

Untersuchung von Registrierstrategien für die Anwendung des Navigationssystems FIAGON an der lateralen Schädelbasis

J. Kristin, D. Mucha, J. Schipper, T. Klenzner

Universitätsklinikum Düsseldorf, Hals-Nasen-Ohrenklinik, Düsseldorf, Deutschland

Kontakt: Julia.Kristin@med.uni-duesseldorf.de

Abstract:

Ziel der Arbeit war die Evaluation von Registrierstrategien mit einem neuen Navigationssystem (Fiagon GmbH) im Bereich der lateralen Schädelbasis. Der bisherige klinische Einsatz beschränkte sich auf das Gebiet der Nasennebenhöhlen. Das Navigationssystem integriert sich in den Endoskopieturm, der Magnetfeldgenerator ist in die Kopfstütze des Operationstisches eingebaut. Der an der Instrumentenspitze navigierte FlexPointer wird endoskopisch oder mikroskopisch assistiert eingeführt und zeigt die aktuelle Position im CT-Datensatz. Im Fokus der Untersuchung ist die Bestimmung der Messunsicherheit und im zweiten Schritt ein Vergleich unterschiedlicher Registriermethoden, wobei zusätzlich der Einfluss von OP Sperrern beobachtet wurde.

Wir führten die Registrierung und wiederholte Messungen an Schraubmarkern, die an spezifischen Lokalisationen an fünf anatomischen Felsenbeinpräparaten angebracht waren, durch. Aufbau und Bedienung des Navigationssystems zeigen sich am anatomischen Felsenbeinpräparat einfach und gut durchführbar. Eine praktische Anwendung im klinischen Alltag an der lateralen Schädelbasis ist gut vorstellbar. Es zeigte sich ein freies Hantieren im OP-Gebiet ohne Rücksichtnahme auf Sichtlinie. Bei einer Registrierstrategie mit 3 einseitig angebrachten Fiducial-Markern beträgt der Fehler auf der Mastoidoberfläche und im Bereich der aufgebohrten Mastoidhöhle einen Mittelwert von 0,8 mm. Die Messungen am Schraubmarker am inneren Gehörgang zeigte im Mittelwert eine im Vergleich größere Abweichung von 1,6 mm. Im Vergleich verschiedener verbesserter Registrieransätze zeigt sich die geringste Messunsicherheit bei einer Registrierung mit beidseitig angebrachten Titanschrauben gefolgt von der Oberflächenregistrierung im halben Gesicht und der Laterobasis gefolgt von der Registrierung im Bereich der Mastoidhöhle. Die gemessenen Werte entsprechen unserer klinischen Erwartung und sind grundsätzlich bei Kenntnis der vorhandenen Messunsicherheit verwendbar.

Intraoperative Bildgebung kann eine Applikation von Schraubmarkern zur Navigation (Goldstandard) während der Operation innerhalb derselben Narkose ermöglichen, oder die Erfassung bereits manipulierter Gewebeoberflächen zur Registrierung bereitstellen. Hier wären dann entsprechende Möglichkeiten zur Erhöhung der Präzision gegeben.

