

Entwicklung eines Navigationssystems für die telemanipulatorgestützte Oesophagektomie

Hannes Kenngott¹, Jochen Neuhaus², Carsten Gutt¹,
Ivo Wolf², Hans-Peter Meinzer² und Marcus Vetter³

¹Abteilung für Viszeral- und Unfallchirurgie,
Ruprecht-Karls-Universität, 69120 Heidelberg

²Abteilung für Medizinische und Biologische Informatik,
Deutsches Krebsforschungszentrum, 69120 Heidelberg

³Fakultät für Nachrichtentechnik,
Hochschule für Technik und Gestaltung, 68163 Mannheim
Email: hannes.kenngott@med.uni-heidelberg.de

Zusammenfassung. Dieser Beitrag behandelt die Entwicklung eines Navigationssystems für die telemanipulatorgestützte Oesophagektomie (Speiseröhrenentfernung) unter besonderer Betrachtung des Patiententracking. Durch eine Visualisierung von Risikostrukturen anhand eines präoperativen CTs und der optisch getrackten Instrumentenspitze des Telemanipulators soll dem Chirurgen eine bessere Orientierung im Thorax ermöglicht werden. Dies wird durch ein optisches Tracking des Instruments und durch eine Vorrichtung zur Immobilisierung Patienten erreicht.

1 Einleitung

Der Speiseröhrenkrebs mit einer Inzidenz von 10 auf 100.000 Menschen gehört zu den meist spät erkannten und mit einer schlechten Prognose verbundenen Krebserkrankungen. Die radikale Speiseröhrenentfernung stellt die einzige kurative Therapie dar und bedeutet für den Patienten eine nicht unerhebliche operative Belastung, da ein Lungenflügel während der Operation zeitweise nicht ventiliert werden kann. Außerdem entstehen durch den thorakalen, den cervikalen und den transhiatalen Zugang große Wundflächen. Bis zu acht Prozent der klassisch operierten Patienten sterben an den postoperativen Komplikationen [1]. Daher scheidet dieser Eingriff für viele Patienten mit schlechtem Allgemeinzustand als potentiell kurative aber auch palliative Therapie bei Schluckstörungen aus. In den letzten Jahren wurden zahlreiche neue minimal-invasive Techniken zur Speiseröhrenentfernung entwickelt und in ersten Studien evaluiert [1]. Eine dieser neuen Operationsmethoden ist der telemanipulator-gestützte minimal-invasive Zugang mittels des daVinci Surgical Systems (Intuitive Surgical, Sunnyvale, USA). Dieser hat im Vergleich zur klassischen Laparoskopie durch einen zusätzlichen Freiheitsgrad des Instruments das Potential, die durch die Beweglichkeit der Instrumente entstehenden operationstechnischen Probleme zu beheben und so die postoperativen Komplikationen zu verringern [2]. Allerdings führt

diese Methode ebenso wie die klassische Laparoskopie durch ihren transhiatalen Zugang zu einem stark eingeschränkten Sichtfeld während der Operation. Dies ist besonders dann von Nachteil, wenn die Anastomose zwischen Oesophagus und hochgezogenem Magen intrathorakal und minimal-invasiv durchgeführt werden soll. Daher ist die Entwicklung eines Navigationssystems sinnvoll, das eine bessere Übersicht und Orientierung über das Operationsgebiet mit der Instrumentenspitze und den anliegenden Risikostrukturen bietet.

Besonders in Bezug auf die starke Verschieblichkeit der abdominalen und thorakalen Organe ist es das Ziel, eine praktikable Lösung zu finden. Daher kommt dem Patiententracking in Bezug auf Atmung und Organshift für die Visualisierung des Mediastinums mit den relevanten Risikostrukturen (Aorta, Trachea, Bronchialbaum, Pleura, Perikard) eine große Bedeutung zu.

2 Stand der Forschung

Navigationssysteme halten seit Jahren Einzug in die Medizin. In der Viszeralchirurgie sind allerdings gegenüber der Neurochirurgie, Orthopädie und Mund-Kiefer-Gesichts-Chirurgie bisher wenige Anwendungen bekannt, die bereits in der Klinik eingesetzt werden [3, 4]. Besonders das Patiententracking ist in der Viszeralchirurgie ein noch nicht gelöstes Problem, da die Verschieblichkeit der inneren Organe und des Patienten auf dem OP-Tisch zu großen Positionsfehlern führen kann. Es werden hauptsächlich optische Trackingsysteme eingesetzt.

