

Virtual Reality – zukunftsweisende Technik in der Ausbildung junger Ophthalmochirurgen

F. Kretz, M. J. Sanchez, I. L. Limberger, G. U. Auffarth

Zusammenfassung

Viele Studien zeigen, dass es zu einer signifikant höheren chirurgischen Komplikationsrate bei jungen Ärzten im Vergleich zu erfahrenen Ophthalmochirurgen kommt. In vielen anderen Fach- und Berufsbereichen hat sich daher die Ausbildung an Simulatoren bereits etabliert. Hierbei können standardisierte Vorgehensweisen geübt und individuelle Erfahrungen gesammelt werden, ohne das Leben oder die Gesundheit anderer zu gefährden. Auch in der Kataraktchirurgie zeigen Übungen am OP-Simulator vielversprechende Ergebnisse. Die Instrumentenhandhabung verbessert sich, Operationstechniken werden verfeinert und simulierte Komplikationen verringern sich. Durch fortschreitende, immer detailgetreuere Simulationen kann hierdurch die Ausbildung angehender Ophthalmochirurgen verbessert werden und somit die Patientensicherheit weiter erhöht werden.

Summary

Different studies have proven that there is a significant higher surgical complication rate among young doctors compared to experienced ophthalmic surgeons. In many other specialties and working areas the training with simulators is already established. Standardized operations can be practiced and individual experiences can be made without dangers for other people's life or health. Trainings with simulators in cataract surgery also show promising results. Instrumenthandling can be enhanced, surgical techniques can be improved and simulated complications lowered. With the help of advanced and more detailed simulations the surgical training of becoming ophthalmic surgeons can be enhanced and so the patient security will increase.

Hintergrund

Die Rate chirurgischer Komplikationen von jungen Ärzten ist deutlich höher als die erfahrener Ophthalmochirurgen. Dies konnte bereits in einigen Studien nachgewiesen werden [3, 4, 5, 10, 16, 22]. Da es sich jedoch um Patienten handelt, sollte diese Komplikationsrate so niedrig wie möglich gehalten werden. In einigen medizinischen Fachbereichen hat daher die Ausbildung an Computersimulatoren bereits Einzug gehalten, da sie kein Risiko für Patienten darstellt [8, 24, 25, 26]. Seit 1996 beschäftigt sich daher die Firma VRmagic, Mannheim, mit der Entwicklung des Eyesi-Operationssimulators. Inzwischen existieren hierfür bereits Operationskurse

für die vitreoretinale Chirurgie, die bereits weltweit angeboten werden. Der Bereich der Kataraktchirurgie hat sich bis heute jedoch noch nicht etabliert.

Augenoperationen waren die ersten in mikrochirurgischer Technik durchgeführten Operationen und gehören daher noch heute zu den größten Herausforderungen der modernen Chirurgie. Vom Erlernen der Arbeit unter dem Operationsmikroskop bis zum Verinnerlichen der einzelnen Operationsschritte liegt ein anspruchsvoller Weg für jeden angehenden Ophthalmochirurgen. Zum Erlernen all dieser Fähigkeiten war es deshalb bisher obligat, die Techniken erst in Form von „Wetlabs“ an enukleierten Augen, sei es vom Schwein oder der Ziege, zu erlernen, um später unter Aufsicht erfahrener Chirurgen die einzelnen Schritte der Operation durchzuführen [6, 14, 19]. Waren dann die notwendigen Erfahrungen gesammelt, konnte die gesamte Operation unter Aufsicht erfolgen. Diese Modelle sind jedoch sehr zeit- und personalaufwendig und bergen gerade in der Anfangszeit ein erhöhtes Risiko für die behandelten Patienten [3, 4, 5, 10, 16, 19, 20, 22]. In anderen Fachbereichen der Medizin sowie in vielen weiteren Berufsgruppen weltweit hat daher die Bedeutung von computerbasierten Ausbildungsmöglichkeiten mittels Virtual Reality stetig zugenommen, um das Risiko und die Gefährdung anderer zu reduzieren [8, 24, 25, 26]. Schnellere Prozessorleistung und bessere Bildauflösungen ermöglichen daher eine zunehmend realistischere Simulation der Wirklichkeit (Virtual Reality). In einigen Berufsgebieten, wie vor allem in der Luftfahrt, ist daher das Training an Simulatoren obligat, um später überhaupt in der Wirklichkeit üben zu dürfen. Die Vorteile, die sich durch das Training an Simulatoren bieten, wurden auch in der Medizin erkannt. Einmal angeschafft, sind sie dauerhaft verfügbar. Die Betriebskosten sind gering und es besteht keine Gefährdung Dritter. Gezielt können verschiedene Lerneinheiten durchlaufen, aber auch wiederholt geübt werden. Die meisten Systeme bieten zusätzlich die Möglichkeit zur objektiven Evaluation des Probanden, um hierbei individuelle Leistungssteigerung zu erfassen, sowie die Leistung verschiedener Probanden zu vergleichen.

