

# Simulationstraining in der inneren Medizin

*Wolfram Voelker, Friedrich P. Gauper*

- 22.1 Einführung – 250**
- 22.2 Kardiologie und Angiologie – 250**
  - 22.2.1 VR-Simulatoren in der Kardiologie und Angiologie – 251
  - 22.2.2 Kombination mit Full-scale-Simulatoren – 256
  - 22.2.3 Mechanische Trainingsmodelle – 256
  - 22.2.4 Hybrid-Simulatoren – 256
- 22.3 Pneumologie und Gastroenterologie – 256**
  - 22.3.1 Anforderungen an einen Endoskopie-Simulator – 257
  - 22.3.2 VR-Simulatoren in der Pneumologie und Gastroenterologie – 257
  - 22.3.3 Mechanische Trainingsmodelle – 258
  - 22.3.4 Bio-Simulatoren – 259
- 22.4 Curriculare Einbindung der Simulation in die internistische Ausbildung – 260**
- 22.5 Schlussfolgerungen und Ausblick – 261**
- 22.6 Literatur – 261**

## 22.1 Einführung

Aus der Luftfahrt ist bekannt, dass Simulation eine standardisierte Lernumgebung für hocheffektives Training schaffen kann [1]. Piloten müssen sich während ihrer gesamten beruflichen Karriere immer wieder einem Simulator-Training unterziehen, vom Auswahlverfahren über das Re-Zertifizierungstraining bis hin zum Spezialtraining bei der Einführung neuer Flugzeugtypen.

Auch in der medizinischen Aus- und Weiterbildung hat das Simulationstraining mittlerweile Einzug gehalten. So gibt es für verschiedene invasive Prozeduren in der Inneren Medizin mittlerweile auch einzelne Virtual-Reality (VR)-Simulatoren. Im Folgenden wird die Bandbreite dieser Simulatoren beschrieben und die Voraussetzungen diskutiert, die für ihren nutzbringenden Einsatz in der Inneren Medizin erfüllt werden müssen.

Simulationstraining ergänzt die theoretische Wissensvermittlung und vermittelt, in Analogie zur Luftfahrt, praktische Skills und die Fähigkeit zum Management selten auftretender Komplikationen (»Crisis Resource Management«, CRM).

Das Potential des Simulationstrainings in der Inneren Medizin ist sehr breit: So vermitteln VR-Simulatoren ein besseres Verständnis für die jeweilige Prozedur, beispielsweise durch zusätzliche virtuelle (3-D)-Darstellungen. Die Simulation erlaubt ein auf den Trainee maßgeschneidertes Training in stressfreiem Umfeld, wobei die Lerngeschwindigkeit individuell angepasst werden kann und Übungen beliebig häufig wiederholt werden können. Das Simulationstraining ermöglicht die objektive Erfassung des Leistungsvermögens und -zuwachses in einem realistischen Trainingsumfeld. Auf diese Weise kann eine Lernumgebung geschaffen werden, die ein praxisnahes Training der gesamten Prozedur erlaubt. In diesem Umfeld können dann in idealer Weise sowohl die praktischen Handgriffe im engeren Sinne, als auch die für die gesamte Intervention notwendigen übergeordneten Fähigkeiten (prozedurale Kenntnisse, Entscheidungsbildung) geübt werden.

Es ist durchaus erwünscht, dass der Auszubildende während der Übungen Fehler macht, diese werden dokumentiert und analysiert, um so ihre Ursachen aufzudecken; bekanntermaßen ist das Lernen aus Fehlern eine besonders nachhaltige Erfahrung.

- **Durch Simulation in der inneren Medizin kann eine Lernumgebung geschaffen werden, die ein praxisnahes Training aller für den Eingriff notwendigen Fähigkeiten ermöglicht: praktische Handgriffe, prozedurale Kenntnisse und Entscheidungsbildung.**

## 22.2 Kardiologie und Angiologie

Die Anzahl kardiologischer und angiologischer Katheterprozeduren steigt in Deutschland seit Jahren exponentiell an. Entsprechend nehmen die Anzahl der Einrichtungen, die Katheterleistungen erbringen und die Gesamtzahl interventionell tätiger Kollegen in Deutschland kontinuierlich zu. Im Jahre 2008 wurden 845.000 Herzkatheter-Untersuchungen und 304.000 Interventionen am Herzen durchgeführt. Zunehmend häufiger werden nicht-koronare Prozeduren (kathetergestützte Aortenklappenimplantation, Schrittmacherimplantationen sowie elektrophysiologische Eingriffe) und angiologische Prozeduren (Nierenarteriendilatation und -ablation, Gefäßdilatation und -stenting bei pAVK und Karotisstenosen) durchgeführt [2]. Diese Entwicklung dokumentiert den zunehmenden Bedarf an Aus- und Fortbildungsprogrammen in der Kardiologie und Angiologie. Andererseits steht infolge zunehmender Arbeitsverdichtung und Budgetkürzungen häufig weniger Zeit für eine systematische Ausbildung von Ärzten und Assistenzpersonal zur Verfügung.

Eine mögliche Lösung dieses offensichtlichen Dilemmas könnten simulationsbasierte Ausbildungsprogramme sein, die das bisherige sog. »Apprenticeship«-Modell in sinnvoller Weise ergänzen könnten. Bei dieser klassischen Ausbildungsform erwirbt der Trainee seine Fähigkeiten durch die Beobachtung des Lehrers, wobei er sukzessive die einzelnen Handgriffe und Techniken übernimmt. Schließlich führt der Auszubildende seine erste eigene Untersuchung bzw. Intervention unter Beobachtung seines Ausbilders durch, der nur dann eingreift, wenn es notwendig erscheint. Es ist offensichtlich, dass diese Form der Ausbildung einerseits sehr zeitaufwändig ist und andererseits nicht die Fähigkeiten in ihrer ganzen Bandbreite vermitteln kann. Sie hat den Nachteil, dass die einzelnen Lehrinhalte vom aufkommenden Patientenspektrum abhängig sind und insbesondere seltene Konstellationen (Anomalien, Komplikationen, unerwartete Ereignisse) nicht systematisch geschult werden können. Wenn sich der Ausbilder (infolge Arbeitsüberlastung, Motivationsmangel, Organisationsdefiziten u. a.) aus seiner Verantwortung als Trainer in dieser kritischen Ausbildungsphase zurückzieht und den Auszubildenden mit dem Patienten allein lässt, kommt es zum unerwünschten »learning-by-doing« und damit zu nicht akzeptablen »Lernkurven«, d. h. zu einer anfänglich verminderten Erfolgs- und erhöhten Komplikationsrate. Um dies zu vermeiden und die Patientensicherheit zu gewährleisten, sind vorgeschaltete und ergänzende Maßnahmen inkl. simulatorbasiertes Training eine hoffnungsvolle Perspektive.

