

Qualitätsverbesserung von Koronardiagnostik und Koronarinterventionen durch „Virtual Reality“-Simulation

W. Voelker, G. Ertl

Universitätsklinikum Würzburg, Medizinische Klinik und Poliklinik I,
Oberdürrbacher Straße 6, D-97080 Würzburg

1. Einführung

In Deutschland nehmen die Anzahl der Krankenhäuser, die Herzkatheterleistungen erbringen, und die Gesamtzahl interventionell tätiger Kollegen kontinuierlich zu. Im Jahr 2008 wurden 845.000 Herzkatheteruntersuchungen und 304.000 Interventionen in insgesamt 556 Zentren durchgeführt [1]. Durch diese Entwicklung entsteht ein enormer Ausbildungsbedarf in der interventionellen Kardiologie, dem die reduzierten Zeitressourcen für Fort- und Weiterbildung in den Krankenhäusern infolge Personalmangel und zunehmender Arbeitsverdichtung diametral entgegenstehen. Bisher erfolgte die Ausbildung in der interventionellen Kardiologie meist im Herzkatheterlabor direkt am Patienten. Bei dieser Form der Wissensvermittlung (sogenanntes „apprenticeship model“) steht der Auszubildende neben seinem Lehrer, beobachtet ihn bei der Durchführung der einzelnen Schritte und übernimmt dann sukzessive unter Aufsicht die einzelnen Handgriffe. Dieses patientenbasierte Training im Herzkatheterlabor ist zeitaufwendig und 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 Ausbildungsphase zurückzieht, kommt es zum unerwünschten „learning by doing“ und damit zu nicht akzeptablen „Lernkurven“ des Auszubildenden. Um dies zu vermeiden und die Patientensicherheit zu gewährleisten, sind vorgeschaltete und ergänzende Ausbildungsmaßnahmen notwendig. Mittlerweile gibt es hierfür fünf „Virtual Reality“ (VR)-Simulatoren, die in Analogie zur Simulation in der Luftfahrt [2], das Katheter-Training fernab vom Patienten ermöglichen (Tabelle 1). Im Folgenden werden das Potenzial

Produkt	Firma	Link	Besondere Vorteile
<i>CATHIS</i>	Cathi-GmbH Deutschland	http://www.cathi-online.com	Flüssigkeit als Kontrastmittel, Verwendung von Originalkathetern
<i>VIST</i>	Mentice Schweden	http://www.mentice.com	Verwendung von Originalkathetern, realistische ACS-Simulation
<i>Cath-LabVR</i>	CAE USA	http://www.cae.com	3-D-Darstellung der Koronararterien, Führungskathetersimulation
<i>ANGIO-Mentor</i>	Simbionix Israel	http://www.simbionix.com	realistische Koronardarstellung
<i>SimSuite</i>	MSC USA	http://www.medsimulation.com	realistisches Set-up, integriertes E-Learning

Tabelle 1 „Virtual Reality“-Simulatoren für die interventionelle Kardiologie.

und der derzeitige Stellenwert der VR-Simulationstechnologie in der Kardiologie dargestellt. Zusätzlich werden die Rahmenbedingungen aufgezeigt, die erfüllt werden müssen, um simulationsbasiertes Training adäquat durchführen und dadurch eine Qualitätsverbesserung von Koronardiagnostik und -intervention erzielen zu können.

2. VR-Simulation in der Kardiologie

Die VR-Simulation in der interventionellen Kardiologie bietet die Plattform, um an simulierten Fällen praktische Skills zu trainieren [3, 4]. Die VR-Simulatoren simulieren ein Röntgen-Durchleuchtungsbild mit Druckkurve und EKG-Signal (Abb. 1). 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. 2). Alle Simulatoren haben zwei Fußpedale, mit denen die Röntgen-Durchleuchtung bzw. die Filmaufnahmen aktiviert werden können. Einige der Simulatoren haben spezielle Bedienkonsolen, mit der der C-Bogen gesteuert und weitere Einstellungen (Tischverschiebung, Vergrößerung, Einblendung u. a.) vorgenommen werden können. Wie im Katheterlabor bedient der Auszubildende die Endgeräte (Konsole, Fußpedal, Katheter, Hahnenbank) und steuert Draht, Ballon, Stent u. a. (Abb. 3).

