Virtuelle Endoskopie des Ventrikelsystems in Kombination mit der intraoperativen Neuronavigation

Simulation endoskopischer Operationen bei Verschlusshydrocephalus

Gabriele A. Krombach, Veit Rohde*, Tobias Struffert+, Patrick Haage,
Markus Kilbinger, Rolf W. Günther

Klinik für Radiologische Diagnostik, +Abteilung für Neuroradiologie
*Neurochirurgische Klinik, Universitätsklinikum der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH), 52057 Aachen
Email: krombach@rad.rwht-aachen.de

Zusammenfassung. Die virtuelle Endoskopie stellt ein kürzlich zur Rekonstruktion endoluminaler Ansichten entwickeltes neues Bildverarbeitungsverfahren dar. Bei 19 Patienten ist sowohl die virtuelle Endoskopie als auch die navigierte endoskopische Operation im Bereich des Ventrikelsystems durchgeführt worden, um den klinischen Nutzen dieses Bildverarbeitungsverfahrens zu beurteilen. Die Vorschubrichtung des Endoskops konnte mittels der Neuronavigation mit der virtuellen Endoskopie verknüpft werden. Durch Simulation der Operation und dreidimensionale Darstellung einiger anatomischer Varianten kann die MR-Ventrikuloskopie zur erhöhten Sicherheit und Effizienz der endoskopischen Operation beitragen und die intraoperative Orientierung erhöhen.

Schlüsselwörter: Virtuelle Endoskopie, MR-Ventrikuloskopie, Neuronavigation, Magnetresonanztomographie

1 Einleitung

Die endoskopische Operation stellt bei Verschlusshydrocephalus und intracerebralen Zysten ein modernes minimal invasives Therapieverfahren dar. Die Diagnose derartiger Erkrankungen und die Operationsplanung basieren auf Schnittbildverfahren wie der Computertomographie und der Magnetresonanztomographie. Der Chirurg muss die zweidimensional präsentierten axialen Schichten mental zu einem dreidimensionalen Bild zusammensetzen, um den adäquaten Zugang und die Vorschubrichtung für das Endoskop zu wählen. Nach Einbringen des starren Endoskops kann die Ausrichtung im Gehirn nicht mehr verändert werden, ohne intaktes Hirngewebe zu schädigen. Die Einführung der intraoperativen Neuronavigation vereinfachte die Planung der Position der Trepanation und der Vorschubrichtung des Endoskops und erhöhte damit die Sicherheit des Eingriffes. Mögliche Hindernisse für das Endoskop vorherzusehen bleibt jedoch auch für den Erfahrenen schwierig.

In den letzten Jahren führte der Fortschritt auf dem Gebiet der Computertechnologie in der medizinischen Bildverarbeitung zu der Entwicklung der virtuellen

Endoskopie. Das Verfahren wurde für viele Gebiete, wie das Bronchialsystem, die Harnwege und den Magen-Darmtrakt eingesetzt [1-3] und bereits zur Darstellung des Ventrikelsystems angewandt [4]. Bislang wurde die Technik jedoch nicht in Verbindung mit therapeutischen Eingriffen durchgeführt. Im Rahmen dieser Studie wurde die virtuellen Endoskopie zur präoperativen Simulation der Vorschubrichtung des realen Endoskops eingesetzt. Die Verknüpfung der virtuellen Endoskopie mit dem Operationsfeld erfolgte durch den Einsatz eines Navigationssystems.

2 Material und Methoden

2.1 Patienten

19 Patienten (7 männliche, 12 weibliche Patienten), die zwischen Januar 1997 und November 1999 endoskopisch unter Einsatz des Navigationssystems operiert worden sind, wurden in diese Studie eingeschlossen. Das mittlere Alter der Patienten betrug 34 Jahre (sechs Monate bis 75 Jahre). In 17 Fällen lag ein Verschlusshydrocephalus vor, ein Patient hatte eine symptomatische Arachnoidalzyste, ein weiterer Patient entwickelte eine raumfordernde Zyste nach der Operation eines Glioblastoms.

