

Ein Tubusadapter zur Navigation eines dentalen Röntgengerätes

Daniel Szymanski, Dirk Schauer, Tobias Jahnz und Tim Lüth

Charité -Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow-Klinikum
Klinik für MKG-Chirurgie & Klinische Navigation und Robotik
(Prof. Dr. mult. h.c. Jürgen Bier und Prof. Dr. Tim Lüth)
Augustenburger Platz 1, 13353 Berlin
Email: daniel.szymanski@charite.de

Zusammenfassung. In diesem Artikel wird ein neuer Tubusadapter zur Navigation eines dentalen Röntgengerätes vorgestellt. Ziel der Arbeiten war es einen dentalen Röntgenstrahler und einen digitalen Röntgensensor jeweils mit einem optischen Lokalisator so zu erweitern, dass die generierten Röntgenaufnahmen als Basis für eine dreidimensionale Planung von Dentalimplantaten genutzt werden können. Dies ermöglicht die navigierte Insertion von Implantaten in Anwendungen, bei denen bisher auf Grund der Strahlenbelastung des Patienten und der Kosten darauf verzichtet wurde. In dem Artikel wird auf folgende Aspekte besonders eingegangen: Aufbau des Tubusadapters und Sensorhalters, Kalibrierungsvorrichtungen für Röntgenstrahler und -sensor.

1 Einleitung

Etablierte Planungs- und Behandlungssysteme der navigierten oralen Implantologie arbeiten auf der Basis von röntgentomographischen Bilddaten. Die Akquisition von CT- bzw. DVT-Aufnahmen ist jedoch mit einer erheblichen Strahlenbelastung für den Patienten und einem deutlichen logistischen und personellen Mehraufwand durch die Überweisung in eine radiologische Praxis verbunden. Besonders für minimalinvasive Anwendungen, wie beispielsweise die Insertion von Einzelzahnimplantaten ist daher die Einbindung einer alternativen Bildmodalität dringend gefordert.

Im Rahmen des in [1] vorgestellten Systems war das Ziel der vorgestellten Arbeit daher die Entwicklung eines Tubusadapters zur navigierten Aufnahme von dentalen Röntgenbildern. Dieser Tubusadapter ist fest mit der Röntgenstrahlungsquelle verbunden und seine Position wird mit Hilfe eines optischen Sensors erfasst. Ebenfalls optisch erfasst wird ein digitaler Röntgensensor. Dadurch lässt sich die Lage vom Sensor zur Strahlungsquelle berechnen. Dies wird genutzt, um dem Benutzer beim Anfertigen der Aufnahmen zu unterstützen.

2 Stand der Forschung

In der dentalen Implantologie sind seit mehreren Jahren Navigationssysteme auf dem Markt, die aufgrund einer präoperativen Planung das navigierte Bohren und

Einsetzen von oralen Implantaten ermöglichen [2]. Hierbei werden der Patient und das Instrument durch einen meist berührungslosen Sensor erfasst und die Relativbewegung zwischen Beiden für den Implantologen auf einem Bildschirm dargestellt. In einer präoperativen Planung wird die Zielposition des Implantats und somit des Instruments in der anatomischen Struktur festgelegt.

Die Planung und Behandlung erfolgt bei allen bislang vorgestellten Systemen basierend auf röntgentomographischen Schichtbildern. Die Einbindung alternativer digitaler Bildmodalitäten, wie beispielsweise des Panoramaröntgens (Orthopantomogramm OPG), des Dentalröntgens oder des Fernröntgens in die navigierte orale Implantologie ist bisher nicht möglich. Es existieren heute eine Vielzahl digitaler Röntgengeräte, die durch eine nahezu verzerrungsfreie Darstellung wie auch eine sehr hohe Bildauflösung gekennzeichnet sind.

3 Methoden

Der Tubusadapter besteht aus einem Ring, der sich auf die rohrförmigen Aufsätze verschiedener Röntgengeräte aufsetzen lässt (siehe Abb. 1). Der Ring ist mit zwei seitlichen Führungen versehen, in denen zwei Rundstäbe zur distalen Verschiebung eines Aufnahmeflansches geführt werden. In den Aufnahmeflansch kann zur Kalibrierung der Strahlenquelle oder des Röntgensensors durch eine Rastverbindung ein digitaler Röntgensensor eingesetzt werden. Der Aufnahmeflansch und der Röntgensensor sind dann parallel zum distalen Abschluss des Röntgentubus zu verschieben. Der Abstand der Aufnahmeflansches zum Röntgentubus kann individuell zwischen 0 und 100 mm eingestellt werden. Distale und proximale Rasten in den Linearführungen gewährleisten eine Positionierung des Sensors in definierten Abständen. Am Tubusadapter ist ein optischer Lokalisator zur Positionsbestimmung der Röntgenquelle im Raum befestigt. Orthogonal zur Aufnahme richtung ist in den Tubusadapter eine Kalibrierplatte fest eingesetzt. In diese sind Röntgenmarker eingebracht, deren Lage relativ zum Lokalisator des Tubusadapters konstruktiv festgelegt sind.

