

Neuartiges Hands-On-Trainings-Phantom für die ERCP mit Röntgensimulation

M. Vietz¹, V. Aurich¹, K.-E. Grund²

¹ Institut für Informatik, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

² Experimentelle Chirurgische Endoskopie, Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Kontakt: vietz-curac2013@acs.uni-duesseldorf.de

Abstract:

Die ERCP (Endoskopisch Retrograde Cholangio-Pankreatikographie) bedarf als komplexer endoskopisch/radiologischer Eingriff eines intensiven Trainings von Arzt und Assistenz. Bislang gibt es aber kaum effektive Trainingsmöglichkeiten; ein weiteres Problem ist die exzessive Röntgenstrahlenbelastung vor allem in der Trainingssituation. Um beide Probleme zu lösen wurde ein neuartiges realitätsnahes Hands-on-Phantom in modularer Bauweise entwickelt, das die Nachteile bisheriger Phantome (Plastikpuppen, Biomodelle, Computersimulatoren) weitgehend vermeidet und erstmals ein uneingeschränktes Training aller diagnostischen, therapeutischen und interventionellen Eingriffe bei der ERCP ermöglicht. In dieses Phantom wurde ein Modul zur Röntgensimulation implementiert. Aus den Daten spezieller Sensoren werden die Bewegungen eines realen endoskopischen Instruments detektiert und in Echtzeit in ein berechnetes Röntgenbild eingebildet. Zusätzlich dazu wurde eine optische Kamera integriert, mit der die Simulation auch komplexer Instrumente gelingt. Die Bewegungen des virtuellen Röntgengeräts können durch ein Bedienpanel gesteuert werden und bewirken Veränderungen des Röntgenbildes wie in der Realität. Auch das Begrädigungsmanöver des realen Endoskops wird dargestellt.

Dieses neu entwickelte Hands-on-Phantom mit integrierter Röntgensimulation ermöglicht erstmals ein effektives und realitätsnahes ERCP-Training ohne Strahlenbelastung.

Schlüsselworte: ERCP, Endoskopie, Röntgen, Radiologie, Training, Phantom

1 Problemstellung

Die ERCP (Endoskopisch Retrograde Cholangio-Pankreatikographie) ist ein minimalinvasives endoskopisch/radiologisches Verfahren, das Diagnostik und Interventionen in den Gallenwegen und im Pankreasgangsystem ermöglicht. Die ERCP gehört zu den sehr komplexen endoskopischen Eingriffen und erfordert deshalb viel Training und große Erfahrung um Komplikationen zu vermeiden.

Bislang war ein Training nur mittels Lernen am Patienten – was eindeutig als unethisch betrachtet werden muss – bzw. an unzureichenden Phantomen möglich. Alle bisherigen Phantome (von einfachen Plastikmodellen über Biomodelle (lebende Tiere, Organpräparationen vom Tierkadaver) bis zu Virtual-Reality-Computersimulatoren) haben entscheidende Nachteile. So verhindern unter anderem die abweichende Anatomie und der hohe logistische Aufwand bei den Biomodellen sowie die völlig unzureichende Haptik bei Plastikmodellen und Computersimulatoren ein effektives Training.

Ein weiterer entscheidender Punkt ist die Notwendigkeit, alle ERCP-Interventionen unter Röntgendurchleuchtung auszuführen, was eine Strahlenbelastung für Trainees und Tutoren bedeutet. Dies ist vor allem für weibliche Teilnehmer nicht vertretbar. Neuere Studien [1] zeigen, dass selbst bei Nutzung aller Strahlenschutzmaßnahmen insbesondere die Strahlendosis für die Augenlinse in der Praxis kaum unter dem von der Internationalen Strahlenschutzkommission IRCP [1] empfohlenen Grenzwert gehalten werden kann. Trainingssituationen, die naturgemäß eine um ein Mehrfaches längere Durchleuchtungszeit als eine Intervention am Patienten erfordern, überschreiten somit alle Grenzwerte der Strahlenexposition in nicht tolerabler Weise. Damit ergibt sich das Dilemma, dass eine ERCP nur von erfahrenen, gut ausgebildeten Untersuchern durchgeführt werden soll, aber eine entsprechendes Training bislang real gar nicht möglich ist:

Es fehlen bis dato sowohl brauchbare Trainingsphantome als auch die Möglichkeit, die exzessive und absolut intolerabel hohe Strahlenbelastung in der Trainingssituation zu vermeiden.

