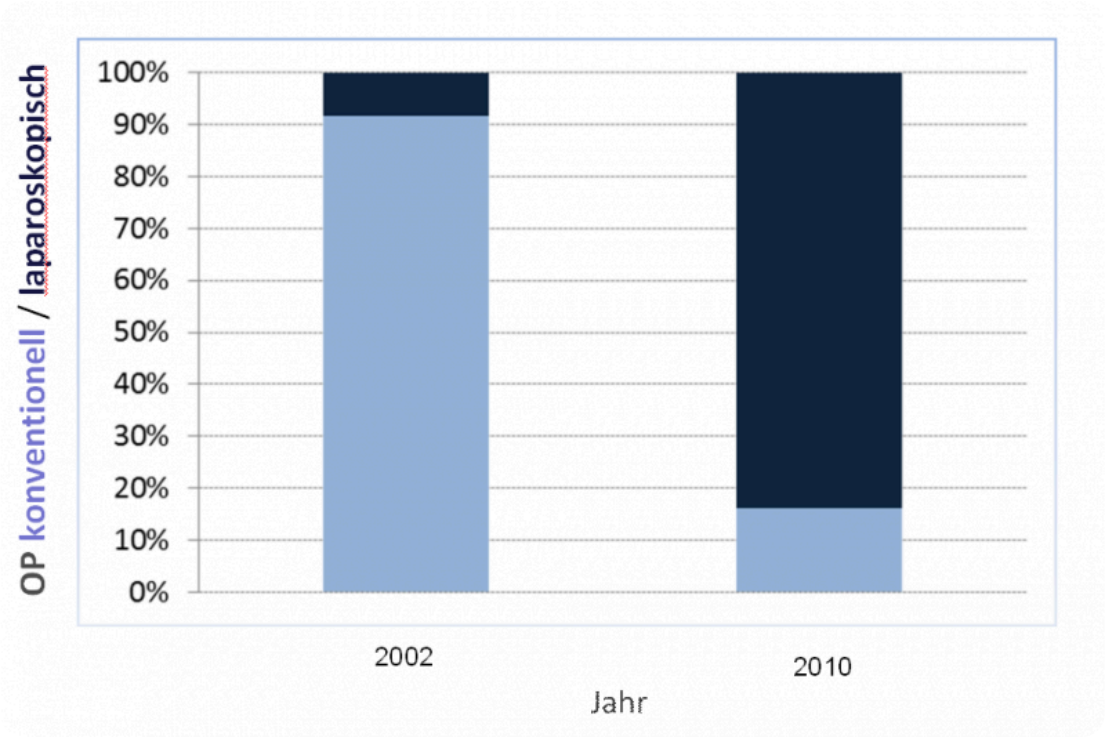
FACHTHEMEN 01.11.2011

Virtuelles Laparoskopietraining in der chirurgischen Weiterbildung – Spielerei oder curriculare Notwendigkeit?

Die technische Weiterentwicklung hat in den letzten 20 Jahren in vielen Bereichen der Chirurgie zu einem Wechsel weg von der konventionellen, offenen Chirurgie hin zur Minimalinvasiven Chirurgie (MIC) geführt. Traditionelle Ausbildungseingriffe wie die Appendektomie (Abb. 1), Cholecystektomie, die elektive Sigmaresektion und selbst Eingriffe in der Hernienchirurgie sind dabei eingeschlossen. Bereits für den Erwerb der Facharztanerkennungen werden Kenntnisse, Erfahrungen und Fertigkeiten bezüglich der laparoskopischen Operationsverfahren verlangt. Dies bedeutet eine Herausforderung für die Organisation und die Gestaltung der chirurgischen Weiterbildung.

Abb. 1: Operationsverfahren bei Appendektomie (laparoskopische Eingriffe im Jahr 2002 durch Oberarzt)



Die MIC erfordert besondere psychomotorische Fähigkeiten. Grundlegende praktische Fähigkeiten müssen bereits außerhalb des Operationssaals erlernt und perfektioniert werden. Ziel ist es, die Lernkurven von Assistentinnen und Assistenten zu verkürzen und damit den gewachsenen Anforderungen an die Patientensicherheit, an das Arbeitszeitgesetz und an die Gesundheitsökonomie Rechnung zu tragen.

