Ein multimodales Operationsplanungssystem für die Neurochirurgie

U. Eisenmann[1], H. Dickhaus[1], R. Metzner[2], C.R. Wirtz[2]

[1]Institut für Medizinische Informatik
Universität Heidelberg/Fachhochschule Heilbronn
Max-Planck-Straße 39, 74081 Heilbronn
[2]Neurochirurgische Klinik der Universität Heidelberg
Email: u.eisenmann@fh-heilbronn.de

Zusammenfassung. Die neurochirurgische Operationsplanung stellt je nach Art des Eingriffs unterschiedliche Anforderungen an ein Planungssystem. Neben Funktionen zur Segmentierung von Tumoren und anatomischen Strukturen des Gehirns ist die Einbeziehung funktioneller Daten (EEG, fMRT, MEG) von großer Bedeutung. Die in der Planungsphase gewonnenen Ergebnisse sollten später für die intraoperative Neuronavigation verwendet werden können. Das von uns entwickelte System bietet vielfältige Möglichkeiten im Bereich der Planung und Durchführung von neurochirurgischen Eingriffen.

1 Einleitung

Bei neurochirurgischen Eingriffen ist eine sorgfältige Planungsphase notwendig, insbesondere wenn anhand der Kernspintomographie (MRT) keine pathologischen Strukturen im Hirngewebe sichtbar sind, wie es beispielsweise bei Epilepsiepatienten der Fall sein kann.

Aus diesem Grunde werden neben anatomischen Gegebenheiten des Hirngewebes zunehmend auch funktionelle Daten, die durch funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT), das Electroencephalogramm (EEG) und das Magnetoencephalogramm (MEG) gewonnen werden, für die Planung herangezogen [1].

Die Neuronavigation ist schon seit einigen Jahren klinische Routine [2]. Wünschenswert wäre, dass in solche Systeme zusätzlich funktionelle Daten integriert werden, um eine präzisere Lokalisation pathologischer Strukturen und eine für den Patienten schonendere Operationsdurchführung zu gewährleisten.

Die Fusion verschiedener Bildmodalitäten wird dadurch erschwert, dass die funktionellen Daten nicht wie MRT-Bilder im DICOM-Format vorliegen, sondern je nach Auswertungssystem unterschiedliche Dateiformate aufweisen.

Wir haben ein System entwickelt, das Operationsplanungen auf Basis von anatomischen und funktionellen Daten gestattet.

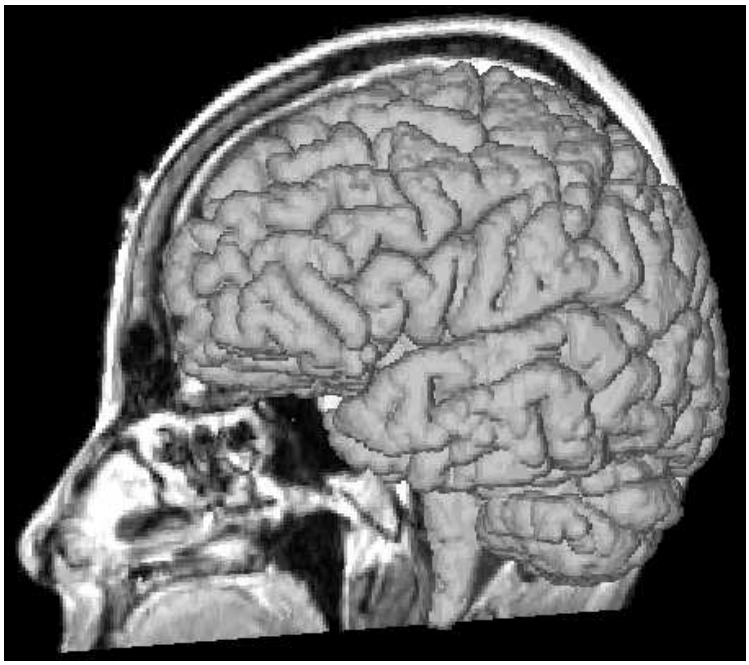

Abb. 1. 3D-Darstellung des segmentierten Cortex; zusätzlich ist eine sagittale MRT-Schicht eingeblendet.