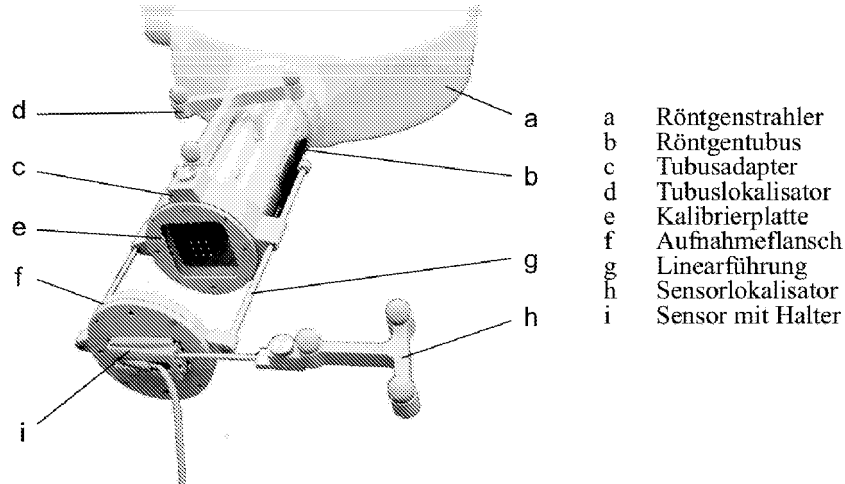
Der verwendete digitale Röntgensensor hat eine Auflösung von 1200 x 800 Bildpunkten bei einer aktiven Aufnahme fläche von 30 x 20 mm. Er ist durch einen Rastverschluss fest mit einem optischen Lokalisator verbunden, wobei die Rast eine individuelle Befestigung des Sensors zur Aufnahme von Röntgenbildern im Vorder- und Seitenzahnbereich für Ober- und Unterkiefer ermöglicht.

Zur Gewichtsminimierung sowie intraoperativen Anwendung des Instrumentensets wurden alle Komponenten aus in Nassdampf zu sterilisierenden Materialien (Polyetheretherketon PEEK und Edelstahl) gefertigt. Die Dampfsterilisation ist ein sehr weit verbreitetes und aufwandsminimales Verfahren zur hygienischen Aufbereitung medizinischer Instrumente.

3.1 Kalibrierung des Röntgensensors

Vor einer Anwendung des Tubusadapters zur navigierten Bildaufnahme ist das Instrumentenset zu kalibrieren. Hierzu sind der digitale Röntgensensor und des-

Abb. 1. Der auf einen Röntgenstrahler aufgesetzte Tubusadapter mit Kalibrierplatte und Lokalisator. An der Linearführung befestigt ist der Aufnahmeffansch, der den Röntgensensor hält.



sen Lokalisator miteinander zu verbinden und in den Aufnahmeffansch einzusetzen. Anschließend wird ein Projektionsbild aufgenommen, bei dem der Röntgensensor unmittelbar parallel auf der Kalibrierplatte aufliegt (Abstand des Röntgensensors ist null). In die Kalibrierplatte sind Marker eingearbeitet, die im Projektionsbild erkannt werden müssen. Es sind Kalibrierplatten mit unterschiedlicher Anzahl und Anordnung der Marker wie auch verschiedener Markermaterialien und -geometrien untersucht worden. Für eine initiale Anwendung wurde eine Kalibrierplatte mit drei kleinen, in einer Ebene liegenden Metallkugeln verwendet.

Bei einer erfolgreichen Detektion der Markerprojektionen im Aufnahmebild zunächst die Lage der Marker im Sensorbild $^{Sensor}T_{Marker}$ bestimmt. Mit dieser Transformation kann nun die Lage des Röntgensensors zu dessen Lokalisator bestimmt werden:

$$^{SensorLoc}T_{Sensor} = \left(^{Cam}T_{SensorLoc} \right)^{-1} \cdot ^{Cam}T_{X-rayLoc} \cdot ^{X-rayLoc}T_{Marker} \cdot \left(^{Sensor}T_{Marker} \right)^{-1} \quad (1)$$

wobei $^{Cam}T_{X-rayLoc}$ und $^{Cam}T_{SensorLoc}$ die Lage der Lokalisatoren vom Röntgenstrahler und Sensor zur Navigationskamera beschreiben. Mit dieser Transformation ist die Zuordnung einer Projektionsaufnahme zu einer Position im Raum möglich.

