

# Computerassistierte Navigation

## Grundlagen, Erfahrungen und aktueller Stand

■ Benjamin König, Ulrich Stöckle

### Zusammenfassung

Computerassistierte Navigationssysteme finden einen zunehmenden Einsatz im Operationsaal. Die verschiedenen Systeme lassen sich in bildbasierte und bildfreie bzw. kinematische Navigationssysteme unterteilen. Für die CT-basierte Navigation ist ein präoperativer CT-Bilddatensatz erforderlich. In diesem kann in einer Planung die optimale Implantat- und Instrumentenposition definiert werden, auch unter Berücksichtigung weiterer Bild-Modalitäten wie MRT oder PET-CT. Die bildwandlerbasierten Navigationssysteme wurden primär zur simultanen Darstellung von mehreren Röntgenprojektionen mit direkter Anzeige der aktuellen Instrumentenposition verwendet. Mit einem 3-D-Bildwandler können außerdem auch axiale Schnittflächen und dem Bildwandler sonst nicht optimal zugängliche Körperregionen wie die obere BWS für die Navigation dargestellt werden. Bildfreie bzw. kinematische Navigationssysteme haben sich insbesondere in der Endoprothetik und bei Umstellungsosteotomien am Knie sehr bewährt. Dafür ist nur ein geringer Zeitaufwand erforderlich und die chirurgische Präzision kann verbessert werden. Die folgenden Beiträge sollen einen aktuellen Überblick über verschiedene Anwendungsgebiete der chirurgischen Navigationssysteme geben und den Einsatz im OP bei sinnvollen Indikationen fördern.

### Computer-Assisted Navigation: Basic Principles, Practical Experience and Current Status

Computer-assisted navigation systems are finding ever increasing use in the operating room. The various systems can be divided into image-based and image-free or, respectively, cinematic navigation systems. For CT-based navigation a preoperative CT image data set is necessary. Planning of the optimal implant and instrument positions is possible within this data set, also under consideration of other imaging modalities such as MRI or PET-CT. C-arm-based navigation systems are primarily used for the simultaneous visualisation of several X ray projections with real-time display of the calculated current instrument positions. With the use of 3D C arms, furthermore, axial slices as well as body regions that cannot be easily accessed with the conventional 2D C arm such as the upper thoracic spine can be visualised for navigation. Image-free or, respectively, cinematic navigation systems have proved to be especially valuable in endoprosthesis and correction osteotomies of the knee. In such cases the expenditure in time is low and surgical precision can be improved. The present contribution provides an up-to-date survey of the various fields of application of surgical navigation systems and supports their use in the operating room for meaningful indications.

Computerassistierte Navigationssysteme finden seit mehr als 15 Jahren einen zunehmenden Einsatz im Operationsaal.

Nach den ersten positiven Erfahrungen mit CT-basierten Navigationssystemen für die Pedikelschraubenplatzierung an der Wirbelsäule wurden die Indikationen und Grenzen der Systeme in verschiedenen OP-Bereichen und Fachrichtungen untersucht. Dabei steht der Erhöhung der chirurgischen Präzision ein nicht un-

erheblicher Kosten- und Zeitaufwand im OP entgegen. In der Folge kam es zur Abgrenzung sehr effizienter Einsatzgebiete der Navigation, wie z. B. in der Knieendoprothetik und in der Neurochirurgie, gegenüber dem selektiven Einsatz der Systeme für einzelne Spezialanwendungen wie Mehretagenextremitätenfrakturen in der Traumatologie.

Die verschiedenen computerassistenten Navigationssysteme lassen sich in bildbasierte und bildfreie bzw. kinematische Navigationssysteme unterteilen. Historisch gesehen erfolgte primär die Entwicklung von bildbasierten Systemen und dabei zuerst die CT-basierte Navigation, später gefolgt von der 2-D-bildwandlerbasierten Navigation. Nach der Vorstellung von 3-D-Bildwandlern wurden diese ebenfalls an Navigationssysteme gekoppelt und decken inzwischen einen großen Anteil der bildbasierten Navigation ab.

Für die CT-basierte Navigation ist ein präoperativer CT-Bilddatensatz erforderlich. In diesem kann in einer präoperativen Planung die optimale Implantat- und Instrumentenposition definiert werden. Des Weiteren gestatten diese Systeme die ausschließliche Verwendung und die Bilddatenfusion verschiedener Modalitäten wie MRT oder PET-CT, wodurch Weichteilstrukturen bspw. bei Tumoresektionen optimale Berücksichtigung finden können. Außerdem gestatten CT-basierte Systeme die Überlagerung mit der Spiegelung der gesunden Patientengegenseite, um eine seitensymmetrische Rekonstruktion insbesondere im Bereich des Gesichtsschädels optimal planen und umsetzen zu können.

