Integration von fMRI-Daten in ein Navigationssystem für interventionelle Kernspintomographen

M.C. Wengler[1], M. Bublat[1,2], H. Busse[3], C. Dannenberg[3], M. Jungmann[1], Th. Kahn[3], A. Schmitgen[1], Ch. Trantakis[4], P. Wißkirchen[1]

[1] GMD – Forschungszentrum Informationstechnik GmbH
Institut für Angewandte Informationstechnik
Schloß Birlinghoven
53754 Sankt Augustin
http://fit.gmd.de/about/

[2] LOCALITE GmbH, Bonn
[3] Klinik und Poliklinik für Diagnostische Radiologie, Universität Leipzig
[4] Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie, Universität Leipzig

Email: mark.wengler@gmd.de

Zusammenfassung. Mit Hilfe interventioneller Kernspintomographen ist es möglich, intraoperative Bilddaten zu erzeugen. Durch den Vergleich dieser Bilder mit präoperativen Aufnahmen ist der Chirurg in der Lage, den Operationsverlauf mit dem geplanten Vorgehen abzugleichen. Der von uns entwickelte LOCALITE Navigator ist nicht nur in der Lage, Bilder in verbesserter Qualität anzuzeigen und deren Wiederholfrequenz zu erhöhen. Das neue System bietet außerdem die Möglichkeit, Referenzinformationen aus verschiedenen Bildmodalitäten, so z.B. fMRI-Daten, zusammen mit den intraoperativen Daten zu visualisieren. Durch solche Zusatzinformationen kann das Verletzungsrisiko funktioneller Areale im Gehirn entscheidend reduziert werden. Die Registrierung der verschiedenen Bildmodalitäten gelang uns sowohl konventionell markerbasiert, als auch mit Hilfe des Mutual-Information-Algorithmus.

1 Einleitung

Seit 4 Jahren kooperiert die GMD mit mehreren Kliniken, in denen der interventionelle Kernspintomograph Signa SP von General Electrics Medical Systems (GE) zum Einsatz kommt. Die dort in Zusammenarbeit mit Medizinern gewonnenen Erfahrungen und analysierten Schwachstellen bei der Verwendung dieser Geräte führten zu der Entwicklung eines bildgestützten Planungs- und Navigationssystems, dem LOCALITE Navigator [1]. Dieser ist mittlerweile als Medizinprodukt zertifiziert und kommt routinemäßig in der Gehirnchirurgie an offenen Kernspintomographen zum Einsatz.

Eine Registrierung von funktionellen Kernspintomographieaufnahmen (fMRI) auf die vom interventionellen Kernspintomographen gelieferten Aufnahmen (iMRI) und

deren Integration in das Navigationssystem kann helfen, die Gefahr der Verletzung funktioneller Areale des Gehirns zu minimieren. Die Integration eines solchen Registrierungsverfahrens ist uns sowohl markerbasiert, als auch mit Hilfe des Mutual-Information-Algorithmus gelungen.

2 Methoden

Der LOCALITE Navigator unterstützt den Chirurgen während der Operation durch die Visualisierung qualitativ hochwertiger intraoperativer Bilder und die simultane Darstellung verschiedener anderen Bildmodalitäten, so z.B. fMRI-Aufnahmen.

2.1 Verwendung des interventionellen Kernspintomographen

Interventionelle Kernspintomographen bieten die Möglichkeit, intraoperativ MR-Schichtbilder, sog. Realzeitbilder, zu erzeugen. Es handelt sich dabei um Aufnahmen beliebig orientierter Schichten, deren Position und Ausrichtung von einem getrackten Operationswerkzeugs bestimmt wird. Das verwendete Trackingsystem (Flashpoint, IGT, Boulder, CO) ist fest in das GE System integriert. Im Blickfeld des Chirurgen sind LCD-Monitore platziert, auf dem diese Bilder dargestellt werden. So können Veränderungen der Morphologie und die Position des Operationswerkzeugs erkannt werden. Der geplante Operationsweg wurde bisher ermittelt, indem versucht wurde, Strukturen in dem Realzeit-Bild wiederzuerkennen, die in präoperativen Bilddaten als Wegweiser identifiziert werden konnten. Nachteile am bestehenden System waren die fehlende Integration von präoperativen Bild- und Planungsdaten, eine schlechte Bildqualität und eine sehr geringe Bildwiederholungsrate der Realzeitbilder.