2 Material und Methoden

In der Experimentellen Endoskopie des Universitätsklinikums Tübingen wurde aktuell ein spezielles Hands-On-Phantom für das ERCP-Training entwickelt, das die Nachteile bisheriger Trainingssimulatoren vermeidet [2-5]. Dieser so genannte „Tübinger Biliphant“ besteht aus realitätsnahen Nachbildungen des menschlichen oberen Gastrointestinaltraktes mit integriertem biliopankreatischem System. Das Gesamtsystem ist modular aufgebaut; optional können Läsionen und Pathologika (wie Papillen, Engstellen, Tumoren, Steine etc.) als Module eingebracht werden. Alle Komponenten entsprechen einer korrekten humanen Anatomie und bestehen aus speziellen Materialien, die hygienisch unbedenklich sind und kein Tiermaterial enthalten. Dies hat den Vorteil, dass alles Equipment, das im Training eingesetzt wird, nach der Aufbereitung bedenkenlos wieder am Patienten verwendet werden kann. Spezielle „Tier-Instrumente“ oder Ähnliches sind nicht erforderlich.

Alle im Phantom verwendeten Materialien entsprechen in Optik und Haptik weitgehend menschlichem Gewebe. Insbesondere die Papille kann, genau wie beim Patienten, hochfrequenzchirurgisch geschnitten werden.

Dieser neuartige Simulator kann wie ein Patient mit einem Röntgengerät durchleuchtet werden (alle Organe und Module sind mit definierter Röntgendichte ausgeführt); das Problem der exzessiv hohen Strahlenbelastung beim Training bleibt damit aber bestehen.

Zur Vermeidung dieser hohen Strahlenbelastung wurde an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf ein spezielles Röntgensimulationsmodul entwickelt und in die o.g. Phantome implementiert. Dazu wurden die Phantome mit verschiedenen Sensoren versehen, aus deren Daten ein realistisches Röntgenbild in Echtzeit simuliert werden kann. Die Oberfläche der Gallengangsegmente wurde auf der Außenseite flächenhaft mit Elektroden überdeckt. Zur Lokalisierung eines Sondierungsdrahtes oder Katheters wird die Kapazität zwischen Instrument und den einzelnen Elektroden gemessen. Sie verhält sich proportional zu der Länge des in das jeweilige Gallengangsegment eingeführten Stücks des Instruments. Um diese Kapazität zu messen, wird an das Endoskop ein niederfrequentes Signal angelegt, das auf das im Instrumentierkanal befindliche Instrument und von dort auf die Elektroden überkoppelt. Die Signalstärke an den Elektroden ist proportional zur Koppelkapazität und damit zur Länge des eingeführten Teils des Instruments.

Der Signal-Rausch-Abstand erweist sich als kritisch, weil die Koppelkapazitäten sehr gering sind und überdies im Klinikumfeld meist Störungen durch Geräte in der Umgebung vorhanden sind. Deshalb wird das Empfangssignal jeder Elektrode mit jeweils einem Mikroprozessor schmalbandig mit Korrelationsmethoden aufbereitet. Über einen gemeinsamen Bus liefern diese Prozessoren ihre Messwerte an einen weiteren Mikroprozessor, der als Busmaster und als Schnittstelle zum Host-Rechner fungiert. Bei dem Host-Rechner handelt es sich um einen handelsüblichen PC oder Laptop, der die Steuerung und Visualisierung des (Gesamt-)Systems übernimmt. Dazu berechnet er mittels Raycasting aus einem CT-Volumenmodell des biliopankreatischen Systems ein virtuelles Röntgenbild und blendet den Sondierungsdraht räumlich korrekt ein. Zur Beschleunigung der Simulation wird das Raycasting auf die GPU des Host-Rechners ausgelagert, sodass die Berechnung des Röntgenbildes sehr schnell durchgeführt werden kann.