Schlüsselworte: Navigation, laterale Schädelbasis, Genauigkeitsanalysen

1 Problem

Der klinische Einsatz von Navigationssystemen in der Kopf-Hals Chirurgie ist im Bereich der Nasennebenhöhlenchirurgie und der lateralen Schädelbasis weit verbreitet. Das Navigationssystem stellt eine Verbindung zwischen präoperativ erstellten Bilddaten und intraoperativen Situs her, und ermöglicht dem Chirurgen die ständige Lageerfassung der Instrumente und der Patientenanatomie während des Eingriffs. Die Abwägung, ob sich die Anschaffung eines neu auf dem Markt befindlichen Navigationssystems lohnt, hängt entscheidend von qualitativen und quantitativen Eigenschaften ab. Qualitative Eigenschaften sind für den Chirurgen die Einsetzbarkeit für einen speziellen Eingriff, der Bedienungskomfort besonders beim Einlesen der Daten sowie der Registrierprozedur, die Latenz (-freiheit) der Anzeige oder das Gefühl, wie gut das Navigationsinstrument in der Hand liegt und sich führen lässt. Quantitative Eigenschaften sind die Registrierfehler (Fiducial Registration Error (FRE), Target Registration Error (TRE)) und die Navigationsfehler (Fiducial Localization Error (FLE), Target Localization Error (TLE)), das Arbeitsvolumen sowie der Anschaffungs- und Verbrauchsmittelpreis. Das Ziel dieser Arbeit liegt in der Evaluation eines neu auf dem Markt befindlichen Navigationssystems, welches auf dem elektromagnetischen Prinzip beruht. Besonderer Fokus lag bei den Untersuchungen auf der Bestimmung der Messunsicherheit im Bereich der lateralen Schädelbasis und auf dem Vergleich verschiedener Registriermethoden (Schraubmarker vs Oberfläche), sowie zusätzlich auf dem Einfluss von OP-Sperrern. Bei elektromagnetischer Navigation ist kein visueller Kontakt zwischen getracktem Instrument und dem Sensorsystem erforderlich. Die Positions- und Orientierungsbestimmung des chirurgischen Instrumentes erfolgt relativ zum Patienten auf Grund der Detektion der Magnetfeldveränderung durch Sensorspulen. Die Funktionsweise eines elektromagnetischen Navigationssystems ist in [1] beschrieben.

2 Methoden

Das Navigationssystem (FIAGON) besteht im Wesentlichen aus einem Hardwaremodul (Abb. 1), einer Anwendungssoftware, dem Magnetfeldgenerator (Abb. 2) und applikationsspezifischen Sensoren (Abb. 3), wie einem Kopflokalisator und einem flexiblen Pointer, der an der Spitze Sensorspulen trägt. Für die Registrierung wird eine Berechnung der Transformation auf Basis von Punktpaaren (anatomische oder künstliche Landmarken im Model und im Situs) sowie einem nachgelagerten Iterative Closest Point Algorithmus auf Basis von weiteren Oberflächenpunkten durchgeführt.

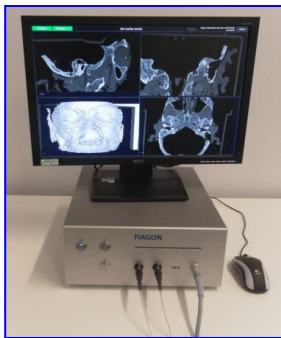


Abb. 1: Hardwaremodul



Abb. 2: Magnetfeldgenerator

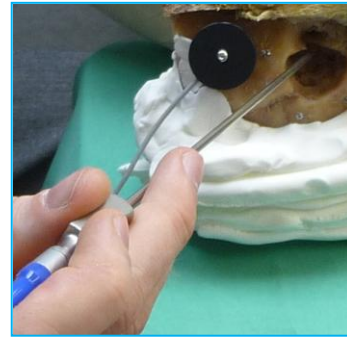


Abb. 3: Kopflokalisator, flexibler Pointer

Es wurden Messungen zur Bestimmung der Zielpunktabweichungen mit dem Navigationssystem an fünf Felsenbeinpräparaten durchgeführt. Die ausgewählten Zielstrukturen wurden durch je vier Schraubmarker pro Felsenbein gekennzeichnet. Weitere drei Schraubmarker wurden zur Registrierung im Bereich des Mastoideus angebracht. Vier von fünf Felsenbeinen waren mastoidektomiert, alle Präparate waren weitgehend vom Weichteilmantel befreit. Im Zuge der Vorbereitung des Experiments wurde von allen Felsenbeinpräparaten eine Computertomographie mit der Schichtdicke von 1mm durchgeführt. Diese Navigationsdatensätze wurden dann durch das System eingelesen und die Schraubmarker, die der Registrierung oder Evaluierung dienen, werden in den Bilddaten manuell markiert (Abb. 4). Die Position im Bilddatenkoordinatensystem wird so ermittelt und diese Positionen als Referenzdaten gespeichert. Nach der Registrierung auf drei Schraubmarkern wurden an den Schraubmarkern, die der Evaluierung dienen sollen, je zehn Wiederholungsmessungen durchgeführt (Abb. 5). An jeder Schraubenposition werden die gemessenen Daten gespeichert und daraus der mittlere Fehler sowie die Standardabweichung berechnet.