Ausbildung junger Ophthalmochirurgen

Die chirurgische Ausbildung angehender Ophthalmochirurgen wurde über Jahre hinweg stetig verbessert. Die am häufigsten benutzte Methode ist immer noch das Wetlab-Training. Hierbei wird mit den Originalinstrumenten sowie Maschinen die Kataraktoperation an enukleierten Augen geübt. Es kommen vor allem Schweineaugen, aber auch Ziegenaugen in Betracht [6, 7, 12]. Eine Schwierigkeit dieser Methode stellt jedoch das geringe Lebensalter der Tiere dar. Meist in jungen Jahren als Schlachtvieh verstorben, hat die Linse der enukleierten Augen noch keine Trübung entwickelt. Dies stellt eine zusätzliche Schwierigkeit für das Erlernen der Operation dar, jedoch wurden auch hierfür Lösungsansätze gefunden. Zur Induktion einer Linsentrübung kann diese unter anderem mithilfe von Mikrowellenbestrahlung [18] oder auch Injektion von Alkoholen in die Linse [21] hervorgerufen werden.

Alternativ hierzu kann das Innere der Linse erst abgesaugt und dann mit andere Materialien, die dem Härtegrad einer Kerntrübung entsprechen, ersetzt werden, um hieran die weiteren Schritte der Operation zu üben [12]. Es zeigen sich jedoch noch andere Schwierigkeiten, vor allem in Bezug auf porcine Augen, da diese nicht zu 100 % mit der menschlichen Anatomie und auch Physiologie gleichzusetzen sind. Die Kollagenstruktur ist eine völlig andere, was das Schweineauge deutlich elastischer als das menschliche macht. Des Weiteren ist die Tonisierung grundsätzlich geringer, die Hornhautaufteilung flacher sowie die pachymetrische Hornhautdicke um rund 50 % dicker als die des Menschen. Alle diese Faktoren erschweren daher das Operationstraining mittels Wetlab. Weitere, vor allem für wissenschaftliche Zwecke benutzte Methoden sind daher das Üben an Autopsieaugen, was sich unter anderem in den USA großer Beliebtheit erfreut [1, 19]. Unterschiedliche Techniken zur visuellen Mitbeurteilung der Operation sowie zur Anleitung während der Operation wurden hierfür entwickelt. Die Miyake-Apple-Technik [1, 13] und ihre Weiterentwicklungen wie die „closed system technique“ nach Auffarth [2] haben ihren Stellenwert schon lange etabliert. Ethische Gründe sowie die Verfügbarkeit von humanen Autopsieaugen schränkt jedoch diese Möglichkeit deutlich ein. Daher ist dieses Verfahren vor allem im Bereich der Forschung etabliert, nicht jedoch für die klinische Ausbildung nutzbar. Modernere Verfahren auf Basis der intraokularen Endoskopie zeigen ebenfalls gute Erfolge in der Mitbeurteilung intraokularer Operationen, eignen sich jedoch bei großem technischen Aufwand nicht für die allgemeine operative Ausbildung [9].

Der Eyesi-OP-Simulator (VRmagic, Mannheim, Germany)

Aufgebaut wie eine Operationseinheit einer Augenklinik, bietet der Eyesi-OP-Simulator angehenden Ophthalmochirurgen verschiedenste Möglichkeiten. Durch den Aufbau aus OP-Mikroskop, verschiedenen Fußpedalen sowie verschiedenen mechanischen Augenmodellen für die unterschiedlichen Module kann ein Großteil der verschiedenen Operationen detailgenau simuliert werden (Abb. 1). Es stehen nicht nur das Erlernen der einzelnen Operationsschritte im Vordergrund, sondern auch das Erlernen und Verinnerlichen der Grundkenntnisse, wie das richtige Einstellen des Mikroskops, sowie die unterschiedlichen Einstellungen der vorprogrammierten Standardmaschinen zur Operation. Die Funktionen der beiden Fußpedale sind ebenfalls den Originalen nachempfunden. Das eine dient zur Einstellung des Operationsmikroskops, zur Fokussierung und zur Einstellung der Vergrößerung, das andere ist je nach Modul der Funktionsweise für vitreoretinale Chirurgie oder Kataraktchirurgie nachempfunden und entsprechend programmiert. Dementsprechend gibt es verschiedene Instrumente, die in Form, Gewicht und Bedienbarkeit mit den Originalen identisch sind. Auch hier sind zwei verschiedene Sets verfügbar: für vitreoretinale Chirurgie mit geraden Instrumenten oder für Kataraktchirurgie mit