Klassische chirurgische Trainingsmodelle im anatomischen Institut oder im Tiermodell sind sicher gewinnbringend, jedoch nur innerhalb exklusiver Kurse zu realisieren. Für die breitere Anwendung haben sich herkömmliche Pelvitrainer mit Organmodellen (Abb. 2) bzw. perfundierten Organsystemen (Abb. 3) und sogenannte Video-Box-Trainer bewährt.

Abb. 2: Kurt Semm (1927-2003) am von ihm entwickelten Pelvitrainer

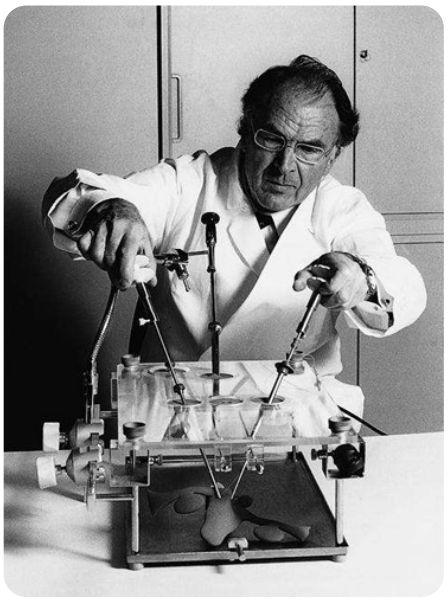


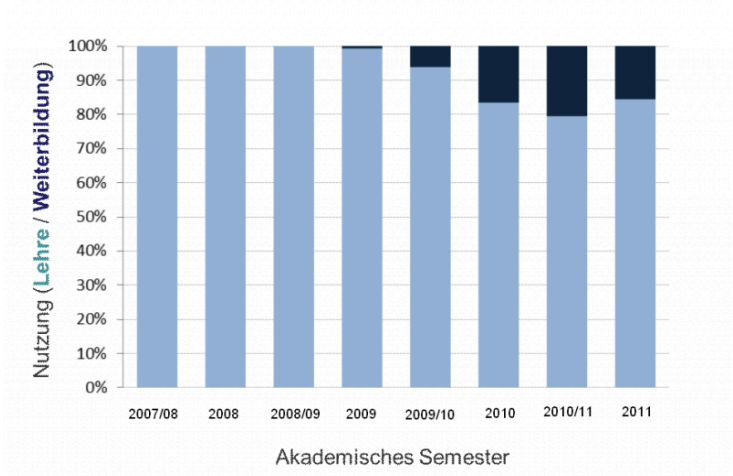
Abb. 3: In Operationssälen des Simulationszentrums der Klinik für Anästhesiologie und des Skillslabs der Universitätmedizin trainieren chirurgische Assistenten auch am Pop-Trainer (Foto: Werner Kneist)

Die Entwicklungen auf dem Gebiet der Computergraphik eröffnete der Medizin neue Perspektiven. Bereits in den frühen neunziger Jahren entwickelte Richard M. Satava den ersten Virtual-Reality (VR) Operationssimulator [1]. Der amerikanische Chirurg und Militärpilot sagte daraufhin einen Paradigmenwechsel in der chirurgischen Ausbildung voraus. Für die Vollentwicklung der Operationssimulatoren antizipierte er eine kürzere Zeitspanne als die, die für Flugsimulatoren benötigt wurde, bis sie unabdingbar mit der professionellen Pilotenausbildung verbunden waren (d. h. < 40 Jahre). Aus einer Umfrageanalyse unter 1062 Teilnehmern des „Praktischen Kurses für Viszeralchirurgie Warnemünde“ (1999-2009) wurde deutlich, dass 82 % der Teilnehmer außerhalb des Operationssaals ihrer Klinik nie oder nur selten die Möglichkeit zum operativen Training hatten. [2] Eine aktuell publizierte Umfrage aus dem Jahr 2008 ergab für eine selektionierte Stichprobe deutscher Kliniken (Hospitationskliniken der chirurgischen Arbeitsgemeinschaft für Minimalinvasive Chirurgie (CAMIC) und Universitätskliniken waren stärker berücksichtigt), dass 14 % (11/154) – der mit einer Rücklaufquote von 54 % antwortenden Kliniken – mit VR-Einheiten ausgestattet waren. [3]