- **Simulationsbasierte Ausbildungsprogramme sind die Antwort auf das Dilemma eines zunehmenden Bedarfs an Fortbildungsprogrammen in der Kardiologie und Angiologie und der gleichzeitig immer weniger zur Verfügung stehenden Zeit für eine systematische Ausbildung von Ärzten und Assistenzpersonal.**

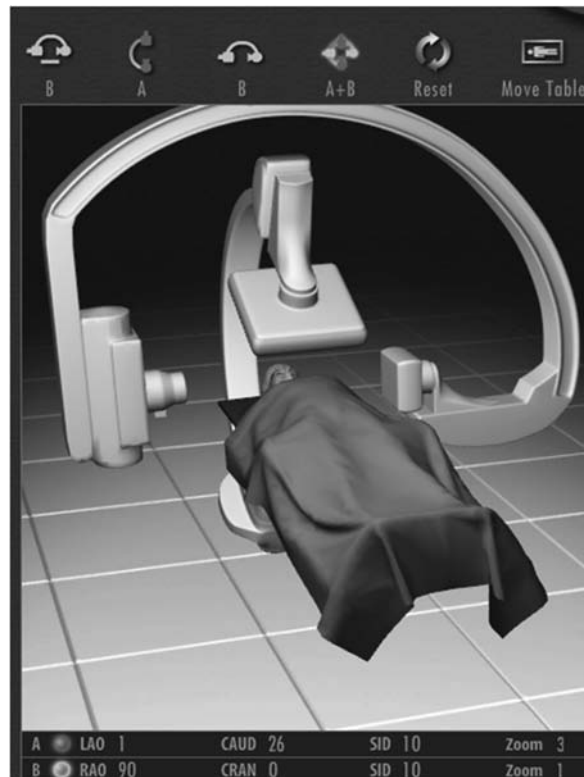
### 22.2.1 VR-Simulatoren in der Kardiologie und Angiologie

Mittlerweile gibt es für die Kardiologie und Angiologie 5 VR-Simulatoren, die ein realistisches und praxisnahes Training erlauben. Sie bieten die Möglichkeit, an simulierten Fällen zu lernen. Es können von realen Fällen abgeleitete klinische Szenarien eingespielt werden, die als Plattform für ein wirklichkeitsnahes Training dienen.

Die VR-Simulatoren simulieren ein Röntgen-Durchleuchtungsbild mit Druckkurve und EKG-Signal. Die Prozeduren können komplett oder in Teilschritten trainiert werden, z. B. die Präparation und Steuerung des Führungsdrahtes, das Einbringen des Ballonkatheters und die exakte Platzierung des Stents. Jedes System zeigt einen »C-Bogen«, der virtuell um den Patienten rotiert werden kann (■ Abb. 22.1). Alle Simulatoren haben zwei Fußpedale, mit denen die Röntgen-Durchleuchtung bzw. die Cine-Angiographie aktiviert werden können. Einige der Simulatoren haben eine spezielle Bedien-Konsole, mit der der C-Bogen gesteuert und weitere Einstellungen (Tischverschiebung, Vergrößerung, Einblendung u. a.) vorgenommen werden können (■ Abb. 22.2). Wie im Katheterlabor bedient der Auszubildende die Endgeräte (Konsole, Fußpedal, Katheter, Hahnenbank) und steuert Draht, Ballon, Stent u. a. (■ Abb. 22.3).

Die zusätzliche Gerätschaften (Kontrastmittelspritze, Druckmanometer) sind entweder Originalinstrumente oder technisch so modifiziert, dass sie den Anschluss an den Simulator gewährleisten. Die Schub-, Zug- und Drehbewegungen der eingeführten Instrumente (Führungskatheter, Ballonkatheter, Draht) werden mit sog. Strain-Sensoren gemessen und im simulierten Röntgenbild in Echtzeit reproduziert.

Stärken haben die VR-Simulatoren in Kardiologie und Angiologie insbesondere dann, wenn sie durch Einbeziehung virtueller Darstellungen den Auszubildenden in seinem Erkenntnisprozess unterstützen und ihm Einblicke geben, die in der Realität nicht zur Verfügung stehen. In der interventionellen Kardiologie ist das Verständnis des dreidimensionalen Verlaufs der Koronararterien essenziell für die diagnostische und therapeutische Qualität der Herzkatheterprozedur. Das räumliche Vorstellungsvermögen ist bei den Auszubildenden sehr



■ Abb. 22.1 Simulierter C-Bogen (Beispiel: ANGIO Mentor)



■ Abb. 22.2 Konsole (Beispiel: VIST-C)

unterschiedlich ausgeprägt. Deshalb ist der Lernfortschritt bei der Auswahl der richtigen Projektionen und der Technik, Katheter und Draht im Raum zu manövrieren, interindividuell unterschiedlich. Dieser Lernprozess kann mit Hilfe der Simulation unterstützt werden, indem ein 3-D-Bild der Koronararterien generiert und entweder separat zugeschaltet oder mit dem Röntgenbild fusioniert wird.



■ **Abb. 22.3** VIST-C (Mentice)

Das Training an den VR-Simulatoren läuft in mehreren Einzelschritten ab:

- Zunächst erhält der Trainee anamnestische und klinische Informationen zu dem virtuellen Patienten (frühere und aktuelle Beschwerden und Ergebnis nicht-invasiver Vorbefunde). Die daraus abgeleitete Arbeitsdiagnose beeinflusst die Strategie des Vorgehens, d. h. die Reihenfolge der diagnostischen und therapeutischen Schritte und die Auswahl der Katheter.
- An sämtlichen VR-Simulatoren werden die Erkennung von Gefäßverengungen und die Auswahl adäquater Projektionen geschult.
- Durch den liegenden Katheter wird dann simuliertes Kontrastmittel (Luft oder Wasser) injiziert und die Gefäße dargestellt. Wie in der Realität erfolgen Darstellungen aus verschiedenen Projektionen, hierzu wird die Position des simulierten C-Bogens mehrfach geändert. So gelingt es, die Gefäße mit ihren Ästen in ihrem gesamten Verlauf darzustellen und sämtliche Verengungen zu erkennen und in ihrer Bedeutung zu beurteilen. Ist das Lernziel nicht nur die richtige Gefäßdiagnostik, sondern auch das Erlernen einer Katheterintervention, werden die hierfür notwendigen Schritte unmittelbar angeschlossen.
- Nach Identifikation der Zielläsion erfolgen die Auswahl des geeigneten Interventionsdrahtes (mit weicher oder harter Drahtspitze) und die »elektronische« Präparation der Spitze (Krümmungswinkel). Der Draht wird in das System eingebracht, erkannt und anschließend, unter Zuhilfenahme einer Drehhilfe (»Torquer«), in das Gefäß eingeführt und über die Stenose manövriert. Die anschließende Auswahl eines Ballonkatheters bzw. Stents erfolgt unter Berücksichtigung des Gefäßdiameters und der Stenoselänge. Ballon- und Stentkatheter werden wie in der Realität in Monorail- oder Over-the-wire-Technik

über den liegenden Draht in das verengte Gefäß eingebracht und exakt platziert. Bei jedem Einzelschritt können Schwierigkeiten oder sogar Komplikationen auftreten, die in adäquater Weise gemanagt werden müssen.

Die für die Kardiologie und Angiologie verfügbaren VR-Simulatoren sind in ihrer Grundfunktion vergleichbar: An allen VR-Systemen kann die diagnostische Koronarangiographie geschult werden, von der richtigen Auswahl, Steuerung und Platzierung des diagnostischen Katheters über die Auswahl der optimalen Projektionen zur Stenosebeurteilung bis zur adäquaten Injektionstechnik. Bei allen Systemen sind verschiedene Fälle unterschiedlicher Komplexität hinterlegt. Die simulierten Druckkurven und das EKG werden bei allen Simulatoren angezeigt. Für die Therapieentscheidung können klinische Angaben (Beschwerden, Ischämie-Nachweis) oder EKG-Pathologika mit dargestellt und einbezogen werden.