2.2 MR-Ventrikuloskopie (virtuelle Endoskopie)

Der für die Neuronavigation und die virtuelle Endoskopie notwendige kernspintomographische Datensatz wurde präoperativ an einem 0,5 Tesla Gerät (Philips, Best, Niederlande) erhoben. Hierfür wurde eine dreidimensionale T1-gewichtete Gradientenecho-Sequenz mit folgenden Parametern angefertigt: TE 4,5 ms, TR 30 ms, FOV 240 mm, Matrix 256 × 256, Schichtdicke 3 mm.

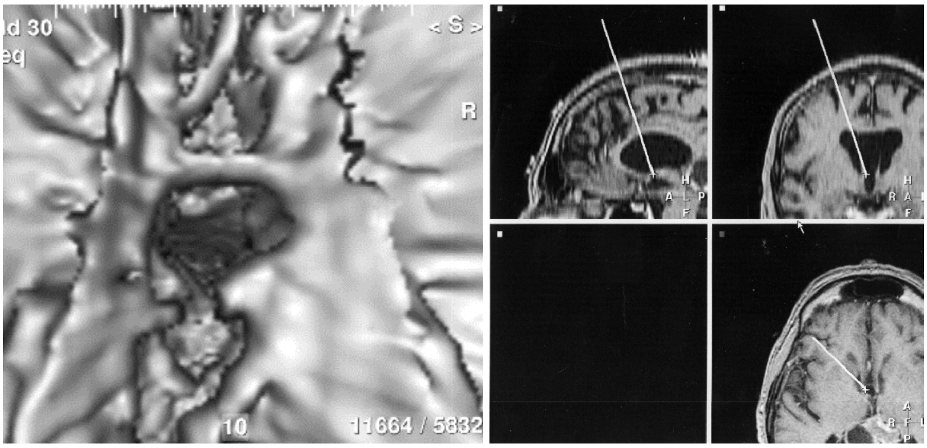

Abb. 1. Links: Fornixspaltung. Endoluminale Ansicht, das virtuelle Endoskop befindet sich unterhalb des Balkens mit Blick in Richtung des Dritten Ventrikels.
Rechts: Neuronavigation. Darstellung der Vorschubrichtung des Endoskops in drei Ebenen.

Die virtuelle Endoskopie wurde an einem Bildverarbeitungssystem (Easy Vision, Best, Philips, Niederlande) mit einem Sun Ultra II Computer (Sun Microsystems, Palo Alto, USA), der über einen Arbeitsspeicher von 393 MBytes verfügt, durchgeführt. Nach dem Prinzip des „Volume-renderings“ wurde der gesamte Datensatz für die Segmentation herangezogen. Die Transparenz für das Gehirnparenchym wurde auf 0 % und für den Liquor cerebrospinalis auf 100 % eingestellt. Durch den natürlichen Kontrast zwischen Liquor und Gehirngewebe konnte die Oberfläche des Ventrikelsystems scharf dargestellt werden. Der Pfad der virtuellen Endoskopie wurde für die retrospektiv durchgeführten 17 Fälle analog dem mittels des MRT-Daten-gestützten Navigationssystems festgelegten Weg, entlang dem das reale Endoskop eingebracht worden war, gewählt, sodass Ansatzpunkt, Vorschubrichtung und Zielpunkt übereinstimmten. Bei den prospektiv präoperativ durchgeführten beiden Fällen wurde der Pfad nach dem chirurgischen Vorgehen gewählt: Das virtuelle Endoskop wurde von rechts frontal in den Seitenventrikel, durch das Foramen Monroi in den Dritten Ventrikel und durch den Boden des Dritten Ventrikels in die Zisterna interpeduncularis auf einer Geraden vorgeführt. Nach der Pfadvorgabe wurden die endoluminalen Ansichten entlang der gewählten Route in Abständen von 2 mm errechnet und als Filmsequenz präsentiert. Bei der Durchsicht der MR-Ventrikuloskopie konnte auf jeder gewünschten Position gestoppt und das virtuelle Endoskop geschwenkt oder der Blickwinkel verstellt werden.