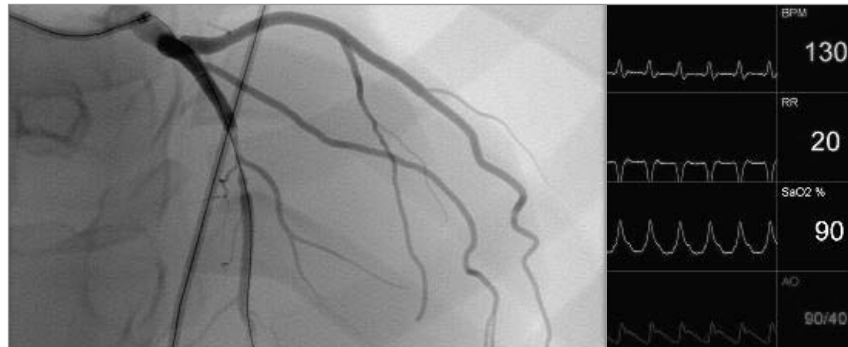


Abb. 1 Simuliertes Röntgenbild incl. Hemodynamik und EKG (Vist C, Mentice).

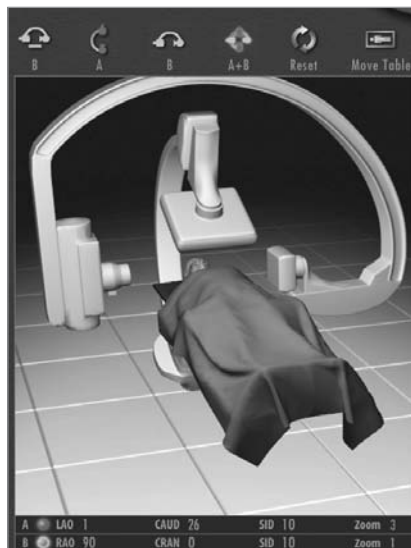


Abb. 2 Virtueller C-Arm (ANGIO Mentor, Symbionix).



Abb. 3 Simulationstraining am VIST C (Mentice).

Die zusätzlichen Instrumente (Kontrastmittelspritze, Druckmanometer) sind entweder Originalprodukte oder technisch so modifiziert, dass sie den Anschluss an den Simulator ermöglichen. Die Schub-, Zug- und Drehbewegungen der eingeführten Instrumente (Führungskatheter, Ballonkatheter, Draht) werden mit sogenannten

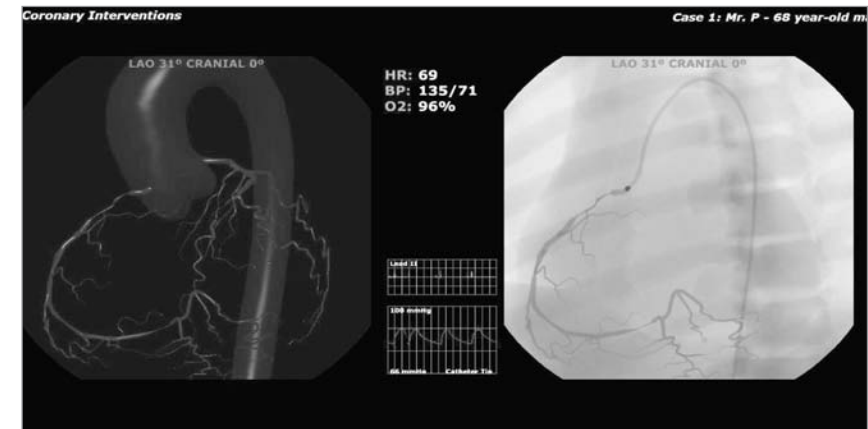


Abb. 4 Simuliertes Röntgenbild und 3D-Darstellung (CathLab VR, CAE).

