

## Navigierte Implantatchirurgie

### Das Therapieziel diktiert den Weg

Dreidimensionale Diagnostik hat zu einer deutlichen Verbesserung der Planungsmöglichkeiten im Bereich der Implantologie geführt. Die genaue Kenntnis der anatomischen Situation erlaubt es vorhandenes Knochenangebot besser auszunutzen, notwendige Augmentation vorherzusehen und anatomische Strukturen sicherer zu schonen. Aufgrund der metrischen Genauigkeit der bildgebenden Verfahren kann die ideale Implantatposition, unter Berücksichtigung individueller anatomischer und prothetischer Erfordernisse virtuell genau festgelegt werden. Zur intraoperativen Umsetzung der Planung stehen Navigationsverfahren und computerunterstützt angefertigte Bohrschablonensystem zur Verfügung. Die CT-Scan-Schablone dient dabei als Träger von Informationen, die in den Bilddaten der CT-Aufnahmen für die Planung bereit stehen.

Der hohe Anspruch an die Einheit zwischen prothetischer und chirurgischer Implantatpositionierung und ein immer minimalinvasiveres Vorgehen erfordert eine dreidimensionale präoperative Planung. Basis ist zunächst immer die Datenakquisition, die in den meisten Fällen mittels Computertomographie und seltener mit Digitalen Volumetomographen (New Town) erfolgt. Die kontinuierliche Weiterentwicklung der Bildqualität bei gleichzeitiger Reduktion der direkten und indirekten Strahlenbelastung führen zu einer immer breiteren Anwendung.

Die technische Genauigkeit der Bildgebung ist für die sich anschließenden Navigations-Prozesse ausreichend. Die Datensätze stehen dann für die weitere Verarbeitung in verschiedensten Planungsprogrammen (coDiagnostiX®, Simplant, Materialise, med3D etc.) zur Verfügung. Die planungsgerechte Umsetzung erfolgt in der Regel mittels Schablonen (Nobel Guide) oder navigationsgestützt (RoboDent®, coNavix, SNN).

Kein System konnte sich bislang in Anwendung, Genauigkeit und Sicherheit von den anderen Systemen deutlich absetzen. Der Trend geht zu komplett ausgestatteten Systemen oder Komponentenlösungen. Im Hinblick auf die Forensik wird sich die dreidimensionale Planung in den nächsten Jahren weiter durchsetzen. Schon heute werden in der Implantologie mehr als 20 Prozent aller Eingriffe mit DVT- oder CT-Unterlagen geplant und durchgeführt. Die Preise für die Systeme werden sich bei 60.000Euro einpendeln und amortisieren sich somit innerhalb von spätestens fünf Jahren.

## Überblick

Navigationssysteme erlauben die freie Führung des Instrumentes durch den Behandler und erlauben somit die Instrumentenführung unter konventioneller Behandlung. Die intraoperative Fusion vom Patientenmodell und realem Patienten wurde erstmals in der Neurochirurgie in Form eines stereotaktischen Rahmens vorgestellt. Hierbei wurde ein, fest am Patientenschädel, verschraubter Rahmen eingesetzt, um im Schädel liegende Strukturen mittels eines Atlanten der Anatomie zu erreichen

Erst die Entwicklung moderner dreidimensional aufnehmender digitaler bildgebender Systeme und neuer Koordinatensysteme ermöglichten,

begünstigt, durch die rasante Entwicklung der Leistungsfähigkeit der Rechnersysteme, die Entwicklung moderner Navigationssysteme. Insbesondere dreidimensionale tomographische Verfahren wie die Computertomographie und die Magnetresonanztomographie versetzen die Behandler in die Lage, eine Behandlungsplanung in hochauflösenden dreidimensionalen individuellen Patientenmodellen durchzuführen und diese mittels dreidimensionaler Instrumentennavigation umzusetzen. Durch die digitalen Messdaten bestimmt eine Navigationssoftware die Lage des Instrumentes relativ zu den aufgenommenen Bilddaten.