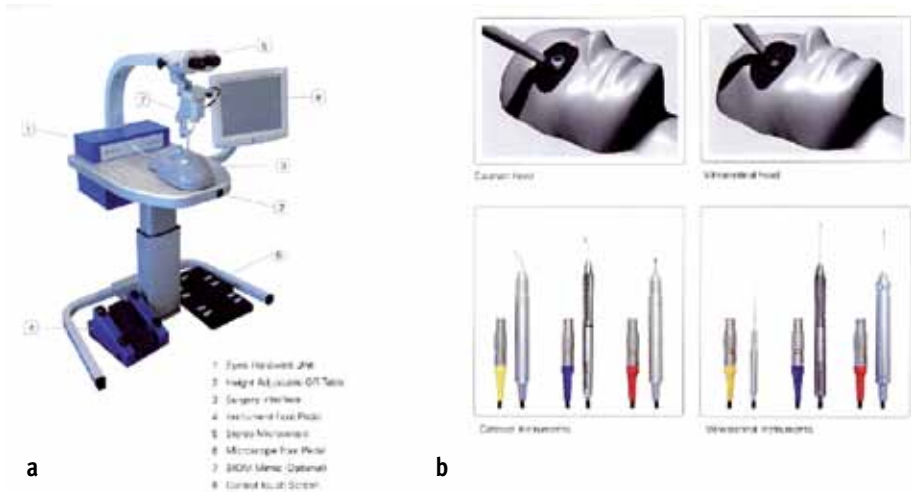


Abb. 1: Darstellung des Eyesi-Simulators

- a) Eyesi-Plattform mit Mikroskop, Bedienfeld und dem Fußpedal
 b) Übungsköpfe und Instrumente für Katarakt- und Netzhaut-OP-Simulation

gebogenen. Es gibt jedoch Teilschritte, die nicht den Originalen entsprechen können: Injektionen jeglicher Art, sei es von BSS bei der Hydrodissektion oder Hydrodelineation, oder der Einsatz von Viskoelastika können nicht über das Handstück injiziert werden. Hierbei übernimmt ebenfalls das Fußpedal die entsprechende Funktion. Je nach gewolltem Übungsmodul steht je ein mechanisches Augenmodell zur Verfügung, das seinerseits verschiedene Insertationspunkte für das Einbringen der Instrumente aufweist. Dies limitiert jedoch ebenfalls das Erlernen unterschiedlicher Schnittführungen, macht es allerdings deutlich einfacher für unerfahrene Chirurgen.

Nachdem der Operateur am Operationsmikroskop Platz genommen hat, kann die gewünschte Übungseinheit gestartet werden. Jede Einheit beginnt mit dem Scharfstellen des Mikroskops, gleich der Operation am lebendigen Patienten. Im hier beschriebenen Kataraktmodul entspricht die Programmierung des einen Fußpedals der einer handelsüblichen Phakomaschine, wohingegen das andere in beiden Modulen dem des Operationsmikroskops entspricht. Der entscheidende Unterschied zur Operation am Menschen ist jedoch, dass jetzt ein Computer die Bilder berechnet und grafisch, dreidimensional in die Monitore des Operationsmikroskops projiziert. Hier können diese vom Probanden wahrgenommen werden, und mit einer Zeitverzögerung, die unterhalb der Wahrnehmungsgrenze liegt, simuliert das System Bewegungen der Instrumente sowie das Verhalten des Gewebes während der Operation. Zeitgleich können verschiedene Einstellungen, z. B. der Phakomaschine

vorgenommen werden, wenn sie nicht schon vorab eingestellt wurden. Hierdurch bietet die Software jedem Probanden die Möglichkeit, sein Profil zu individualisieren und auf seine Bedürfnisse anzupassen.

Gegliedert ist das Programm in verschiedene Trainingseinheiten: Das allgemeine Geschicklichkeitstraining, das vor allem zur Verbesserung der Hand-Augen-Koordination dient und somit die Instrumentenhandhabung verbessert, die individuelle Operationsvorbereitung und das Komplikationsmanagement. Je nach Level hat der auszubildende Arzt einen vorgeschriebenen Übungsparcours zu bewältigen, bei dem keine Übung übersprungen werden kann. Je nach Schweregrad muss zusätzlich ein bestimmter Score erreicht werden, um die nächste Übung angehen zu können. Ist dies nicht möglich, muss die vorangegangene Übung wiederholt werden.