Strain-Sensoren gemessen und im simulierten Röntgenbild in Echtzeit reproduziert. Die meisten Systeme arbeiten mit Kraftrückkopplung („force feedback“), sodass bei der Passage einer Stenose mit einem Ballonkatheter oder einem Stent ein fühlbarer Widerstand auftritt.

Stärken haben die VR-Simulatoren 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 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 3D-Bild der Koronararterien generiert und entweder separat zugeschaltet oder mit dem Röntgenbild fusioniert wird (Abb. 4).

Das Training an den Simulatoren läuft in mehreren Einzelschritten ab: Zunächst erhält der Trainer anamnestiche und klinische Informationen zu dem virtuellen Patienten (Beschwerden, Ergebnis nicht-invasiver Vorbefunde, EKG-Aufzeichnung u. a.). Die daraus abgeleitete Arbeitsdiagnose beeinflusst die Strategie des Vorgehens, d. h. die Reihenfolge der diagnostischen und therapeutischen Schritte. Nach Auswahl und Einführen des richtigen Katheters wird 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. Ziel ist es, die Gefäße mit ihren Ästen in ihrem gesamten Verlauf darzustellen, 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 Stenosenlänge. 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 in der Stenose platziert. Bei jedem Einzelschritt können Schwierigkeiten auftreten, die in adäquater Weise gemanagt werden müssen.

Einige VR-Simulatoren haben auch anspruchsvolle Fälle implementiert: Hauptstamm- und Bypass-Stenosen, akute Gefäßverschlüsse, Bifurkationsstenosen oder thrombusbeladene Stenosen. Bei den Prozeduren können Komplikationen auftreten (z. B. Gefäßrupturen), die adäquate Behandlungsstrategien (z. B. rasche Ballondilatation oder Implantation eines ummantelten Stents) notwendig machen. Schließlich können an einigen Simulatoren auch kardiologische Spezial Eingriffe trainiert werden, beispielsweise die Katheterbehandlung von Hirngefäßverengungen oder Aortenklappenverengungen (Abb. 5).

Ob diese Simulatoren tatsächlich imstande sind, die kathedertechnischen Fähigkeiten angehender interventioneller Kardiologen zu verbessern, ist zurzeit Gegenstand weiterer Untersuchungen [5].

3. Simulation komplexer klinischer Szenarien

Neben dem vorherbeschriebenen Training ist die Simulation auch imstande, als Plattform für die Schulung komplexer klinischer Szenarien zu dienen, z. B. eines akuten Herzinfarkts mit kardiogenem Schock. Hierzu werden ein VR-Simulator und ein sogenannter ‚Full-scale‘-Simulator (Gaumard, Laerdal, Meti) verlinkt und gemeinsam auf einem Untersuchungstisch platziert (Abb. 6). Bei diesem realitätsnahen Setting wird die Katheterintervention am VR-Simulator selbst durchgeführt, während die gegebenenfalls notwendigen Notfallmaßnahmen (Defibrillation, Herzdruckmassage, Intubation) am Full-scale-Mannequin erfolgen. Die Verlinkung von VR-Simulator und Full-scale-Simulator erlaubt den Austausch physiologischer Parameter zwischen den



Abb. 5 Simulation der kathetergestützten Aortenklappenimplantation (CathLabVR).



Abb. 6 Full-Scale-Simulation (VIST C, Mentice und Resusci Anne, Laerdal).

Systemen (Herzfrequenz, Aortendruck, EKG, Herzrhythmusstörungen u. a.) [6]. Diese Form der VR-Simulation ist besonders geeignet, komplexe Arbeitsabläufe einzuüben, adäquate Teamarbeit zu trainieren und sogenanntes „Crisis-resource“-Management zu schulen. Der Aufbau dieses Settings erlaubt ein wirklichkeitsnahes Training des gesamten Teams. Es trägt zur Teambildung und Qualitätsverbesserung insbesondere bei neuen und/oder interdisziplinären Behandlungsverfahren bei. Die Trainingsszenarien werden üblicherweise per Video dokumentiert, sodass ein detailliertes „Debriefing“ nach jedem Szenario möglich ist. Hierbei werden die Aktionen jedes Teilnehmers und die Kommunikation innerhalb des Teams systematisch analysiert.