3.2 Kalibrierung der Röntgenquelle

Jeder Röntgenstrahler ist vor der navigierten Bildaufnahme einmalig zu kalibrieren. Dies ist notwendig, um mögliche räumliche Verzerrungen infolge eines

konischen oder anderweitig verzerrten Strahlengangs zu kompensieren. Durch die Aufnahme von Projektionsabbildungen in verschiedenen Abständen zwischen Röntgenstrahler und digitalem Röntgensensor kann die Geometrie des Strahlengangs analysiert werden.

4 Ergebnisse

Es wurde ein Tubusadapter für ein dentales Röntgengerät entwickelt der eine navigierte Bildakquisition ermöglicht, die sich für Planungen und Behandlungen mittels dentaler Navigationssysteme eignet. Der Tubusadapter ist einfach zu verwenden, da er nur auf den Röntgentubus aufgeschoben werden muss. Er ist in Verbindung mit verschiedenen dentalen Röntgenstrahlern zu verwenden. Eine Kalibrierung von digitalen Röntgensensoren ist durch einfache Bedienung jederzeit möglich. Fehlerhafte Aufnahmen während der Kalibrierung werden automatisch erkannt und angezeigt. Der vorgestellte Tubusadapter eignet sich zur Analyse des Strahlengangs von digitalen Röntgengeräten und einer auf dieser aufbauenden

5 Diskussion

Durch den entwickelten Tubusadapter lässt sich ein intraoraler Röntgenstrahler für die navigierte Bildgebung erweitern. Damit kann dieser Röntgenstrahler als Bilddatenquelle für die navigierte Planung und Insertion von Dentalimplantaten genutzt werden. Dieses neuartige System zeichnet sich durch eine deutlich geringere Strahlenbelastung in Vorbereitung der Planung und computerassistierten Behandlung in der oralen Implantologie aus. Auf aufwendige tomographische Aufnahmetechniken (CT, DVT) kann verzichtet werden. Das System eignet sich besonders für minimalinvasive Eingriffe mit kleineren anatomischen Zielvolumina und für den Einsatz der Navigation in Anwendungsfällen, in denen bisher aus Gründen der Strahlenbelastung sowie aus Kostengründen auf eine navigierte Unterstützung verzichtet werden musste.

Der entwickelte Tubusadapter ist im praktischen Gebrauch einfach zu handhaben und leicht in bestehende Navigationssysteme der oralen Implantologie zu integrieren. In folgenden Arbeiten soll die Genauigkeit des Systems bei Variation der Kalibrierplatten evaluiert werden. Es ist vor allem zu überprüfen, ob alternative Kalibrierungskörper als der zur Zeit verwendete bessere Ergebnisse erzielen. Voraussetzung der Anwendung des Tubusadapters am Menschen ist dessen Zulassung nach dem Medizinproduktegesetz.

6 Danksagung

Die Forschungsarbeiten wurden an der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie – Klinische Navigation und Robotik, Prof. Dr. Dr. Jürgen Bier und Prof. Dr. Tim Lüth, Charité – Universitätsmedizin Berlin und dem Fraunhofer

Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK, Prof. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann, durchgeführt. Die Arbeit wurde unterstützt durch die Alfried Krupp von Bohlen und Halbach-Stiftung. Teile der Forschung wurden finanziell unterstützt vom Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE), der Deutschen Krebshilfe (gewährt an Prof. Dr. Dr. J. Bier, PD Dr. P. Wust) und der Berliner Sparkassenstiftung Medizin (gewährt an Prof. Dr. T. Lüth, Dr. Dr. Ernst Heissler, Prof. Dr. Dr. Berthold Hell). Spezieller Dank gilt den folgenden Firmen für ihre Unterstützung des Projektes: RoboDent, Altatec, Ziehm Instrumentarium, Planmeca, Straumann, Medtronic und Philips.

Literaturverzeichnis

1. Szymanski D, Hein A, Lueth TC: Navi-X – A Planning and Treatment System for Dental Implantology Based on Navigated Projection Images. Procs CARS 2003: 1243–1249, 2003.
2. Schermeier O, Hildebrandt D, Lueth TC, et al: Accuracy of an Image Guided System for Oral Implantology, Procs CARS 2001: 702-706, 2001.