2 Das Planungssystem

Das System bietet Importmöglichkeiten für MRT-Volumendatensätze im DICOM-Format. Für die nicht standardisierten funktionellen Daten wie EEG, MEG und fMRT wurden eigene Formate definiert, die sehr flexibel sind. Dadurch ist es möglich Importfilter für weitere Auswertungssysteme zu implementieren, wie z.B. für das in Heidelberg verwendete System „Brain Voyager“ [3]. Beim Import werden zunächst die Daten in das Format des Planungssystems konvertiert. Danach erfolgt die Transformation der Koordinaten des entsprechenden Auswertungssystems in das Koordinatensystem des Planungssystems.

Anatomische Strukturen können halbautomatisch oder manuell segmentiert werden. Hierzu wird ein Werkzeugkasten zur Verfügung gestellt, der verschiedene Segmentierungsverfahren (Region Growing, histogrammbasierte Grauwertsegmentierung, morphologische Operatoren etc.) anbietet. Mit diesen Werkzeugen ist es im Normalfall möglich, den Cortex in einer für die Operationsplanung zufriedenstellenden Qualität in weniger als 3 Minuten auf einem handelsüblichen PC unter Windows NT zu segmentieren (Abb. 1).

Darüber hinaus hat der Operateur die Möglichkeit, wichtige Strukturen zu markieren sowie Abstände zwischen anatomischen oder zwischen funktionellen Strukturen zu quantifizieren.

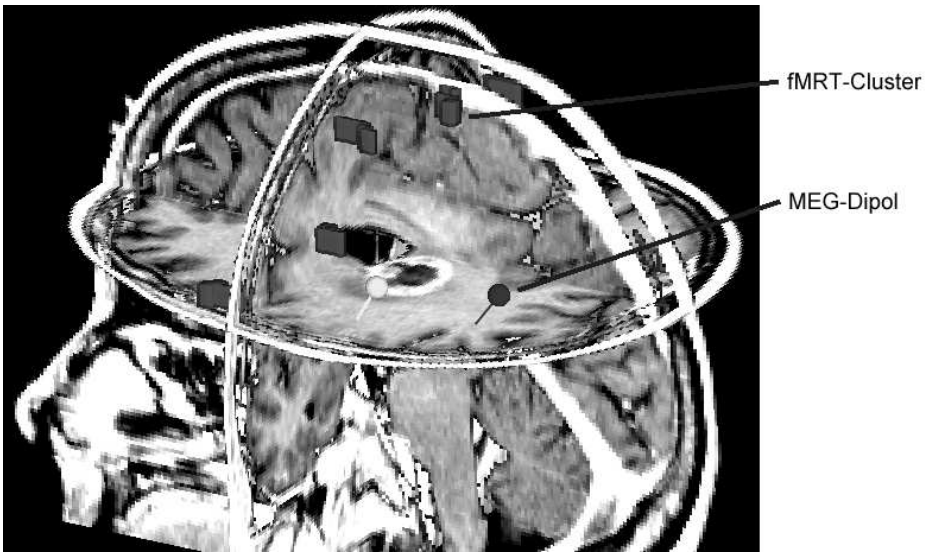

Abb. 2. MRT-Schnittbilder in triplanarer Darstellung; einfarbige Einblendung von fMRT-Aktivierungen als 3D-Cluster; Darstellung von MEG-Dipolen, wobei die Lokalisation durch den Kugelmittelpunkt und die Wirkrichtung des Magnetfeldes durch die Visualisierung des Richtungsvektors dargestellt wird.

Die Visualisierungskomponente ermöglicht es, alle grafischen Elemente, wie z.B. MRT-Schichten, MEG-Dipole etc., selektiv ein- und auszublenden. So kann der Chirurg je nach Fragestellung die für ihn wichtigen diagnostischen Informationen und Planungselemente anzeigen (Abb. 2).