Bei den Prozeduren können auch typische Komplikationen auftreten (»No reflow«, Dissektion, Gefäßperforation), die die richtigen Behandlungsstrategien (Medikamentengabe, Katheterintervention) notwendig machen.

Die verfügbaren Systeme weisen jedoch in einzelnen Aspekten wesentliche Unterschiede auf (■ Tab. 22.1).

Im Folgenden werden die verfügbaren VR-Simulatoren mit ihren spezifischen Vor- und Nachteilen dargestellt:

#### ■ VIST (Mentice)

VIST ist ein VR-Simulator für das Training koronarer und peripherer Gefäßinterventionen. VIST-C ist die portable Version des VIST-Systems (■ Abb. 22.3).

Der Simulator hat ein spezielles Modul für die Koronarangiographie, bei der entweder ein transfemoraler oder ein transradialer Zugangsweg gewählt werden kann. Beim transradialen Vorgehen müssen schwierige anatomische Varianten entlang des Gefäßverlaufs passiert werden, z. B. Gefäßschlängelungen oder dünnkalibrige Gefäßabschnitte. Unkontrollierte Katheter- oder Drahtbewegungen können zu typischen Komplikationen wie Gefäßspasmen oder Dissektionen führen. Das Modul Coronary PRO ist ein Trainingsmodul mit Koronarinterventionen unterschiedlicher Komplexität, von der elektiven PCI bei Typ-A-Läsion bis hin zur direkten PCI beim akuten Myokardinfarkt mit kardiogenem Schock. Jeder simulierte Fall wurde aus MR- bzw. CT-Datensätzen realer Patienten abgeleitet.

Beim »Coronary Pro-Modul« wurden verschiedene Komplikationen (z. B. distale Embolien, »No reflow«, Spasmen, Perforationen und Dissektionen) simuliert. Diese Komplikationen müssen vom Trainee adäquat gemanagt werden, um den Fall zu beenden. Nach Abschluss

■ **Tab. 22.1** Unterschiede verfügbarer VR-Simulatoren

Haptik	CathLabVR (CAE), ANGIO Mentor (Symbionix), VIST (Mentice) und SimSuite (MSC) arbeiten mit Krafrückkoppelung (»force feedback«), sodass bei der Passage einer Stenose mit einem Ballonkatheter oder einem Stent ein fühlbarer Widerstand auftritt.
Verwendete Katheter	Bei VIST und CATHIS können Originalkatheter eingesetzt werden, während beim ANGIO Mentor, CathLabVR und SimSuite nur Spezialkatheter verwendbar sind.
KM-Injektion	Nachteilig ist, dass bei 4 der 5 Systeme die Kontrastmittelinjektion mit Luft erfolgt; nur bei CATHIS können die Koronargefäße realitätsgerecht mit Flüssigkeit dargestellt werden.
Mehrfachintervention	Bei CATHIS und VIST Dual sind Bifurkationsstenosen simuliert, die eine Intervention mit 2 Drähten, 2 Ballons und 2 Stents erlauben.
Mobilität	CATHISmobile, ANGIO Mentor Express und VIST-C sind verkleinerte und damit transportfähige Systeme.
Fallimplementierung	Einige VR-Simulatoren haben auch anspruchsvolle Fälle implementiert: Hauptstamm- und Bypass-Stenosen, akute Gefäßverschlüsse, Bifurkationsstenosen oder thrombusbeladene Stenosen. Letztere erlauben den Einsatz von Aspirationskathetern (ANGIO Mentor, VIST und CATHIS) oder Protektionssystemen (CathLabVR, VIST, CATHIS). Ein transradiales Modul ist beim VIST implementiert.
Training nichtkoronarer Interventionen	Schließlich sind die Systeme auch imstande, als Plattform für das Training nichtkoronarer Interventionen zu dienen, z. B. Karotis-PTA (ANGIO Mentor, CathLabVR, VIST), periphere Interventionen (ANGIO Mentor, VIST), biventrikuläre Schrittmacherimplantation (ANGIO Mentor, CathLabVR, VIST), transseptale Punktion (ANGIO Mentor, SimSuite, VIST), kathetergestützte Aortenklappenimplantation (ANGIO Mentor, CathLabVR, SimSuite).

des Falles wird ein Report erstellt, der die einzelnen Schritte der Prozedur inkl. der gemachten Fehler sowie die Material- und Medikamentenauswahl zusammenstellt.

Zusätzlich wird ein spezielles Bifurkationssystem (VIST® Dual) angeboten, bei dem die Verwendung von zwei Drähten und die Durchführung von Bifurkationsstenting trainiert werden können. Schließlich gibt es verschiedene nicht-koronare Trainingsfeatures: Periphere und intrazerebrale Interventionen, Karotisstenting, Resynchronisationstherapie und transseptale Punktion. Chaer et al. [3] konnte im Rahmen einer randomisierten Studie zeigen, dass bereits ein kurzzeitiges (2 h) Training am VIST-Simulator die kathetertechnischen Fähigkeiten der Probanden bei der Angioplastie und beim Stenting der A. iliaca signifikant verbessern kann. In ähnlicher Weise konnte in einer anderen klinischen Studie gezeigt werden, dass das VIST-Simulator-Training die Fähigkeiten zum Carotis-Stenting verbessert [4]. In einer weiteren Studie konnte für den VIST-Simulator ein positiver Effekt auf die Lernkurve der Carotisangioplastie dokumentiert werden [5]. Schließlich konnte kürzlich gezeigt werden, dass Probanden, die am VIST trainiert wurden, eine transseptale Punktion signifikant besser durchführen als eine konventionell ausgebildete Gruppe [6]. Bei dem Trainingsmodul wird eine modifizierte Brockenbrough-Nadel für die transseptale Punktion verwendet. Die Punktion kann für verschiedene Vorhofgrößen, d. h. unterschiedliche anatomische Voraussetzungen trainiert werden. Die haptische Krafrückmeldung über die Nadel

ist für die richtige Durchführung dieser Methode von essentieller Bedeutung.

#### Vorteile des VIST-Systems:

- Realistische Darstellung des Koronarbaums und des umgebenden Gewebes (Knochen, Lunge)
- Verwendung von Originalkathetern
- Realistisch anmutende Vitaldaten (Aortendruckkurve, EKG mit 12-Kanal-Ableitungen, Herzfrequenz, Sauerstoffsättigung)
- Autotrack-Funktion, bei der der Tisch automatisch nachgefahren wird und so die »region of interest«, z. B. die Drahtspitze oder der Ballon/Stent, immer im Fokus des Untersuchers bleibt

#### Nachteile des VIST-Systems:

- Unrealistische Bewegungen der Judkins-Katheter, so dass die rechte bzw. die linke Kranzarterie mit einem Judkins-Katheter-Typ sondiert werden können
- Softwarefehler, so dass der Draht manchmal in unrealistischer Weise über die Gefäßkontur hinausgeht

#### ■ ANGIO Mentor (Symbionix)

Der ANGIO Mentor ist in zwei Versionen verfügbar, zum einen als stationäres System (ANGIO Mentor Ultimate) und zum anderen als portabler Simulator (ANGIO Mentor Express; ■ Abb. 22.4). Die simulierten Fälle basieren auf den CT-Bildern realer Patienten. Die Simulationen umfassen die üblichen Vitalzeichen (Herzfrequenz, systolischer/diastolischer Blutdruck und EKG). Die Gabe von



■ Abb. 22.4 ANGIO Mentor (Symbionix)

Medikamenten ist möglich und ändert die Vitalparameter in physiologischer Weise. Mögliche Komplikationen wie Dissektionen und Perforationen sind implementiert und können nach inadäquatem Handling des Führungskatheters oder Verwendung von großer Ballons/Stents auftreten. Komplikationen müssen adäquat behandelt werden, um den Fall zu beenden.

