

**3. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
17.-18. September 2001 in
Bochum**



**„Navigierte Insertion von Dentalimplantaten mit dem
Behandlungssystem RoboDent“**

O. Schermeier, R. Tita, J. Glagau, D. Hildebrand, M. Klein, J. Bier, T. Lüth
Berliner Centrum für Mechatronische Medizintechnik, Fraunhofer IPK, Campus Virchow,
Klinik für MKG-Chirurgie, Charité, Berlin, Deutschland
E-Mail: olaf.schermeier@charite.de

Band: Beiträge zum 3. Workshop Automatisierungstechnische Methoden und
Verfahren für die Medizin
Editors: Jürgen Werner, Martin Hexamer
ISBN: 3-00-008240-9
Pages: 38-39

Navigierte Insertion von Dentalimplantaten mit dem Behandlungssystem RoboDent

O. Schermeier, R. Tita, J. Glagau, D. Hildebrand, M. Klein, J. Bier, T. Lüth

Berliner Centrum für Mechatronische Medizintechnik
Fraunhofer IPK – Charité • Campus Virchow, Klinik für MKG-Chirurgie
Augustenburger Platz 1, 13353 Berlin

olaf.schermeier@charite.de

EINLEITUNG

Festsitzender Zahnersatz auf oralen Implantaten verbreitet sich zunehmend in der Zahnheilkunde. Hierfür werden Titan-Implantate in den Kieferknochen eingeschraubt, auf denen der Zahnersatz befestigt wird. Nach der Entwicklung und dem erfolgreichen Einsatz eines interaktiven Roboters in der extraoralen Implantologie [1], wurde ein dentalchirurgisches Navigationssystem für das Einbringen von oralen Implantatbohrungen entwickelt. Das System ermöglicht es dem Behandler die Implantate an der optimalen Lage vorzuplanen und diese Planung navigiert am Patienten umzusetzen. Während der eigentlichen Behandlung werden Lage (Position und Orientierung) von Patient und Handstück von einem optischen Navigationssystem vermessen. Es wird ein neues Verfahren zur Platzierung eines Bohrer-Handstückes vorgestellt, welches dem Behandler die Bohrerposition, -orientierung und -tiefe relativ zu vorgeplanten Daten als visuelles Feedback in Form einer Zielvorrichtung übermittelt. Das System wurde bereits erfolgreich am Patienten eingesetzt.

ARCHITEKTUR/GESAMTSYSTEM

Das dentale Behandlungssystem (Abb. 1) ist auf einer mobilen Station untergebracht. Die Planungssoftware besitzt Schnittstellen für den Import von Patientendaten aus Computertomographen (CT) und Digitalem Volumentomographen (DVT).



Abb. 1: Das Behandlungssystem RoboDent zum navigierten Einsetzen von Dentalimplantaten.

Der Behandler plant den Sitz des Implantates in den dreidimensionalen Patientendaten mit Berücksichtigung von Knochenangebot und Prothetik im Gewebe.

Die Navigationssoftware besitzt Schnittstellen zu drei optischen Navigationssystemen. Derzeit ist das hybride System ROPAL mit wiederverwendbaren, kabellosen Lokalisatoren im Einsatz. Diese sind sowohl am Handstück als auch am Kiefer des Patienten fest und reproduzierbar angebracht. Durch die kontinuierliche Vermessung der Patientenposition während der Behandlung ist eine Fixierung des Patienten wie in [2] nicht erforderlich.

