

5 Zusammenfassung und Ausblick

Intraoperative Navigationssysteme sind heute in der Lage, die Lokalisation anatomischer oder pathologischer Strukturen sowie chirurgischer Instrumente während des Eingriffs passiv zu unterstützen. Die Navigation besteht in der Visualisierung der Korrelation zwischen präoperativ aufgenommenem Bildmaterial des Patienten und der Momentansituation im Operationsgebiet. Die Visualisierung kann durch Überblendung von Live-Bildern oder von grafischen Elementen über das präoperative Bildmaterial erfolgen.

Bei der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Evaluierung eines kommerziellen Navigationssystems in der kieferchirurgischen Operationsumgebung konnte die prinzipielle Eignung der Navigationstechnik in dieser Disziplin bestätigt werden. Jedoch haben sich Einschränkungen in der Genauigkeit des zugrundeliegenden Trackingsystems gezeigt.

Die erzielbare Genauigkeit des verwendeten Trackingsystems hat neben den Bildaufnahmeparametern und den Kalibrierungsalgorithmen die tragende Bedeutung für die gesamte Lokalisationsgenauigkeit. Die höchste Genauigkeit und Robustheit gegenüber Störeinflüssen bieten optische Trackingsysteme basierend auf Infrarot- oder Lasertechnologie. Diese Systeme sind jedoch nicht in der Lage, verdeckte Strukturen zu verfolgen, da sie auf eine direkte Sichtverbindung zwischen Emitter und Sensor angewiesen sind. Weiterhin kann ein einzelner optischer Marker zwar klein und leicht aufgebaut werden. Für das Tracking eines Objekts mit sechs Freiheitsgraden werden jedoch mehrere räumlich angeordnete Marker benötigt, die zudem eine gewisse Redundanz aufweisen müssen, um in jeder Objektposition sichtbar zu sein. Elektromagnetische Sensoren sind hingegen ebenfalls klein in den Abmessungen und können in nichtmetallischer Umgebung beliebig verdeckt angeordnet sein. Ein einzelner Sensor leistet das Tracking eines Objekts in sechs Freiheitsgraden. Aufgrund dieser für den praktischen Gebrauch günstigen Eigenschaften sind elektromagnetische Trackingsysteme für den Einsatz in klinischen Navigationssystemen eine wünschenswerte Alternative.

Der Hauptnachteil der magnetischen Verfahren liegt in der Sensitivität der Sensorik gegenüber großen Metallobjekten und elektromagnetischen Störfeldern im Bereich des Meßgebietes. Die Störungen besonders durch Metallkörper sind in der klinischen Umgebung nicht zu vermeiden und schwer vorhersagbar. Daher liegt die Genauigkeit des Trackings unter Operationsbedingungen unter dem im Labor bei idealen Bedingungen erzielbaren Wert.

Durch ein neu entwickeltes Verfahren konnte im Rahmen dieser Arbeit nachgewiesen werden, daß spezielle Navigationsaufgaben in der MKG-Chirurgie auch mit einem elektromagnetischen Trackingsystem gelöst werden können. Durch sorgfältiges Design des Systemaufbaus und unter Zuhilfenahme von optischen und mechanischen Kontrollmechanismen konnte eine hohe Genauigkeit am Patienten erzielt werden. Diese Erkenntnis ist für die Projektierung zukünftiger Navigationssysteme interessant, da auf die Vorteile elektromagnetischen Trackings nicht verzichtet werden muß.

Die Implementation des neuen Verfahrens ist auf einem portablen Rechner lauffähig, um den Zeit- und den Raumaufwand beim Aufbau im Operationssaal gering zu halten. Das Programm ist objektorientiert aufgebaut, um leichte Erweiterbarkeit zu ermöglichen. So kann die Verwendung verschiedener Trackingsysteme und alternativer Auswertungsalgorithmen zu späteren Zeitpunkten integriert werden. Als Programmiersprache wurde Java unter Benutzung von C-Bibliotheken eingesetzt. Das Ergebnis dieser Softwareentwicklung kann als Lösung für den speziellen Anwendungsfall der Segmentnavigation für Dysgnathieoperationen gesehen werden und stellt gleichzeitig einen wichtigen Schritt zu einem präzisen, auf elektromagnetischer Basis arbeitenden Navigationssystem dar.

Obwohl das neue Verfahren zeigt, daß auch in metallischer Umgebung mit einem elektromagnetischen Trackingsystem eine gute Genauigkeit erzielt werden kann, sind noch einige Verbesserungen denkbar. So sollte die Software um eine 3-D-Visualisierungskomponente ergänzt werden, um die Verwendung im Operationssaal auch ohne Anwesenheit eines Technikers praktikabel zu machen. Dabei sollte auch die Steuerung des Systems aus der sterilen Umgebung heraus zum Beispiel über Spracheingabe möglich sein. Das Verfahren kann als Komponente in einem flexibleren Navigationssystem eingesetzt werden. Ein solches System sollte verschiedene Trackingtechnologien für unterschiedliche Anwendungen bereithalten. Optisches Tracking sollte stets eingesetzt werden, wenn freie Sichtverbindungen zwischen Objekt und Sensorik möglich ist, da dann die höchste Genauigkeit erzielt werden kann. Die Magnetsensoren sollten dagegen in verdeckten Gebieten und immer dann eingesetzt werden, wenn es auf kleine Abmessungen und einfache Bedienung ankommt. Die vorliegende Arbeit zeigt, daß Aufbau und Ablauf der Navigation sich problemlos in den Operationsablauf einfügen. Die präoperative Planung kann je nach Bedarf beliebig komplex ausgeführt werden. Im Fall der Lagekontrolle bei Oberkieferumstellung ist der präoperative Aufwand jedoch sehr gering. Zur Anwendung des Meßsystems sind nur das Trackingsystem und ein portabler Navigationsrechner mit der Meßsoftware notwendig. Insgesamt ist das Verfahren somit einfach, schnell und kostengünstig und zeigt in den ersten Patientenversuchen eine hohe Genauigkeit.