

# Phakosimulation – wo stehen wir heute?

## Erfahrungen mit dem Eyesi Simulator

M. C. Knorz, Mannheim

**Zusammenfassung:** Der Einsatz von Simulatoren in der Ausbildung hat den Vorteil, dass chirurgische Eingriffe unabhängig von Patienten und damit ohne Risiko für diese trainiert werden können. Mit dem Augenoperationssimulator Eyesi bietet die deutsche Firma VRmagic eine leistungsstarke, computerbasierte Plattform für die Simulation von Eingriffen am Vorder- und Hinterabschnitt. Für die Kataraktoperation gibt es die Übungseinheiten Kapsulorhexis, Phakoemulsifikation und Hydrodissektion mit den dazugehörigen Komplikationen. Ein optisches Tracking-System verfolgt mit drei Kameras die Bewegung der Instrumente und gibt deren Position an einen Computer weiter. In Echtzeit wird berechnet, wie Gewebe reagiert, das in der Simulation mit dem Operationsinstrument in Kontakt kommt. Der Arzt sieht durch zwei LCD-Monitore, die wie ein Stereomikroskop angeordnet sind, das computergenerierte Szenarium in gewohnter Dreidimensionalität. Alle Module enthalten konkrete Aufgabenstellungen, die im Schwierigkeitsgrad aufeinander aufbauen. Es ist außerdem möglich, Teile jedes Operationsabschnittes isoliert zu üben.

OPHTHALMO-CHIRURGIE 20: 208-210 (2008)

**Summary:** The use of simulators in surgical training has the obvious advantage that surgical procedures can be trained independent of patients, thus without any risk to patients. The Eyesi ophthalmic surgery simulator, developed by the German company VRmagic, is a powerful computerized platform to simulate both anterior and posterior segment eye surgery. The anterior segment part offers capsulorhexis, phakoemulsification and hydrodissection as well as some of the more common complications. An optical tracking system utilizing three CCD cameras tracks the position of the surgical instruments in the eye model and calculates in real-time the tissue response of tissue which comes into contact with the instruments. The surgeon views the virtual scenario in 3 D through dual LCD screens, which act like a stereomicroscope. All modules contain specific tasks, which can be trained, and performance is rated. It is also possible to train certain steps of the procedures separately.

OPHTHALMO-CHIRURGIE 20: 208-210 (2008)

Die Ausbildung von Ophthalmochirurgen befindet sich im Umbruch. Besonders im Bereich der minimal-invasiven Chirurgie müssen neue Methoden des Trainings entwickelt werden, um die Herausforderungen der Zukunft meistern zu können. Die Sicherheit der Patienten, die Abhängigkeit der Ausbildungsinhalte von der aktuellen Verfügbarkeit der Pathologien, personelle Engpässe bei den Lehrenden und nicht zuletzt finanzielle und versicherungstechnische Zwänge führen dazu, dass Studenten nur beschränkt die notwendigen praktischen Erfahrungen sammeln können. Hier bieten computerbasierte Simulatoren eine Möglichkeit, die Qualität in der medizi-

nischen Ausbildung zu verbessern. Sie spielen beim Erwerb von ophthalmochirurgischen Fähigkeiten eine zunehmend große Rolle.

### Vorteile von Simulatoren

Der Einsatz von Simulatoren in der Ausbildung hat den Vorteil, dass chirurgische Eingriffe ohne Risiko für einen Patienten und unabhängig von aktuell an Patienten verfügbaren Pathologien trainiert werden können. Die ständige Verfügbarkeit des Gerätes erlaubt zeitliche Flexibilität und entlastet den Lehrenden. Die gesamte Bandbreite an Erkrankungen des menschlichen Auges – auch der

seltenen – steht zur Verfügung und Komplikationsmanagement kann gezielt trainiert werden. Die objektive Beurteilung der chirurgischen Leistung durch den Simulator und die Darstellung des Trainingseffektes im Zeitverlauf bilden die Grundlage für systematische und effiziente Lehrmethoden. Aufgaben können individuell zusammengestellt und beliebig oft wiederholt werden. Simulatoren bieten die Möglichkeit, strukturierte Curricula zusammenzustellen. Evidenzbasiertes Training schafft bei Studenten und Lehrenden Vertrauen in chirurgische Fähigkeit vor einem Eingriff am Patienten. Darüber hinaus kann der Simulator bei der Entwicklung neuer

Operationstechniken und in der Weiterbildung gewinnbringend eingesetzt werden. Im Rahmen einer randomisierten Doppelblindstudie zur Effektivität von Simulatoren zum Erlernen von chirurgischen Fähigkeiten konnte ein signifikant besseres Ergebnis bei mit einem Operationssimulator trainierten Probanden nachgewiesen werden [2].

