

Registrierung von MRT-Volumendatensätzen des Kopfes mittels 3D-Ultraschall für die Neuronavigation

S. Winter¹, C. Dekomien¹, C. Hansen², K. Hensel³, I. Pechlivanis⁴, K. Schmieder⁴

¹Institut für Neuroinformatik, ²Lehrstuhl für Hochfrequenztechnik, ³Lehrstuhl für Medizintechnik,

⁴Neurochirurgische Universitätsklinik, Ruhr-Universität Bochum, Deutschland

Kurzfassung

Die bildbasierte Navigation ist in der Neurochirurgie ein etabliertes Verfahren zur Planung verschiedenster intrakranieller Eingriffe. Dabei ist der Vorgang der Registrierung präoperativer Daten anhand von künstlichen Landmarken zeitaufwändig und nach Entfernung der Marker nicht wiederholbar. Eine kostengünstige Alternative bietet die ultraschallbasierte Registrierung, die bei schneller und einfacher Handhabbarkeit und ohne Strahlenbelastung jederzeit wiederholt werden kann.

1 Einleitung

In der Neurochirurgie ist die bildbasierte Navigation ein etabliertes Verfahren für verschiedenste intrakranielle Eingriffe [1-3] und basiert zumeist auf präoperativ erhobenen Volumendatensätzen (CT / MRT) des Patienten. Das Problem des Abgleichs dieser präoperativen Daten mit dem Koordinatensystem des Operationssaales wird üblicherweise mittels punktbasierter Registrierung gelöst. Hierfür werden vor der Aufnahme der präoperativen Daten Oberflächenmarker als künstliche Landmarken am Kopf des Patienten angebracht. Diese Marker müssen bis zur Operation dort verbleiben, sie werden zunächst in den präoperativen Datensätzen markiert und intraoperativ zur Registrierung mit einem Pointer angezeigt. (Auf die Verwendung anatomischer Landmarken wird wegen einer größeren Ungenauigkeit meist verzichtet.) Diese Methode ist zeitintensiv und ihre Genauigkeit hängt von der Exaktheit der Definition und der Markierung der Landmarken ab. Vor dem Eingriff müssen die Marker entfernt werden, so dass eine erneute Registrierung nicht mehr möglich ist. Als Alternative haben wir ein System entwickelt, welches die landmarkenbasierte durch eine ultraschallbasierte Registrierung ersetzt, bei der intraoperativ erhobene Ultraschallvolumendatensätze verwendet werden [4]. Diese Registrierung ist wiederholbar und bietet bei niedrigen Kosten, schneller und einfacher Handhabbarkeit und ohne Strahlenbelastung eine hohe Genauigkeit [5]. Die Registrierbarkeit der Ultraschalldaten mit CT-Daten der Lendenwirbelsäule [6] und MRT-Daten des Knies [7] wurde bereits demonstriert. Wir präsentieren hier eine Weiterentwicklung der ultraschallbasierten Registrierung für die Anwendung auf MRT-Volumendatensätze des Kopfes.

2 Material und Methoden

Eine wichtige Voraussetzung für den entwickelten Registrieralgorithmus ist einerseits die Segmentierung

der Knochenoberfläche in den präoperativen Daten und andererseits die präzise Darstellung der Knochenoberfläche in den dreidimensionalen Ultraschalldaten. Aus den präoperativen Daten werden diejenigen Knochenoberflächenpunkte extrahiert, die sich aufgrund der physikalischen Abbildungseigenschaften und der Schallstrahlrichtung mittels Ultraschall abbilden lassen. Diese Punkte werden in die Ultraschalldaten übertragen. Mit einer evolutionären Optimierungsstrategie [8] wird die optimale Transformation bestimmt. Um eine zuverlässige Registrierung zu erreichen, ist eine geeignete Verteilung der Knochenoberflächenpunkte entscheidend.

Von Probanden wurden T1 gewichtete MRT-Volumendaten des Kopfes aufgenommen. Außerdem wurden Ultraschallvolumendatensätze im Bereich der Schläfe der Probanden akquiriert. Die Anatomie des Schläfenbeins, des Jochbeins und des Keilbeins hat sich für die Registrierung als besonders geeignet erwiesen, da sich dieser Bereich als markante räumliche Struktur gut mit Ultraschall abbilden lässt. Alle Volumendatensätze wurden in eine isotrope Auflösung mit einer Voxelkantenlänge von 0.5 mm umgewandelt. Nach einer ersten Vorregistrierung des Patientenkoordinatensystems mit dem MRT-Datensatz anhand dreier anatomischer Landmarken an Kinn, Nase und Ohr wurde die MRT-Ultraschallregistrierung durchgeführt.

3 Ergebnisse

In Abbildung 1 ist für einen Probanden beispielhaft das Ergebnis dieser Registrierung dargestellt. Die Knochenstrukturen in den Ultraschalldaten zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Knochenoberflächen in den MRT-Daten. Weiterhin wurden Weichteilstrukturen in ihrer aktuellen Lage oberhalb des Knochens im Ultraschall abgebildet. Es ist eine leichte Verschiebung der Weichteile zwischen den beiden Aufnahmen zu erkennen, die vor allem auf den Druck des Ultraschallkopfes während der Aufnahme zurückzuführen ist.