3 Methoden

Der starken Verschieblichkeit der Thorax- und Bauchorgane und des Patienten selbst begegnen wir mit einer weitgehenden Immobilisierung des Patienten durch eine spezielle Fixierungsvorrichtung. Diese besteht aus einer Vakuummatratze (CT und MRT fähig, DIN53438, latexfrei) und einer damit fest verbundenen CNC-gefrästen Trage aus MDF (Mitteldichte Faserplatte) in 22mm Stärke mit einer desinfizierbaren, säureresistenten Oberfläche. An der Längsseite kann durch ein Stecksystem eine sterilisierbare Platte (Weich-PVC, 10mm Durchmesser) mit passiven optischen Markern (NDI Polaris, standard optical markers) befestigt werden. Durch Absaugen der Luft aus der Vakuummatratze bis zu einem Druckgefälle von 800mbar wird der Patient fixiert. Diese Immobilisation des Patienten führt zu einer bedeutend geringeren Verschieblichkeit des Thorax und Abdomens. Neben der Funktion der Patientenimmobilisation hat diese Fixierungsvorrichtung auch weitere medizinische Vorteile. Sie verhindert das Auskühlen des Patienten während der Operation bei gleichzeitiger Erhaltung der Mikrozirkulation der Haut und einer effektiven Dekubitusprophylaxe.

Am Sternum des Patienten wird mit einem Spezialklebstoff (MASTIX EXTRA) eine sterilisierbare Platte mit optischen Markern angebracht. Der Klebstoff kann nach der Operation rückstandsfrei entfernt werden und ist hypoallergen, so dass er für eine Verwendung im OP geeignet ist. Durch das Tracking

des Sternums soll die atmungsbedingte Verschieblichkeit des Mediastinums berücksichtigt werden. Das Tracking des daVinci-Instruments wird am Roboterarm ebenfalls durch eine sterilisierbare Markerplatte mit einer Steckverbindung realisiert.

Vor jeder Operation wird eine CT-Aufnahme des fixierten Patienten mit den optischen Markern erstellt. In diesem Datensatz werden anschließend die Marker manuell segmentiert. Optional können zusätzlich Risikostrukturen segmentiert werden. Die Position der Instrumentenspitze wird über einen festen Offset aus der getrackten Position des Roboterarms berechnet. Mit Hilfe der Position der getrackten Patientenmarker kann die Position der Instrumentenspitze in das Koordinatensystem des CT-Datensatzes transformiert werden. Die CT Daten und die Instrumentenposition können damit in einer Vier-Fenster-Ansicht visualisiert werden. Es sollen drei Schnittebenen und zusätzlich eine 3D-Visualisierung mit Hilfe von Volumenrendering dargestellt werden. In die 3D-Darstellung können zuvor segmentierte Risikostrukturen zusätzlich als 3D-Modell eingeblendet werden. Das Instrument soll ebenfalls als 3D-Modell in alle vier Ansichten eingeblendet werden. Die Schnittebenen können frei im Datensatz platziert werden, so dass sich der Operateur auch vom weiteren Operationsumfeld ein Bild machen kann. Die Entwicklung der Software erfolgt mit Hilfe des Medical Imaging Interaction Toolkits [5], das hierfür um eine Komponente zur Ansteuerung von Trackingsystemen erweitert wird.

Die Genauigkeitsanalyse wird mit einem Thoraxphantom, das CT-Marker enthält, durchgeführt und darauf basierend ein Kalibrierungsschema erarbeitet. Dabei wird untersucht wie genau die CT-Marker mit Hilfe der Visualisierung angesteuert werden können.

4 Ergebnisse

Die Updaterate von 20 bis 60 Herz des Polaris Systems ist ausreichend für eine Echtzeitdarstellung in unserem System. Die Erfassung der optischen Marker erfolgte im Test fehlerlos. In einem Versuchsaufbau konnten alle Marker im Trackingbereich des Polaris Trackingsystems positioniert werden.