### Wie verbessern Simulatoren den Lernerfolg?

Voraussetzungen für optimales Lernen sind nach Studien von Ericsson [1] genau definierte Aufgabenstellungen mit einem angemessenen Schwierigkeitsgrad, direktes Feedback und Gelegenheit zur Wiederholung. Genau diese Bedingungen für effektives Training bietet die Simulationsumgebung. Durch gezieltes Üben können auch erfahrene Chirurgen ihre Leistung verbessern. Das Potenzial von Simulatoren wird heute noch lange nicht ausgeschöpft. Nach wie vor findet z. B. in der Augenheilkunde noch der überwiegende Teil des Operationstrainings am Patientenaugen statt. In den USA ist der Einsatz von Simulatoren in der ophthalmochirurgischen Ausbildung bereits weiter verbreitet. Aber auch dort sind wir noch weit davon entfernt, dass jeder Operateur wie selbstverständlich zunächst am Simulator trainiert, bevor er seine erste Operation am Auge ausführt. Auch in anderen medizinischen Bereichen werden Virtual-Reality-Simulatoren eingesetzt, beispielsweise in der Endoskopie, der Laparoskopie und Gefäßchirurgie.

### Welche Simulatoren sind verfügbar?

Mit dem Augenoperationssimulator EYESi (Abbildung 1) bietet die deutsche Firma VRmagic, Mannheim (Homepage: [www.vrmagic.com](http://www.vrmagic.com)), eine leistungs-

starke Plattform für die Simulation von vitreoretinalen und Katarakt-Operationen. Konkurrenzprodukte sind z. B. verfügbar in den USA mit dem Phacoemulsification Simulator – Virtual Reality Model E-001-MM der Firma Simulution, Prior Lake, Minnesota (Homepage: [www.simulution.com](http://www.simulution.com)). Der Autor hat ausschließlich Erfahrung mit dem Simulator von VRmagic, so dass nur dieser hier beschrieben wird.

Die Virtual-Reality-Technologie von VRmagic ermöglicht eine äußerst realitätsnahe Darstellung des Operations-szenarios. Alle wesentlichen Aspekte einer echten Operationssituation wurden in die Simulationsumgebung von EYESi integriert: Der Chirurg sitzt in gewohnter Haltung an einem Stereomikroskop und führt originale Instrumente in ein drehbar gelagertes mechanisches Kunstauge aus Kunststoff ein. Das Kunstauge



Abbildung 1: „Trockenübungen“ während eines Drylab am Simulator Eyesi von VRmagic

ist in einem Modelkopf derartig aufgehängt, dass Bewegungen vergleichbar dem menschlichen Auge während der Operation ausgeführt werden können. Das Auge kann nach unten und oben rotiert und zyklorotiert werden, es kann in die Augenhöhle hineingedrückt und leicht hervorgezogen werden. Die Kräfte hierzu entsprechen denen beim menschlichen Auge. Das „Katarakt-Kunstauge“ ist für frontalen und temporalen Zugang ausgelegt. Die Instrumente lassen sich genau so bewegen wie bei einer echten Operation. Ein optisches Trackingsystem verfolgt mit drei Kameras die Bewegung der Instrumente und gibt deren Position an einen Computer weiter. In Echtzeit wird berechnet, wie Gewebe reagiert, das in der Simulation mit dem Operationsinstrument in Kontakt kommt. Der Arzt sieht durch das Stereomikroskop das computergenerierte Szenarium in gewohnter Dreidimensionalität. EYESi wurde am Lehrstuhl für Informatik V der Universität Mannheim entwickelt und ist seit 2001 auf dem Markt. Chirurgische Eingriffe an der Linse sind seit 2005 als Trainingsinhalte erhältlich. Die verfügbaren Trainingseinheiten und Funktionen sind in den letzten Jahren kontinuierlich erweitert worden.

### Trainingsmodule

Nach Angaben von Ärzten im Praktikum sind die Kapsulorhexis und Phakoemulsifikation die anspruchsvollsten Aufgaben der Katarakt-Chirurgie. Das Kapsulorhexis-Modul des Simulators bietet die Möglichkeit, das kontrollierte Reißen der Kapsel zu trainieren. Dabei kann das Verhalten des Kapselgewebes variiert werden, um unterschiedliche Pathologien abzubilden. Komplikationen wie das Auslaufen der Rhexis werden ebenfalls simuliert. Als Instrumente stehen Cystotom, Pinzette und Visko-Kanüle zur Verfügung.

Bei der Phako-Emulsifikation bereitet es die meisten Schwierigkeiten, das komplexe Verhalten der Phako-Operationsmaschine zu begreifen und zu steuern. Am Simulator können sich Anfänger mit der Handhabung der verschiedenen Instrumente und der Funktionsweise gängiger Phako-Maschinen vertraut machen. Man kann zum Beispiel üben, die Kapselpinzette zu öffnen und zu schließen, man kann die verschiedenen Phakoprogramme aufrufen. Physikalische Auswirkungen von Parameteränderungen, wie Veränderungen im Vorderkammerdruck, werden zusätzlich grafisch dargestellt, um das Verständnis der Phako-Maschine zu fördern.