Die VR-Laparoskopiesimulation umfasst das Modell (virtuelle Anatomie), die Operation (Interaktion) und das chirurgische Instrumentarium (Interaktionsgeräte). In einem virtuellen anatomischen Umfeld aus modellierten 3D-Strukturen, Oberflächen und Texturen kann der Chirurg starre und bewegliche virtuelle Instrumente (Taststab, Schere, Stapler u. a.) manövrieren. Schnelle Rechnerkalkulationen ermöglichen die real-time Simulation einer Gewebemanipulation (z. B. Schneiden). Unter Berücksichtigung der zugewiesenen elastodynamischen Eigenschaften können Gewebedeformationen (z. B. Eindringtiefe bei Verletzung der Leber) durch Instrumente vom Computer errechnet werden. Wichtige interventionelle Aspekte wie Blutstillung durch Elektrokoagulation und Clippen von Gefäßen mit konsekutiver Erfassung des Blutverlustes sind bereits möglich. (**Video A**)

Ausgehend vom Einsatz in der chirurgischen Lehre [4,5] wurde die virtuelle Laparoskopie mit Hilfe von vier Simulatoren (SimSurgery SEP 2.2.1, Oslo, Norwegen und LapSim, Surgical Science, Göteborg, Schweden) an der Klinik und Poliklinik für Allgemein- und Abdominalchirurgie zunehmend auch in die Weiterbildung der chirurgischen Mitarbeiter integriert (Abb. 4).

Abb. 4: Strukturierte virtuelle Laparoskopiesimulation in Aus- und Weiterbildung an der Klinik und Poliklinik für Allgemein- und Abdominalchirurgie der Universitätsmedizin in Mainz



Unsere Klinik organisierte in den beiden letzten Jahren 9 strukturierte Tageskurse zum Training am Laparoskopiesimulator. Die Teilnehmerzahl war begrenzt auf 10 Weiterbildungsassistenten pro Kurs und von der Landesärztekammer mit 7 Punkten zertifiziert. Da insbesondere chirurgische Anfänger vom virtuellen Training profitieren [6], wurden gezielt Weiterbildungsassistenten im **Common Trunk** angesprochen. Aus organisatorischen Gründen waren jeweils 2 – 3 Teilnehmer aus der eigenen Klinik; Weiterbildungsassistenten der Lehrkrankenhäuser wurden kostenfrei eingeladen. Die Teilnehmer wurden zunächst zu den laparoskopischen Basistechniken (Gewebemanipulation und Kameranavigation) unterrichtet. Weitere Übungseinheiten umfassten die virtuelle Cholecystektomie, Appendektomie und das Teamtraining. Dreiviertel der Kollegen befanden sich im 1. oder 2. Jahr ihrer Weiterbildung. Die Hälfte der Weiterzubildenden hatte mehr als 20 laparoskopische Eingriffe assistiert; 30 % hatten mehr als fünf laparoskopische Eingriffe selbst durchgeführt. Die Evaluation ergab, dass die Teilnehmer ihren organisatorischen und zeitlichen Aufwand als lohnend empfanden und sich ihre Erwartungen an den Kurstag erfüllten (100 %). Über 90 % der Teilnehmer attestierten der praktisch orientierten Methodik und der Technik ein „gutes“ bzw. „sehr gutes“ Prädikat. Mit einer Ausnahme waren alle an weiterführenden Kursen interessiert.

Vorteilhaft am Konzept der virtuellen Laparoskopiesimulation sind ihre Anwenderzentriertheit, die beliebige Wiederholbarkeit von Übungen bzw. operativen Prozeduren und das unmittelbare objektive Feedback der Kennzahlen (*metrics*) zu Operationszeit, Bewegungsökonomie und Fehlern. Auf diese Weise wird die manuelle Ausbildung außerhalb des klinischen Operationstraktes möglicherweise besser unterstützt als durch die

Verwendung von herkömmlichen Video-Box-Trainern. Zumindest ist eine Gleichwertigkeit gegeben. [7, 8] Dass die VR-Simulation in der operativen Realität zu verbesserten chirurgisch-technischen Leistungen führt, wurde in kontrollierten, randomisierten Studien nachgewiesen. [9–12]