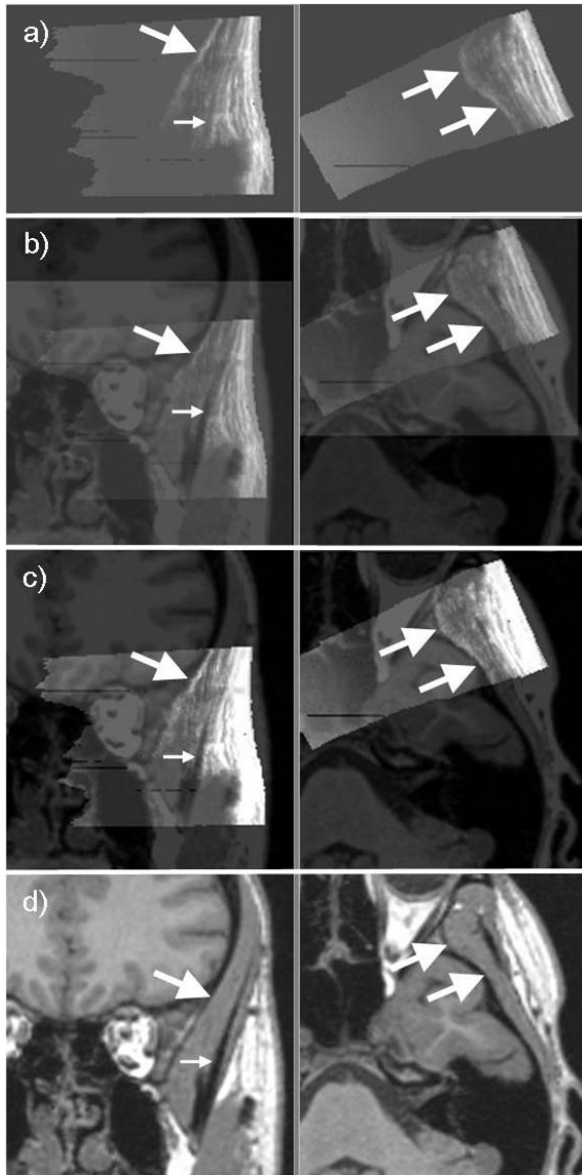


Abbildung 1: Links koronare und rechts axiale Schichtbilder aus a) den rekonstruierten Ultraschall-daten, d) den korrespondierenden MRT-Daten und Überlagerungen der beiden Datensätze in b) und c). Die dicken Pfeile markieren die Knochenoberfläche, die dünnen die Sehne des M. temporalis.

Für die punkt-basierte Vorregistrierung wurde weniger als eine Minute benötigt; die Ultraschall-datenaufnahme mit anschließender 3D-Rekonstruktion benötigte ebenfalls weniger als eine Minute. Der Rechenaufwand der Registrierung betrug, abhängig von der Größe der für die Registrierung verwendeten Knochenoberfläche, ca. 10-20 Sekunden.

4 Diskussion

In der vorliegenden Studie konnten wir erstmals eine reproduzierbare Registrierung von MRT-

Volumendatensätzen des Kopfes mittels 3D-Ultraschall-datensätzen des Schläfenbereichs vorstellen. Dieses Verfahren scheint für die intraoperative Anwendung in der Neurochirurgie besonders geeignet, da hier der Ultraschall zur intraoperativen Diagnostik häufig genutzt wird. Die Ultraschallregistrierung kann in Zukunft die aufwändige punkt-basierte Registrierung ersetzen und damit Zeit sparen. Der Einsatz von Oberflächenmarkern, die am Patienten-kopf meist über längere Zeit angebracht bleiben müssen, entfällt. Außerdem kann während einer Operation die Registrierung mit Ultraschall mehrfach durchgeführt werden. Dies kann z.B. bei Systemausfällen oder Umlagerungen des Patientenkopfes nötig sein und ist bei der punkt-basierten Registrierung mit Oberflächenmarkern nicht möglich. Nach der Registrierung kann der Ultraschall in Überlagerung mit den präoperativen Daten genutzt werden, um intrakranielle Verschiebungen des Hirngewebes, aufgrund von *brain shift*, zu visualisieren.

Danksagung: Diese Arbeit entstand in Kooperation mit dem Kompetenzzentrum Medizintechnik Ruhr und wurde in Teilen vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Projektes OrthoMIT (01EQ0424) gefördert.

5 Literatur

- [1] Mösges R.; Schlöndorff G.: A new imaging method for intraoperative therapy control in skull base surgery. *Neurosurg Rev*, 1988, 11, pp. 254-257
- [2] Reinhardt H.; Meyer H.; Amrein E.: A computer-assisted device for the intraoperative CT-correlated localization of brain tumors. *Eur Surg Res*, 1988, 20, pp. 51-58
- [3] Spetzger U.; Hubbe U.; Stuffert T. et al.: Error analysis in cranial neuronavigation. *Minim Invasive Neurosurg*, 2002, 45, pp. 6-10
- [4] Brendel B.; Winter S. et al.: Registration of 3D CT- and ultrasound-datasets of the spine using bone structures. *Computer Aided Surgery* 7, 2002, pp. 146-155
- [5] Brendel B.; Siepermann, J. et al.: In vivo evaluation and in vitro accuracy measurements for an ultrasound-CT registration algorithm.. In *Proc CARS*, 2005, pp. 583-588
- [6] Winter S.; Brendel B. et al.: Registration of bone structures in 3D ultrasound and CT data: Comparison of different optimization strategies. In *Proc CARS*, 2005, pp. 242-247
- [7] Dekomien C.; Hold S. et al.: Registration of intraoperative 3D ultrasound with preoperative MRI data for navigated surgery – first results at the knee. In *Proc CAOS*, 2007, (Accepted)
- [8] Hansen N.; Ostermeier A.: Completely derandomized self-adaptation in evolution strategies. *Evol Comput* 9, 2, 2001, pp. 159-195