Die Phako-Emulsifikation lässt sich in der „Divide and Conquer“-Technik üben. Dazu können verschiedene Linsenhärten gewählt werden. Das Brechen der Linse und das Absaugen des Linsenmaterials sind im Modul enthalten. Simulierte Komplikationen sind das Reißen der Zonulafasern, Touchieren von Kornea und Iris und Ruptur der Vorder- und Hinterkapsel.

Neben Kapsulorhexis und Phako-Emulsifikation bietet EYESi Übungseinheiten zur Hydrodissektion. Alle Module enthalten konkrete Aufgabenstellungen, die im Schwierigkeitsgrad aufeinander aufbauen. Es ist außerdem möglich, Teile jedes Operationsabschnittes isoliert zu üben. Abstrakte Module trainieren gezielt die ruhige Hand, die Koordination der linken und rechten Hand und den Umgang mit der Pinzette. Gerade Anfänger benötigen einige Übung, um den Umgang mit den Instrumenten ohne direkten Sichtkontakt zu beherrschen. Die Übungseinheiten dienen der räumlichen Orientierung im Augeninneren und dem Überwinden der Diskrepanz von Intention und manueller Ausführung (Fulcrum-Effekt).

### Exakte Evaluation der Trainingsergebnisse

Alle Module liefern eine detaillierte Evaluation der chirurgischen Leistung. Kriterien sind unter anderem die Exaktheit der Bewegung, die benötigte Zeit zum Erfüllen der Aufgabe und Art und Grad der Verletzung von Gewebe. Die Trainingsergebnisse können nach ausgewählten Kriterien dargestellt werden und als Grundlage für gezieltes und systematisches Lernen dienen. Die Leistungen der Lernenden werden durch identische Aufgabenstellung vergleichbar.

### Eindrücke von der Phakosimulation

Für den „Anfänger“ sind zunächst zahlreiche Übungen programmiert, mit denen sich das dreidimensionale Navigieren in der Vorderkammer trainieren lässt. Die Übungen werden vom Computer bewertet, so dass sich ein Trainingseffekt demonstrieren lässt.

Die Simulation der Phako beginnt mit dem Eingeben viskoelastischer Substanzen. Hierzu muss das Fußpedal betätigt werden, was weniger realistisch ist. Die Vorderkammer vertieft sich wie gewohnt. Es folgt eine Kapsulorhexis mit der Pinzette, der Ablauf ist realistisch, die Kapsel reagiert wie bei einem älteren Patienten. Die Simulation einer sehr elastischen Kapsel wird in Zukunft auch möglich sein. Es folgt die Hydrodissektion und Hydrodelineation, erneut muss hierzu das Fußpedal betätigt werden.

Die eigentliche Phakoemulsifikation ist sicherlich der am schwierigsten zu simulierende Teil der Operation. Der Bildaufbau ist realistisch, Verzögerungen sind nur nahezu unmerklich. Was fehlt ist noch das Feedback bei unter-

schiedlichen Kernhärten. Die „Divide & Conquer“-Technik lässt sich recht gut üben, allerdings ist die Konsistenz des Linsenkerns noch nicht sehr realistisch. Das Absaugen des Epinukleus und der Rinde ist recht gut gelungen. Insgesamt ist die Simulation der Phakoemulsifikation ordentlich gelungen und zum Training gerade für Anfänger gut geeignet.

### Fazit: Simulator sollte in der Ausbildung nicht fehlen

Ein Phakosimulator sollte heute an keiner Klinik, die ausbildet, fehlen. Der hier vorgestellte Simulator ist gut gelungen und für die Ausbildung hervorragend geeignet. Er entspricht zwar noch nicht einer absolut realistischen Simulation der Phakoemulsifikation, aber wesentliche Schritte lassen sich gut üben. Durch Training am Simulator lässt sich die Häufigkeit intraoperativer Komplikationen mit Sicherheit senken.

### Literatur

1. Ericsson KA, Krampe RT, Tesch-Roemer C (1993) The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review* 100: 363-406
2. Seymour NE, Gallagher AG, Roman SA, O'Brien MK, Bansal VK, Andersen DK, Satava RM (2002) Virtual reality training improves operating room performance. *Ann Surg* 236: 458-464

Korrespondenzadresse:  
Prof. Dr. M. C. Knorz  
FreeVis LASIK Zentrum  
Universitätsklinikum Mannheim  
Theodor Kutzer Ufer 1-3  
68167 Mannheim  
E-Mail: knorz@eyes.de