Das Navigationssystem „LOCALITE Navigator“ kompensiert diese Nachteile. Dieses System bietet nicht nur die Möglichkeit der Planung eines chirurgischen Eingriffs, sondern ist auch in der Lage, aus präoperativen Volumenaufnahmen Schichten beliebiger Ausrichtung zu berechnen. Diese werden während der Operation auf einem weiteren Bildschirm dargestellt und enthalten auch Zusatzinformationen über Entry- und Targetpunkt sowie den geplanten Operationskanal. Die Informationen des Trackingsystems werden benutzt, um solche Schichten darzustellen, die mit den Realzeitaufnahmen übereinstimmen. Es wird jedoch eine wesentlich bessere Bildqualität und Bildwiederholungsrate gewährleistet. Der LOCALITE Navigator kommt im Klinikum Krefeld und in der Universitätsklinik Leipzig als zertifiziertes Medizinprodukt zum Einsatz. Um zusätzliche, von anderen Geräten gelieferte Informationen (z.B. fMRI-Daten) in die Planung und Navigation aufzunehmen, ist es nötig, diese Zusatzdaten auf das iMRI-Volumen zu registrieren.

2.2 Die Aufnahmemodi

Für den Einsatz des Navigationssystems wird ein intraoperativer Volumendatensatz benötigt, der Planung und Navigation ermöglicht. Der interventionelle 0,5T-Kernspintomograph (GE Signa SP) liefert diesen, meist T1-gewichteten, Volumen-Datensatz (T1intra), der meist aus 60 Schichten besteht.

Des weiteren werden noch entsprechende präoperative funktionelle Kernspinaufnahmen benötigt, die mit Hilfe eines geschlossenen 1,5T-Kernspintomographen (Siemens Magnetom Vision) erhoben werden. Die Durchführung dieser fMRI-Untersuchung liefert verschiedene relevante Datensätze.

Bezeichnung	Gerät	Bemerkung	Zeit
T1intra	Signa SP	T1-gewichtet, Marker sichtbar, 60 Schichten	intraoperativ
T1prä	Magnetom Vision	T1-gewichtet, Marker sichtbar, 16 bis 256 Schichten, FLASH-Sequenz	präoperativ
T2*	Magnetom Vision	T2*-gewichtet, Marker nicht sichtbar, 16Schichten, EPI-Sequenz	präoperativ
BOLD bzw. fMRI	Magnetom Vision	fMRI-Daten, 16Schichten, errechnet aus T2*-Aufnahmen	präoperativ

2.3 Registrierung von fMRI- und iMRI-Daten

Während in den T1prä-Aufnahmen die verwendeten Marker gut zu erkennen sind, sind die EPI-Sequenz-Aufnahmen (und damit die fMRI-Daten) nicht in der Lage, die Marker aufzulösen. Eine direkte markerbasierte Registrierung der fMRI-Daten auf den T1intra-Datensatz ist aus diesem Grund nicht möglich.

Zur Registrierung nutzen wir deshalb aus, dass sich die T1prä-Aufnahme und die BOLD-Daten im selben Koordinatensystem befinden. Dafür muss zunächst ausgeschlossen werden, dass sich der Patient zwischen Erhebung des T1prä- und fMRI-Datensatzes bewegt hat. Hierfür benutzen wir den „LOCALITE fMRI-Tester“, der verschiedene intuitive Visualisierungsmodi zur Überprüfung dieser Fragestellung (durch Vergleich der T1prä und T2* Daten) zulässt.

In der Folge wird zunächst mit Hilfe der Marker eine grobe Vorregistrierung der T1prä-Daten auf das T1intra-Volumen vorgenommen [2]. Danach wird der Mutual-Information-Algorithmus für eine exaktere Registrierung benutzt [2]. Um die Rechenzeit dieses Algorithmus zu minimieren, werden zunächst die Original-Bilddaten um einen Faktor acht heruntergesampelt. Das Ergebnis der Registrierung der reduzierten Bilddaten wird dann als Ausgangspunkt für den endgültigen Registrierungsvorgang der Originaldaten benutzt.