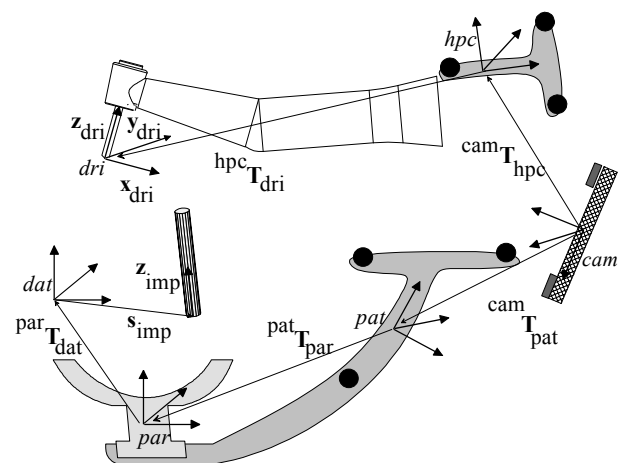


Abb. 2: Bestimmung der Transformationsmatrix zwischen geplantem Implantat und Handstück.

Die Referenzierung zwischen Planungsdaten und realer Behandlung wird durch einen sterilisierbaren Navigationsbogen bekannter Geometrie sichergestellt, welcher bereits bei der Bildgebung auf dem Kiefer des Patienten angebracht ist. Durch die bekannte Geometrie und einen definierten Flansch zum Lokalisator des Navigationssystems entfällt der aufwendige und fehleranfällige Prozeß der manuellen Registrierung.

PROBLEMSTELLUNG

Die intraoperative Visualisierung erfolgt üblicherweise über die Darstellung des Instrumentes und Planung in zweidimensionalen Schnittbildern oder durch dreidimensionale Darstellung von Kiefer, chirurgischem Handstück und geplantem Implantat. Um die geplante Achse mit dem Bohrer exakt auf den Patienten zu übertragen, muss hierbei die virtuelle Bohrerachse am Bildschirm mit der vorgeplanten Achse übereinstimmen [3]. Nachteile dieser Formen der Visualisierung sind die schlechte Möglichkeit der räumlichen Zuordnung der

Abweichungen zur tatsächlichen Lage des Bohrers, die fehlende Tiefeninformation, der höhere Zeit- und Trainingsaufwand um das System bedienen zu können und die örtliche Trennung von Monitor und Situs, was ein ständiges Schwenken des Kopfes erfordert.

REALISIERUNG

Um diese Limitierungen zu umgehen, wurde ein Miniaturmonitor an einem frei schwenk- und drehbaren Arm in das Behandlungssystem integriert. Dieser lässt sich direkt neben dem Situs positionieren. Das visuelle Feedback für den Behandler ist hier auf die für die Umsetzung der Planung wesentlichen Daten reduziert. Dies sind Positions- und Winkelabweichung des Bohrers, Tiefe des Bohrers und Statusinformationen über die Behandlung. Da es dem Menschen schwer fällt, die Informationen über 3 translatorische und 3 rotatorische Abweichungen zeitgleich zu verarbeiten, gilt für die Bohrerpositionierung das folgende Ablaufkonzept:

1. Translatorische Anpassung der Bohrer Spitze auf der Knochenoberfläche
2. Rotatorische Anpassung der Bohrerachse durch Drehung über die Bohrer Spitze
3. Bohrung in den Knochen unter Beachtung von Position, Winkel und Tiefe

Um die verschiedenen Abweichungen zu trennen, erfolgt eine Transformation der geplanten Implantatachse in das Koordinatensystem des Bohrers. Durch die Darstellung der Abweichungen relativ zum Bohrerhandstück hat der Bediener eine räumliche Zuordnung der Abweichung, da der direkte Kontakt seiner Hand zum Bohrerhandstück vorhanden ist. Die Lage des Bohrers im Kamerakoordinatensystem *cam* berechnet sich durch Transformation zwischen den Koordinatensystemen des Handstücklokalisators *hpc*, und des Bohrers *dri*. Die Lage des geplanten Implantates im Kamerakoordinatensystem *cam* ergibt sich wie in Abb. 2 ersichtlich durch die Koordinatensysteme *pat* (Patientenlokalisator), *par* (Patientenreferenzkörper), *dat* (Patientendaten), *imp* (Implantatwurzel). Durch Transformation ergibt sich für die Lage des Implantates in Bohrerkoordinaten

$${}^{dri}\mathbf{T}_{dat} = \left({}^{cam}\mathbf{T}_{dri} \right)^{-1} \cdot {}^{cam}\mathbf{T}_{dat} \quad (1)$$

mit

$${}^{cam}\mathbf{T}_{dri} = {}^{cam}\mathbf{T}_{hpc} \cdot {}^{hpc}\mathbf{T}_{dri} \quad (2)$$

$${}^{cam}\mathbf{T}_{dat} = {}^{cam}\mathbf{T}_{pat} \cdot {}^{pat}\mathbf{T}_{par} \cdot {}^{par}\mathbf{T}_{dat} \quad (3)$$