Neben Koronarangiographie und -intervention sind einige nicht-koronare Trainingsmodule verfügbar: Karotisintervention mit distaler Protektion, Nierenarterien-PTA, periphere Interventionen, Behandlung des abdominalen Aortenaneurysmas, intrazerebrale Interventionen, die kathetergestützte Aortenklappenintervention (TAVI) sowie Schrittmacher- (und Bivent.-) Implantationen.

Vorteile des ANGIO-Mentor-Systems:

- Realistisch anmutende Angiographiebilder der Koronararterien
- Anatomisch korrekte Darstellung der Aortenwurzel mit drei Sinus

Nachteile des ANGIO-Mentor-Systems:

- Verschieben eines Ballonkatheters in die Kranzarterie trotz Loop-Bildung des Führungsdrahtes in der Aorta möglich
- Der Kolben der Injektionspritze ist mit dem Detektor zur Erkennung der Kontrastmittelinjektion ausgestattet – eine Konstruktion, die zu technischen Fehlern prädestiniert.

#### ■ SimSuite (MSC)

SimSuite ist Teil eines computerbasierten Trainingssystems (CBT), mit dem die Entscheidungsbildung sowie das richtige Vorgehen bei Katheterauswahl und -handling geübt werden kann (■ Abb. 22.5). Das CBT umfasst eine klinische Fallpräsentation mit kurzem Eingangstest. Die vom Trainee durchgeführten Rotations- und Translationsbewegungen der eingeführten Katheter- und Führungsdrähte werden über ein Interface erfasst und



■ Abb. 22.5 SimSuite (MSC)

als simulierte Röntgenbilder dargestellt. Eine Vielzahl potentiell möglicher Komplikationen ist implementiert, die adäquat behandelt werden müssen, um den Fall zu beenden.

Vorteile des SimSuite-Systems:

- Realitätsnahe Koronarangiographie
- Realistisches Setting wie im Katheterlabor unter Verwendung mehrerer Monitore

Nachteile des SimSuite-Systems:

- Stationäres System
- Verwendung von Spezialkathetern, -drähten und -insufflatoren notwendig

#### ■ CathLabVR (CAE Healthcare)

Die Basis-Software umfasst 10 Fälle mit Ein- oder Mehrgefäßerkrankung (■ Abb. 22.6). Diese Fälle weisen einen zunehmenden Schwierigkeitsgrad auf. Die Fortgeschrittenen-Software umfasst 10 Fälle von höherer Komplexität, z. B. die Behandlung des akuten Myokardinfarkts, stenosierter Bypass-Gefäße, chronischer Verschlüsse und ostialer und thrombotischer Läsionen. Komplikationen können auftreten und müssen adäquat behandelt werden, um den Fall fortsetzen zu können. Jede einzelne Aktion des Untersuchers sowie jede Komplikation werden dokumentiert und in der abschließenden Analyse dargestellt.

Das integrierte »force-feedback« lässt den Trainee die Vorschubkräfte spüren, die bei der Passage einer Stenose erforderlich sind. Zusätzlich verwendet das System akustische Signale. So werden die Schmerzüßerungen eines virtuellen Patienten mit akutem Myokardinfarkt erst bei Gabe adäquater Medikamente (Morphin, Nitroglycerin oder Adenosin) leiser bzw. verstummen bei erfolgreicher Behandlung (z. B. dem Stenting einer katheterinduzierten Dissektion). Erfolgt die Behandlung des virtuellen



■ **Abb. 22.6** CathLabVR (CAE Healthcare)

Patienten in inadäquater Weise, wird das Klagen des Patienten dagegen zunehmend lauter. Diese akustische Rückmeldung setzt den Trainee zunehmend unter Druck. Mit diesem Feature kann Stressresistenz und fokussierte Aufmerksamkeit in einer stressbehafteten, klinisch anspruchsvollen Situation trainiert werden.

Der Simulator hat zusätzliche Trainingsmodule für nicht-koronare Interventionen implementiert, z. B. für die Karotisangioplastie mit Embolieprotektion, die kathetergestützte Aortenklappenimplantation (Core-Valve) und die biventrikuläre Schrittmacherimplantation.

Vorteile des CathLabVR-Systems:

- Realistische Führungskathetersimulation
- Instruktive 3D-Simulation des Koronarbaums, die mit dem angiographischen Röntgenbild fusioniert werden kann
- Vier Führungsschlitten für die Insertion und Rotation von bis zu 4 unterschiedliche Devices gleichzeitig

Nachteil des CathLabVR-Systems:

- Großdimensioniertes System, das ein CRM-Training zusammen mit einem Full-scale-Mannequin auf einer Liege erschwert.

■ **CATHIS (Cathi GmbH)**

CATHIS und seine mobile Version CATHIS mobile (■ Abb. 22.7) enthalten virtuelle Fälle, denen Angiogra-



■ **Abb. 22.7** CATHIS (Cathi GmbH)

phieaufnahmen realer Patienten zugrunde liegen. Das prozedurale Training mit CATHIS ermöglicht das Basistraining der Koronarangiographie und -intervention. Das Training ist insbesondere für Anfänger geeignet. So werden die richtige Bedienung der Röntgenanlage, die Tischbewegung und die Verwendung verschiedener Bildverstärker geschult. Am CATHIS kann der sparsame Kontrastmittelverbrauch und die Optimierung der Einstellungen trainiert werden. Es können Originalkatheter verwendet werden. Mit einer speziellen Software kann auch die Behandlung von Bifurkationsstenosen unter Einsatz einer Zweidrahttechnik geschult werden, wobei zwei Drähte und Ballons unabhängig voneinander bewegt werden können.

Verschiedene Komplikationen wurden realisiert: So sind Koronarperforationen, Dissektionen, Thrombus und Spasmen möglich. Unter Einsatz programmierter elasto-mechanischer Modelle können diese Komplikationen durch mechanische Stimuli getriggert werden, sofern diese eine vordefinierte Schwelle überschreiten (e. g. Kraft auf die Gefäßwand).

Zusätzlich bietet das System nicht-koronare Trainingsmodule für Rechtsherzkatheterdiagnostik, intraaortale Gegenpulsation (IABP) sowie andere Kreislaufunterstützungssysteme (Impella, Pulsecath) an.

