

Autor
Anwender
Status
Aktuell
Kategorie
Übersicht

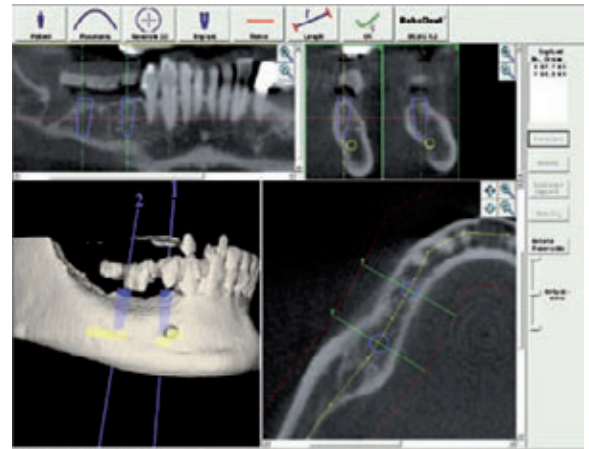
Navigierte Implantatchirurgie – das Therapieziel diktiert den Weg

Dr. Dr. Ralf Luckey

Dreidimensionale Diagnostik hat zu einer deutlichen Verbesserung der Planungsmöglichkeiten im Bereich der Implantologie geführt. Die genaue Kenntnis der anatomischen Situation erlaubt es, das vorhandene Knochenangebot besser auszunutzen, eine 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. Für die intraoperative Umsetzung der Planung kann auf digitale Technologien zurückgegriffen werden, wie beispielsweise Navigationsverfahren oder computerunterstützt angefertigte Bohrschablonen(systeme). Jene Möglichkeiten sollen im Folgenden präsentiert werden. Dabei dient die CT-Scan-Schablone als Träger von Informationen, welche in den Bilddaten der CT-Aufnahmen für die Planung bereitstehen.



Beispiel einer intraoperativen Navigation.



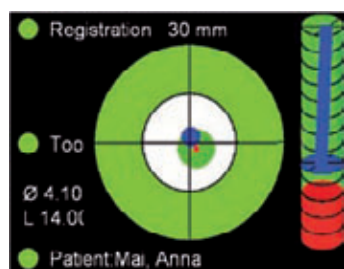
Dreidimensionale Bildschirmansicht.

Präoperative Planung und Umsetzung

Der hohe Anspruch an die Einheit zwischen prothetischer und chirurgischer Implantatpositionierung und ein immer stärker minimalinvasives Vorgehen erfordern eine dreidimensionale präoperative Planung. Basis dieser präoperativen Planung ist zunächst die Datenakquisition, welche in den meisten Fällen mittels Computertomographie (CT) und seltener mittels digitaler Volumentomographie (DVT) wie beispielsweise bei NewTom 3G (NewTom, D-Marburg) erfolgt. Eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Bildqualität bei gleichzeitiger Reduktion der direkten und indirekten Strahlenbelastung ermöglicht eine immer breiter werdende Anwendung digitaler Technologie im Bereich Röntgen. Die als Datensätze gespeicherten Aufnahmen können für die weitere Verarbeitung in verschiedensten Planungsprogrammen, z. B. coDiagnostiX® (IVS Solutions, D-Chemnitz), SimPlant (Materialise, D-Oberpfaffenhofen), implant3D (med3D, D-Heidelberg), genutzt werden. Die daran anschließende planungsgerechte Umsetzung erfolgt in der Regel anhand von computerunterstützt angefertigten Bohrschablonen wie beispielsweise mit No-

belGuide™ (Nobel Biocare, D-Köln) und implant3D (med3D), oder navigationsgestützt, z. B. mit RoboDent® (RoboDent, D-Berlin), coNaviX® (IVS Solutions), MONA_DENT® (IMT, D-Dortmund)¹.

Kein bestehendes System konnte sich bislang in Anwendung, Genauigkeit und Sicherheit von den anderen Systemen deutlich absetzen. Allgemein geht der Trend hin 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 % aller Eingriffe mit DVT- oder CT-Unterlagen geplant und durchgeführt.



Zielmonitor und Bohrtiefenüberwachung.

Die Preise für die Systeme werden sich schätzungsweise bei 60.000,- Euro einpendeln und amortisieren sich somit innerhalb von spätestens fünf Jahren.

