

Navigierte Laparoskopische Rektumchirurgie: Einfluss der Sensorplatzierung und Organgeometrie auf die Genauigkeit des elektromagnetischen Organtrackings

M. Wagner¹, H.G. Kenngott¹, J. Wünscher¹, L. Albala¹, M. Gordan², C. Zöllner³, A. Groch³, L. Maier-Hein³, B.P. Müller-Stich¹

¹ Universitätsklinikum Heidelberg, Allgemein-, Viszeral- und Transplantationschirurgie, Heidelberg, Germany

² Universitätsklinikum Heidelberg, Institut für medizinische Biometrie und Informatik, Heidelberg, Germany

³ Deutsches Krebsforschungszentrum, Medizinische und Biologische Informatik, Heidelberg, Germany

Kontakt: maw@uni-hd.de

Abstract:

Navigation wird in der Weichgewebechirurgie klinisch bisher kaum oder gar nicht genutzt. Hauptproblem ist die Verschieblichkeit und Deformation der Organe. Im klinischen Szenario einer laparoskopischen Rektumresektion versuchen wir durch gleichzeitiges Tracking der Instrumente (optisches Tracking) und des Rektums (elektromagnetisches Tracking), dieses Problem zu lösen. Die Versuche wurden mit einem eigens konstruierten menschenähnlichen Phantom durchgeführt, wobei 14 Glaskugeln als Navigationsziele und ein elektromagnetischer Sensor in der Wand des Silikonrektums platziert wurden. Der Target registration error wurde für verschiedene Ausmaße der Organbewegung gemessen und mit bzw. ohne Organtracking analysiert. Anschließend erfolgte die statistische Auswertung unter besonderer Berücksichtigung der Geometrie des Rektums und des Abstands der Navigationsziele vom Organsensor. Die Ergebnisse zeigen, dass ein Organtracking klare Vorteile bringt, aber das bisherige lineare Modell um ein komplexeres Weichgewebemodell erweitert werden muss.

Schlüsselworte: Navigation, Organbewegung, Rektumchirurgie, Laparoskopie

1 Problem

Das kolorektale Karzinom ist eine der häufigsten Krebsarten in der westlichen Welt [1] und die meisten kolorektalen Karzinome sind im Rektum (Enddarm) lokalisiert. Heutiger Standard ist eine multimodale Therapie, entscheidend für das Überleben ist jedoch eine gute chirurgische Entfernung des Tumors. Hierbei spielt die in den 1980er Jahren entwickelte totale mesorektale Exzision eine entscheidende Rolle [2]. Mittlerweile kann diese Operation minimalinvasiv durchgeführt werden. Allerdings fehlt dem Chirurgen hier das haptische Feedback zur Lokalisierung des Tumors, sodass häufiger eine umfangreichere Organentfernung stattfindet, was mit zusätzlichen Komplikationen für den Patienten verbunden ist [3]. Daher ist ein Navigationssystem sinnvoll, um dem Chirurgen intraoperativ die Position des Tumors anzuzeigen und die optimale Therapieentscheidung für den Patienten zu treffen.

Allerdings nutzen die meisten Navigationssysteme lediglich präoperative Bildinformationen als Grundlage. Und selbst wenn intraoperative Bilddaten genutzt werden, sind diese in der Regel nicht in Echtzeit verfügbar. In der Rektumchirurgie aber ist die Organbewegung von großer Bedeutung: nachdem das Rektum mitsamt Mesorektum aus der bindegewebigen Umgebung mobilisiert wurde, übt der Chirurg Zug auf das Rektum aus und durch diese iatrogene Manipulation verschiebt sich das gesamte Organ, insbesondere aber der Tumor. Die Folge ist, dass durch eine statische Navigation (d.h. ohne Bewegungskompensation) eine robuste Genauigkeit nicht erreicht werden kann.

2 Methoden

Innerhalb des Medical Imaging Interaction Toolkit [4] wurde das Navigationssystem HD-MIND entwickelt, das bereits für die minimalinvasive Ösophagusresektion angewendet wurde [5]. Hier wurde allerdings noch keine Organbewegung berücksichtigt. Zu diesem Zweck wurde das System weiterentwickelt, sodass zwei Trackingsysteme parallel genutzt werden können. Ein optisches Trackingsystem (Polaris® Spectra, NDI Inc., Kanada) dient hierbei zum Tracking der Instrumente, das elektromagnetische Trackingsystem (Aurora®, NDI Inc., Kanada) wird für das Organtracking benutzt.