Vorteile des CATHIS-Systems:

- Simulierte Kontrastmittelinjektion mit Flüssigkeit
- Verlinkung mit einer proprietären Angiographieeinheit (Artis Zee, Siemens) möglich

Nachteile des CATHIS-Systems:

- Kein aktives Force-feedback
- Keine virtuellen 3-D-Bilder

### 22.2.2 Kombination mit Full-scale-Simulatoren

Die Kombination eines der vorgestellten VR-Simulatoren mit einem »Human-patient-Simulator« (Gaumard, Laerdal, CAE) erlaubt ein sog. »Full-scale-Simulator-Training«. Bei diesem realitätsnahen Setting wird die Katheterintervention am VR-Simulator selbst durchgeführt, während die ggf. notwendigen Notfallmaßnahmen (Defibrillation, Herzdruckmassage, Intubation) am »Human-patient-Simulator« (HPS) erfolgen. Die Verlinkung von VR-Simulator und HPS erlaubt den Austausch physiologischer Parameter zwischen den Systemen (Herzfrequenz, Aortendruck, EKG, Herzrhythmusstörungen u. a.).

Diese Form der VR-Simulation ist insbesondere geeignet, um komplexe Arbeitsabläufe einzuüben, adäquate Teamarbeit zu trainieren und »Crisis Resource Management« zu schulen. Die Trainingsszenarien werden üblicherweise per Video dokumentiert, sodass ein detailliertes »Debriefing« am Ende der Trainingseinheiten erfolgen kann, um alle Fehler und Kommunikationsprobleme aufzudecken.

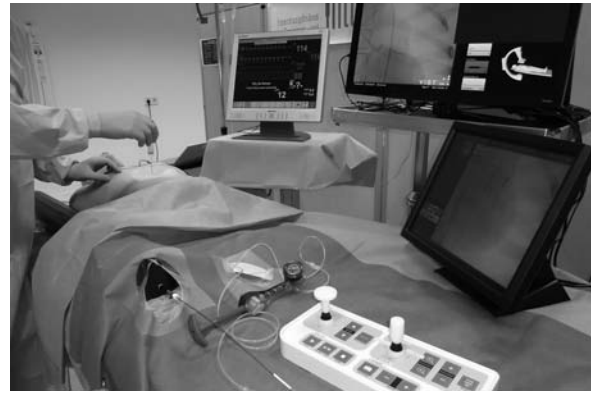
### 22.2.3 Mechanische Trainingsmodelle

Es gibt eine Vielzahl mechanischer Trainingsmodelle, an denen verschiedene Teilschritte interventioneller Prozeduren trainiert werden können. Vorteil dieser Modelle ist eine oft realistischere Haptik im Vergleich zum VR-Simulator und die Möglichkeit, echte Kathetermaterialien zu verwenden (Nadel, Schleusen, Katheter, Draht). Nachteil der Modelle ist, dass die Anatomie meist nicht variabel ist und in der Regel nur eine »Standard-Größe« zur Verfügung steht.

Für die arterielle Punktion gibt es unterschiedliche Modelle (z. B. Simulab Corp.), für das Koronarbraut-Training (Auswahl, Vorkrümmung und Steuerung) ist der sog. Nanto-Trainer geeignet. Auch für das Training einfacher und komplexer Stent-Implantationstechniken (z. B. Bifurkationsstenting) gibt es einen speziellen Bifurkationstrainer (Elastrat). Schließlich kann am Kreislaufmodell CoroSim (Mecora) das Einführen von Führungskatheter, Draht, Ballon und Stent unter pulsatilen Bedingungen, sowohl unter Sicht als auch unter Röntgenkontrolle, trainiert werden. Desweiteren gibt es mehrere Modelle, an denen eine Perikardpunktion geübt werden kann (z. B. Koken, Blue-Phantom).

### 22.2.4 Hybrid-Simulatoren

In Abhängigkeit von den spezifischen Lernzielen kann der Trainingsaufbau weiter modifiziert werden. Um bei-



■ Abb. 22.8 Hybrid-Simulator (Beispiel: VIST mit Koken)

spielsweise das Management der besonders dramatischen und gefürchteten Komplikation einer akuten Perikardtamponade infolge Koronarperforation im Herzkatheterlabor trainieren zu können, wird ein VR-Simulator (VIST) mit einem mechanischen Perikardpunktionstrainer (Koken) kombiniert (■ Abb. 22.8). An diesem sog. Hybrid-Simulator kann das richtige Notfallmanagement beim Auftreten dieser Komplikation trainiert werden. Entscheidend für das Überleben des Patienten sind das rasche Erkennen und die adäquate Behandlung dieser Notfallsituation. Zunächst muss das rupturierte Koronargefäß durch Einbringen eines Ballonkatheters schnellstmöglich von innen abgedichtet werden, bevor der entstandene Perikarderguss, sofern hämodynamisch relevant, abpunktiert wird. Das Set-up erlaubt sowohl das Training der Einzelschritte (Gefäßintervention und Perikardpunktion) als auch das »Crisis Resource Management« des gesamten Teams in dieser Notfallsituation. Während die Gefäßokklusion (ggf. unter Verwendung eines gecoverten Stents) am Simulator erfolgt, wird die Perikardpunktion mit einer realen Punktionsnadel am mechanischen Modell durchgeführt. Sobald die Nadel den Perikardraum erreicht, kann rote Flüssigkeit (»Blut«) aspiriert und die kritische Situation stabilisiert werden (Entlastung der Tamponade mit Anstieg des Blutdrucks). Dieses Hybrid-Modell fördert die Fähigkeit zur raschen Entscheidungsbildung bei Auftreten dieser seltenen, aber äußerst lebensbedrohlichen Situation und sie bietet die Plattform für ein realitätsnahes Training der Perikardpunktion und der notwendigen Teamarbeit.

## 22.3 Pneumologie und Gastroenterologie

In Deutschland werden Bronchoskopien und Endoskopien des Magen-Darm-Trakts mit zunehmender Häufigkeit durchgeführt. Für diese invasiven Verfahren sind



die Ausbildungsmöglichkeiten am Patienten begrenzt, da jedes Training am Patienten die Untersuchungsdauer verlängert und damit die subjektive Belastung des Patienten und das Komplikationsrisiko erhöht.

### 22.3.1 Anforderungen an einen Endoskopie-Simulator

Ein Simulator für endoskopische Eingriffe sollte die Organe anatomisch und physiologisch realitätsnah darstellen und beispielsweise peristaltische Bewegungen des Kolons, einen Hustenreiz bei Berührung der Bronchialschleimhaut oder eine schmerzinduzierte Tachykardie bei unsachgemäßer Handhabung des Endoskops simulieren können. Schwellungen im Bereich des Larynx oder der Papilla vateri sollten ebenso möglich sein wie iatrogene Blutungen. Ebenso wichtig ist ein möglichst wirklichkeitsnahes Verhalten der eingesetzten »Gerätschaften«, also des jeweiligen Endoskops, der Biopsiezangen und Schlingen sowie der Bedieneinheiten für die Insufflation von Luft und CO<sub>2</sub>, Spülung und Absaugung. Bei einer Koloskopie sollte ein Widerstand infolge Krafterückkopplung der im Sigma auftretenden Schlingen spürbar sein, der nach Begradigung der Darmschlingen verschwindet. In ähnlicher Weise sollte bei der Passage der Subsegmente im Bronchialbaum ein entsprechender Widerstand auftreten. Gleichfalls sollte es spürbar sein, wenn ein Instrument die Schleimhaut berührt oder eine Biopsie entnommen wird. Bei Bedarf sollte es möglich sein, den virtuellen Patienten umzulagern, von außen zu schienen oder Pharmaka zu verabreichen.