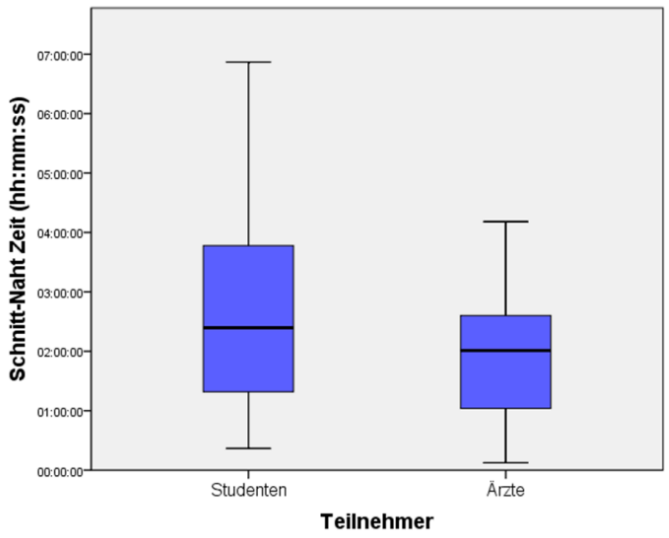
Die geräteeigenen Kennzahlen der Simulatoren erlauben die Einstellung verschiedener Schwierigkeitsstufen und die Abbildung von Lernkurven. Verantwortliche Weiterbilder müssen bei der Erstellung von effizienten VR-basierten Trainingskursen neben der eigenen Erfahrung wissenschaftliche Erkenntnisse zur Operationssimulation berücksichtigen, damit der Spagat zwischen Motivation und Demotivation ihrer auszubildenden Kollegen gelingt.

Nach Mitteilung von Bonrath et al. [3] wird an 36 deutschen Kliniken mit MIC- Trainingsmöglichkeiten in 13 % die Erfolgskontrolle computergestützt durchgeführt. Nach Aggarwal et al. [13] beinhaltet ein zielorientiertes VR-Trainings-Curriculum Übungen, deren Kennzahlen primär die Unterscheidung verschiedener Leistungsniveaus erlauben (Konstrukt-Validität). Ausgangspunkt bleiben dabei die laparoskopischen Basistechniken. Es sollte gesichert sein, dass sich durch die Komplettierung mit späteren Übungen eine individuell objektivierbare Lernkurve erstellen lässt, bzw. das Niveau des erreichten Plateaus festgelegt werden kann. Zielkriterium ist die im Vorfeld ermittelte Expertenqualität.

Komplexe Prozeduren werden zunächst in Einzelabschnitten geübt und nach Erreichen der Zielkriterien im Ganzen wiederum bis zum Erreichen des jeweiligen Expertenniveaus absolviert. Die kritische Auswahl der Übungen, Übungsabfolgen und Kennzahlen – entsprechend der Relevanz für die reale laparoskopische Operation – obliegt den Weiterbildungsverantwortlichen und Experten. Benutzerregeln und Übungszeiträume sind vorzugeben. Dabei ist zu beachten, dass das Vorhandensein von VR-Simulatoren allein nicht automatisch zur Nutzung durch die Weiterbildungsassistenten führt. [14,15]