Abb. 4: Festlegung der Registrier- und Evaluationspunkte im Bildkoordinatensystem (Felsenbein Nr. 3)

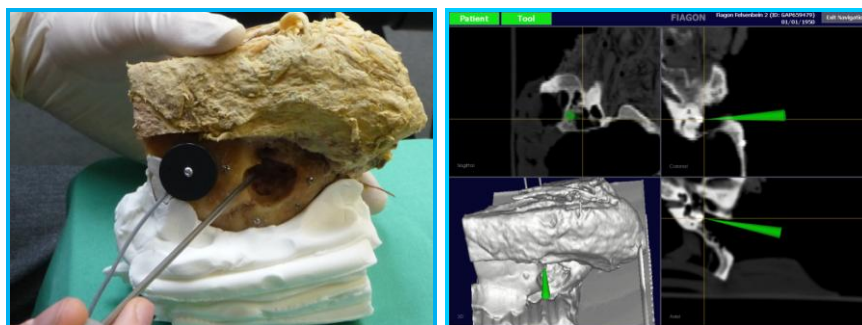


Abb. 5: Experimentelle Messung der Positionsfehler (Felsenbein Nr. 2) mit angebrachtem Patientenlokalisator und zugehöriger Visualisierung am Bildschirm.

In einem zweiten Versuchsaufbau wurde ein Vergleich zwischen der Registrierung an Schraubmarkern und der Registrierung an Hand der Oberfläche durchgeführt. Zur Erhöhung der Tiefeninformation wurden sechs Schraubmarker (Abb. 6) an einem Kopfpräparat frontal, occipital und im Bereich des Jochbogens beidseits angebracht und erneut ein CT - Felsenbein mit 1 mm Schichtdicke durchgeführt. Es wurden je fünf Wiederholungen des Registriervorganges pro Seite durchgeführt, und es erfolgte erneut die Bestimmung der Messunsicherheit an Schrauben im Bereich der Mastoidoberfläche, in der Mastoidhöhle und im inneren Gehörgang.

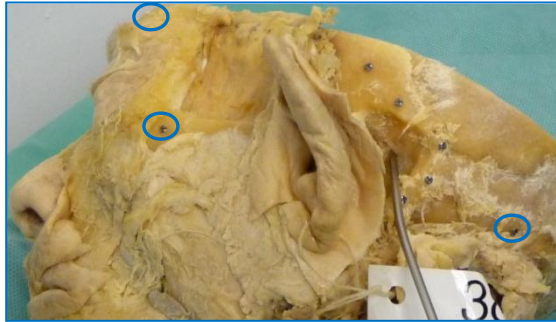


Abb. 6: Schraubmarker frontal, Jochbein, occipital

Bei der Oberflächenregistrierung wurde zuerst von präaurikulär einschließlich der Stirn bis zur Laterobasis registriert, im Anschluss nur im Bereich der aufgebohrten Mastoidhöhle. Diese beiden Registrierungen wurden der Registrierung an Schraubmarkern gegenübergestellt. Diese Methoden wurden auf Grund der möglichen prä- bzw. intraoperativen Situationen ausgewählt. Zusätzlich wurde der Einfluss von OP-Sperrern beobachtet.

3 Ergebnisse

Der Aufbau und die Bedienung des Navigationssystems zeigen sich am anatomischen Felsenbeinpräparat einfach und gut durchführbar. Der Registriervorgang war durch das Antasten von drei vorgegebenen Schraubmarkern zügig durchführbar. Die Führung des Flexpointers in der eigenen Hand zeigte sich vertraut, da die Form einem üblichen Sauger aus der Kopf-Hals Chirurgie sehr ähnelt. Bei der Überprüfung der Registrierung wurde kein Vorgang durch uns oder das System auf Grund zu hoher Ungenauigkeit verworfen. Wir konnten ein freies Hantieren im OP-Gebiet ohne Rücksichtnahme auf Sichtlinien, wie es unter Umständen bei der optischen Navigation der Fall ist (Line-of-sight-Problematik), feststellen. Verbesserungsfähig ist der noch vorhandene Störeinfluss durch metallische Instrumente und Tische. Die während einer Operation an der lateralen Schädelbasis benötigten metallischen Spreizer störten teilweise das elektromagnetische Feld. In der Ebene der Sperrer selbst d.h. auf der Mastoidoberfläche war keine Anwendung des Systems möglich. Im Bereich der Mastoidhöhle und des inneren Gehörganges konnten Messungen durchgeführt werden.