Das Geschicklichkeitstraining dient vor allem der Verbesserung der Instrumentenhandhabung sowie zur Erlernung der Arbeitsweise unter dem Operationsmikroskops. Bewegungsabläufe in verschiedenen Ebenen werden trainiert, um die Hand-Augen-Koordination zu verbessern. Vom einfachen Bewegen von Kugeln in einer Ebene bis hin zur Umpositionierung von Gegenständen verschiedener Größe im Raum ist ein großes Spektrum gegeben, um die Instrumentenhandhabung zu erlernen und stetig zu verbessern (Abb. 2).

In der Operationsvorbereitung werden gezielt die dem System möglichen einzelnen Operationsschritte geübt und durchgeführt (Abb. 3). Nach Abschluss aller Lerneinheiten wird dann die Kataraktoperation als Ganzes geübt. Die Implantation einer Intraokularlinse kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht geübt werden, jedoch wird auch dies in Zukunft sicherlich möglich werden.

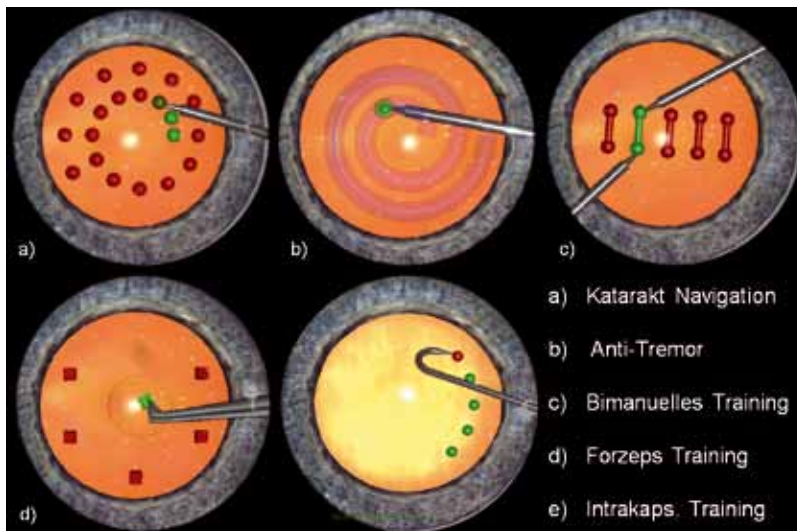


Abb. 2: Geschicklichkeitstraining

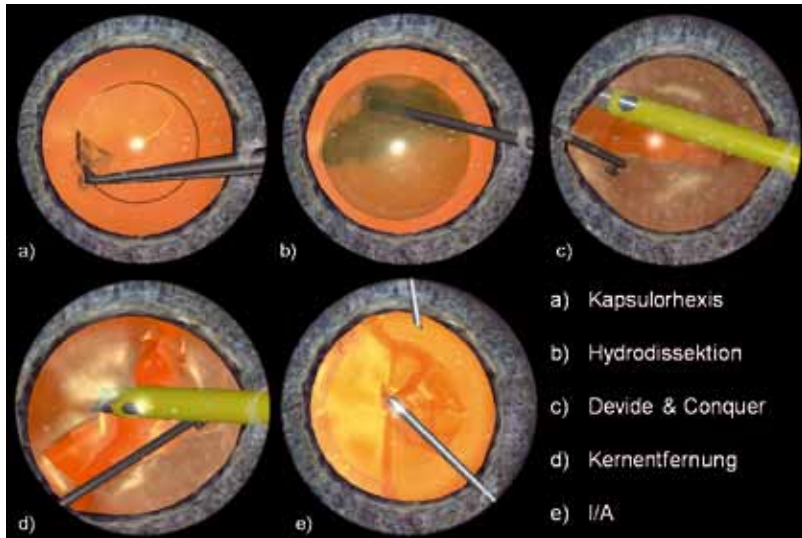


Abb. 3: Katarakt- und Phakokonzeppte

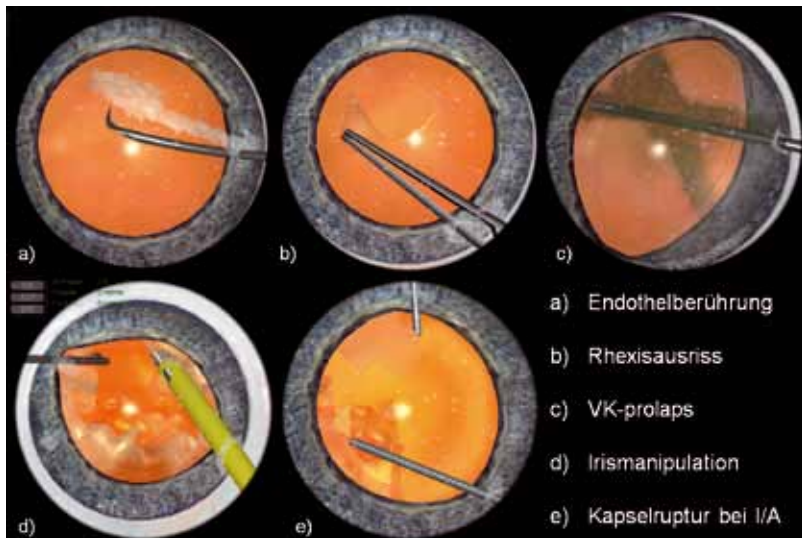


Abb. 4: Komplikationsmanagement

Im Bereich des Komplikationsmanagements können einzelne Operationsschritte gezielt wiederholt, geübt und somit die eigene Technik verfeinert werden. Mögliche Komplikationen wie Verletzung intraokularer Strukturen, Hornhautödem, Vorderkammerprolaps sind ebenfalls in die Software integriert (Abb. 4). Sie können daher nicht nur als Komplikation während der Operation erfolgen, sondern auch vor-

eingestellt werden. Hierdurch erlernen die Probanden auch das weitere Vorgehen in schwierigen Situationen.

Die Auswertung der Leistung geschieht nach verschiedenen Haupt- und Beurteilungskriterien: Unter die Hauptkriterien fallen die Zielerfüllung, Produktivität, Instrumentenhandhabung sowie der Umgang mit den verschiedenen intraokularen Strukturen. Je nach Lerneinheit stellen sich diese aus verschiedenen Beurteilungskriterien zusammen. Tabelle 1 zeigt die möglichen Beurteilungskriterien, nach denen das System evaluiert und den Score-Wert berechnet [23]. Diese erfassten Parameter werden dann später automatisch analysiert, um so einen Leistungsvergleich zu gewährleisten.