Entstehungsgeschichte der implantologischen Navigation

Navigationssysteme erlauben die freie Führung des Instrumentes durch den Behandler und somit eine Instrumentenführung unter konventioneller Behandlung. Die intraoperative Fusion von 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 dreidimensional aufnehmender digitaler Bildgebungssysteme sowie neuer Koordinatensysteme ermöglichte – begünstigt durch die rasante Entwicklung der Leistungsfähigkeit der Rechnersysteme – die Entstehung 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. Anhand der gewonnenen digitalen Messdaten bestimmt eine Navigationssoftware die Lage des Instrumentes in Relation zu den aufgenommenen Bilddaten.

Auch in der oralen Chirurgie wurde mit optischen Navigationssystemen experimentiert, die allerdings für die Neurochirurgie oder Orthopädie konzipiert sind^[1, 2, 3, 4]. Bei jenen Experimenten wurden der Behandlungsablauf, die Instrumente und die Patientenlagerung den Anforderungen des Navigationssystems entsprechend verändert.

Exkurs: Konzepte der Robotersteuerung

Die dentalen Navigationssysteme sind vollständige, klinische Behandlungssysteme, die sich aufgrund von Software-Schnittstellen zu standardisierten bildgebenden Verfahren und Hardware-Adaptionen zu konventionellem chirurgischem Instrumentarium direkt in die dentalchirurgische Behandlungsumgebung eingliedern lassen. Dabei sind sämtliche Systemkomponenten auf mobilen Stationen untergebracht, die Datenverarbeitung erfolgt auf Standard-Computern. Nach Lüth et al.^[5] können die Konzepte der Robotersteuerung in der Chirurgie in drei Gruppen eingeteilt werden:

1. Telemanipulationssysteme

Diese Systeme steuern bei minimalinvasiven Eingriffen im Inneren des Menschen die dafür nötigen endoskopischen Instrumente. Der Eingriff kann vom Chirurgen am Videobild verfolgt und direkt in Realzeit gesteuert werden. Diese Systeme basieren üblicherweise nicht auf präoperativ gewonnenen Bilddaten und erfordern daher keine Patientenregistrierung. Beispiele für Telemanipulationssysteme sind AESOP™ beziehungsweise ZEUS (Computer Motion, USA-Goleta), EndoAssist (Prosurgics, UK-Loudwater), Evolution I (URS, D-Parchim) und da Vinci® Surgical System (Intuitive Surgical, CH-Aubonne).

2. Vollautomatische Robotersysteme

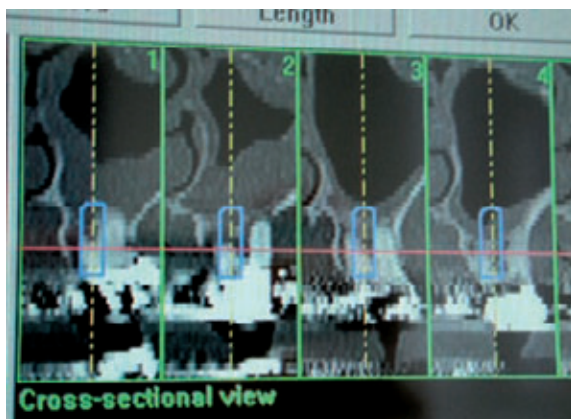
Vollautomatische Robotersysteme werden für die Ausführung eines einzelnen Arbeitsganges bei einem chirurgischen Eingriff genutzt. Systeme dieser

¹ Siehe auch Weihe, Stephan et al.: Chancen, Nutzen und Probleme der Navigation in der dentalen Implantologie: MONA_DENT® – ein neues Planungs- und Navigationssystem. In: DIGITAL_DENTAL.NEWS April (2007), S. 54-60.

Art sind orthopädische Systeme wie ROBODOC® (Integrated Surgical Systems, USA-Sacramento) und CASPAR (URS Ortho, D-Rostock). Im Forschungsbereich ist das System für knieorthopädische Eingriffe von Hibberd und Davies vom Imperial College in London zu nennen^[6].

