

# Integration von MRI -Daten in ein Navigationssystem für interventionelle Kernspintomographen

M.C.Wengler<sup>1</sup>, M.Bublath<sup>1,2</sup>, H.Busse<sup>3</sup>, C.Dannenberg<sup>3</sup>, M.Jungmann<sup>1</sup>, Th.Kahn<sup>3</sup>,  
A.Schmitgen<sup>1</sup>, Ch.Tra ntakis<sup>4</sup>, P.Wißkirchen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> GMD –Forschungszentrum Informatik GmbH  
Institut für Angewandte Informationstechnik  
Schloß Birlinghoven  
53754 Sankt Augustin  
<http://fit.gmd.de/about/>

<sup>2</sup> LOCALITE GmbH, Bonn

<sup>3</sup> Klinik und Poliklinik für Diagnostische Radiologie, Universität Leipzig

<sup>4</sup> 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. Dervon 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, soz. B. fMRI -Daten, zusammen mit den intraoperativen Daten zu visualisieren. Durch solche Zusatzinformationen kann das Verletzungsrisiko funktioneller Areale im Gehirn schneidend reduziert werden. Die Registrierung der verschiedenen Bildmodalitäten gelangt sowohl konventionell markerbasiert, als auch mit Hilfe des Mutual -Information-Algorithmus.

## 1 Einleitung

Seit 4 Jahren kooperiert die GMD mit mehreren Kliniken, in denen die interventionelle Kernspintomographie Signa SP von General Electric 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 in ein solches Registrierungungsverfahren ist sowohl markerbasiert, als auch mit Hilfe des Mutual Information-Algorithmus gelungen.

## 2 Methoden

Der LOCALITENavigator unterstützt den Chirurgen während der Operation durch die Visualisierung qualitativ hochwertiger intraoperativer Bilder und die simultane Darstellung verschiedener anderer Bildmodalitäten, soz. 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 Operationswerkzeug bestimmt wird. Das verwendete Tracking-System (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 wieder zu erkennen, die in präoperativen Bild-daten als Wegweiser identifiziert werden konnten. Nachteile am bestehenden System sind die fehlende Integration von präoperativen Bild - und Planungsdaten, eine schlechte Bild - qualität und eine sehr geringe Bildwiederholungsrate der Realzeitbilder.

Das Navigationssystem „LOCALITENavigator“ 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 Tracking-Systems werden benutzt, um solche Schichten darzustellen, die mit den Realzeit -aufnahmen übereinstimmen. Es wird jedoch eine wesentlich bessere Bildqualität und Bildwiederholungsrate gewährleistet. Der LOCALITENavigator 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 Zusatz - daten auf das fMRI -Volumen zu registrieren.

### 2.2 Die Aufnahme modi

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

Desweiteren 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.

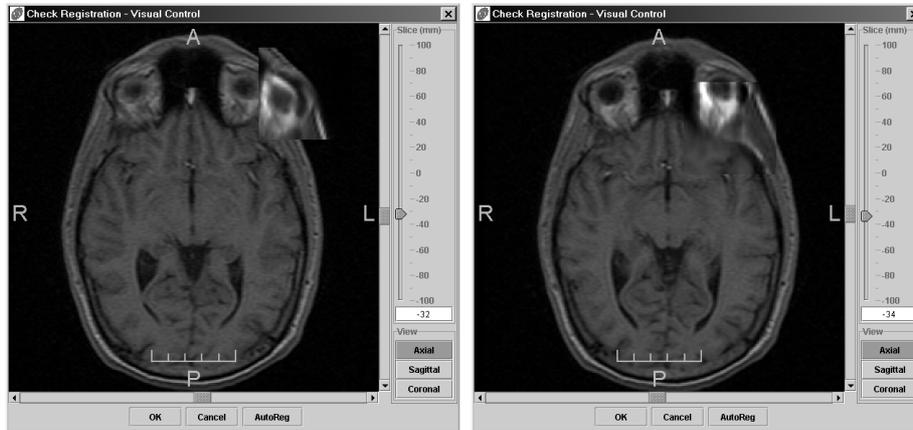
Bezeichnung	Gerät	Bemerkung	Zeit
T1 intra	Signa SP	T1-gewichtet, Markersichtbar, 60 Schichten	intraoperativ
T1 prä	Magnetom Vision	T1-gewichtet, Markersichtbar, 16 bis 256 Schichten, FLASH -Sequenz	präoperativ
T2*	Magnetom Vision	T2*-gewichtet, Markernicht sichtbar, 16 Schichten, EPI -Sequenz	präoperativ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

### 2.3 Registrierung von fMRI - und T1 -Daten

Während die T1 prä -Aufnahmen die verwendeten Markergut 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 T1 intra-Datensatz ist aus diesem Grund nicht möglich.

Zur Registrierung nutzen wir deshalb aus, dass sich die T1 prä -Aufnahme und die BOLD-Daten im selben Koordinatensystem befinden. Dafür muss zunächst aus geschlossen werden, dass sich der Patient zwischen Erhebung des T1 prä - und fMRI -Datensatzes bewegt hat. Hierfür benutzen wir den „LOCALITE fMRI -Tester“, der verschiedene intuitive Visualisierungsmodi zur Überprüfung dieser Fragestellung (durch Vergleich der T1 prä und T2\* -Daten) zulässt.

In der Folge wird zunächst mit Hilfe der Marker eine grobe Vorregistrierung der T1 prä -Daten auf das T1 intra -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 -Bild daten um einen Faktor acht heruntergesampelt. Das Ergebnis der Registrierung der reduzierten Bild daten wird dann als Ausgangspunkt für den endgültigen Registrierungsvorgang der Original daten benutzt.



**Abb. 1** Registrierung von T1 prä auf T1 intra. 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 T1 prä -Volumen zu erkennen ist, wodurch die Qualität der Registrierung bewertbar wird.

Man erhält als Ergebnis eine Transformationsvorschrift, die wegen der Koordinatensystem-Gleichheit der T1 prä -Aufnahme mit den fMRI -Daten zur Registrierung von den fMRI -Daten auf das T1 intra -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 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-Testermöglich, 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 Registrierungs Vorganges 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 herkömmlichere in 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>