Durchführungszeit
Scharfstellung der Arbeitsebene
Scharfstellung aller eingeführten Instrumente
Korrekte Handhabung der Instrumente
Durchführung aller Operationsschritte unter Einhaltung des Rotreflexes
Augeninnendruck
Bewegung des Auges
Gewebeschaden (Linsenstrukturen, Hornhaut, Iris)

Tab. 1: Beurteilungskriterien

Evaluation des Eyesi-OP-Simulators an der Universitäts-Augenklinik Heidelberg

Im Rahmen von zwei kleineren Studien wurden in der Universitäts-Augenklinik Heidelberg der Eyesi-OP-Simulator validiert. Hierbei wurden einmal die interindividuellen Leistungen zwischen drei Gruppen operativ unerfahrener bis operativ erfahrener Ärzte untersucht sowie die intraindividuellen Leistungen ausgewertet. In einer zweiten Studie wurde dann die Kombination aus Wetlab-Training und Simulatortraining in Fragebögen mittels subjektiver Einschätzung anhand von Punktwerten [1–10] evaluiert.

In der ersten Studie wurden Ärzte unserer Augenklinik in drei verschiedene Gruppen entsprechend der individuellen operativen Erfahrung eingeteilt: Gruppe A für erfahrene Ophthalmochirurgen ($n = 3$), Gruppe B für beginnende Ophthalmochirurgen ($n = 3$) und Gruppe C für operativ unerfahrene Ärzte ($n = 3$). Alle Probanden absolvierten den Kataraktanfängerkurs (Cat-A) und mussten diesen dreimal wiederholen. Zum Bestehen jedes Moduls wurde ein Niveau von 30 % festgelegt.

Wie aus den Studien von Mahr et al. und Pivett et al. zu erwarten [11, 15], zeigte die Gruppe der erfahrenen Ophthalmochirurgen die besten Ergebnisse in allen Lern-

einheiten bei der geringsten Anzahl an benötigten Versuchen (Abb. 5). Es konnte jedoch kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen festgestellt werden. In der intraindividuellen Auswertung der Lernkurve zeigte sich eine statistisch signifikante Verbesserung der Fähigkeiten in allen Gruppen, sodass hierdurch eine deutliche Verbesserung der operativen Fähigkeiten abgeleitet werden kann.