Die gesamte Patientenimmobilisierung wurde erfolgreich sowohl im OP als auch im CT getestet. Die erwartete Stabilität des gesamten Systems und der eingesetzten Materialien haben sich dabei bestätigt. Die Durchbiegung der belasteten Patiententrage auf der ovalen CT-Auflage und auf dem OP-Tisch beträgt unter einem Millimeter und bietet damit eine hinreichende Stabilität. Die Mobilität der Vakuummatratze und des fixierten Patienten ist gering.

5 Diskussion

Wir erwarten, dass die minimal-invasive Oesophagektomie durch die neue navigierte Operationstechnik weiteren Patientengruppen zugänglich gemacht werden kann, die mit der klassischen Methode nicht hätten operiert werden können. Ein großes Problem bei der Oesophagektomie stellen sowohl intraoperativ als auch

postoperativ innere Blutungen dar. Durch die Visualisierung der Patientenanatomie soll es dem Operateur ermöglicht werden, die Gefäße besser zu erkennen und so deren Verletzung zu vermeiden. Da die bei der klassischen Operationstechnik durchgeführte offene cervikale Anastomose entfällt, erwarten wir eine Verkürzung der Operationszeit. Außerdem soll es dem Operateur möglich sein, die gewünschte Höhe für die thorakale Anastomose mit einem ausreichenden Sicherheitsabstand von mindestens fünf Zentimetern zum Tumor zu bestimmen. Durch die Visualisierung soll dem Operateur diese Abschätzung erleichtert werden.

Bei diesen Operationen werden oftmals gleichzeitig vergrößerte Lymphknoten entfernt, die im Verdacht stehen, Metastasen zu enthalten. Dies wollen wir unterstützen, in dem wir die Möglichkeit bieten, diese Lymphknoten zusätzlich zu segmentieren und zu visualisieren. Dadurch soll der Arzt die markierten Lymphknoten während der Operation leichter finden können. Bevor wir Patienten mit unserem System behandeln, werden wir einen Großtierversuch am Schwein durchführen, um das System auf seine Anwendung am Patienten hinsichtlich Ergonomie und Praktikabilität zu testen. Dazu wird der gleiche Aufbau wie am Menschen verwendet werden.

Die Genauigkeit des Gesamtsystems kann erst nach der Fertigstellung eines Prototyps bestimmt werden. Wir erwarten eine Abweichung der visualisierten Position von der Realposition von weniger als einem Zentimeter für das Gesamtsystem. Dies entspricht den Anforderungen der Operateure an das Navigationssystem. Da es besonders in fortgeschrittenen Tumorstadien zu erheblichen Schluckstörungen bis hin zur Aphagie kommen kann, erwarten wir auch bei rein palliativer Versorgung der Patienten durch den Wiederaufbau der Nahrungspassage eine deutliche Steigerung der Lebensqualität. Außerdem gehen wir durch die Darstellung der Risikostrukturen, insbesondere von Gefäßen, von weniger postoperativen Komplikationen durch Blutungen oder Blutverlust aus. Diese Aussagen müssen jedoch in einer klinischen Studie validiert werden.

Literaturverzeichnis

1. Nguyen NT, Schauer PR, Luketich JD. Combined laparoscopic and thoracoscopic approach to esophagectomy. *J Am Coll Surg* 1999;188(3):328–332.
2. Heller K, Gutt C, Schaeff B, Beyer PA, Markus B. Use of the robot system Da Vinci for laparoscopic repair of gastro-oesophageal reflux in children. *Eur J Pediatr Surg* 2002;12(4):239–242.
3. Gunkel AR, Freysinger W, Thumfart WF. Experience with various 3-dimensional navigation systems in head and neck surgery. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2000;126(3):390–395.
4. Vetter M, Wolf I, Hassenpflug P, et al. Navigation aids and Real-time deformation modeling for open liver surgery. In: *SPIE Medical Imaging 2003: Visualization, Image-Guided Procedures, and Display*. vol. 5029; 2003. p. 58–68.
5. Wolf I, Vetter M, Wegner I, Böttger T, Nolden M, Schöbinger M, et al. The Medical Imaging Interaction Toolkit (MITK). *Medical Image Analysis* 2005;9(6):594–604.