Für die einseitige Fiducial-Registrierung sind die Abweichungen zwischen gemessener und berechneter Position in Tabelle 1 zusammengefasst. Insgesamt beträgt der Fehler an den auf dem Mastoid und an den im Bereich der aufgebohrten Mastoidhöhle (z.B. lateraler Bogengang) einen Mittelwert von 0,8 mm. Die Messungen am Schraubmarker am inneren Gehörgang zeigte im Mittelwert eine im Vergleich größere Abweichung von 1,6 mm. Der Schraubmarker im Bereich des inneren Gehörganges wurde an den anatomischen Präparaten nicht durch den operierten Situs hindurch angetastet, sondern durch ein Drehen des Präparates, d.h aus der intrazerebralen Richtung.

Landmarken	Mastoidoberfläche und Mastoidhöhle	Innerer Gehörgang
Mittelwert (TRE) ± Standardabweichung	0,8 mm± 0,4	1,6 mm ± 0,5
Messungen n	140	50

Tab. 1: Abweichungen zwischen gemessener und berechneter Position

In der Auswertung der verschiedenen Registriermethoden zeigten sich verbesserte Ergebnisse. Die geringste Messunsicherheit trat bei einer Registrierung mit 6 Titanschrauben auf, gefolgt von der Oberflächenregistrierung im halben Gesicht und der Laterobasis gefolgt von der Registrierung im Bereich der Mastoidhöhle (Tab. 2). Bei der Registrierung an sechs zirkulär am Kopf angeordneten Titanschrauben und bei Oberflächenregistrierung von präaurikulär bis retroaurikulär zeigt sich keine steigende Messunsicherheit von der Mastoidoberfläche zum inneren Gehörgang. Im Gegensatz dazu zeigt sich bei Registrierung nur im Bereich des aufgebohrten Mastoides eine Zunahme der Messunsicherheit. Die gemessenen Werte entsprechen unserer klinischen Erwartung und sind grundsätzlich bei Kenntnis der vorhandenen Messunsicherheit verwendbar.

	Registriermethode		
	Sechs Titanschrauben	Oberfläche prä-/ retroaurikulär	Oberfläche Mastoidhöhle
TRE Gesamt (Mittelwert \pm STD)	0,6 \pm 0,3	0,9 \pm 0,4	1 \pm 0,4
TRE Mastoidoberfläche (Mittelwert \pm STD)	0,65 \pm 0,30	0,95 \pm 0,40 <u>OP-Sperrer</u> : nicht mgl.	0,7 \pm 0,25
TRE Mastoidhöhle (Mittelwert \pm STD)	0,50 \pm 0,25	0,90 \pm 0,45 <u>OP-Sperrer</u> : 1,2 \pm 0,6	1,0 \pm 0,30
TRE innerer Gehörgang (Mittelwert \pm STD)	0,65 \pm 0,30	0,95 \pm 0,40 <u>OP-Sperrer</u> : 0,9 \pm 0,4	1,3 \pm 0,40

Tab. 2 Vergleich verschiedener Registriermethoden

4 Diskussion

Eine Messunsicherheit von 0,8 mm entspricht ca. den Werten, die von Stegmann et al. [2] mit diesem System im Bereich der Nasennebenhöhle gemessen wurde, die Werte von 0,9 mm zeigten. Stegmann verwendete ausschließlich die Oberflächenregistrierung auf dem Gesicht. Im Vergleich hierzu zeigen sich unsere Messunsicherheiten bei einer CT-Schichtdicke von 1,00 mm mit einseitiger Registrierung auf Fiducials an der Mastoidoberfläche und in der Mastoidhöhle ähnlich, am inneren Gehörganges (1,6mm) etwas höher. Die Schichtdicke stellt bei den Messungen immer einen limitierenden Faktor dar, da die Genauigkeit der Positionsdarstellung maximal im Rahmen der Schichtdicke liegen kann. Eine geringe Schichtdicke kann dadurch zu besseren Ergebnissen führen. Bis hin zu einer Schichtdicke von ca. 0,5 mm. Die zu erwartende Genauigkeit wird im Bereich Schichtdicke +20% liegen. Eine weitere Beeinflussung der Ergebnisse erfolgt durch die Genauigkeit beim Antasten der Fiducials intraoperativ, welche bei ca. 0,2 mm liegt. Die Genauigkeit der Markierung der Fiducials im Bilddatensatz ist schwer zu quantifizieren. Rein theoretisch ist hier ebenfalls mit einer Genauigkeit über der Schichtdicke zu rechnen. Der Ausführende kann jedoch, quasi wissens-basiert die fehlende Information hinzufügen und somit das Ergebnis stark verbessern. Beispiel: Im Datensatz ist die Kerbe in der Schraube nicht sichtbar. Aufgrund des Wissens dass diese in der Mitte der Schraube liegt (in Verlängerung des Gewindes), kann die Marke hier positioniert werden. Abschätzung 0,5 mm.

