

5 Diskussion

- 5.1 Vom Röntgenbild zum Operationsroboter:
Navigationstechniken in der Neurochirurgie
- 5.2 Sensor-basierte elektromagnetische Navigation: Pro und Kontra
- 5.3 Einsatzgebiete und Indikationen
- 5.4 Probleme, Fehlerquellen und Genauigkeiten
- 5.5 Ausblick

6 Schlussfolgerungen

7 Technische Begriffe und Abkürzungen

8 Literaturverzeichnis

9 Anhang

- Patienteninformation - Seite 1 und 2 (zu Kapitel 4.1)
- Patienteneinverständniserklärung (zu Kapitel 4.1)
- Erklärung zum Datenschutz (zu Kapitel 4.1)
- Statistische Ergebnisse zu den Klinischen Anwendungen (zu Kapitel 4.3)
- Legende zu den Navigationsprotokollen (zu Kapitel 4.3)

10 Danksagung

6 Schlussfolgerungen

- Neuronavigationssysteme werden besonders bei komplexen intrakraniellen Eingriffen sowohl für die präoperative Operationsplanung als auch zur besseren intraoperativen Orientierung eingesetzt. Sie ermöglichen intraoperativ eine Identifikation von anatomischen Strukturen und pathologischen Prozessen und damit deren punktgenaue Abbildung in den multiplanaren CT- oder MRT-Schnittbildern sowie den daraus computerberechneten 3D-Rekonstruktionsmodellen.

- Entscheidend für den klinischen Einsatz eines Navigationssystems ist die „Applikationsgenauigkeit“ (oder auch „Anwendungsgenauigkeit“). Sie beschreibt im wesentlichen die Gesamtqualität des Abgleiches zwischen der „realen Welt“ des Operationssitus und der „virtuellen Welt“ der klinischen Bilddaten. Die Applikationsgenauigkeit wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Zu diesen gehören die Genauigkeit des verwendeten Bilddatensatzes, die Genauigkeit der eingesetzten Messtechnik, verschiedene Fehlermöglichkeiten bei der Bilddatenregistrierung sowie intraoperative Einflüsse auf die Positionsgenauigkeit.

- Das sensor-basierte elektromagnetische Grundprinzip des in dieser Arbeit vorgestellten Navigationsverfahrens ist in seiner Applikationsgenauigkeit mit bereits bekannteren physikalischen Meßprinzipien, wie der sonographischen oder optischen Positionsbestimmung, vergleichbar. Die Vorteile des elektromagnetischen Systems liegen jedoch in der Unabhängigkeit von einer ungestörten Sichtachse zwischen Sende- und Empfängereinheit („free line-of-sight“) und der Möglichkeit auch in kameraabgewandten Positionen messen zu können. Der größte Nachteil des elektromagnetischen Positionsmessprinzips ist die potentielle Störanfälligkeit gegenüber ferromagnetischen Einflüssen und Interferenzen aus dem Operationsgebiet und seiner unmittelbaren Umgebung.

- Das Haupteinsatzgebiet für die sensor-basierte Navigation ist die Bestimmung des Zielpunktes und des Zugangsweges. Besonders tief gelegene und kleine Läsionen lassen sich so mit minimalem Operationstrauma erreichen.

- Aufgrund eines hochsensiblen Segmentationsalgorithmus ist eine optimierte Differenzierung zwischen pathologisch verändertem und normalem Hirnparenchym im 3D-Navigationsbilddatensatz möglich. Diese Darstellungstechnik hilft bei der Planung und Bestimmung des Resektionsausmaßes, besonders bei niedriggradigen hirneigenen Prozessen.

- Die navigations-geführte Biopsie stellt für Läsionen, deren Radius größer ist als die zu erwartende Applikationsungenauigkeit eine Alternative zur herkömmlichen rahmenbasierten Stereotaxie dar. Für supratentorielle Läsionen < 10 mm oder infratentorielle Läsionen sowie Prozesse im Hirnstamm stellt die rahmenbasierte Stereotaxie weiterhin den Goldstandard dar.

- Bei den transsphenoidalen und transnasalen Zugängen wird die Orientierung in einem engen und unübersichtlichen Situs durch die Führung eines navigierten Instrumentes auf einer vordefinierten Trajektorie unterstützt. Der Einsatz metallfreier Spekula minimiert hierbei äußere ferromagnetische Einflüsse.

- Die Hauptaufgabe des E.N.S. beim Einsatz in der Schädelbasischirurgie und bei Eingriffen im Bereich des Neurokraniums ist die Darstellung einer Affektion knöcherner Strukturen. Dabei handelt es sich sowohl um die Invasion von Tumorgewebe in den Schädelknochen als auch um dislozierte Knochenfragmente, z.B. nach Traumata. Die 3D-Visualisierung erleichtert in diesen Fällen die präoperative Planung sowie die Detektion gesuchter Knochenareale im Operationssitus.

- Beim Einsatz des E.N.S. in der Funktionellen Navigation sowie in Rahmen eines multimodalen Wachoperations-Protokolls wird die Planung des neurochirurgischen Vorgehens durch die dreidimensionale Visualisierung anatomischer Strukturen in Bezug zu den funktionellen Hirnarealen bereits präoperativ unterstützt. Die Daten der funktionellen Kernspintomographie und der intraoperativen neurophysiologischen Untersuchungen können in den dreidimensionalen Navigationsbilddatensatz übertragen werden. Eine visuelle Zusammenführung der funktionellen Daten (fMRT- und IOM-Daten) ermöglicht eine „funktionelle Kartographie“.

-
- Der „Dynamic Reference Frame – DRF“ stellt für alle Einsatzgebiete eine Erweiterung des Spektrums der sensorbasierten elektromagnetischen Navigation dar. Der kleine und einfach zu befestigende Sensor dient als feste Referenz am Patientenkopf und ermöglicht somit intraoperativ eine freie Kopfbewegung. So werden z.B. auch größere intraoperative Umlagerungen ohne erneute Bilddatenregistrierung möglich. Der sensorbasierte DRF hat sich in der klinischen Anwendung besonders bei den bioptischen, den transnasalen und transsphenoidalen Eingriffen, bei multilokulären Prozessen und auch bei Wachkraniotomien als hilfreich erwiesen, da diese Option eine räumliche Orientierung im mit sterilen Tüchern abgedeckten Situs erleichtert und hierdurch die operative Genauigkeit und Sicherheit erhöht.
 - Zukünftige Anwendungen für die sensor-basierte Navigation bieten sich z.B. in der Steuerung eines Operationsroboters sowie in der Echtzeitdarstellung von Wirbelkörperbewegungen bei der spinalen Navigation an.
 - Durch den Einsatz der Navigation kommt der Neurochirurg den Zielen der modernen funktionserhaltenden Neurochirurgie, d.h. der Vermeidung chirurgisch verursachter Morbidität und der Verbesserung der postoperativen Lebensqualität, ein großes Stück näher.