

Ein routine-integrierbares Planungswerkzeug zur operativen Rekonstruktion der Orbita

Melanie Kleiner¹, Dirk Schulze², Pit Jakob Voss², Thomas M. Deserno¹

¹Institut für Medizinische Informatik, RWTH Aachen

²Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (ZMK), Freiburg

Melanie.Kleiner@rwth-aachen.de

Kurzfassung. Bei Frakturen des Orbitabodens kann ein Titangitter zur Rekonstruktion operativ eingesetzt werden. In dieser Arbeit wird ein Planungswerkzeug entwickelt, welches mit Hilfe eines aktiven Konturmodells die Orbita in CT Daten segmentiert, ihr Volumen berechnet und visualisiert. Neben den technischen Integrationsstufen der Funktions- und Präsentationsintegration, welche durch den Einsatz des Medical Imaging Interaction Toolkit (MITK) erreicht werden, sowie der Daten-, und Kontextintegration ist vor allem die Stabilität der eingesetzten Algorithmik für die Routine-Integrierbarkeit wichtig. Erste Stabilitätsuntersuchungen basieren auf 3 von 100 zufällig ausgewählten CT-Datensätzen, wobei das Volumen mit je 50 verschiedenen Startpunkten berechnet wurde. Die so ermittelten Variationskoeffizienten liegen deutlich unterhalb der kritischen 5 % Schwelle.

1 Einleitung

Frakturen des Orbitabodens sind eine der häufigsten Frakturen in der Gesichts- und Kieferchirurgie [1]. Um die Sehfähigkeit weitestgehend wiederherzustellen, wird bei einer in der klinischen Erprobung befindlichen Methode operativ ein Titangitter eingesetzt. Es wird davon ausgegangen, dass das rekonstruierte Volumen dabei eine entscheidende Rolle spielt. Die Operationsplanung kann also durch eine robuste prä- und postoperative Volumenberechnung anhand von Computer Tomographie (CT) Daten sowie einer geeigneten Visualisierung entscheidend und effizient unterstützt werden.

Für die Segmentierung dreidimensionaler CT-Daten existieren viele Methoden. Regionenbasierte Verfahren, wie das Watershed-Verfahren, sind aber nicht in der Lage, Lücken in der Kontur zu schließen. Aktive Formmodelle würden die Form der Orbita in Bezug auf Frakturen zu weit einschränken. Aktive Konturmodelle hingegen liefern immer eine geschlossene Kontur und können sehr unterschiedliche Formvarianten erkennen. Die Segmentierung der Orbita wird daher mit einem diskreten, aktiven Konturmodell durchgeführt [2]. Robuste Parametrierung, Stabilität und Korrektheit sind weitere Grundvoraussetzungen für die Integrierbarkeit des Planungswerkzeugs in die medizinische Routine [3]. Hierzu gehört auch die Möglichkeit des Anwenders, das Segmentierungsergebnis zu

kontrollieren. In diesem Beitrag wird dargestellt, wie mit Hilfe des Medical Imaging Interaction Toolkits (MITK), das am Deutschen Krebsforschungszentrum (DKZ) in Heidelberg entwickelt wird, ein routine-integrierbares Planungswerkzeug zur operativen Rekonstruktion der Orbita erstellt wird.

2 Material und Methoden

Von dem Werkzeug müssen die Arbeitsschritte 1. Einlesen der Bilddaten, 2. Initialisierung, 3. Segmentierung, 4. Visualisierung, 5. Volumenbestimmung, 6. Spiegelung und Seitenvergleich, 7. Berechnung des Implantates und 8. Ausgabe der Modellparameter abgebildet werden. Diese Funktionen wurden mit MITK realisiert. MITK verbindet das Insight Segmentation and Registration Toolkit (ITK), mit dem Visualization Toolkit (VTK) [4] und ist besonders für Endanwendungen in der klinischen Praxis geeignet [5]. Zusätzlich bietet das MITK eine Standard-Applikation, in die auf einfache Weise eigene Module eingebettet werden können, sowie Klassen zur Interaktion des Benutzers mit den Bilddaten. Durch die Verwaltung in einer Baumstruktur, können unterschiedliche Strukturen in Relation zu einander dynamisch verwaltet und gleichzeitig in verschiedenen Ansichten konsistent angezeigt werden.

