
- [37] Spiotta AM, Turner RD, Turk AS et al. The case for a milestone-based simulation curriculum in modern neuroendovascular training. *J Neurointerv Surg* 2016; 8 (4): 429–433. doi:10.1136/neurintsurg-2014-011546