3. Navigierte interaktive Robotersysteme

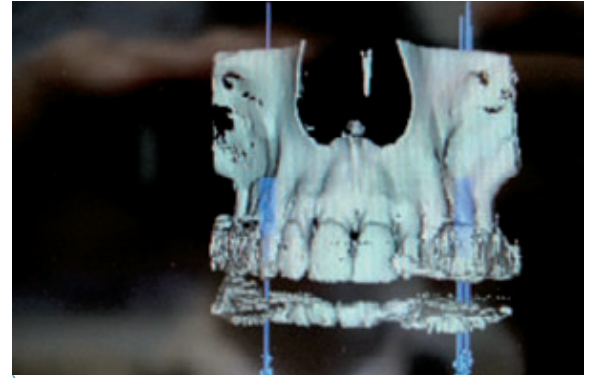
Diese dienen der erweiterten Instrumentenhalterung und -führung. Dazu zählen Robotersysteme, an die medizinische Instrumente, Implantate und Transplantate angebracht werden können, um diese für den Chirurgen relativ zum Patienten auszurichten und zu fixieren. Hier sind das MKM (Carl Zeiss Surgical, D-Oberkochen), SurgiScope® (Jojumarie / Eckert & Ziegler, D-Berlin) als Mikroskopführung und Neuronate als rahmenlose Stereotaxieeinrichtung verfügbar. In der Forschung ist das generisch einsetzbare System Intelligenter Instrumentenhalter / IIH^[7, 8] zu nennen, mit dem für die Hyperthermie Hohlkatheter positioniert^[9] und Bohrmaschinen in der MKG-Chirurgie geführt werden können^[10, 11]. Zudem besteht die Möglichkeit, die Geräte ohne Registrierung zum Speichern und Wiederanfahren von Positionen oder zum parallelen Ausrichten von Instrumenten einzusetzen.



Virtuelle Implantatpositionierung im Oberkiefer.

Präzision von Navigationssystemen

Im Laufe der Zeit konnte die Präzision von Navigationssystemen wesentlich erhöht werden, sodass Fehlerquoten unter 1 mm erzielt werden^[12]. Dr. Dr. Stefan Haßfeld und Dr. Jakob Brief nahmen am Universitäts-Klinikum Heidelberg Operationen am



Bildschirmansicht des 3D-generierten Oberkiefers.

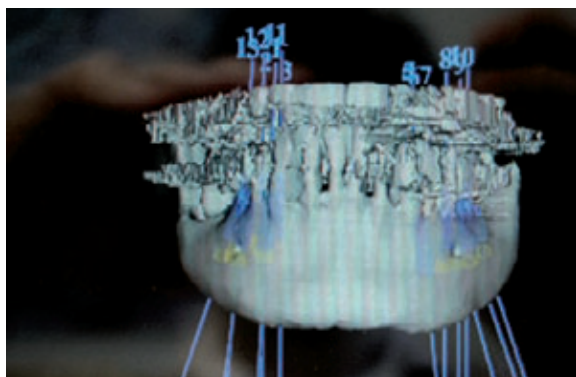
Phantomkiefer vor und führten hierzu vergleichende Untersuchungen durch zwischen manuell geführten Bohrungen und Eingriffen, die mittels Navigationsunterstützung und anschließender Freihandbohrung vollzogen wurden.

Interessant ist der Vergleich zwischen manuellen und navigierten Implantatpositionen im Endergebnis: Erfahrene Chirurgen konnten beim manuellen Implantieren Abweichungen von 2 mm bis 3 mm nicht unterschreiten. Der maximale Fehler bei der Navigation lag bei 0,5 mm bis 0,8 mm. Hierbei handelte es sich ebenfalls um den gesamten Fehler von der Planung bis zur Vermessung der endgültigen Implantatpositionen und Achsen^[12, 13, 14]. Ähnliche geringe Abweichungen erzielte eine Untersuchung an Göttinger Minischweinen. Hier wurde eine Abweichung der inserierten Implantate von 0,5 mm bis 0,9 mm gemessen^[15].