Die MRT-Daten werden in einer triplanaren Ansicht dargestellt. Zusätzlich kann eine Operationsansicht (Surgeon View) gewählt werden, die dem Blick des Operateurs durch das Operationsmikroskop entspricht. fMRT-Daten können wahlweise zweidimensional auf den Schichten des MRT-Datensatzes oder als 3D-Punktwolken dargestellt werden. Die statistischen Schwellen sowie die Clustergröße der fMRT-Maps können variiert werden. MEG-Dipole werden an ihrer entsprechenden Position zusätzlich durch ihren Richtungsvektor dargestellt.

Ein Hauptaugenmerk gilt einer möglichst schnellen Visualisierung, die interaktive Manipulationen zulässt. Diese Echtzeitfähigkeit ist unerlässlich, da das Planungssystem mit bereits existierenden Neuronavigationssystemen gekoppelt werden soll.

Als Alternative wurde ein Export von funktionellen Daten in den anatomischen DICOM-Datensatz realisiert. Hierbei werden die Voxel im MRT-Datensatz, an denen Aktivierungen oder Dipole lokalisiert sind, durch auffällige Grauwerte oder Muster ersetzt. Der so modifizierte MRT-Datensatz wird dann für die Navigation verwendet.

3 Ergebnisse

Wir haben ein System entwickelt, das Daten verschiedener diagnostischer Verfahren (MRT, fMRT, MEG, EEG) verarbeiten und visualisieren kann. Darüber hinaus können Strukturen segmentiert, vermessen und annotiert werden, was für die Operationsplanung und -durchführung von Bedeutung ist. Die verschiedenen sichtbaren Objekte können auf vielfache Weise in Farbe und Aussehen angepasst sowie selektiv ein- und ausgeblendet werden. Die gewonnenen Planungsdaten können in den anatomischen MRT-Volumendatensatz integriert und somit für die Neuronavigation verwendet werden.

Eine typische Operationsplanung dauert mit dem Import der diagnostischen Daten und dem Export des MRT-Datensatzes für die Navigation etwa 15 Minuten.

Das System wird derzeit in der Neurochirurgischen Klinik der Universität Heidelberg im Bereich der Operationsplanung evaluiert.
In der Neurologischen Klinik der Universität Heidelberg wird das System eingesetzt, um klinische Studien auszuwerten. Hierbei wird untersucht, inwieweit Abstände zwischen fMRT-Aktivierungen und MEG-Dipolen auftreten, die durch gleiche Reizauslösung hervorgerufen werden.

4 Schlussfolgerungen

Ein Operationsplanungssystem, das anatomische und funktionelle diagnostische Verfahren vereint, ist bei komplexen Eingriffen wünschenswert. Das von uns entwickelte System stellt hierfür vielfältige Möglichkeiten zur Verfügung.

Im Bereich der klinischen Forschung bietet das System Analyse- und Messfunktionen für die quantitative Auswertung klinischer Studien.

Ein Problem der neurochirurgischen Operationsplanung liegt oftmals in der fehlenden Kopplung zwischen Planungssystem und Neuronavigation. Durch die von uns entwickelte Lösung, fMRT-Aktivierungen bzw. MEG-Dipole in den anatomischen MRT-Datensatz zu integrieren, besteht die Möglichkeit, funktionelle Daten für die Navigation zu benutzen.

Im Augenblick arbeiten wir an einer Ankopplung des Planungssystems an ein Neuronavigationssystem. Dadurch sollen die verschiedenen Visualisierungsmöglichkeiten des Planungssystems intraoperativ nutzbar gemacht werden.

5 Literatur

1. Braun V., Dempf S., Tomczak R., et al.: Mutlimodal Cranial Neuronavigation: Direct Integration of Functional Magnetic Resonance Imaging and Positron Emission Tomography Data. Neurosurgery 48: 1178-1182, 2001.
2. Wirtz C. R., Tronnier V. M., Bonsanto M. M., et al.: Neruronavigation: Methoden und Ausblick. Nervenarzt 69: 1029-1036, 1998.
3. Goebel, R.: BrainVoyager: Ein Programm zur Analyse und Visualisierung von Magnetresonanztomographiedaten. In T. Plesser, et al., Forschung und wissenschaftliches Rechnen. GWDG-*Bericht.* Göttingen: Gesellschaft für wissenschaftliche Datenverarbeitung, 1997.