Der Nachteil dieses Verfahrens ist, dass intraoperativ ein Matching, d. h. Abgleich der aktuellen Patienten-anatomie mit dem virtuellen Modell, erfolgen muss und nach einer Änderung der Patienten-anatomie, wie z. B. durch die Reposition einer Fraktur, das Planungsmodell nicht

mehr mit der aktuellen Patientenanatomie übereinstimmt. Die primär durch die manuelle Markierung vordefinierter Landmark-Punkte sehr anfällige Matching-Prozedur wurde zwischenzeitlich mit bildwandler- und ultraschallbasierten Matching-Techniken erleichtert, welche jedoch eine optimale Bildqualität erfordern und damit sonografisch dem Gesichtsschädel und bildwandlerbasiert insbesondere der HWS, unteren BWS und LWS vorbehalten bleiben. Ründere Strukturen wie Extremitätenknochen oder anatomisch schlecht darzustellende Bereiche wie die obere BWS sind für bildwandlerbasierte Matching-Techniken nur sehr begrenzt geeignet.

Die bildwandlerbasierten Navigationssysteme wurden primär zur simultanen Darstellung von mehreren Röntgenprojektionen mit direkter Anzeige der aktuellen Instrumentenposition verwendet. Damit lässt sich ein häufiges Umschwenken des Bildwandlers zur wechselweisen Darstellung verschiedener Projektionen reduzieren und die Strahlenbelastung für den Operateur und den Patienten verringern. Außerdem erfolgt eine automatische inherente Registrierung der Bilder, d. h. es ist kein manuelles Matching mehr erforderlich. Zur sicheren Orientierung ist die Verwendung von vordefinierten Standardprojektionen für die jeweilige Anwendung zu empfehlen. Diese sind bspw. im Falle einer sakroiliakalen (SI-)

Verschraubung am Becken die Inlet-, Outlet-, a.-p. und laterale Aufnahme.

Mit einem 3-D-Bildwandler können außerdem auch axiale Schnittflächen und dem Bildwandler sonst nicht optimal zugängliche Körperregionen wie die obere BWS dargestellt werden. Dadurch lässt sich auch in anatomisch komplexen Regionen sicher navigieren.

Ein noch unzureichend gelöstes Problem der 3-D-Bildwandlernavigation ist die teilweise aufwendige Abdeckung für eine sterile Rotation des C-Bogens unter dem Patienten hindurch, wobei entweder der Patient von oben bedeckt wird und diese zusätzliche Abdeckung nach dem Scan entfernt werden muss oder der OP-Tisch auch von unten steril abgedeckt wird.

Bildfreie bzw. kinematische Navigationssysteme haben sich insbesondere in der Endoprothetik und bei Umstellungsosteotomien am Knie sehr bewährt. Durch die bildfreie Referenzierung der anatomischen Dimensionen von Femur und Tibia am Knie, die Definition des Hüftdrehzentrums und der Sprunggelenksmitte lassen sich sowohl die Achsverhältnisse am Bein als auch die optimale Ausrichtung einer Osteotomie mit der nachfolgenden Umstellung sicher bestimmen. Dafür ist nur ein geringer Zeitaufwand erforderlich und die

chirurgische Präzision kann verbessert werden.

Diese Vorteile sollen vergleichbar auch für die Hüftendoprothetik zugänglich gemacht werden, hier stehen jedoch aktuell gute klinische Ergebnisse erfahrener konventioneller Operateure dem höheren Navigationsaufwand mit noch zu optimierenden Referenzierungstechniken für die Hüftpfannenplatzierung gegenüber.

Die folgenden Beiträge in dieser Ausgabe des OP-Journals sollen einen aktuellen Überblick über verschiedene Anwendungsgebiete der chirurgischen Navigationssysteme im Bereich der Orthopädie und Unfallchirurgie sowie MKG und Neurochirurgie geben und den zunehmenden Einsatz im OP bei sinnvollen Indikationen fördern.

**Dr. med. Benjamin König**

Oberarzt

**Prof. Dr. med. Ulrich Stöckle**

Ärztlicher Direktor

BG-Unfallklinik  
Abteilung für Unfall- und  
Wiederherstellungschirurgie der  
Eberhard-Karls-Universität Tübingen  
Schnarrenbergstraße 95  
72076 Tübingen

bkoenig@bgu-tuebingen.de