Auch in der oralen Chirurgie wurde mit optischen Navigationssystemen, die allerdings für die Neurochirurgie oder Orthopädie konzipiert sind, experimentiert (Schramm et al., 2000, Edinger 2001, Schneider et al., 2002, Hassfeld et al., 2000 a). Bei diesen Experimenten wurde der Behandlungsablauf, die Instrumente und die Patientenlagerung den Anforderungen des Navigationssystems entsprechend verändert.

Die dentalen Navigationssysteme sind vollständig, klinisch Behandlungssysteme, die sich durch Software- Schnittstellen zu standardisierten bildgebenden Verfahren und Hardware - Adaptionen zu konventionellen chirurgischem Instrumentarium direkt in die dentalchirurgische Behandlungsumgebung eingliedern lassen. Sämtliche Systemkomponenten sind auf mobilen Stationen untergebracht. Die Datenverarbeitung erfolgt auf Standard- PCs Die Konzepte der Robotersteuerung in der Chirurgie nach (Lüth et al., 1998 b) können in die drei folgenden Gruppen eingeteilt werden:

1. Die Telemanipulationssysteme für Handhabung von endoskopischen Instrumenten. Beispiele für Telemanipulationssysteme sind A e s o p, Z e u s (Computer Motion) Endo Assist (Armstrong - Healthcare) Evolution 1 (URS) und Vinci/Endo Wrist (Intuitive Surgical). Diese Systeme führen Instrumente für minimalinvasive Eingriffe im Inneren des Menschen. Der Eingriff wird direkt durch den Chirurgen, der den Eingriff über ein Videobild beobachten kann, in Realzeit gesteuert. Diese Systeme basieren üblicherweise nicht auf präoperativ gewonnenen Bilddaten und erfordern daher keine Patientenregistrierung.
2. Vollautomatische Robotersysteme für die Ausführung eines einzelnen Arbeitsganges bei einem chirurgischen Eingriff. Systeme dieser Art sind orthopädische Systeme wie RoboDoc (ISS) und CASPAR (URS). Im Forschungsbereich ist das System für knieorthopädische Eingriffe von Hibbered und Davies vom Imperial College in London zu nennen (Davies et al., 1991).
3. Navigierte interaktive Robotersysteme als erweiterte Instrumentenhalterung und -führung. In diese Gruppe gehören Robotersysteme an der medizinische Instrumente, Implantate und Transplantate angebracht werden können, um diese für den Chirurgen. relativ zum Patienten auszurichten und zu fixieren. Hier sind das MKM (Carl- Zeiss), SurgiScope (Jojumarie GmbH, Berlin) als Mikroskopführung und Neuromate als rahmenlose Stereotaxieeinrichtung verfügbar. In der Forschung ist das generisch einsetzbare System Intelligenter Instrumentenhalter - IIH (Hein et al, 1999, Hein et al., 2001) zu nennen, mit dem für die Hyperthermie Hohlkatheter positioniert (Lüth et al., 1997) und

Bohrmaschinen in der MKG - Chirurgie geführt werden können (Lüth et al., 1998a) (Lüth 2003b, Mende et al., 1999), neben der Möglichkeit, die Geräte ohne Registrierung zum Speichern und Wiederanfahren von Positionen oder zum parallelen Ausrichten von Instrumenten einzusetzen.

Die Präzision von Navigationssystemen konnte wesentlich erhöht werden, sodass Fehlerquoten unter 1 mm rangieren (Lüth 2003).

Operationen am Phantomkiefer wurden am Uni-Klinikum Heidelberg von Hassfeld und Brief vorgestellt. Hier wurden vergleichende Untersuchungen zwischen manuell geführten Bohrungen und Navigationsunterstützung und Freihandbohrungen durchgeführt. Interessant ist der Vergleich zwischen manuellen und navigierten Implantatpositionen im Endergebnis.