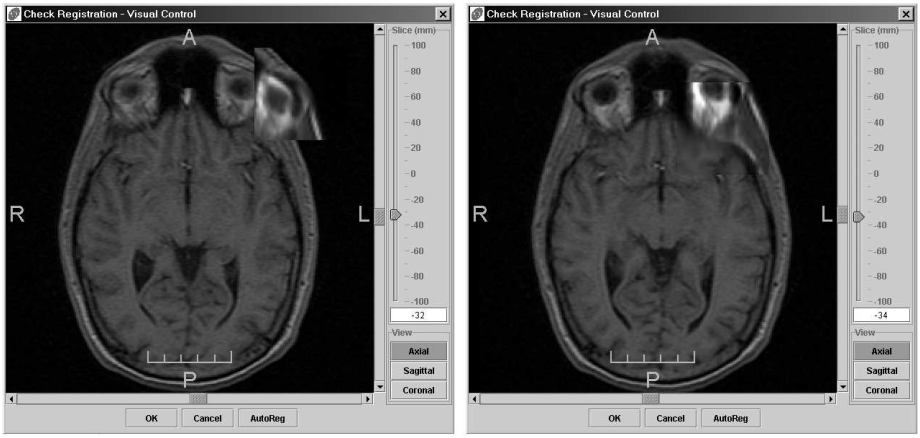

Abb. 1 Registrierung von T1prä auf T1intra. Links: bewusst grobe (aber zügig durchzuführende) markerbasierte Vorregistrierung. Rechts: Registrierung nach Anwendung des Mutual Information Algorithmus. Die Darstellung erfolgt mit Hilfe einer „magic lens“, hinter der das registrierte T1prä-Volumen zu erkennen ist, wodurch die Qualität der Registrierung bewertbar wird.

Man erhält als Ergebnis eine Transformationsvorschrift, die wegen der Koordinatensystem-Gleichheit der T1prä-Aufnahme mit den fMRI-Daten zur Registrierung von den fMRI-Daten auf das T1intra-Volumen benutzt werden kann.

Abb. 2 Visualisierung des T1-gewichteten Volumens mit eingeblendeten fMRI-Daten.

3 Ergebnisse und Diskussion

Mit der Integration von fMRI-Daten in die Welt des offenen Kernspintomographen ist es uns gelungen, den LOCALITE Navigator um einen wichtigen Teilaspekt der Gehirnchirurgie zu erweitern. Dem Chirurgen wird die Planung eines Operationsweges und die Durchführung der Operation unter minimaler Schädigung funktioneller Areale des Gehirns ermöglicht. Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass die zur Verfügung gestellten Zusatzinformationen von den Chirurgen als sehr nützlich und hilfreich empfunden werden.

Als Nebeneffekt war es mit dem beschriebenen LOCALITE fMRI-Tester möglich, Verzerrungen und Verschiebungen von EPI-Sequenz-Aufnahmen im Vergleich zum Flash-Aufnahmeverfahren zu untersuchen. EPI-Aufnahmen führen besonders an Grenzflächen zwischen Bereichen stark verschiedener Suszeptibilität zu starken Verzerrungen [3].

Die entscheidenden Faktoren für den erfolgreichen Einsatz eines auf dem Mutual Information Algorithmus basierenden Registrierungsvorgangs sind die benötigte Zeit und die Qualität der Registrierung. Bei einer Rechenzeit von nur etwa 5 Minuten stellen wir mit unserem System eine schnellere und qualitativ meist hochwertigere Registrierung als die herkömmliche rein markerbasierte Methode zur Verfügung. Wir arbeiten außerdem an der Entwicklung einer vollautomatischen Registrierung (ohne Vorregistrierung), was für einen schnelleren und unkomplizierteren Einsatz sorgen würde.

4 Literatur

1. Klaus Kansy et al. (1999) LOCALITE - a Frameless Neuronavigation System for Interventional Resonance Imaging Systems. In: Taylor, C., Colchester, A. (Eds.) Medical Image Computing and Assisted Intervention-MICCAI'99. Berlin: Springer, ISBN 3-540-66503-X, pp. 832-841
2. J.B. Antoine Maintz, Max A. Viergever: A survey of medical image registration. Medical Image Analysis (1998) volume 2, number 1, pp 1-36.
3. Stuart Clare, Functional Magnetic Resonance Imaging: Methods and Applications, http://www.fmrib.ox.ac.uk/~stuart/thesis/index.html