

Hannes Götz Kenngott

Dr. med.

Entwicklung und Evaluation eines Navigationssystems für die Weichgewebechirurgie am Beispiel der minimal invasiven, transhiatalen, Telemanipulator-gestützten Ösophagektomie

Geboren am 16.10.1979 in Heilbronn

Staatsexamen am 10.6.2008 an der Universität Heidelberg

Promotionsfach: Chirurgie

Doktorvater: Prof. Dr. med. Carsten N. Gutt

Navigationssysteme haben ihren Nutzen im Straßenverkehr bewiesen und gehören dort bereits zur Standardausrüstung. Im medizinischen Bereich konnten sich die Systeme bisher nur in Bereichen mit relativ geringer Organverschieblichkeit wie der Neurochirurgie oder Orthopädie etablieren. Auch in der Viszeralchirurgie ist die Orientierung der Instrumentenspitze zu Ziel- und Risikostrukturen bei komplexen, laparoskopischen Eingriffen von Vorteil. Insbesondere bei der Ösophagektomie ist eine Orientierung im engen Mediastinum aufgrund der eingeschränkten Sicht und fehlenden haptischen Feedbacks stark eingeschränkt und die exakte Höhe im Thorax sowie die Beziehung zum Tumor und Lymphknoten schwierig zu bestimmen. Die Zielsetzung dieser Arbeit ist es den ersten Prototypen eines universellen, laparoskopischen Navigationssystem für die Weichgewebechirurgie am Beispiel der minimal invasiven, transhiatalen, Telemanipulator-gestützten Ösophagektomie zu entwickeln und zu evaluieren.

Zunächst wurde eine Evaluation der Genauigkeit und Störungsanfälligkeit des magnetisches Trackingsystems als Alternative zu optischen Trackingsystemen unter realen Bedingungen im Operationssaal durchgeführt. Hierzu wurde ein metallfreier Messaufbau erstellt und in verschiedenen Höhen des magnetischen Feldgenerators wie der Sensoren die entsprechende Feldverzerrung an insgesamt 2280 Positionen

gemessen. Eine zweite magnetische Evaluation wurde durchgeführt, um den Einfluss des Da Vinci[®] in Bereitschaft und in Bewegung auf die Genauigkeit des magnetischen Trackingsystems zu untersuchen. Hierzu wurde ein neues metallfreies Phantom mit 12 PVC-Röhren als Referenzgeraden erstellt, das eine Untersuchung des Da Vinci[®] in Bewegung möglich machte.

Das Navigationssystem wurde aufgrund der Ergebnisse der ersten magnetischen Untersuchung mit einem optischen Trackingsystem, einer Vakuummatratze mit Trage zur Immobilisierung und einer Navigationssoftware, die auf einem handelsüblichen Notebook installiert wurde, entwickelt. Das System ist im Operationssaal im Rahmen einer Genauigkeitsmessung mit dem Da Vinci[®] System und im Rahmen eines Tierversuchs am Beispiel der Ösophagektomie mit konventionellen laparoskopischen Instrumenten evaluiert worden. Nach einem präoperativen CT wurde das Landschwein in den Operationssaal gebracht, über optische Marker die Position des Tieres und des Instrumentes durch das optische Trackingsystem erfasst, die Datensätze miteinander registriert, eine Kalibrierung durchgeführt und in Folge die navigierte laparoskopische Ösophagektomie durchgeführt. Zur Vorbereitung eines Heilversuches wurde die Genauigkeit dreier verschiedener Repositionierungsmethoden im Tierversuch evaluiert, da eine unmittelbar präoperative CT-Aufnahme mit einem sedierten Patienten ethisch wie logistisch fraglich durchführbar war. Hierzu wurde bei einem Landschwein eine Magensonde mit drei Metallmarkern gelegt und anatomische Landmarken definiert. Die Repositionierungen erfolgten mit Markierungen allein, mit der Vakuummatratze allein und mit einer Kombination aus Vakuummatratze und Markierungen. Die Genauigkeit wurde bestimmt, indem das erste CT jeder Versuchreihe die Referenz für die folgenden Repositionierungen war.

Bei der ersten Untersuchung des magnetischen Trackingsystems zeigten sich starke Feldverzerrungen mit entsprechend größeren Fehlern, je näher der Feldgenerator am Operationstisch platziert war. Die Feldverzerrungen waren nicht stabil und komplex über das Trackingvolumen verteilt, so dass eine allgemeingültige, mathematische Korrektur nicht möglich war. Die Evaluation zeigte eine sehr geringe Abhängigkeit der Genauigkeit vom Da Vinci[®] System unabhängig davon, ob dieses sich in Bereitschaft oder in Bewegung befand. Der starke Einfluss des Operationstisches war im Vergleich zum ersten Versuch reproduzierbar. Bei einer Begrenzung des

Trackingvolumens in der x-Achse auf 190 mm war der maximale Fehler unter 10 mm.

Das Navigationssystem wurde erfolgreich entwickelt und zeigte eine statische Genauigkeit von 0,95 mm \pm 0,78 mm. Im Operationssaal ließ es sich in einem Testaufbau problemlos in den üblichen Ablauf einer Ösophagektomie integrieren. Im Tierversuch zeigte sich die Anwendbarkeit auch auf eine mit konventionellen laparoskopischen Instrumenten durchgeführte, transhiatale Ösophagektomie.

Die Evaluation der Immobilisierung zeigte einen statistisch signifikanten Vorteil für die Immobilisierung in der Vakuummatratze mit Markierungen. Das 95% Konfidenzintervall lag bei 5,65 mm \pm 0,07 mm.

Magnetische Trackingsysteme sind aufgrund starker Verzerrungen durch ferromagnetische Materialien unter realen Bedingungen im Operationssaal nur eingeschränkt zu nutzen. Sie zeigen jedoch keine Anfälligkeit für das Da Vinci[®] System in Bereitschaft und Bewegung. In einem eingeschränkten Messbereich lieferte das magnetische Trackingsystem jedoch hinreichende Genauigkeiten, weshalb es sich zum Aufbau eines hybriden Navigationssystem in Verbindung mit einem optischen oder mechanischen Trackingsystem eignet. Das Navigationssystem konnte erfolgreich entwickelt werden und zeigte eine sehr hohe statische Genauigkeit. Es konnte erfolgreich im Operationssaal und im Tierversuch verwendet werden und war sowohl mit dem Da Vinci[®] System als auch mit konventionellen, laparoskopischen Instrumenten verwendbar. Eine Übertragung auf andere Organsysteme ist auch möglich und insbesondere für gut fixierte, retroperitoneale Organe geeignet. Durch die Verwendung einer Vakuummatratze in Kombination mit oberflächlichen Markierungen kann eine hinreichende Repositionierungsgenauigkeit erreicht werden. Im nächsten Schritt kann das Navigationssystem mit dieser Repositionierungsmethode im Rahmen eines Heilversuchs am Menschen verwendet werden.