Mit dem längerfristigen Ziel eines curricularen VR-Kursangebotes wurde gemeinsam mit dem Berufsverband der Deutschen Chirurgen (BDC) ein Pilot-Trainingskurs konzipiert, an unserer Klinik zeitlich begrenzt angeboten, intern evaluiert und ergebnisorientiert ausgewertet. Es erfolgte eine problemorientierte Zusammenstellung von 16 konsekutiven Übungen mit den Schwerpunkten Kamera- und Instrumentennavigation sowie Nahttechnik. Zielvorgaben wurden unter Zuhilfenahme eigener und herstellerspezifischer (SimSurgery, Oslo) Erfahrungswerte festgesetzt. Das jeweilige Übungsziel sollte durch entsprechende Wiederholungen erreicht werden, bevor die nächste Übung begonnen wurde. Ärzte und Studenten im praktischen Jahr absolvierten den Kurs jeweils in zwei Durchgängen mit gestaffeltem Leistungsniveau. Es bestand freie Zeiteinteilung. Der Trainingsstand wurde regelmäßig abgefragt. Im Ergebnis zeigte sich, dass der Kurs praktikabel und nach Anleitung auch ohne individuellen Tutor durchführbar ist. Zusammengenommen wurden von allen Kursteilnehmern 70 Stunden Übungszeit („Schnitt-Naht-Zeit“) absolviert. Obwohl die Studenten länger trainierten (Abb. 5), erreichte nur einer das für die chirurgischen Mitarbeiter vorgegebene Kursziel. Wurde der Kurs motiviert durchgeführt, als relevant angesehen und der Schwierigkeitsgrad als adäquat beurteilt, war für die Kollegen ein erfolgreicher Abschluss zu verzeichnen. Ein Drittel der Teilnehmer absolvierte das Kursziel mit durchschnittlich 57 ± 17 Übungsdurchläufen. Im Ergebnis zeigte sich, dass neben der weiteren Validierung und Justierung des Simulationssystems die Motivation zum Laparoskopietraining außerhalb des Operationssaals gesteigert werden kann. Die Hilfe durch einen erfahrenen Ausbilder ist nicht zwingend notwendig, sollte aber für den Fall operationstechnischer Schwierigkeiten mit einer Übung immer gewährt sein. [16,17]

Abb. 5: Übungszeit („Schnitt-Naht-Zeit“) der Teilnehmer innerhalb eines curricularen Trainingskurses am VR-Laparoskopie Simulator



Mehr als 1000 Studierende der Mainzer Universitätsmedizin erhielten bereits curricularen Unterricht an VR-Laparoskopiesimulatoren. Individuelle Stärken erfordern bereits hier eine leistungsorientierte Anpassung, um das Unterrichtsprogramm effizient zu gestalten. Interesse an der Chirurgie, feinmotorisches Geschick und häufiges Computerspiel beeinflussten die Übungsergebnisse positiv. Möglicherweise kann ein früher Kontakt mit dieser attraktiven Ausbildungstechnik Studierende zum Ergreifen einer chirurgischen Laufbahn motivieren. [18] Der universitäre Bildungsauftrag kann dabei durchaus weiter gefasst werden (Abb. 6).

Abb. 6: „Entdeckendes Lernen“ Brückenschlag zwischen Schule und Universität unter der Schirmherrschaft der Ministerin für Bildung, Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur des Landes Rheinland-Pfalz (Foto: Judith Wallerius, Mainzer Allgemeine Zeitung)

Anders als in den USA gibt es in Deutschland bisher keine in den Ausbildungsrichtlinien festgelegten Vorschriften zum Absolvieren von praktischen Trainingskursen. Die CAMIC spricht sich jedoch eindeutig für ein, die klinische Weiterbildung begleitendes, Curriculum zum systematischen Erlernen der endoskopischen Chirurgie aus. Im „CAMIC-Curriculum der Minimalinvasiven Chirurgie“ wurden dabei auch standardisierte Übungen an Pelvitrainern verankert. [19] Nach einer aktuellen europäischen Konsensuskonferenz (ohne deutsche Beteiligung) wird bereits geraten, Weiterbildungsassistenten erst nach einem bestandenen VR-Trainingscurriculum zur klinischen Ausbildung in der MIC zuzulassen. [20]

Mit der Weiterentwicklung der (Roboter-assistierten-) Minimalinvasiven Chirurgie bietet sich die Möglichkeit der dreidimensionalen (3D) Bildgebung. [21] Für das Laparoskopie-Training stellte das 3D-System (Video-Box-Trainer) einen signifikanten Vorteil für Anfänger dar und war für Fortgeschrittene nicht nachweisbar. [22] Neuere VR-Simulationssoftware ermöglicht ebenfalls abstrakte und prozedurale Übungen im 3D-Modus (Abb. 7). Nach eigenen Untersuchungen bietet eine initiale 3D-Laparoskopie-Simulation chirurgisch unerfahrenen Medizinstudenten und Assistenten keinen signifikanten Vorteil gegenüber der 2D-Variante. Fortgeschrittene Weiterbildungsassistenten und Fachärzte sind jedoch vom 3D-System angetan. Die klinische Relevanz muss in Zukunft weiter evaluiert werden.