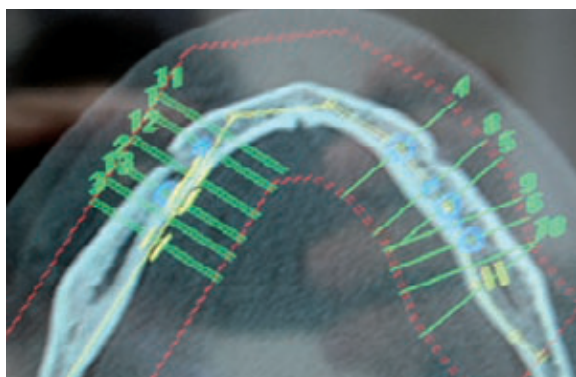
Berücksichtigung der Systemhandhabung

Beim operativen Einsatz muss neben der klinisch relevanten Genauigkeit von virtueller Planung und intraoperativer Umsetzung auch die Handhabung des Systems Berücksichtigung finden^[16, 17, 18]. Im Vergleich zu einer konventionellen Implantatinserterion zeigt sich das intraoperative Handling eines Navigationssystems als praktikabel. Dennoch beansprucht die erforderliche Wahrung der Sichtverbindung zwischen Kamerasystemen und optischen Markern an den Navigationsschienen eine Adaption des Operateurs und der Assistenz. Aufgrund einer Interferenz mit der Schiene ist häufig der Einsatz einer Bohrer Verlängerung erforderlich, sodass bei Implantationen im Oberkiefersei-

tenzahnbereich eine ausreichende Mundöffnung des Patienten berücksichtigt werden muss. Zeitvorteile im Vergleich zu einer konventionellen Implantation ergeben sich bei der rein navigierten Implantation nur im Falle eines geschlossenen Vorgehens, d. h. wenn auf die Präparation eines Mukoperiostlappens verzichtet werden kann.



Bildschirmansicht des 3D-generierten Unterkiefers.



Virtuelle Implantatpositionierung: Aufsicht auf den Unterkiefer.

Fazit

Dem Operateur muss klar sein, dass bildgebende Verfahren und sonstige digitale Elemente bis hin zu den Navigationstechniken immer nur ein mehr oder weniger weitreichendes Hilfsmittel sein können. Gefragt bleiben weiterhin entsprechendes chirurgisches Können und die Routine, um eine individuelle Patientensituation erfolgreich versorgen zu können. Digitale Technologien ersetzen nicht die mentale Erfassung der dreidimensionalen Gesamtsituation mit all ihren anatomischen Gegebenheiten. Die korrekt ausgeführte chirurgische Gestaltung des Versorgungszieles obliegt zum Großteil dem persönlichen Können.

Durch die Navigation ist es möglich, dem Patienten präoperativ die 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 können. Durch die Navigation ist der Behandler weiterhin 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 ausschließlich 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 zu unbrauchbaren Implantatpositionen führen können, sind ausgeschlossen.

Für den Implantologen bringt die navigierte Implantatpositionierung die Vorteile eines kalkulierbaren und effektiven Operationsverlaufes, einer reduzierten Lagerhaltung, einer optimierten Implantatposition und des größtmöglichen Schutzes gefährdeter anatomischer Strukturen. Es muss festgestellt werden, dass die nicht unerhebliche Strahlenbelastung bei dreidimensionaler Bilderfassung nur dann zu rechtfertigen ist, wenn eine klare Indikation zur navigierten Implantatinserktion besteht oder die Computertomographie als solche in diesem speziellen Fall aus anderen Gründen indiziert ist. ■

Literatur

[1] **Schramm, A.; Gellrich, N. C.; Gläser, R.; Ranzelhofer, P.; Schmelzeisen, R.; Schneider, U.:** Use and abuse of navigational surgery in oral implantation. In: CARS Computer Assisted Radiology and Surgery, San Francisco, June (2000), S. 923-926.

[2] **Edinger, D.:** Intraoperative Navigation in Verbindung mit implantprothetischer Planung. In: Deutsche zahnärztliche Zeitschrift 56 (2001), S. 415-418.

[3] **Schneider, M.; Eckelt, U.; Hietscholdt, V.:** Accuracy tests for the computer assisted insertion of dental implants at the model of the lower jaw.

In: CARS Computer Assisted Radiology and Surgery, San Francisco, June (2002), S. 939-944.

^[4] **Haßfeld, S.; Brief, J.; Krempien, R.; Mühling, J.; Raczowsky, J.; Redlich, T.; Stein, W.; Ziegler, C.:** Navigationsverfahren in der Implantologie – Stand der Technik und Perspektiven. In: Implantologie 4 (2000), S. 373-390.

^[5] **Lüth, T.; Bier, J.; Heissler, E.:** Navigations-Robotersysteme als Führungshilfen. Hg.: Schlag, P. M.; Graszew, G. Tele- und computergestützte Chirurgie. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 1998, S. 128-137.