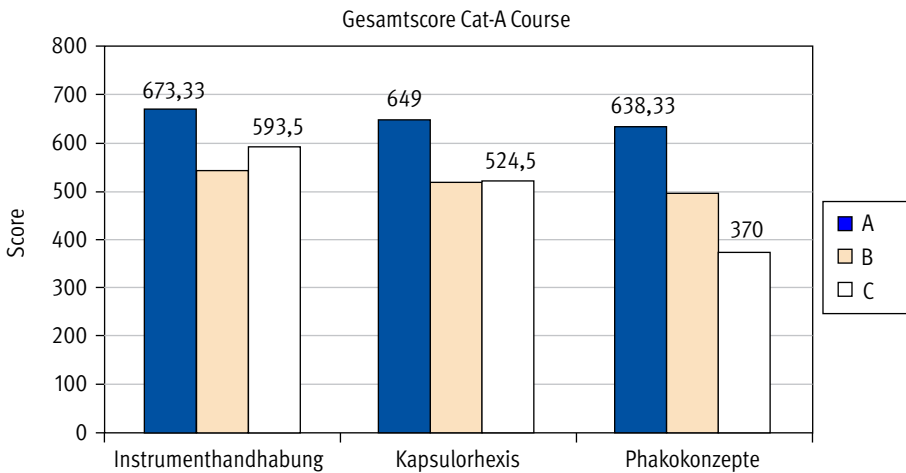


Abb. 5: Gesamtscore

In einer zweiten kleineren Studie wurde der Einfluss des Trainings am OP-Simulator auf das Wetlab-Training bewertet. Hierfür wurde eine Gruppe mit vier operativ unerfahrenen Ärztinnen zuerst einem Wetlab mit Schweineaugen unterzogen. Danach erfolgte die Durchführung eines „Challenge Courses“ am OP-Simulator, gefolgt von einem erneuten Wetlab-Training. Jede Einheit wurde nach Beendigung durch einen subjektiven Fragebogen bewertet (Abb. 6). Am Ende des Versuchsaufbaus erfolgte die Evaluation des gesamten Versuchsaufbaus (Abb. 7). Für jede Frage konnten 0 bis 10 Punkte vergeben werden, wobei 0 die niedrigste und 10 die höchste Bewertung darstellt.

Bei der Auswertung der Fragebögen zeigte sich ein Anstieg der Punktwerte für alle vier Fragen (Abb. 6). Den größten Anstieg verzeichnete die Instrumentenhandhabung, gefolgt von der Einschätzung möglicher Komplikationen. Die Sicherheit über den Ablauf blieb bis zum Zeitpunkt nach dem OP-Simulatortraining stabil, stieg nach dem zweiten Wetlab jedoch deutlich an. Die Einschätzung der eigenen Geschwindigkeit zeigte einen Anstieg nach dem zweiten Fragebogen, blieb dann jedoch stabil.

In der Abschlussevaluation zeigte sich eine volle Punktzahl für die Etablierung des OP-Simulatortrainings in der Facharztausbildung sowie in der allgemeinen Durchführbarkeit des Versuchsaufbaus in der klinischen Ausbildung. Mit 7,5 im