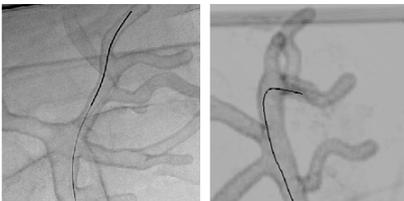


Abbildung 1: Vergleich der Röntgensimulation mit einem realen Röntgenbild. Beide zeigen einen eingeführten Führungsdraht. Links: Echtes Röntgenbild. Rechts: Simuliertes Röntgenbild.

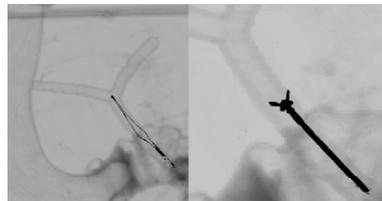


Abbildung 2: Möglichkeiten der Simulation durch optische Sensorik. Links: Simuliertes Röntgenbild eines Dormia-Körbchens zur Steinextraktion. Rechts: Vergrößerung des Bildes einer geöffneten Zange.

Mit dieser Sensorik lässt sich das für Anfänger sehr wichtige Navigieren in den Gallengängen üben. Für kompliziertere Eingriffe wie das Legen von Stents oder das Entfernen von Steinen braucht man zusätzlich eine detaillierte Darstellung der verwendeten Instrumente wie Zangen, Ballons, Körbchen usw. Dafür wurden in den neuesten Phantomen als zusätzliche Innovation Modifikationen des Gallengangsystems vorgenommen, sodass Teile davon transparent wurden. Dort wurde eine Videokamera eingebaut, die ein Bild der Stelle des

Eingriffs liefert. In diesem Bild wird das jeweilige Instrument durch geeignete Verarbeitungs-schritte extrahiert und in Echtzeit geometrisch korrekt in das simulierte Röntgenbild eingefügt, wodurch sich ein sehr realistisches Bild ergibt, wie Abbildung 2 zeigt. Aufgrund der Geometrie der Kameralinse kommt es zwangsläufig zu Verzerrungen am Rande des Sichtfeldes, die durch geeignete Bildentzerrungsverfahren kompensiert werden müssen. Dazu wurden in das Phantom mehrere Marker eingebaut, deren

Positionen im Kamerabild ermittelt werden und anhand derer die Entzerrung durchgeführt wird. Die optische Sensorik ist nicht für alle Phantome geeignet, da solche, an denen z.B. eine Cholangioskopie trainiert werden soll, eine natürliche und vor allem intransparente Färbung aufweisen müssen.

Um die Simulation so realistisch wie möglich zu gestalten wurde das komplexe Bedienpanel eines realen Röntgengerätes auf einem berührungsempfindlichen Bildschirm (Touchscreen) nachgebildet. Dabei passt sich die Projektion des Röntgenbildes genau wie beim klinischen Einsatz der Position des virtuellen C-Bogens und den gewählten Bildparametern (zum Beispiel Zoom, gepulste Durchleuchtung, Einblendung etc.) an. Ein weiteres Problem bei der ERCP betrifft die so genannte „Begradigung“: Wenn das Endoskop durch den Magen in den Dünndarm bis zur Papille vorgeschoben wurde, liegt es zunächst an der großen Kurvatur des Magens an und bildet dadurch eine weite Schlaufe (Abb. 3 oben). Damit ist keine präzise Steuerung der Endoskopspitze vor der Papille möglich. Das Endoskop muss dazu zunächst durch den Arzt begradigt werden d.h. es muss dazu gebracht werden, an der kleinen Kurvatur des Magens anzuliegen. Kapazitive Sensoren an Magen und Duodenum ermöglichen es, die Lage des Endoskops während dieses Manövers zu erfassen und in einer schematischen Darstellung in Echtzeit zu visualisieren (Abb. 3).