2.3 Neuronavigation und endoskopische Operation

Bei den neuroendoskopischen Operationen wurde ein interaktives Navigationssystem (EasyGuide Neuro, Philips, Best, Niederlande) zur Orientierung eingesetzt. Das mobile System besteht aus einem Rechner (Unix 4.0), einem hochauflösenden Bildschirm und einem optischen, mit Infrarotlicht arbeitendem Lokalisationssystem mit zwei Kameras und einem mit Leuchtdioden bestückten Zeigeinstrument. Präoperativ wurden 5 – 8 selbstklebende Hydrogelmarkierungen auf der Kopfhaut des Patienten fixiert und anschließend die MRT-Untersuchung durchgeführt. Die Referenzpunkte wurden an der Workstation in dem MRT-Datensatz markiert und unmittelbar vor der Endoskopie auf dem fixierten Kopf des Patienten mit dem Zeigeinstrument registriert. Die Position des Zeigeinstrumentes am Kopf des Patienten konnte nach der Kalibrierung in Echtzeit in dem MRT-Datensatz dargestellt werden. Vor dem Eingriff wurde die Lage des Bohrlochs und der Pfad des Endoskops festgelegt, indem das virtuell verlängerte Zeigeinstrument auf den Kopf aufgesetzt und auf den Zielpunkt ausgerichtet wurde. Der Pfad konnte auf diese Weise realistisch simuliert werden, da das Endoskop (Aesculap AG, Tuttlingen, Deutschland) starr ist und nicht gebogen werden kann. Das Neuroendoskop hat einen äußeren Durchmesser von 6,2 mm und verfügt über zwei Arbeitskanäle. Zur Ventrikulozisternostomie wurde es über den rechts frontalen Zugang in den Seitenventrikel und durch das Foramen Monroi in den Dritten Ventrikel vorgeführt. Der Boden des Dritten Ventrikels wurde unter Einsatz der monopolaren Koagulation zur Therapie des Hydrocephalus perforiert und das Loch mittels eines Ballonkatheters aufgeweitet. Bei der Perforation des Ventrikelbodens kann die A. basilaris, die in der Zisterna interpeduncullaris unter dem Boden des Dritten Ventrikels liegt verletzt werden.

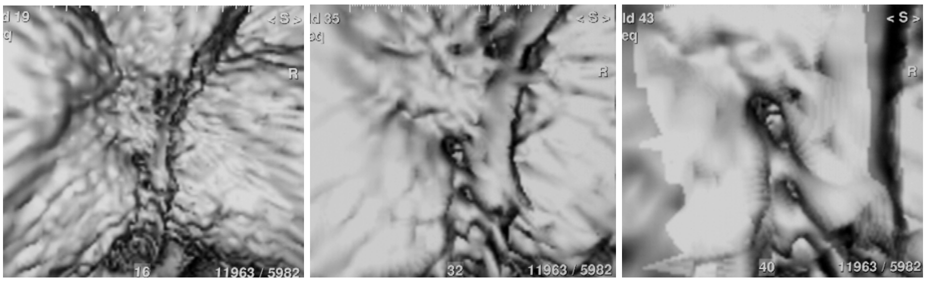

Abb. 2. Virtuelle Endoskopie bei engem Foramen Monroi. Links: Ansicht vom Dach des Seitenventrikels auf das Foramen Monroi. Der untere Anteil des Septum interventrikulare ist sichtbar. Mitte und Rechts: Vorschub des virtuellen Endoskops in Richtung des Foramen Monroi.