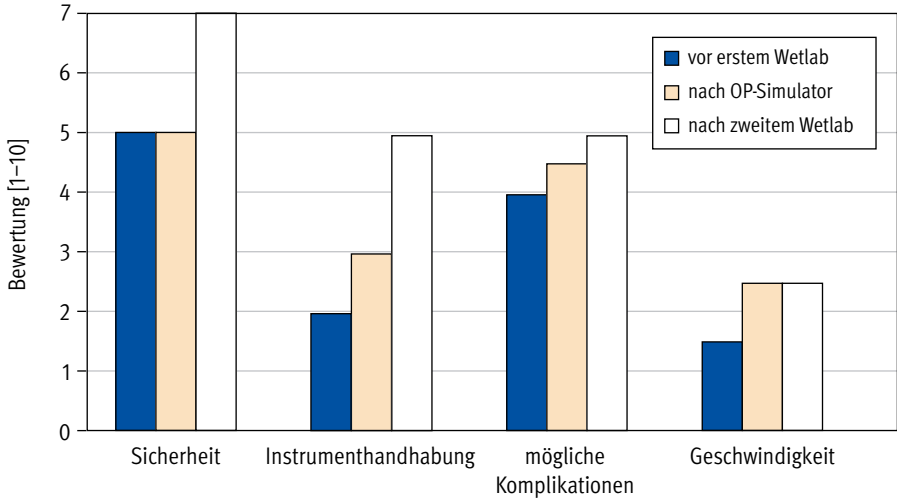


Abb. 6: Punktwerte für die Fragebögen im Zeitverlauf des Wetlab-Drylab-Trainings

Median zeigt sich der subjektive Lernerfolg selbst bei diesem kurzen Versuchsaufbau als sehr gut bewertet. Die Vorteile bei der Durchführung des Wetlabs durch ein vorangegangenes OP-Simulatortraining wurde mit 7 im Median ebenfalls sehr gut bewertet (Abb. 7).

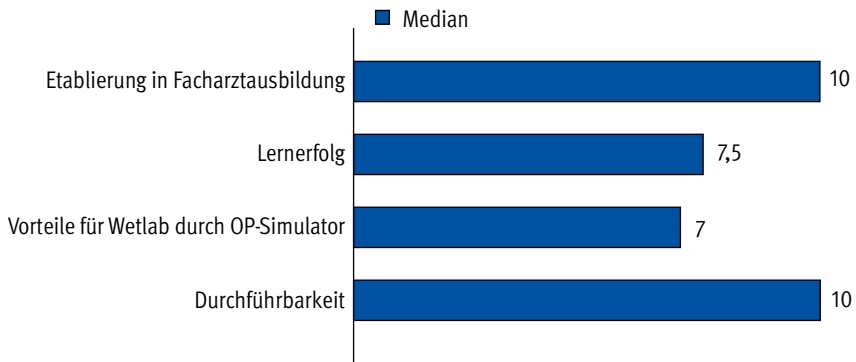


Abb. 7: Ergebnisse der Gesamtevaluation

Internationale Studien mit dem Eyesi-OP-Simulator

Einzelne Lerneinheiten des Eyesi-OP-Simulators wurden bereits in der Vergangenheit evaluiert. Mit der Validierung der Forceps- und Anti-Tremor-Module hatte sich bereits die Gruppe um Mahr et al. beschäftigt [11]. Hierbei konnte gezeigt werden,

dass erfahrene Ophthalmochirurgen deutlich geringere Durchführungszeiten im Vergleich zur Gruppe mit unerfahrenen Ärzten benötigten. Die Gruppe um Privett et al. konnte im Rahmen der Evaluation des Kapsulorrhexis-Moduls, ähnlich der Studie von Mahr et al., einen signifikanten Unterschied zwischen erfahrenen und unerfahrenen Augenchirurgen feststellen [15]. Kürzere Durchführungszeiten bei konstantem Erhalt des Rotreflexes konnten in Kombination mit weniger Asymmetrien der Kapsulorrhexis nachgewiesen werden. Selvander et al. konnten in ihrer Arbeit eine deutliche Leistungssteigerung im Kapsulorrhexis-Modul und im Kataraktnavigationsmodul nach zehnmaliger Wiederholung bei unerfahrenen Probanden feststellen [17]. Zum Erreichen eines Plateaus in der Lernkurve des Kapsulorrhexis-Moduls waren jedoch zehn Versuche zu wenig.

Schlussfolgerung

Virtual-Reality-Training stellt eine weitverbreitete Methode zur möglichen Ausbildung in verschiedenen Bereichen dar. Der Eyesi-OP-Simulator ermöglicht ein einfaches Erlernen der unterschiedlichen Einzelschritte der Kataraktoperation ohne Betreuung oder Anleitung durch erfahrene Chirurgen. Durch die originalgetreue Nachbildung der Instrumente kann deren Umgang sowie die verschiedenen Funktionen einfach und sicher erlernt werden. Nach einmaliger Installation des Systems kann es zeitunabhängig betrieben werden, nach einmaliger kurzer Profilerstellung können die Probanden ihr Training selbstständig durchführen. Hierdurch ergibt sich eine wenig personalintensive Möglichkeit der operativen Ausbildung angehender Chirurgen, ohne Patienten zu gefährden. Die 100%ige Simulation der Wirklichkeit ist jedoch auch mit den modernsten Techniken zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich, sodass bestimmte Operationsschritte weiterhin in Form von Wetlabs und dann an Patienten geübt und verfeinert werden müssen.