Die Experimente wurden mit dem HELIOS-Phantom durchgeführt, das in unserer Arbeitsgruppe als originalgetreue Nachbildung des menschlichen Körpers entwickelt wurde und Silikonorgane enthält. Für diese Experimente wurde lediglich das Beckenmodul mit der Beckenbodenmuskulatur, dem Rektum und dem Becken selbst, auf dem die Registration Fiducials befestigt wurden, genutzt. In der Wand des Rektums wurden 14 Glaskugeln als Navigationsziele platziert, sowie ein 6D-elektromagnetischer Trackingsensor. Anschließend wurde das Rektum mit Watte im Becken immobilisiert. Danach wurde eine CT-Bildgebung mit einem Siemens Somatom Definition Flash (Siemens AG, Erlangen, Deutschland) mit einem Schichtabstand von 1,0 mm bei einer Röhrenspannung von 120 V durchgeführt.

Nachdem die CT-Bilder in das Navigationssystem geladen waren, wurden sowohl die 6 Registration Fiducials, als auch die 15 Navigationsziele und die Ausgangsposition des Organsensors in den Bildern markiert. Darauf folgte die Registrierung der CT-Daten mit beiden Trackingsystemen und der Start der Navigation.

Nach der Mobilisierung durch Entfernung der Watte wurde das Rektum jeweils in zehn verschiedenen Zugweiten gespannt, sämtliche Navigationsziele wurden mit einem optisch getrackten Pointer angefahren und der Target Registration Error (TRE) berechnet. Hierbei wird die gespeicherte Ausgangsposition des Organsensors genutzt, um die Bewegung

des Organs zu berechnen. Wenn das Rektum bewegt wird und der Zielpunkt mit einem optisch getrackten Instrument angefahren wird, wird der Vektor der Organbewegung (elektromagnetisches Tracking) vom Vektor des Ziels bei bewegtem Rektum (optisches Tracking) abgezogen, sodass sich der Ausgangsvektor des Navigationsziel ergibt (Hybrides Tracking).

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm R, wobei der Zusammenhang von Organbewegung, unkorrigiertem TRE (rein optisches Tracking) und korrigiertem TRE (hybrides Tracking) mit dem Students t-Test untersucht wurde. Ziel war eine von den Chirurgen geforderte Genauigkeit von unter 10 mm. Die Analyse erfolgte unter Berücksichtigung der Position der Navigationsziele in Beziehung zum Organsensor.

3 Ergebnisse

Die vorläufige Auswertung von drei Experimenten ergab eine deutliche Reduktion des TRE durch die Korrektur mittels Organtracking (Students t-test, $p < 0.001$). Der TRE lag für die einzelnen Punkte über alle Zugweiten ohne Korrektur zwischen 22,4 mm (SD 12,5 mm) und 42,9 mm (SD 23,8 mm) bzw. mit Korrektur zwischen 3,2 mm (SD 1,6 mm) und 13,4 mm (SD 6,1 mm). Darüberhinaus waren die Messwerte bei 11 von 15 Zielpunkten signifikant kleiner als die chirurgische Anforderung von 10 mm. Bei 9 von 15 Zielpunkten waren mehr als 95 % aller Messwerte kleiner als 10 mm. Diese 9 Zielpunkte sind die 5 Zielpunkte auf Höhe des Organsensors, ein Zielpunkt 5 mm unter dem Sensor, sowie die 3 Zielpunkte jeweils 5, 10 und 15 mm über dem Sensor.