Berry et al. [3] untersuchten mit dem Stryker-Leibinger Navigationssystem (Freiburg, Deutschland) am Plastikmodell den Effekt der Verteilung von Patientenmarkern (Fiducials) auf die Messunsicherheit. Sie fanden, wie auch unsere Messung im Bereich des inneren Gehörganges zeigt, eine zunehmende Messunsicherheit, umso weiter der Zielpunkt außerhalb der Registrierungszone liegt. Ähnliche Ergebnisse zeigten auch Schipper et al. [4] bei einer navigierten Cochlearimplantation am Felsenbeinpräparat mit dem Styker-Leibinger Navigationssystem. Es wurden hier ebenfalls Titanschraubmarker zur Referenzierung benutzt. Es zeigte sich eine Zunahme der Messungenauigkeit mit Zunahme der Operationszeit und der Eindringtiefe in den Knochen entlang dem Operationskorridor. Zu Beginn zeigte sich eine Messunsicherheit von 1,2 mm, die sich bis auf 1,6 mm bei Insertion der CI-Elektrode erhöhte. Es zeigt sich auf Grund der mangelnden Tiefeninformation bei einem Registriervorgang am Schädelknochen vor Beginn der Bohrung eine Limitierung der zuverlässigen Navigation an der lateralen Schädelbasis. Wie auch von Ecke et al. [5] beschrieben, stellt sich uns die Frage nach der Vermeidung von Fehlern bei der Patientenregistrierung und Bilddatenreferenzierung.

Die am Felsenbeinpräparat verwendeten, vor der durchgeführten CT-Bildgebung eingebrachten Schraubmarker (Goldstandard), sind unverändert eher ungeeignet für eine klinische Anwendung, wenn dies zweizeitig präoperativ

erfolgen muss. Im Operationssaal hat sich eine Oberflächenregistrierung oder eine Registrierung an anatomischen Landmarken in der Routine etabliert. [5]. Da sich jedoch im direkten Vergleich der verschiedenen Registriermethoden die besten Ergebnisse bei einer Registrierung an Titanschrauben zeigt, könnte eine intraoperative Bildgebung eine Applikation von Fiducials während der Operation innerhalb derselben Narkose ermöglichen, oder die Erfassung bereits manipulierter Gewebeoberflächen zur Registrierung bereitstellen. Hier wären dann entsprechende Möglichkeiten zur Erhöhung der Präzision gegeben.

5 Referenzen

- [1] Mucha D. Ein fehlerkompensierendes, elektromagnetisches Navigationssystem für die Kopf-Chirurgie. Dissertation TU-Berlin; 2009., URL: <http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2009/2265/>
- [2] Stegmann A., Bohr C. et al. Vergleichende Untersuchung eines optoelektrischen sowie eines magnetoelektrischen Navigationssystem. 81. Jahresversammlung der deutschen HNO-Gesellschaft in Wiesbaden; 2010.
- [3] Berry J., O.Malley B., Humphries S., Staecker H.: Making Image Guidance Work: Understandig Control of Accuracy. *Ann Otol Rhinol Laryngol* : 689-692; 2003
- [4] Schipper J., Aschendorff A., Arapakis I., et al. Navigation as a quality management tool in cochlear implant surgery. *J of Laryngol and otol Vol* 118: 764-770; 2004
- [5] Ecke U., Khan M., Maurer J., Boor S., Mann WJ.: Fehlerquellen in der Navigation in der lateralen Schädelbasischirurgie. Darstellung von Einflussfaktoren in der Praxis. *HNO* 51: 386-393; 2003