4. Voraussetzungen für erfolgreiches simulationsbasiertes Training

Das simulationsbasierte Training erfolgt in einem außerklinischen Umfeld ohne Patientengefährdung, wobei die Lerngeschwindigkeit in Abhängigkeit von den Vorkenntnissen des Auszubildenden individuell angepasst werden kann und die Übungen beliebig häufig wiederholt werden können. Es können dann sowohl die praktischen Handgriffe als auch übergeordnete Fähigkeiten (prozedurale Kenntnisse, Entscheidungsbildung) trainiert 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.

Um mit den VR-Simulatoren einen maximalen Lerneffekt zu erzielen, muss ein erfahrener interventioneller Kardiologe das Training tutoriell begleiten [7]. Dieser soll die Übungen und Prozeduren am Simulator dazu verwenden, um Entscheidungswege zu erklären, das Vorgehen im Einzelfall zu begründen, Tipps und Tricks zu geben und mögliche Risiken aufzuzeigen. Bei Bedarf nimmt er Katheter, Drähte, Ballons usw. selbst in die Hand, um ihre richtige Handhabung praktisch zu demonstrieren. Um den Simulator für die eigene „Wissensbotschaft“ adäquat nutzen zu können, muss der Tutor über basale Kenntnisse vom eingesetzten Simulator und der zugrunde liegenden Technologie verfügen. Des Weiteren sollte er mit den implementierten simulierten Fällen vertraut sein [8]. Eine wichtige Aufgabe des Trainers ist es, klinische Denkweisen zu vermitteln. Aus Gründen der Qualität des simulatorbasierten Trainings darf die tutorielle Betreuung am Gerät nicht delegiert werden, z. B. an einen Vertreter des Simulatorherstellers oder einer Medizintechnikfirma. Um eine individuelle Betreuung der Trainees zu gewährleisten, sollten pro Simulator maximal drei Auszubildende gleichzeitig trainiert werden. Der Trainer sollte fortwährend anwesend sein und nicht mehr als ein bis zwei Simulatoren simultan betreuen.

Das Training am Simulator ist als Ergänzung zur klinischen Ausbildung im Katheterlabor zu betrachten [9, 10]. Eine Qualitätsverbesserung mit Simulationstraining ist nur dann zu erreichen, wenn dem Ausbildungsprogramm ein Curriculum zugrunde liegt, das die Inhalte der Simulation vorgibt. Die Vorgaben für die richtige Durchführung von Simulatortraining in der Kardiologie wurden kürzlich vom Arbeitskreis Simulation der Arbeitsgruppe Interventionelle Kardiologie (AGIK) erarbeitet (siehe „Qualitätskriterien und Inhalte für DGK-Simulationskurse in der invasiven/interventionellen Kardiologie“ [11]).

5. Schlussfolgerungen

- Die virtual-reality-Simulation von Kathetereingriffen ermöglicht ein individuell angepasstes und realistisches Training in einem außerklinischen Umfeld ohne Patientengefährdung, das die klinische Ausbildung im Herzkatheterlabor ergänzt.
- Die Auswahl der Simulatoren muss auf der Basis eines zugrunde liegenden Curriculums mit klar definierten Lernzielen getroffen werden, wobei das Curriculum die Auswahl der Simulatoren bestimmen sollte und nicht umgekehrt.
- Entscheidend für den Erfolg von Simulationstraining sind erfahrene und motivierte Ausbilder, die den Simulator als Plattform nützen, um ihr Wissen und ihre Fähigkeiten weiterzugeben.
- Unter diesen Voraussetzungen kann simulationsbasiertes Training zur Qualitätsverbesserung in der Koronaragnostik und -intervention und damit zur Steigerung der Patientensicherheit beitragen [12].