Für die Routine-Integrierbarkeit ist neben der eigentlichen Verfügbarmachung der Bildverarbeitungsalgorithmen sowie den Kontrollmöglichkeiten für den Anwender, welche durch eine geeignete Interaktion realisiert werden können, vor allem die Stabilität des Verfahrens wichtig, was methodisch sauber untersucht werden muss [3]. Hierzu stehen CT-Datensätze von 100 Probanden ohne Frakturen der Orbita zur Verfügung.

2.1 Integrationsstufen

Zunächst lässt sich die Integration einzelner Module zu einem System auf verschiedenen Ebenen untersuchen [6]:

1. *Datenintegration* bedeutet, dass das Planungswerkzeug auf die Daten im PACS Archiv direkt zugreifen kann. Dies ist über das Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM) Protokoll prinzipiell möglich und soll zu einem späteren Zeitpunkt realisiert werden.
2. *Funktionsintegration* bedeutet, dass das Werkzeug von der Arbeitstation des Anwenders aufrufbar ist. Da MITK auf plattformunabhängigen Komponenten aufsetzt, kann das Programm sowohl auf Windows- als auch auf Linux/Unix-Rechnern betrieben werden.
3. *Präsentationsintegration* bedeutet, dass Oberfläche und Bedienung vergleichbar zu Standardmodulen auf dem Computer des Anwenders ist. Auch dies ist durch den Einsatz von MITK gegeben.
4. *Kontextintegration* bedeutet, dass der Zusammenhang (z.B. Patient) zwischen den Applikationen (z.B. Befundungssoftware und Planungswerkzeug) automatisch ausgetauscht wird. Hierfür stehen proprietäre Schnittstellen der Befundungssoftware zur Verfügung.

2.2 Stabilität

Stabilität bedeutet, dass für eine klinische Situation immer der gleiche Messwert ermittelt wird, unabhängig von (tolerierbaren) Variationen in der Verfahrensparmetrierung und den (manuellen) Komponenten bei der Initialisierung. Das Planungswerkzeug muss zum einen die Stabilität in Bezug zum gewählten Startpunkt, zum anderen die stabile Schließung der Orbita, und zuletzt die stabile Segmentierung bei unterschiedlichem Bildmaterial gewährleisten. Um die Auswirkungen von schwankenden Startpunkten zu minimieren, ist ein semi-automatisches Verfahren, welches den manuellen Startpunkt noch einmal verschiebt, integriert. In der Umgebung des manuell gewählten Startpunktes wird auf einen Bereich von 40-50 Hounsfield Einheiten eine dreidimensionale Hough-Transformation mit Radius 12mm angewendet, welche den Bulbus Oculi (Augapfel) als Kugel lokalisiert. Der Startpunkt wird auf den Mittelpunkt des Bulbus verschoben. Die Stabilität wird mit folgendem Experiment überprüft:

1. *Hypothese*: Das Verfahren ist unabhängig von der manuellen Wahl des Startpunktes.
2. *Durchführung*: In 3 zufällig ausgewählten Datensätzen wird die Initialisierung an jeweils 50 zufällig bestimmten Voxeln innerhalb der Orbita durchgeführt und das Volumen bestimmt.
3. *Ergebnis*: Das Verfahren wird als hinreichend stabil angesehen, wenn der Variationskoeffizient $< 5\%$ ist [3].