Eine weitere wesentliche Anforderung ist eine sehr detaillierte Analyse des Geschehens nach Ablauf der Simulation bzw. die Videodokumentation des gesamten Verlaufs, wobei diese Daten zusammen mit Datum, Uhrzeit und Namen des Trainees gespeichert werden.

Es sollten Normalbefunde ebenso wie verschiedene Krankheitsbilder mit zunehmendem Schwierigkeitsgrad (inkl. seltener Krankheitsbilder) für Trainingszwecke zur Verfügung stehen. Der Simulator sollte möglichst klein und leicht, einfach zu transportieren, intuitiv zu bedienen und preislich erschwinglich sein.

### 22.3.2 VR-Simulatoren in der Pneumologie und Gastroenterologie

Es gibt mit dem EndoVR (CAE) und dem GI Bronch-Mentor (Symbionix) zwei kombinierte VR-Simulatoren für die Endoskopie der Luftwege und des Gastrointestinal (GI)-Trakts.



■ Abb. 22.9 EndoVR (CAE)

#### ■ EndoVR (CAE)

Der EndoVR (■ Abb. 22.9) verfügt über real anmutende Endoskope (für Bronchoskopie und GI-Endoskopie), denen Mechanik und optische Komponenten fehlen. Die von den Bedienknöpfen bzw. Rädern ausgehenden Impulse werden registriert und vom Computer in die entsprechenden Bilder umgewandelt. Die Krafterückkopplung (»force feedback«) wird durch zwei Motoren bei Translations- und Rotationsbewegungen des Endoskops generiert. Auf diese Weise gelingt ein haptisches Empfinden, z. B. bei Schleimhautberührung, das der Realität sehr nahe kommt. Auch der Arbeitskanal verfügt über eine Krafterückkopplung, so dass auch eine Biopsie-Entnahme verspürt wird. Basis für die Simulationsmodelle sind Datensätze aus dem »Visible Human Project« und Videoaufnahmen realer Endoskopien.

Der EndoVR erlaubt das Training der Bronchoskopie (Navigieren, Bronchiallavage, Biopsien mit unterschiedlichen Werkzeugen, fiberoptische Intubation bei Kindern, ultraschallgeführte transbronchiale Nadelaspiration) sowie der gastrointestinalen Endoskopie einschließlich ÖGD, Sigmoido- und Koloskopie, ERCP (Navigieren, Biopsien, Blutstillung, Kanülierung und Darstellung von Ductus choledochus und pancreaticus mit unterschiedlichen Instrumenten, ggf. unter Einsatz eines Führungsdrachts Polypektomien sowie Umgang mit Diathermieschlingen).

Der virtuelle Patient kann, abhängig vom endoskopischen Verfahren, umgelagert werden. Bei der Koloskopie kann Druck von außen auf den Darm ausgeübt werden und es lassen sich verschiedene Pharmaka applizieren. Die Vitalwerte auf dem Monitor spiegeln die akute hämo-

dynamische Situation des Patienten wider, des Weiteren ist der simulierte Patient imstande, bei unsachgemäßem Einsatz des Endoskops Schmerzempfindungen zu äußern.

Im Anschluss an die Simulation des jeweiligen Falles steht eine detaillierte Analyse zur Verfügung, so dass sich der Lernfortschritt des Trainees objektivieren lässt. Darüber hinaus gibt es in fast allen Modulen multimediale Inhalte (Text, animierte Grafiken, Video-Tutorials), die das erforderliche Wissen (Anatomie, standardisierte Durchführung der jeweiligen Endoskopie, Handhabung der Instrumente, etc.) vermitteln.

Das System wurde vielfach in Hinblick auf den Einsatz in der endoskopischen Ausbildung untersucht bzw. validiert [7], [10]. Zuletzt konnten Wahidi et al. [9] in einer multizentrischen Studie zeigen, dass Simulationstraining die Lernkurve bei der Bronchoskopie verlagern und damit die Lernerfolge beschleunigen kann.

Vorteile des EndoVR:

- Realistische Simulation durch aktive Krafrückkopplung
- Detaillierte Auswertung jedes Falles
- Integriertes E-Learning im Hinblick auf basales und prozedurales Wissen

Nachteile des EndoVR:

- Keine therapeutisch interventionellen Prozeduren im Rahmen der ERCP
- Gastrointestinaler EUS nicht verfügbar

#### ■ GI-Bronch Mentor (Symbionix)

Dieser Simulator (■ Abb. 22.10) verwendet für die Endoskopie der Bronchien und des Gastrointestinaltrakts modifizierte Endoskope der Firma Pentax. Die Krafrückkopplung während der endoskopischen Simulation wird beim GI-Bronch Mentor durch pneumatische Bremsen erzeugt: Das Endoskop läuft in einem geraden Rohr, in dem sich kleine, aufblasbare Ringe befinden, welche computergesteuert den Endoskopschlauch einklemmen und damit Translation und Rotation hemmen können. Dieses passive pneumatische System beschränkt die Realitätsnähe in der Art, dass komplexe, manipulative Techniken und Darmschlingen nicht simuliert werden können, ebenso fehlt ein »force feedback« bei Verwendung der interventionellen Instrumente. Folgende endoskopische Applikationen sind möglich: Bronchoskopie mit EBUS sowie Notfallbronchoskopie, Endoskopie der oberen und unteren Verdauungswege mit diagnostischer und therapeutischer ERCP, endoskopische Sonografie, Biopsie, Polypektomie und Blutstillung.

Zusätzlich wurden einfache Module zum Training von »basic skills« und Hand-Auge-Koordination entwi-



■ Abb. 22.10 GI-Bronch Mentor (Symbionix)

ckelt: »Cyberscopy«, »Endobubble« oder »Endobasket«. Auch der GI-Bronch Mentor wurde vielfach validiert [10].

Vorteil des GI-BronchMentors:

- Aufzeichnung eines Falles als »Video« möglich

Nachteil des GI-BronchMentors:

- Nur »passives« Force-feedback

### 22.3.3 Mechanische Trainingsmodelle

Für die Gastroenterologie und Pneumologie gibt es Phantome aus elastischem Silikon, Latex und speziellen Kunststoffen (z. B. Artitex®, bestehend aus Gelatine, Agar, Zellstoff), die einen kompletten Bronchialbaum, die oberen Verdauungswege bis zum Duodenum oder ein komplettes Kolon simulieren. Sie sind meist in einem Torso verpackt, werden aber auch isoliert angeboten. Einer der ersten Vertreter dieser Kategorie wurde 1974



■ **Abb. 22.11** Colonoscopy-Training-Model (Koken Co, Ltd, Tokio, Japan)

von Classen und Ruppin [11] beschrieben, mittlerweile gibt es eine Reihe dieser sog. mechanischen Simulatoren, wie z. B.:

- Upper GI-Trainer, Colonoscopy-Trainer (Chamberlain Group, Great Barrington, Mass),
- Colonoscopy-Training-Model (Koken Co, Ltd, Tokio, Japan; ■ **Abb. 22.11**).