6. Zusammenfassung

Die Herzkatheterzahlen steigen in Deutschland seit Jahren exponentiell an. Im Jahr 2008 wurden 845.000 Herzkatheteruntersuchungen und 304.000 Interventionen in insgesamt 556 Zentren durchgeführt. Hieraus ergibt sich ein enormer Ausbildungsbedarf in der interventionellen Kardiologie, dem reduzierte Zeitressourcen für Fort- und Weiterbildung in den Krankenhäusern infolge Personalmangel und zunehmender Arbeitsverdichtung diametral entgegenstehen. Dieses Dilemma erfordert neue Ausbildungskonzepte, die das Training an Simulatoren, in Analogie zur Ausbildung in der Luftfahrt, mit einschließen. Mittlerweile gibt es für die interventionelle

Kardiologie fünf Virtual Reality-Simulatoren, die ein realistisches und praktisches Training in einem außerklinischen Umfeld ohne Patientengefährdung erlauben.

Für den erfolgreichen Einsatz dieser Simulatoren ist es wichtig, das Vorwissen der Auszubildenden, die Lernziele und ein zugrunde liegendes Curriculum zu berücksichtigen. Ebenfalls von entscheidender Bedeutung ist die tutorielle Betreuung des Auszubildenden durch einen engagierten interventionellen Kardiologen, der den Simulator als Plattform nützt, um sein Wissen und seine kathetertechnischen Fähigkeiten zu vermitteln. Unter diesen Voraussetzungen kann simulationsbasiertes Training zur Qualitätsverbesserung in der Koronardiagnostik und -intervention und damit zur Steigerung der Patientensicherheit beitragen.

Schlüsselwörter: Virtual-Reality-Simulation, simulationsbasiertes Training, Katheterausbildung, Komplikationsmanagement, Teamtraining

7. Literatur

- [1] Buuren VF, Horstkotte D: 25. Bericht über die Leistungszahlen der Herzkatheterlabore in der Bundesrepublik Deutschland. *Kardiologie* 4 (2010), 502–508.
- [2] Hays RT, Jacobs JW, Prince C, Sales E: Flight simulator training effectiveness: A meta-analysis. *Mil Psychol* 4 (1992), 63–67.
- [3] Chaer RA, DeRubertis BG, Lin SC, Bush HL, Karwowski JK, Birk D, Morrissey NJ, Faries PL, McKinsey JF, Kent KC: Simulation improves resident performance in catheter-based intervention – results of a randomized, controlled study. *Ann Surg* 244 (2006), 343–352.
- [4] De Ponti R, Marazzi R, Ghiringhelli S, Salerno-Uriarte JA, Calkins H, Cheng A: Superiority of simulator-based training compared with conventional training methodologies in the performance of transseptal catheterization. *J Am Coll Cardiol* 19 (2011), 359–363.
- [5] Voelker W, Petri N, Ertl G: Does simulation-based training improve catheter-skills of novices during percutaneous coronary interventions? A randomized controlled study (in preparation).
- [6] Schuetz M, Moenk S, Vollmer S, Kurz S, Mollnau H, Post F, Heinrichs W: High degree of realism in teaching percutaneous coronary interventions by combining a virtual reality trainer with a full scale patient simulator. *Simul Healthc* 3 (2008), 242–246.
- [7] Boyle E, O’Keeffe DA, Naughton PA, Hill AD, McDonnall CO, Moneley D: The importance of expert feedback during endovascular simulator training. *J Vasc Surg* 54 (2011), 240–248.
- [8] Kneebone RL, Nestel D, Vincent C, Darzi A: Complexity, risk and simulation in learning procedural skills. *Medical Education* 41 (2007), 808–814.
- [9] Fox K, Bradbury K, Curran I, Gammage M, Gray H, Holmberg B, Iqbal J, McNab, D, Mills P, Nolan J (for the British Cardiovascular Society): Working group report on simulation based learning, August 2011.
- [10] Lipner RS, Metcalfe C, Kangelaski RB, Baim DS, Holmes DR, Williams DO, King SB: A technical and cognitive skills evaluation of performance in interventional cardiology using medical simulation. *Simulation in Healthcare* 5 (2010), 65–74.
- [11] <http://www.agikintervention.de> (13.07.2012).
- [12] Wayne DB, McGaghi WC: Use of simulation based medical education to improve patient care quality. *Resuscitation* 81 (2010), 1455–1456.