^[6] **Davis, B. L.; Hibberd, R. D.; Timoney, A.; Wickham, J.:** A surgeon robot for Proctomies. In: Proc. Of the 5th Int. Conf. on Advanced Robotics, Pisa, 1991, S. 871-875.

^[7] **Hein, A.; Lüth, T.:** Image-based control of interactive robotic systems. Second International Conference on Medical Image Computing and Computer – Assisted Intervention; MICCAI, Cambridge/England, September 1999, S. 1125-1132.

^[8] **Hein, A.; Bier, J.; Klein, M.; Lüth, T.; Queck, J.; Schermeier, O.; Stien, M.:** Integration and clinical Evaluation of an Interactive Controllable Robotic System for Anaplastology; MICCAI, Utrecht/Niederlande, Oktober 2001, S. 1125-1132.

^[9] **Lüth, T.; Beier, J.; Bier, J.; Felix, R.; Hessler, E.; Stahl, H.; Wolf, M.; Wust, P.:** Comparison of Navigation Systems and a Robot System for Image-guided Implantation of Catheters. Computer Integrated Surgery, Linz/Österreich, September 1997.

^[10] **Lüth, T.:** Eine der Navigation vergleichbare Genauigkeit ist freihändig nicht zu erreichen. In: DZW-Spezial 5/03 (2003).

^[11] **Mende, U.; Grabowski, H.; Haßfeld, S.; Krempien, R.; Wannemacher, M.; Wörn, H.:** 3D Ultrasound: a valuable adjunct for staging and follow-up of head and neck tumors. In: Radiology 213 (1999), S. 314-315.

^[12] **Lüth, T.:** Technical challenges in computer aided dental Implantology. I. Symposium Computer aided Surgery around the head, Interlaken/Schweiz, Februar 2003.

^[13] **Schermeier, O.:** Ein Navigationssystem für die dentale Implantologie. Dissertation im Fachbereich Biotechnik/Medizintechnik des Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik, Berlin 2000.

^[14] **Schermeier, O.; Bier, J.; Hein, A.; Lüth, T.; Syzmanski, D.:** Accuracy of the Image Guided System for Oral Implantology. In: Computer Assisted Radiology and Surgery 2001.

^[15] **Heurich, T.; Brief, J.; Haßfeld, S.:** Perfektion in der Implantologie durch computergestützte Implantatplanung und deren operative Umsetzung – Möglichkeiten und Grenzen. In: Implantologie 11 (2002), S. 9-26.

^[16] **Bass, D.; Buchholz, R. D.; Foley, K. T.; Pope, T.; Smith K. R.; Wiedenmaier, T.; Wiedenmaier U.:** Surgical Navigation System Including Reference And Localization Frames. WO-9611624-A2, World-Patent 1996.

^[17] **Bergmann, H.; Boeseke, R.; Brief, J.; Daeber, T.; Haßfeld, S.; Krempien, R.; Muehling, J.; Münchenberg, J.; Pernozzoli, A.; Ziegler, C.:** A Modular Software System for Computer Aided Surgery and its First application in Oral Implantology. In: IEEE Transactions on medical imaging 19 (2000), S. 1-620.

^[18] **Meyer, U.; Fillis, T.; Joos, U.; Lüth, T.; Meier, N.; Runte, C.; Wiesmann, H. P.:** Evaluation of accuracy of insertion of dental implants and prosthetic treatment by computer-aided navigation in Mini-pigs. In: Br J oral Maxillofac Surg 41 (2003), S. 102-108.

**Dr. med. dent. Dr. h. c.
Ralf Luckey**
Hannover, Deutschland



- 1991 Approbation und Promotion zum Dr. med. dent.
- Zweitstudium (Master of Science): Facharzt für Implantologie
- seit 1995 eigene Praxis in Hannover
- 2000 Gründung des Diagnostikzentrums für Implantologie und Gesichtsästhetik DIG Hannover als medizinischer Leiter
- seit 2003 Zusatzbezeichnung „Spezialist für Implantologie der European Dental Association EDA“
- Beratungsarzt des Deutschen Zentrums für Orale Implantologie
- Mitglied in zahlreichen Verbänden (DGZI, BDIZ, DGL, u. a.)
- Autor von Fachpublikationen sowie Referent bei Fortbildungsveranstaltungen

Kontakt
info@implantatzentrum-hannover.de