Nachteilig an diesen Modellen ist, dass die Pathologien (wie Ulzera, Polypen, Adenome oder Tumore) fest eingebaut sind und nicht variiert werden können. Die Realitätsnähe ist aufgrund des Fehlens spontaner Reaktionen (z. B. Peristaltik) insgesamt eingeschränkt. Eine Besonderheit stellt der Tübinger Interphant dar, der von Grund et al. [12] entwickelt wurde. Das Modell besteht aus oberem und unterem Gastrointestinaltrakt, die in einem Halterahmen justierbar aufgehängt werden können. Es können pathologische Befunde aus Artitex® integriert werden, die den Einsatz von optischen (Laser) bzw. elektrischen (HF) Instrumenten erlauben.

Vorteile mechanischer Modelle:

- Kostengünstig
- Leicht transportabel

Nachteile mechanischer Modelle:

- Beschränkte Realitätsnähe
- Keine Möglichkeit der objektiven und quantitativen Beurteilung des Lernfortschritts



■ **Abb. 22.12** Training am Bio-Simulator, hier endoskopische Blutstillung

#### 22.3.4 Bio-Simulatoren

Obwohl lebende Tiere als Übungsobjekte ein realitätsnahes taktiles Empfinden vermitteln, ist die bei Tiermodellen notwendige Infrastruktur sehr teuer (Tierhaltung und -pflege, Anästhesie, »Wet Lab«, Entsorgung u. a.). Desweiteren ist es in vielen Ländern aus ethischen Gründen nicht gestattet, Tiermodelle ausschließlich für Ausbildungszwecke einzusetzen.

Es erscheint deshalb naheliegend, isolierte Tier-Organen (ex vivo) für endoskopische Trainings einzusetzen. 1997 wurde das EASIE (Erlanger Ausbildungssimulator für die interventionelle Endoskopie) erstmals vorgestellt [13]. Dieses besteht aus einer Kunststoffwanne, in der speziell präparierte Schweineorgane fixiert werden. Der CompactEASIE™ ist eine Variante des Originals. Ein ähnliches Konzept wurde an der Mayo Clinic entwickelt und ist als Endo-X-Trainer (Medical Innovations International, Rochester, MN) erhältlich. Der Endo-Trainer der ECE-Training GmbH ist eine Weiterentwicklung des EASIE, wobei die tierischen Organe in einen dreh- und kippbaren Plastikatorso mit Kopf eingebettet sind. Auf diese Weise werden ÖGD, ERCP, Koloskopie und Bronchoskopie möglich. Zusätzlich können unterschiedliche Pathologien, wie z. B. Varizen oder Polypen oder eine Papille, die analog zur humanen Anatomie lokalisiert ist, »konstruiert« werden. Über ein externes Perfusionssystem mit Pumpe und rotgefärbter Flüssigkeit lassen sich lebensbedrohende Blutungen simulieren, die vom Trainee endoskopisch beherrscht werden müssen (■ **Abb. 22.12**).

Vorteile von Bio-Simulatoren:

- Verschiedenste therapeutische Interventionen durchführbar
- Realitätsnahe Oberflächenstruktur

Nachteile von Bio-Simulatoren:

- Wenig formstabil
- Keine physiologischen Reaktionen (z. B. peristaltische Bewegungen)
- Aufwändige Beschaffung, Reinigung, Vorbereitung und Entsorgung
- Kurze Haltbarkeit
- Präparate nur einmal verwendbar
- Trainingserfolg beim Üben nicht quantitativ zu erfassen

## 22.4 Curriculare Einbindung der Simulation in die internistische Ausbildung

Um mit den VR-Simulatoren einen maximalen Lerneffekt zu erzielen, muss ein erfahrener Spezialist der jeweiligen Subdisziplin das Training tutoriell begleiten [14]. Dieser kann die Übungen und Prozeduren am Simulator dazu verwenden, um Entscheidungswege während der simulierten Intervention transparent zu machen und damit klinische Denkweisen zu vermitteln und das Vorgehen im Einzelfall zu begründen. Er kann Tipps und Tricks zum prozeduralen Vorgehen geben und mögliche Risiken aufzeigen. Bei Bedarf kann er den Katheter oder das Endoskop selbst in die Hand nehmen, um ihre richtige Handhabung praktisch zu demonstrieren. Um den Simulator für die eigene »Wissensbotschaft« adäquat nutzen zu können, muss der Tutor mit dem Gerät und den implementierten Fällen vertraut sein [15]. Aus Gründen der Qualität des simulatorbasierten Trainings sollte die tutorielle Betreuung am Gerät nicht an einen Vertreter des Simulatorherstellers oder einer Medizintechnikfirma delegiert werden.

Auf der Basis eines Ausbildungscurriculums mit klar definierten Lernzielen erfolgt die Auswahl der geeigneten Simulatoren. Ein entsprechendes Curriculum für Simulationskurse wurde von der »Arbeitsgemeinschaft Interventioneller Kardiologen« (AGIK) für die invasive und interventionelle Kardiologie aufgestellt, es wurden vier Ausbildungsstufen definiert ([www.agikintervention.de](http://www.agikintervention.de)):

1. Einführung in die diagnostische Koronarangiographie
2. Einführung in die Koronarintervention
3. Aufbaukurs (z. B. Bifurkationen, transradiale Intervention, Akut-PCI beim AMI)
4. Crisis Resource Management-Training (CRM)

Auch von der »Sektion Endoskopie« der »Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin« wurden »Empfehlungen zu Trainingskursen in der Bronchoskopie« veröffentlicht, die sehr präzise auf die Ziel-



■ **Abb. 22.13** Full-scale-Simulator (Beispiel: VIST-C, Mentice, und Resusci Anne, Laerdal)

setzungen eines solchen Kurses im Hinblick auf Inhalt und Zeitbedarf, Qualifikation der Kursleiter u. a. eingehen [16]. Schließlich hat die »Sektion Endoskopie« der »Deutschen Gesellschaft für Verdauungs- und Stoffwechselkrankheiten« inhaltliche Kriterien für endoskopische Trainingskurse festgelegt [17]. Danach darf die gesamte Kursdauer 10 Stunden bzw. etwa 1½ Tage nicht unterschreiten, wobei auf die Theorie (inkl. videobasierter Fallbeispiele) 50 %, auf die Praxis (inkl. Einführung in die praktischen Übungen) 40 % und auf das Testat 10 % zu entfallen haben. Im praktischen Teil sollen komplementäre Lernmittel, also z. B. Phantome, Bio-Simulatoren und computergestützte Simulatoren, eingesetzt werden.

Um eine individuelle Betreuung beim Simulationstraining in der inneren Medizin zu gewährleisten, sollten pro Simulator maximal 3 Trainees gleichzeitig trainiert werden. Der Trainer sollte fortwährend anwesend sein und parallel nicht mehr als 2 Simulatoren gleichzeitig betreuen.

Es ist zu empfehlen, dass wenigstens 2 VR-Simulatoren und verschiedene mechanische Modelle eingesetzt werden.

