

Dimitrios Paraskevopoulos

Dr. med.

**Applikationsgenauigkeit kommerzieller Neuronavigationssysteme**  
**Experimentelle Untersuchung verschiedener Registrierungsverfahren**  
**und klinisch relevanter Einflussfaktoren**

Geboren am 07/12/1976 in Thessaloniki, Griechenland

(Staats-) Examen am 13/11/2000 an der Aristotelis Universität Thessaloniki, Griechenland

Promotionsfach: Neurochirurgie

Doktorvater: Prof. Dr. med. C. R. Wirtz

Grundprinzip der Neuronavigation ist die virtuelle Übertragung von Bilddaten eines Patienten auf den Operations situs, die die interaktive dreidimensionale intraoperative Orientierung ermöglicht. Notwendige Voraussetzung ist der Abgleich von zwei Koordinatensystemen, der Bilddaten und der Patientenanatomie, der als Registrierung bezeichnet wird. Die Korrelation identischer Punkte in den beiden Koordinatensystemen ist das Grundprinzip der Registrierung, die ein entscheidender Faktor für die Abweichung der intraoperativen Lokalisation ist. Andere potentielle Fehlerquellen bei der Navigation hängen mit dem Kleben der Marker, dem Importieren der Bilddaten, der Datenvorbereitung, dem Systemaufbau und intraoperativen Einflussfaktoren zusammen. Jeder Einzelschritt kann zu Ungenauigkeiten führen; diese Fehler summieren sich und beeinflussen die gesamte Applikationsgenauigkeit der Navigation.

In der vorliegenden Arbeit wurden zwei optische Neuronavigationssysteme untersucht, ein aktives mit LEDs (Stryker-Leibinger) und ein passives System (BrainLAB-VectorvisionSky). Die experimentelle Untersuchung der Software-, System- (bzw. Digitalisierungs-) und der gesamten Navigationsgenauigkeit wurde mit einem Plexiglasphantom durchgeführt und die entsprechenden mittleren Fehler nebst Standardabweichung ermittelt. Sowohl die euklidische Abweichung als auch die Abweichung in jeder Raumrichtung wurden evaluiert. Die verwendeten Bilddatensätze wurden mit CT (Siemens Volume Zoom) und mit MRT (Picker Edge, Siemens Magnetom: Symphony, Open, Trio) angefertigt. Einflussfaktoren wie der verwendete Bilddatensatz, die Auflösung der Bildmatrix beim Importieren der Daten, der Instrumentenersatz oder der sterile Bezug nach unsteriler Registrierung, die Geometrie der Instrumente, das Gerät selbst und die Präzisionsangaben der Geräte wurden quantifiziert.

Einflussparameter wurden mit Hilfe von Regressionsmodellen („linear mixed-effects model fit by maximum likelihood“) ausgewertet.

Weiterhin wurde zur Erweiterung des rigiden Ansatzes ein neuartiges anthropomorphes Kopfphantom mit einer weichen, deformierbaren Oberfläche sowie inneren Zielpunkten entwickelt. Die bewegliche Kopfhaut- und Weichgewebeschicht wurde realitätsnah simuliert, um die Oberflächenregistrierung und weitere verschiebungsabhängige Einflussfaktoren zu untersuchen, wie die Verwendung einer Kopffixierung bei der Bildanfertigung, verschiedene Kopflagerungen, die Lage der akquirierten Oberflächenpunkte, ihre Anzahl und vom Navigationssystem akzeptierter Prozentsatz, die entsprechenden Präzisionsangaben der Geräte, die Lage der Zielläsion und die Registrierung mit dem Laserinstrument Z-touch der Firma BrainLAB zur Oberflächenerfassung.

Die beiden Navigationssysteme haben vergleichbare Ergebnisse ergeben. Stryker-Leibinger hat eine signifikant bessere Softwaregenauigkeit und BrainLAB eine signifikant bessere System- und Navigationsgenauigkeit aufgewiesen. Jedoch waren die Unterschiede betragsmäßig gering (submillimetrisch). Beide Systeme erzielten bei den Genauigkeitsmessungen eine Navigationsgenauigkeit  $< 1,5$  mm. Als relevant haben sich die Faktoren Bilddatensatz (zugunsten von CT), Instrumentenersatz, steriler Bezug und Instrumentengeometrie erwiesen. Die Präzisionsangaben der Gerätehersteller wie z.B. der RMS (root mean square) haben in der Regel die ermittelte Genauigkeit nicht widerspiegelt.

Die Oberflächenregistrierung ergab keine signifikante Verbesserung der Genauigkeit, was frühere Arbeiten hierzu bestätigt. Bei dem BrainLAB-System ergab sich im Gegenteil ein signifikanter Unterschied zugunsten der Fiducial-Registrierung. Im Endeffekt liegt die mittlere Abweichung der beiden Systeme nach Oberflächenregistrierung im selben Bereich. Mit dem Stryker-System erbrachte die zusätzliche Oberflächenregistrierung eine Verbesserung von schlechten Fiducial-Registrierungen bei einer „Parkbank rechts“ Lagerung des Phantoms. Die Anzahl und der akzeptierte Prozentsatz der akquirierten Oberflächenpunkte haben sich als ein signifikanter Einflussfaktor auf die Genauigkeit erwiesen. Lagen die Zielpunkte zur Genauigkeitsbestimmung auf der Oberfläche, ergab sich ein größerer Fehler im Vergleich zum Inneren des Phantoms, was durch die Entfernung vom Zentrum des Markermusters oder der registrierten Oberflächenpunkte zu erklären ist. Die Registrierung mit dem Laserinstrument Z-touch wies im Vergleich zum konventionellen Zeigerinstrument keine Genauigkeitsunterschiede auf.

Die genaue Kenntnis von potentiellen Fehlerquellen und Einflussfaktoren erlaubt die Minimierung der Fehlerabweichung bei der Navigation und ist erforderlich, damit die Abweichung wegen der Veränderung der anatomischen Verhältnisse durch die Operation selbst (sog. „brain shift“) zu einem minimalen Fehlerhintergrund addiert werden kann.