4 Diskussion

Allein durch ein lineares Modell der Deformation des Rektums, das auf der Information eines einzelnen elektromagnetischen Organsensors beruht, konnte die Genauigkeit der Navigation erheblich gesteigert werden. Eine genauere Subgruppenanalyse ergab, dass die Genauigkeit auf der Höhe des Organsensors bereits jetzt sehr gut ist, insbesondere unterhalb des Sensors jedoch starke Verzerrungen auftreten. Diese können durch die Verwendung des einfachen linearen Modells erklärt werden, sodass von weiterem Verbesserungspotential durch die Nutzung eines komplexeren Weichgewebemodells auszugehen ist. Nichtsdestotrotz bleibt offen, inwieweit sich die Ergebnisse des Phantomexperiments in vivo reproduzieren lassen. Durchblutung, Vernarbung und der Tumor haben Einfluss auf das Gewebe des Rektums und somit Beweglichkeit und Verformung.

Zusätzlich zum hier beschriebenen Tracking des ganzen Organs gibt es etwa in der Leberchirurgie Ansätze, lediglich die Position des Tumors im Raum zu verfolgen, damit ein vorgegebener Sicherheitsabstand zum Instrument nicht unterschritten wird [6]. Auch wenn diese Methode im engen Raum des kleinen Beckens weniger vielversprechend erscheint als in der Leberchirurgie, wird deutlich, dass die Bewegung der Zielregion in der Weichgewebechirurgie stärkerer Aufmerksamkeit bedarf, wenn Navigation mit hoher Genauigkeit durchgeführt werden soll. Dies könnte im kleinen Becken analog zur Strahlentherapie geschehen, die sogar kabellose elektromagnetische Trackingsysteme einsetzt [7].

Zusammenfassend erscheint das Organtracking ein vielversprechender Ansatz zur Bewegungskompensation, zukünftige Forschung muss sich jedoch auf eine gute Integration in den klinischen Workflow, die Nutzung eines realitätsnahen Weichgewebemodells sowie eine geeignete Mensch-Maschine-Schnittstelle konzentrieren.

230

5 Referenzen

- [1] A. Jemal, F. Bray, M. M. Center, J. Ferlay, E. Ward, and D. Forman, "Global cancer statistics," *CA Cancer J Clin*, vol. 61, no. 2, pp. 69–90, Apr. 2011.
- [2] R. J. Heald and R. D. Ryall, "Recurrence and survival after total mesorectal excision for rectal cancer," *Lancet*, vol. 1, no. 8496, pp. 1479–1482, Jun. 1986.
- [3] D. G. Jayne, J. M. Brown, H. Thorpe, J. Walker, P. Quirke, and P. J. Guillou, "Bladder and sexual function following resection for rectal cancer in a randomized clinical trial of laparoscopic versus open technique," *Br J Surg*, vol. 92, no. 9, pp. 1124–1132, Sep. 2005.
- [4] I. Wolf, M. Vetter, I. Wegner, T. Böttger, M. Nolden, M. Schöbinger, M. Hastenteufel, T. Kunert, and H.-P. Meinzer, "The medical imaging interaction toolkit," *Med Image Anal*, vol. 9, no. 6, pp. 594–604, Dec. 2005.
- [5] H. G. Kenngott, J. Neuhaus, B. P. Müller-Stich, I. Wolf, M. Vetter, H.-P. Meinzer, J. Köninger, M. W. Büchler, and C. N. Gutt, "Development of a navigation system for minimally invasive esophagectomy," *Surg Endosc*, vol. 22, no. 8, pp. 1858–1865, Aug. 2008.
- [6] S. Beller, S. Eulenstein, T. Lange, M. Hünerbein, and P. M. Schlag, "Upgrade of an optical navigation system with a permanent electromagnetic position control: a first step towards 'navigated control' for liver surgery," *J Hepato-biliary Pancreat Surg*, vol. 16, no. 2, pp. 165–170, 2009.
- [7] R. D. Foster, D. A. Pistenmaa, and T. D. Solberg, "A comparison of radiographic techniques and electromagnetic transponders for localization of the prostate," *Radiation Oncology (London, England)*, vol. 7, no. 1, p. 101, Jun. 2012.

6 Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand im Projekt M1 "Intraoperative Risikoreduktion durchmodellbasierte Einblendung komplexer anatomischer Strukturen" des Graduiertenkolleg 1126 *Intelligente Chirurgie* gefördert durch die deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG). Darüberhinaus danken die Autoren den Kollegen aus der Radiologie für die Möglichkeit zur Nutzung der Computertomographie.