Bei allen interventionellen Verfahren in der Inneren Medizin ist eine funktionierende Teamarbeit von essentieller Bedeutung. Die Kombination eines VR-Simulators mit einem Full-scale-Simulator kann eine optimale Plattform sein, um Teams auf Notfallsituationen bei diesen Prozeduren vorzubereiten. Für das Teamtraining im Herzkatheterlabor wurden verschiedene VR-Simulatoren und Full-scale-Simulatoren kombiniert, z. B. VIST-C (Mentice) mit Resusci-Anne (Laerdal) (■ **Abb. 22.13**). Bei dieser Form des Trainings wird der Proktor in der Regel durch einen Techniker mit notfallmedizinischem Hintergrund unterstützt, der das Full-scale-Mannequin steuert und die Ereignisse zu bestimmten Zeiten in enger Kooperation mit dem Proktor initiiert (z. B. AV-Block III.

Grades nach der Wiedereröffnung der rechten Kranzarterie beim akuten Myokardinfarkt oder Blutdruckabfall bei profuser Ulcus-Blutung). Insbesondere wenn die Herzfrequenz der beiden Simulatoren synchronisiert wird, wie dies von Schütz et al. [18] für die Kombination von CATHIS und HPS (METI) beschrieben wurde, kann ein hochrealistisches Trainings-Szenario etabliert werden.

Nach jedem Szenario gibt der Proktor ein strukturiertes Feed-back, ggf. unter Zuhilfenahme einer Videoaufzeichnung. Die Aktionen jedes Teilnehmers innerhalb des Teams, die Kommunikation und die Entscheidungsfindung werden beim abschließenden Debriefing systematisch analysiert.

## 22.5 Schlussfolgerungen und Ausblick

- Simulationsbasiertes klinisches Training ist geeignet, um die medizinische Fort- und Weiterbildung in der Inneren Medizin zu verbessern und damit die Patientensicherheit zu erhöhen. Es erlaubt eine systematische Ausbildung in einem außerklinischen Umfeld ohne Patientengefährdung [19].
- Die Auswahl der Simulatoren muss auf der Basis eines zugrundeliegenden Curriculums mit klar definierten Lernzielen getroffen werden, wobei das Curriculum die Auswahl der Simulatoren bestimmen sollte und nicht umgekehrt.
- Simulatoren können entweder für prozedurales Training (Koronarangiographie und -intervention, kathetergestützte Aortenklappenimplantation, Endoskopien) oder für CRM-Training eingesetzt werden.
- Simulationsbasiertes Training ist derzeit besonders gut geeignet für die Vermittlung basaler Kenntnisse interventioneller Verfahren in der Inneren Medizin.
- Entscheidend für den Erfolg von Simulationstraining sind erfahrene und motivierte Ausbilder, die den Simulator als eine Plattform nutzen, um ihr Wissen und ihre Fähigkeiten weiterzugeben.
- Simulationstraining sollte idealerweise nicht nur an Simulationszentren im Rahmen zentraler Trainingskurse angeboten werden, sondern an allen Universitäten und Lehrkliniken als dezentrales ausbildungsbegleitendes Individualtraining [20].
- Die derzeit zur Verfügung stehenden Simulatoren weisen noch technische Limitationen auf und sind fehleranfällig.
- In Ergänzung zu einem verbesserten Equipment (Hard- und Software) mit besserer Bildqualität sind Validierungsstudien notwendig, bevor diese Technologie nicht nur zu Trainingszwecken, sondern auch zur Leistungsbeurteilung eingesetzt werden kann [21].

## 22.6 Literatur

- [1] Hays RT, Jacobs JW, Prince C et al. (1992) Flight simulator training effectiveness: A meta-analysis. *Military Psychology* 4: 63–7
- [2] Buuren VF, Horstkotte D (2010) 25. Bericht über die Leistungszahlen der Herzkatheterlabore in der Bundesrepublik Deutschland. *Kardiologie* 4: 502–508
- [3] Chaer RA, DeRubertis BG, Lin SC et al. (2006) Simulation Improves Resident Performance in Catheter-Based Intervention- Results of a randomized, controlled Study. *Ann Surg* 244: 343–352
- [4] Van Herzele I, Aggarwal R, Neequaye S et al. (2008) Experienced endovascular interventionalists objectively improve their skills by attending carotid artery stent training courses. *Eur J Vasc Endovasc Surg*; 35: 541–550
- [5] Patel AD, Gallagher AG, Nicholson WJ, Cates CU (2006) Learning curves and reliability measures for virtual reality simulation in the performance assessment of carotid angiography. *J Am Coll Cardiol* 47: 1796–1802
- [6] De Ponti R, Marazzi R, Ghiringhelli S et al. (2011) Superiority of simulator-based training compared with conventional training methodologies in the performance of transseptal catheterization. *J Am Coll Cardiol*; 19: 359–363
- [7] Davoudi M, Colt HG (2009) Bronchoscopy simulation: a brief review *Adv in Health Sci Edu* 14: 287–96
- [8] Colt HG, Crawford SW, Galbraith O (2001) Virtual reality bronchoscopy simulation: a revolution in procedural training. *Chest* 120:1333–1339
- [9] Wahidi MM, Silvestri GA, Coakley RD et al. (2010) A prospective multicenter study of competency metrics and educational interventions in the learning of bronchoscopy among new pulmonary fellows. *Chest* 137: 1040–1049
- [10] Bar-Meir S (2006) Simbionix Simulator. *Gastrointest Endos Clin N Am.*; 16: 471–8
- [11] Classen M, Ruppin H (1974) Practical training using a new astrointestinal phantom. *Endoscopy* 6: 127–31
- [12] Grund KE et al. (1999) Integriertes Ausbildungskonzept für die diagnostische und interventionelle flexible Endoskopie. *Zeitschrift für Gastroenterologie* 37: 933
- [13] Hochberger J et al. (1997) Endoskopie-Trainer für die therapeutische flexible Endoskopie. *Zeitschr Gastroenter* 35: 722–23
- [14] Boyle E, O'Keefe DA, Naughton PA et al. (2011) The importance of expert feedback during endovascular simulator training. *J Vasc Surg* 54: 240–248
- [15] Kneebone RL, Nestel D, Vincent C, Darzi A (2007) Complexity, risk and simulation in learning procedural skills. *Medical Education* 41: 808–14
- [16] Wagner M (2011) Empfehlungen zu Trainingskursen in der Bronchoskopie. *Pneumologie* 65: 219–222
- [17] Deutsche Gesellschaft für Verdauungs- und Stoffwechselkrankheiten: [www.dgvs.de](http://www.dgvs.de)
- [18] Schuetz M, Moenk S, Vollmer S et al. (2008) High Degree of Realism in Teaching Percutaneous Coronary Interventions by Combining a Virtual Reality Trainer With a Full Scale Patient Simulator. *Simul Healthc* 3, 242–246
- [19] Murin S, Stollenwerk NS (2010) Simulation in procedural training-at the tipping point. *Chest* 137: 1009–1011
- [20] Fox K, Bradbury K, Curran I et al. (2011) for the British Cardiovascular Society: Working Group Report on Simulation Based Learning, August 2011
- [21] Lipner RS, Metcalfe C, Kangelaski RB, Baim DS, Holmes DR, Williams DO, King SB (2010) A technical and cognitive skills evaluation of performance in interventional Cardiology using medical simulation. *Simul Healthc* 5, 65–74