Abb. 7: Virtuelle Appendektomie im 3D-Modus (Foto: Werner Kneist)

Der vor allem aus dem Sport geläufige „Aufwärmeffekt“ vor dem „Start“ ist bereits innerhalb des virtuellen Trainings nachweisbar. Ein *„warm-up“* von 15 bis 20 Minuten mit einfachen Übungen führt zur signifikanten Verbesserung der Leistung bei anschließenden anspruchsvolleren Aufgaben. [23] Wir konnten feststellen, dass dieser Effekt auch bei laparoskopischen Ausbildungseingriffen (Cholecystektomie, Appendektomie) erreichbar ist (**Video B**). Nach Abschluss der simulationsbasierten Lernkurven wurden die von den Assistenten unmittelbar prä- und postoperativ am Simulator erzielten technischen Leistungen statistisch ausgewertet. Im Vorher-Nachher-Vergleich konnte eine Verbesserung der Instrumentennavigation und -koordination nachgewiesen werden. Die erreichten Gesamtscores waren höher und Fehler seltener. [24] In einer randomisierten Studie mit 16 videodokumentierten laparoskopischen Cholecystektomien führte das von acht Operateuren durchgeführte 15-minütige *„warm-up“* am VR-Laparoskopiesimulator zur besseren operativ-technischen Leistung. [25]

Pelvitrainer und Video-Box-Trainer, z. B. Lübecker-Toolbox [26], sollten idealerweise mit dem virtuellen Training kombiniert werden. Dies ist unter anderem vorteilhaft, weil die traditionellen Trainingsmethoden die Handhabung von Originalinstrumenten implementieren und erste realistische haptische Wahrnehmungen ermöglichen. Die Integration eines haptischen Feedbacks für die Anwender der VR-Simulatoren ist dagegen computertechnisch sehr anspruchsvoll. Während 20 – 40 Hz für den „visuellen Ausgang“ des Systems ausreichen, um real-time Bewegungen darzustellen, müssen bereits bis zu 1000 Hz generiert werden, um den Tastsinn anzusprechen. Ausgereifte Soft- und Hardware zur exakten Synchronisation von visuellem und haptischem Feedback ist unabdingbar. Gewebeeigenschaften anatomischer Strukturen müssen entsprechend ihrer haptischen Eigenschaft klassifiziert und korrespondierende, instrumentenspezifische Stimuli integriert werden. Auch nach eigenen Erfahrungen und der diesbezüglich kontroversen Datenlage [27–29] ist die Leistungsfähigkeit bezüglich der Schaffung haptischer Eindrücke für die VR-Simulation derzeit noch zu gering, um die kostenintensive Anschaffung derartiger Module generell zu empfehlen. Die Simulation eines haptischen Feedbacks bleibt ein wichtiges Thema der weltweiten Forschung.

Im Simulationszentrum oder im Skillslab lässt sich die VR-Laparoskopie zum Training von Operationsteams einsetzen. [30–32] Technische Ergebnisse können dann zusammen mit der Teamleistung beurteilt werden.

Zusätzliche Informationen zu sogenannten *„soft skills“* (Stressbewältigung, Krisenmanagement) können dokumentiert und archiviert werden, um anschließend für eine gemeinsame Auswertung (*debriefing*) in der Trainingsgruppe benutzt zu werden (**Video C**).

Der Anschaffungspreis für einen VR-Laparoskopiesimulator liegt etwa zwischen 15.000 und 80.000 Euro (recherchierte Listenpreise). Unsere Klinik trägt entsprechende Anschaffungs- und Betriebskosten durch Projektförderungen im Rahmen des MAICUM-Programms (Mainzer Curriculum Medizin zur Förderung der Lehre in der Universitätsmedizin) sowie durch das Klinikbudget und projektgebundenes Industriesponsering. Wie Bonrath et al. [3] erachten wir – in Anbetracht hoher Kosten kommerzieller Operationskurse – die Investition in klinikeigene Simulationseinheiten für notwendig. Dies gilt insbesondere dann, wenn sie zur Steigerung der Lehrqualität im Medizinstudium eingesetzt werden können.

Die fortschreitenden Entwicklungen von Computersoftware und MIC werden das heute schon große Potential der VR-Simulation weiter beeinflussen und vorantreiben. Insofern kann bereits jetzt nicht mehr von einer infantilen Spielerei gesprochen werden. Das VR-Simulationstraining wird zukünftig zumindest in der Viszeralchirurgie einen festen Platz in der Weiterbildung beanspruchen.