3 Ergebnisse

Die virtuelle Endoskopie konnte bei allen Patienten in durchschnittlich 20 min durchgeführt werden. Durch die Kombination mit der Neuronavigation war es möglich, den für die operative Endoskopie gewählten Pfad exakt zu simulieren (Abb. 1). Bei einem Patienten musste die endoskopische Operation abgebrochen werden, weil das Foramen Monroi eng war, und die Passage des Endoskops nicht erlaubte. Mittels der virtuellen Endoskopie konnte das enge Foramen Monroi erkannt und die Behinderung vorhergesehen werden (Abb. 2). In einem weiteren Fall wurde bei Fornixspaltung ein interfornikaler Zugang anstelle des transforaminalen gewählt. Auch diese Veränderung war mittels der virtuellen Endoskopie gut erkennbar (Abb. 1). In den übrigen Fällen konnte die ungehinderte Passage vom Dach des Seitenventrikels bis in den Dritten Ventrikel korrekt als komplikationsfrei dargestellt werden. Die A. basilaris und ihre Lage zu der Perforationsstelle des Bodens des Dritten Ventrikels konnte in allen Fällen dargestellt werden, so dass vorhergesehen werden konnte, ob das Gefäß durch die gewählte Vorschubrichtung des Endoskops gefährdet war. Der Nukleus caudatus, der Thalamus und der Plexus choronoideus waren in allen Fällen als Landmarken sichtbar. Das Septum pellucidum konnte im unteren Bereich dargestellt werden. Der obere Anteil lag unterhalb des Auflösungsvermögens der dreidimensionalen Darstellung. Auch der Boden des Dritten Ventrikels konnte nicht dargestellt werden. Bei einem Patienten war der Ventrikelboden sehr dick und konnte intraoperativ nur schwer perforiert werden. Bei einem weitere Patienten verlief der Boden von anterior nach posterior abfallend. Aufgrund dieser anatomischen Normvariante fanden die Instrumente schlecht Halt, sodass der Boden auch bei diesem Patienten schwer perforiert werden konnte. Diese anatomischen Normvarianten und die damit verbundenen intraoperativen Schwierigkeiten konnten mittels der virtuellen Endoskopie nicht erfasst werden.

4 Diskussion

Durch die Simulation des endoskopischen neurochirurgischen Eingriffs mittels der MR-Ventrikuloskopie kann bereits präoperativ die Eignung des Ansatzpunktes und der Vorschubrichtung des Endoskops überprüft und mögliche Hindernisse erkannt werden. Die simulierte Trajektorie kann mittels der Neuronavigation auf den Operationssitus übertragen werden. Auf diese Weise kann die intraoperativ nötige Bewegung des starren Endoskops zum Erreichen des Zielpunkts und die hiermit verbundene Traumatisierung intakten Hirngewebes auf ein Minimum reduziert werden. Hierdurch wird die Sicherheit und Effizienz der Operation erhöht. Sehr dünne Strukturen, die weniger als ein Pixel tief sind, wie der Boden des dritten Ventrikels oder das Septum pellucidum können jedoch mittels der virtuellen Endoskopie nicht dargestellt werden. Damit entziehen sich auch Veränderungen dieser Strukturen dem Nachweis. Durch die Anwendung hochauflösender dünnschichtiger MRT-Sequenzen als Quelldatensätze für die virtuelle Endoskopie könnten kleinere Strukturen dargestellt werden.

Die virtuelle Endoskopie kann weiterhin die intraoperative Orientierung verbessern. Die anatomischen Strukturen werden in den endoskopischen Ansichten durch Vergrößerung und Verzerrung verfremdet dargestellt. Diese endoluminale Perspektive wird mittels der virtuellen Endoskopie nachempfunden. Am Computer ist jedoch die Korrelation zwischen den dreidimensional endoskopisch dargestellten Strukturen und den axialen Schichten möglich, sodass die Orientierung durch die Identifikation von Einzelstrukturen erfolgen kann. Diese Strukturen sind während der endoskopischen Operation aufgrund der hohen Ähnlichkeit zu den Ansichten der virtuellen Endoskopie leicht wiederzuerkennen und dienen dann als Landmarken.

5 Literatur

1. Hara AK, Johnson CD, Reed JE, Ahlquist DA, Nelson H, MacCarty RL, Harmens WS, Ilstrup DM: Detection of colorectal polyps with CT colography: Initial assessment of sensitivity and specificity. Radiology 205: 59-65, 1997.
2. Higgins WE, Ramaswamy K, Swift RD, McLennan G, Hoffman EA: Virtual bronchoscopy for three-dimensional pulmonary image assessment: state of the art and future needs. RadioGraphics 18: 761-778, 1998.
3. Nolte-Ernsting CCA, Krombach GA, Staatz G, Kilbinger M, Adam GB, Günther RW: Virtuelle Endoskopie des oberen Harntraktes auf der Basis kontrastangehobener MR-Urographie Datensätze. Fortschr Röntgenstr 170: 550-556, 1999.
4. Auer LM, Auer DP: Virtual endoscopy for planning and simulation of minimally invasive neurosurgery. Neurosurgery 43: 529-537, 1998.