Die Trennung der translatorischen Abweichungen lässt sich nun durch Betrachtung der Abweichung in der Ebene vornehmen und nach Komponenten trennen, indem der Durchtrittspunkt der Implantatachse

$$G : \mathbf{x} = {}^{dri}\mathbf{s}_{imp} + t \cdot {}^{dri}\mathbf{z}_{imp} \quad (4)$$

durch die Ebene

$$E : \mathbf{x} = a \cdot \mathbf{x}_{dri} + b \cdot \mathbf{y}_{dri} \quad (5)$$

ermittelt wird.

Zur Berechnung der Winkelabweichung wird die Implantatwurzel unter Beibehaltung des Winkels in den Ursprung des Koordinatensystems *dri* transformiert. Bei Berücksichtigung von $\sin(\Theta_i) \approx \Theta_i$ für kleine Θ_i findet sich eine Näherung für die maßgeblichen Winkel Θ_1 und Θ_2 in den x- bzw. y- Komponenten des Schnittpunktes der Geraden

$$G : \mathbf{x} = t \cdot {}^{dri}\mathbf{z}_{imp} \quad (6)$$

mit der Ebene

$$E : \mathbf{x} = \frac{\mathbf{z}_{dri}}{|\mathbf{z}_{dri}|} + a \cdot \mathbf{x}_{dri} + b \cdot \mathbf{y}_{dri} \quad (7)$$

Die neuartige Zielvorrichtung auf dem Miniaturmonitor projiziert diese Werte unabhängig voneinander auf eine Ebene mit einem Zielkreuz (Abb. 3). Stimmt die Bohrerlage mit der geplanten Lage überein, so befinden sich beide Projektionen im Mittelpunkt.

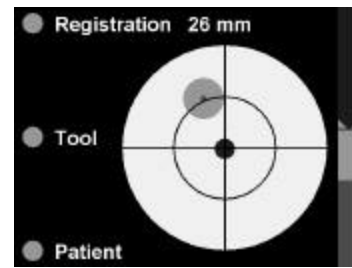


Abb. 3 Zielvorrichtung: Markierungen für Abweichung der Position (schwarz) und Winkel (grau)

Neben den Abweichungen von der Ziellage zeigt der Miniaturmonitor die aktuelle Bohrtiefe, Informationen über den Systemstatus und die gemessene Bohrerlänge.

ERGEBNISSE

Die Einarbeitungszeit für die Bedienung des Systems wird deutlich verkürzt. Auch der ungeübte Benutzer kann mit Hilfe der neuen Zielvorrichtung schnell und präzise den Bohrer auf der vorgeplanten Achse platzieren.

Das dentale Behandlungssystem wurde bereits erfolgreich am Patienten eingesetzt und besitzt die medizinische Zulassung nach MPG.

LITERATURHINWEISE

- [1] A. Hein, T. C. Lueth: Image-based control of interactive robotics systems. *MICCAI'99*, Cambridge, England, September, 1999
- [2] J. Brief, S. Hassfeld, U. Sonenfeld, N. Persky, R. Krempien, M. Treiber, J. Mühling: Navigated Insertion of Dental Implants, *ISRACAS'2001*, Tel-Aviv, Israel, May, 2001.
- [3] O. Schermeier, D. Hildebrand, T. C. Lueth, D. Szymanski, J. Bier: Accuracy of an Image Guided System for Oral Implantology. *Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS)*, Berlin, Germany, June, 2001.