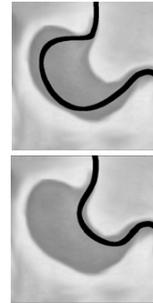


Abbildung 3: Schematische Ansicht des Endoskops. Nicht begradigt (oben), begradigt (unten).

3 Ergebnisse und Diskussion

Das oben beschriebene Phantom wurde bislang in mehreren (inzwischen 15) Trainingskursen erfolgreich eingesetzt. Es ermöglicht ausnahmslos alle diagnostischen und therapeutischen Interventionen einschließlich Papillotomie, Ballondilatation, Steinextraktion und Implantation von Plastik- und Metalstents. Es wird kein spezielles Equipment benötigt, sondern die üblichen Instrumente der täglichen Praxis können in völlig realistischer Weise verwendet werden.

Als entscheidender weiterer Schritt erweist sich die Implementierung des Moduls zur Röntgensimulation. So wird es möglich, alle Eingriffe in gewohnter Weise radiologisch darzustellen und zu kontrollieren. Die Einführung von Instrumenten in die Gangsysteme und die Manipulationen dort werden kontinuierlich in Echtzeit dargestellt. Auch schwierige Interventionen lassen sich in jeder Phase radiologisch verfolgen, dabei wird jedoch jede Strahlenbelastung vermieden.

Mit dem zusätzlichen virtuellen Bedienpult können alle Bewegungen des C-Bogens wie in der Realität gesteuert werden, wobei das simulierte Röntgenbild in Echtzeit folgt. Das „Begradigungsmodul“ erlaubt eine visuelle Kontrolle dieses wichtigen und z.T. schwierigen Manövers ohne Strahlenbelastung.

Für einen optimalen Trainingseffekt können mit dem neuen Phantom alle endoskopischen Manöver und Röntgenprozeduren beliebig oft wiederholt werden, so zum Beispiel auch die Papillotomie, also die Spaltung der Papille mittels Hochfrequenzchirurgie, weil die Papille als Einzelmodul innerhalb weniger Sekunden ausgetauscht werden kann. Dies bietet insbesondere für Anfänger bisher unerreichte Trainingsmöglichkeiten; auch Fehler und Komplikationen wie Blutungen oder Perforationen lassen sich realitätsnah simulieren und das notwendige Komplikationsmanagement wiederholt üben.

Durch den modularen Aufbau des Phantoms können beliebige Läsionen und pathologische Konfigurationen – auch patientenspezifische, die zum Beispiel aus 3D-Rekonstruktionen klinischer Bildgebung stammen – realisiert werden. Damit lassen sich auch verschiedene mögliche Interventionen bei individuellen Patientensituationen risikolos und in Ruhe erproben und vergleichen.

Die Erfahrungen mit dem neuartigen Phantom sind hoch positiv. Beim detaillierten Feedback zeigte sich eine sehr hohe Akzeptanz; vom Anfänger bis zum Experten wurden insbesondere die Realitätsnähe des Phantoms und das weite Spektrum und die hohe Effizienz des Trainings hervorgehoben. Die fehlende Strahlenbelastung und das realistische Durchleuchtungsbild der Röntgensimulation waren vor allem für jüngere und weibliche Trainingsteilnehmer ein entscheidendes Argument für dieses Trainingssystem.