Literatur

1. APPLE DJ, LIM ES, MORGAN RC et al.: Preparation and study of human eyes obtained postmortem with the Miyake posterior photographic technique. *Ophthalmology* 1990;97:810–816
2. AUFFARTH GU, WESENDAHL TA, SOLOMON KD et al.: A modified preparation technique for closed-system ocular surgery of human eyes obtained postmortem: an improved research and teaching tool. *Ophthalmology* 1996;103:977–982
3. BHAGAT N, NISSIRIOS N, POTDEVIN L et al.: Complications in resident-performed phacoemulsification cataract surgery at New Jersey Medical School. *Br J Ophthalmol* 2007;91:1315–1317
4. BLOMQUIST PH, MORALES ME, TONG L et al.: Risk factors for vitreous complications in resident-performed phacoemulsification surgery. *J Cataract Refract Surg* 2011
5. BLOMQUIST PH, MORALES ME, TONG L et al.: Risk factors for vitreous complications in resident-performed phacoemulsification surgery. *J Cataract Refract Surg* 2012;38:208–214

6. DADA VK, SINDHU N: Cataract in enucleated goat eyes: training model for phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 2000;26:1114–1116
7. HASHIMOTO C, KUROSAKA D, UETSUKI Y: Teaching continuous curvilinear capsulorhexis using a postmortem pig eye with simulated cataract (2). *J Cataract Refract Surg* 2001;27:814–816
8. IWATA N, FUJIWARA M, KODERA Y et al.: Construct validity of the LapVR virtual-reality surgical simulator. *Surg Endosc* 2011;25:423–428
9. KLEINMANN G, APPLE DJ, CHEW J et al.: New endoscopic technique to analyze various modern specialized intraocular lenses in research eyes and human eyes obtained postmortem. *Ophthalmology* 2006;113:591–597
10. LEE JS, HOU CH, YANG ML et al.: A different approach to assess resident phacoemulsification learning curve: analysis of both completion and complication rates. *Eye (Lond)* 2009;23:683–687
11. MAHR MA, HODGE DO: Construct validity of anterior segment anti-tremor and forceps surgical simulator training modules: attending versus resident surgeon performance. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:980–985
12. MEKADA A, NAKAJIMA J, NAKAMURA J et al.: Cataract surgery training using pig eyes filled with chestnuts of various hardness. *J Cataract Refract Surg* 1999;25:622–625
13. PEREIRA FA, WERNER L, MILVERTON EJ et al.: Miyake-Apple posterior video analysis/photographic technique. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:577–587
14. PORRELLO G, GIUDICEANDREA A, SALGARELLO T et al.: A new device for ocular surgical training on enucleated eyes. *Ophthalmology* 1999;106:1210–1213
15. PRIVETT B, GREENLEE E, ROGERS G et al.: Construct validity of a surgical simulator as a valid model for capsulorhexis training. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:1835–1838
16. RUTAR T, PORCO TC, NASERI A: Risk factors for intraoperative complications in resident-performed phacoemulsification surgery. *Ophthalmology* 2009;116:431–436
17. SELVANDER M, ASMAN P: Virtual reality cataract surgery training: learning curves and concurrent validity. *Acta Ophthalmol* 2010
18. SHENTU X, TANG X, YE P et al.: Combined microwave energy and fixative agent for cataract induction in pig eyes. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1150–1155
19. SMITH JH: Teaching phacoemulsification in US ophthalmology residencies: can the quality be maintained? *Curr Opin Ophthalmol* 2005;16:27–32
20. SPITERI A, AGGARWAL R, KERSEY T et al.: Phacoemulsification skills training and assessment. *Br J Ophthalmol* 2010;94:536–541
21. SUGIURAT, KUROSAKA D, UEZUKI Y et al.: Creating cataract in a pig eye. *J Cataract Refract Surg* 1999;25:615–621
22. UNAL M, YUCEL I, ALTIN M: Pain induced by phacoemulsification performed by residents using topical anesthesia. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging* 2007;38:386–391
23. Vrmagic User Guide für Eyesi Surgery Simulator Version 2.6
24. YAMAGUCHI S, KONISHI K, YASUNAGA T et al.: Construct validity for eye-hand coordination skill on a virtual reality laparoscopic surgical simulator. *Surg Endosc* 2007;21:2253–2257
25. ZHANG A, HUNERBEIN M, DAI Y et al.: Construct validity testing of a laparoscopic surgery simulator (Lap Mentor): evaluation of surgical skill with a virtual laparoscopic training simulator. *Surg Endosc* 2008;22:1440–1444
26. ZHENG B, DENK PM, MARTINEC DV et al.: Building an efficient surgical team using a bench model simulation: construct validity of the Legacy Inanimate System for Endoscopic Team Training (LISETT). *Surg Endosc* 2008;22:930–937