Literatur

[1] Satava RM. Virtual reality surgical simulator: the first steps. Surg Endosc 1993;7:203-205

[2] Ritz JP, Gröne J, Hopt U, Saeger HD, Siewert JR, Vollmar B, Lauscher JC, Lehmann KS, Buhr HJ. Zehn Jahre praktischer Kurs für Viszeralchirurgie Warnemünde. Bedeutung und Nutzen eines chirurgischen Trainingskurses. Chirurg 2009;80:864-71

[3] Bonrath EM, Buckl L, Brüwer M, Senninger N, Rijcken E. Ausbildung in der laparoskopischen Chirurgie: Umfrage zu vorhandenen Konzepten und der Bedeutung von Simulationseinheiten. Zentralbl Chir. 2011 Feb 17. [Epub ahead of print]

[4] Gockel I, Hakman P, Beardi J, Schütz M, Heinrichs W, Messow CM, Junginger T. Neue Perspektiven der laparoskopischen Simulation: Vom Studententrainingslabor bis zur Stressevaluation. Zentralbl Chir. 2008;133:244-9

[5] Kneist W, Timm S, Kauff DW, Rink AD, Herzer M, Gercek E, Kurz S, Lang H. Simulationsgestützte chirurgische Lehre – Evaluation von Akzeptanz und Attraktivität. CHAZ 2009;10:519-524

[6] Hassan I, Osei-Agymang T, Radu D, Gerdes B, Rothmund M, Fernández ED. Simulation endoskopischer Operationen – Vier Jahre Erfahrung an der chirurgischen Universitätsklinik Marburg. Wien Klin Wochenschr. 2008;120:70-6

[7] Gurusamy KS, Aggarwal R, Palanivelu L, Davidson BR. Virtual reality training for surgical trainees in laparoscopic surgery. Cochrane Database Syst Rev. 2009;21:CD006575

[8] Lehmann KS, Ritz JP, Maass H, Cakmak HK, Kuehnapfel UG, Germer CT, Bretthauer G, Buhr HJ. A prospective randomized study to test the transfer of basic psychomotor skills from virtual reality to physical reality in a comparable training setting. Ann Surg 2005;241:442-9

[9] Larsen CR, Soerensen JL, Grantcharov TP, Dalsgaard T, Schouenborg L, Ottosen C, Schroeder TV, Ottesen BS. Effect of virtual reality training on laparoscopic surgery: randomised controlled trial. BMJ 2009;338:b1802

[10] Ahlberg G, Enochsson L, Gallagher AG, Hedman L, Hogman C, McClusky DA III, Ramel S, Smith CD, Arvidsson D. Proficiency-based virtual reality training significantly reduces the error rate for residents during their first 10 laparoscopic cholecystectomies. Am J Surg 2007;193:797–804

[11] Grantcharov TP, Kristiansen VB, Bendix J, Bardram L, Rosenberg J, Funch-Jensen P (2004) Randomized clinical trial of virtual reality simulation for laparoscopic skills training. Br J Surg 91(2):146–150

[12] Seymour NE, Gallagher AG, Roman SA, O’Brien MK, Bansal VK, Andersen DK, Satava RM. Virtual reality training improves operating room performance: results of a randomized, double-blinded study. Ann Surg 2002;236:458–463

[13] Aggarwal R, Crochet P, Dias A, Misra A, Ziprin P, Darzi A. Development of a virtual reality training curriculum for laparoscopic cholecystectomy. Br J Surg 2009;96:1086-93

[14] van Dongen KW, van der Wal WA, Rinkes IH, Schijven MP, Broeders IA. Virtual reality training for endoscopic surgery: voluntary or obligatory? Surg Endosc 2008;22:664-7

[15] Maschuw K, Hassan I, Bartsch DK. Chirurgisches Training am Simulator. „Virtual reality“. Chirurg 2010;81:19-24

[16] Crochet P, Aggarwal R, Dubb SS, Ziprin P, Rajaretnam N, Grantcharov T, Ericsson KA, Darzi A. Deliberate practice on a virtual reality laparoscopic simulator enhances the quality of surgical technical skills. Ann Surg 2011;253:1216-22