4 Zusammenfassung

Die ERCP gehört zu den schwierigsten endoskopischen Prozeduren. Das Risiko für schwere Komplikationen ist relativ hoch, deshalb ist ein intensives Training von Arzt und Assistenz unumgänglich. Ein gravierendes Problem ist aber das Fehlen von Trainingsmöglichkeiten, wenn man vom bislang üblichen Lernen am Patienten – was eindeutig als unethisch zu betrachten ist – absieht. Das übliche Training an Tierphantomen sowie virtuellen Computertrainingssystemen ist in mehrfacher Hinsicht völlig unzureichend. Ein weiteres Problem ist die unvermeidbare Röntgenbelastung bei der ERCP, wobei neuere Studien zeigen, dass es schon in der klinischen Praxis kaum möglich ist, die Dosisgrenzwerte der Internationalen Strahlenschutzkommission einzuhalten; dies gilt im verschärften Maße für die überlangen Durchleuchtungszeiten in der Trainingssituation. Deshalb wurde zunächst ein neuartiges realitätsnahes Hands-On-Trainings-Modell („Tübinger Biliphant“) entwickelt, das sich durch patientenanaloge realistische Anatomie, modularen Aufbau aus tiermaterialfreien Substraten und optimierte realistische Trainingsmöglichkeiten auszeichnet. Für dieses Phantom – bislang mit konventioneller Röntgendurchleuchtung betrieben – wurde dann ein spezielles Sensorikmodul entwickelt, das eine realistische Röntgensimulation ermöglicht und jede Strahlenbelastung vermeidet. Dabei werden die Bewegungen eines realen endoskopischen Instruments durch spezielle Sensoren detektiert und geometrisch korrekt in ein simuliertes Röntgenbild eingeblendet. Diese Sensorik wurde so entwickelt, dass kein spezielles Equipment vonnöten ist, sondern vorhandene Instrumente praktisch ohne Modifikation benutzt werden können.

Durch den Einbau einer optischen Kamera sind auch komplexe Interventionen, die normalerweise nicht ohne Röntgenkontrolle durchführbar sind, möglich und werden realistisch dargestellt. Zur Kontrolle des Röntgenbildes wurde ein virtuelles Bedienpanel entwickelt, das im Zusammenhang mit einem berührungsempfindlichen Bildschirm eine sehr realistische Steuerung des simulierten Röntgenbildes erlaubt. Das zur präzisen Kontrolle des Endoskops wichtige komplizierte Begrädigungsmanöver lässt sich ebenfalls virtuell verfolgen, sodass Trainingsteilnehmer auch dieses ohne Strahlenbelastung üben können.

Mit der Entwicklung und Implementierung dieses Röntgensimulationsmoduls in das neuartige Trainingsmodell ist es erstmals gelungen, ein in allen Punkten realistisches ERCP-Training zu ermöglichen und überdies einen wichtigen Beitrag zum Strahlenschutz (insbesondere von weiblichen Trainingsteilnehmern) zu leisten.

5 Danksagungen

Unser besonderer Dank gilt Frau F. H. Durst, Herrn U. Schweizer und Frau R. Ingenpaß aus der Experimentellen Chirurgischen Endoskopie Tübingen für ihre Unterstützung.

6 Referenzen

- [1] M. Galster, C. Guhl, M. Uder, R. Adamus, *Exposition der Augenlinse des Untersuchers und Effizienz der Strahlenschutzmittel bei fluoroskopischen Interventionen*, Fortschr Röntgenstr, 185, 474-481 (2013)
- [2] Grund, KE; Ingenpaß, R; Durst, F; Schweizer, U; Vietz, M; Aurich, V: *Neuartiges Hands-on-Phantom für das realistische Training der gesamten diagnostischen und therapeutischen ERCP*, Endo heute 2012; 25(1): 14-17
- [3] Grund, KE; Ingenpaß, R; Schweizer, U; Vietz, M; Aurich, V: *Neues ERCP-Trainings-Modell für alle diagnostischen und therapeutischen Eingriffe*, Z Gastroenterol 2012; 50 - P4_5
- [4] Schweizer, U; Durst, F; Ingenpaß, R; Vietz, M; Aurich, V; Grund, KE: *Alle diagnostischen und therapeutischen Eingriffe an einem neuartigen ERCP-Trainingsphantom*, Endo heute 2013; 26 - FV18
- [5] Vietz, M; Özmen, D; Grund, KE; Aurich, V: *Neuartige virtuelle Simulation des Röntgenbildes und der Endoskop-Position für das phantomgestützte Hands-on-Training ohne Strahlenbelastung*, Endo heute 2013; 26 - P17