Erfahrene Chirurgen konnten beim manuellen Implantieren Abweichungen von 2mm bis 3mm nicht unterschreiten. Der maximale Fehler bei der Navigation lag bei 0,5mm bis 0,8 mm. Hierbei handelte es sich ebenfalls um den gesamten Fehler von der Planung bis zur Vermessung der endgültigen Implantatpositionen und Achsen (Lüth, 2003 a, Schermeier, 2000, Schermeier et al., 2001). Ähnliche geringe Abweichungen erzielte eine Untersuchung an Göttinger Minischweinen. Hier wurde eine Abweichung der inserierten Implantate von 0,5mm bis 0,9 mm gemessen.

Beim operativen Einsatz muss neben der klinisch relevanten Gesamtgenauigkeit aus virtueller Planung und intraoperativer Umsetzung auch die Handhabung des Systems Berücksichtigung finden

(Bass et al., 1996, Bergmann et al., 2000, Fortin et al., 2002, Meyer et al., 2003). Im Vergleich zu einer konventionellen Implantatinserktion zeigt sich das intraoperative Handling des Systems praktikabel, dennoch beansprucht die erforderliche Wahrung der Sichtverbindung zwischen Kamerasystemen und optischen Markern an den Navigationsschienen eine Adaption des Operateurs und der Assistenz. Aufgrund von Interferenz mit der Schiene ist der Einsatz von Bohrer verlängerung relativ häufig erforderlich, sodass bei Implantationen im Oberkieferseitenzahnbereich eine ausreichende Mundöffnung des Patienten berücksichtigt werden muss.

Zeitvorteile im Vergleich zu einer konventionellen Implantation ergeben bei der rein navigierten Implantation nur im Falle eines geschlossenes Vorgehens, wenn auf die Präparation eines Mukoperiostlappens verzichtet werden kann.

Es muss einem Operateur klar sein, dass all diese Elemente und bildgebenden Verfahren bis hin zu den Navigationstechniken immer nur ein mehr oder weniger weitreichendes Hilfsmittel sein können. Abgefragt werden weiterhin entsprechendes chirurgisches Können und Routine, um eine individuelle Patientensituation erfolgreich versorgen zu können. Alle Hilfsmittel ersetzen nicht die mentale Erfassung der dreidimensionalen Gesamtsituation mit all ihren anatomischen Gegebenheiten. Die korrekt ausgeführte chirurgische Gestaltung des Versorgungszieles obliegt dem persönlichen Können.

Durch die Navigation ist es möglich, dem Patienten präoperativ seine individuelle Situation zu visualisieren und den Operationsablauf konkret mit ihm zu planen. Es ist somit auch möglich, dem Patienten im Vorfeld

der Behandlung die exakten Kosten zu nennen, da z. B. keine unerwarteten augmentativen Maßnahmen anfallen. Durch die Navigation ist der Behandler in der Lage schneller, präziser und minimalinvasiver zu operieren. Dies verbessert die Patientenzufriedenheit direkt, da die Behandlungsdauer gesenkt werden kann, das postoperative Ergebnis vorhersagbar wird, das Risiko der Verletzung von Nachbarstrukturen stark reduziert wird und die postoperativen Beschwerden geringer sind. Für den nur prothetisch tätigen Zahnarzt existiert nun erstmalig eine Plattform, auf deren Basis er sich vollwertig und verbindlich mit seinem chirurgisch tätigen Kollegen über die ideale Implantatposition verständigen kann, Missverständnisse und Planungsfehler, die dann zu unbrauchbaren Implantatpositionen führen, sind ausgeschlossen.

Für den Implantologen bringt die navigierte Implantatpositionierung die Vorteile eines kalkulierbaren und effektiveren Operationsverlaufes, einer reduzierten Lagerhaltung, einer optimierten Implantatposition und eines größtmöglichen Schutzes gefährdeter anatomischer Strukturen. Es muss festgestellt werden, dass die nicht unerhebliche Röntgenbelastung dreidimensionaler Bilderfassung nur dann zu rechtfertigen ist, wenn eine klare Indikation zur navigierten Implantatinsertion besteht oder die Computertomographie als solche in dieser Region aus anderen Gründen indiziert ist.