[17] Snyder CW, Vandromme MJ, Tyra SL, Porterfield JR Jr, Clements RH, Hawn MT. Effects of virtual reality simulator training method and observational learning on surgical performance. World J Surg 2011;35:245-52

[18] Paschold M, Schröder M, Kauff DW, Gorbauch T, Herzer M, Lang H, Kneist W. Virtual reality laparoscopy: which potential trainee starts with a higher proficiency level? Int J Comput Assist Radiol Surg. 2011;6:653-62

[19] Bittner R, Carus T, Köckerling F, Schwenk W, Strick M, Walz MK. CAMIC-Curriculum der Minimalinvasiven Chirurgie. Gegliederte Kursstruktur und deren Inhalte. http://www.dgav.de/fileadmin/media/texte_pdf/camic/2011_09_28_CAMIC_CurriculumMIC.pdf

[20] van Dongen KW, Ahlberg G, Bonavina L, Carter FJ, Grantcharov TP, Hyltander A, Schijven MP, Stefani A, van der Zee DC, Broeders IA. European consensus on a competency-based virtual reality training program for basic endoscopic surgical psychomotor skills. Surg Endosc 2011;25:166-71

[21] Gurusamy KS, Sahay S, Davidson BR. Three dimensional versus two dimensional imaging for laparoscopic cholecystectomy. Cochrane Database Syst Rev. 2011;19:CD006882.

[22] Votanopoulos K, Brunicardi FC, Thornby J, Bellows CF. Impact of three-dimensional vision in laparoscopic training. World J Surg 2008;32:110-8

[23] Kahol K, Satava RM, Ferrara J, Smith ML. Effect of short-term pretrial practice on surgical proficiency in simulated environments: a randomized trial of the “preoperative warm-up” effect. J Am Coll Surg. 2009;208:255-68

[24] Paschold M, Schröder M, Buchheim K, Jansen-Winkeln B, Kneist W, Lang H. Warm-up Effekt bei laparoskopischen Ausbildungseingriffen. http://h1428886.stratoserver.net/chirurgie2011/suchmodul/detail_abstract.php?abstractid=918

[25] Calatayud D, Arora S, Aggarwal R, Kruglikova I, Schulze S, Funch-Jensen P, Grantcharov T. Warm-up in a virtual reality environment improves performance in the operating room. Ann Surg 2010;251:1181-5.

[26] Esnaashari H, Laubert T, Höfer A, Kujath P, Strik M, Roblick UJ, Bruch HP. Lübecker Toolbox – ein standardisiertes Trainingscurriculum für die minimalinvasive Chirurgie. Z Gastroenterol 2011;49:1024-5

[27] Botden SM, Torab F, Buzink SN, Jakimowicz JJ. The importance of haptic feedback in laparoscopic suturing training and the additive value of virtual reality simulation. Surg Endosc 2008;22:1214-22

[28] Panait L, Akkary E, Bell RL, Roberts KE, Dudrick SJ, Duffy AJ. The role of haptic feedback in laparoscopic simulation training. J Surg Res 2009;156:312-6

[29] Thompson JR, Leonard AC, Doarn CR, Roesch MJ, Broderick TJ. Limited value of haptics in virtual reality laparoscopic cholecystectomy training. Surg Endosc 2011;25:1107-14

[30] Moorthy K, Munz Y, Forrest D, Pandey V, Undre S, Vincent C, Darzi A. Surgical crisis management skills training and assessment: a simulation[corrected]-based approach to enhancing operating room performance. Ann Surg 2006;244:139-47

[31] Hassan I, Weyers P, Maschuw K, Dick B, Gerdes B, Rothmund M, Zielke A. Negative stress-coping strategies among novices in surgery correlate with poor virtual laparoscopic performance. Br J Surg 2006;93:1554-9

[32] Undre S, Koutantji M, Sevdalis N, Gautama S, Selvapatt N, Williams S, Sains P, McCulloch P, Darzi A, Vincent C. Multidisciplinary crisis simulations: the way forward for training surgical teams. World J Surg 2007;31:1843-53

Kneist W. / Paschold M. / Gockel I. / Lang H. Virtuelles Laparoskopietraining in der chirurgischen Weiterbildung. Passion Chirurgie. 2011 November; 1(11): Artikel 02_06.