3 Ergebnisse

In dem entwickelten Planungswerkzeug wurden die ersten Arbeitsschritte zur Planung der operativen Rekonstruktion der Orbita bereits realisiert. CT-Daten können vom Benutzer geladen und betrachtet werden. Eine manuelle Startpunktwahl wie auch eine semi-automatische Initialisierung durch automatische Verschiebung auf die Bulbusmitte sind implementiert, sodass der Segmentierungsprozess gestartet, und die Segmentierung als Oberfläche betrachtet werden kann. Das Volumen wird auf beiden Seiten berechnet und gegenübergestellt (Abb. 1). Mit Standard-Komponenten des MITK lassen sich die Daten auch als Volumen visualisieren, Distanzen messen, sowie einzelne Achsen/Teilsegmentierungen oder Ähnliches ein- und ausblenden (Abb. 2). Die Mittelwerte, Standardabweichungen und Variationskoeffizienten der Stabilitätstests sind in Tabelle 1 dargestellt.

4 Diskussion

Die ersten Arbeitsschritte zur Planung der operativen Rekonstruktion der Orbita konnten erfolgreich in ein Planungswerkzeug integriert werden, welches nun bereits wertvolle Informationen und Möglichkeiten bietet, um das Orbitavolumen von Patienten zu messen und zu beurteilen. Die Stabilität des Verfahrens konnte

Tabelle 1. Standardabweichung (cm^3), Mittelwert (cm^3) und Variationskoeffizient (%) des Volumens von Segmentierungen mit je 50 zufällig gewählten Startpunkten

Patient	σ	\bar{x}	σ/\bar{x}
1	0,8081	31,0066	2,6063 %
2	0,2118	22,5309	0,9399 %
3	0,1064	27,3546	0,3889 %

in einer kleinen Validierungsstudie belegt werden, da der Variationskoeffizient in allen Fällen deutlich unter 5% lag. Diese Zahlen bestätigen die Ergebnisse einer ersten nicht repräsentativen Untersuchung [7].

Eine Erweiterung des Planungswerkzeuges um die virtuelle Modellierung und Anpassung eines Gitters ist bereits in Arbeit und wird das Planungswerkzeug in seiner Funktionalität abschließen. Für den Einsatz in der klinischen Routine ist auch die Korrektheit (das gemessene Orbitavolumen entspricht dem tatsächlichen Volumen) entscheidend, welche bisher noch nicht überprüft wurde. Da wie in der medizinischen Bildverarbeitung häufig auch in dieser Anwendung keine gesicherten Ground-Truth-Informationen verfügbar sind, kann die Korrektheit nur indirekt mit einem Vergleich des Orbitavolumens rechts und links bei Patienten ohne Orbitafrakturen unter der Annahme, dass diese Volumina gleich sind, erfolgen.

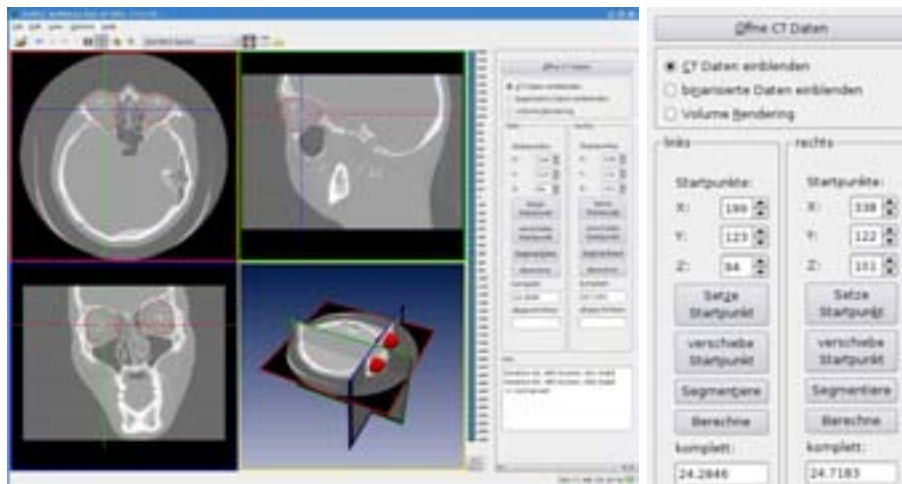
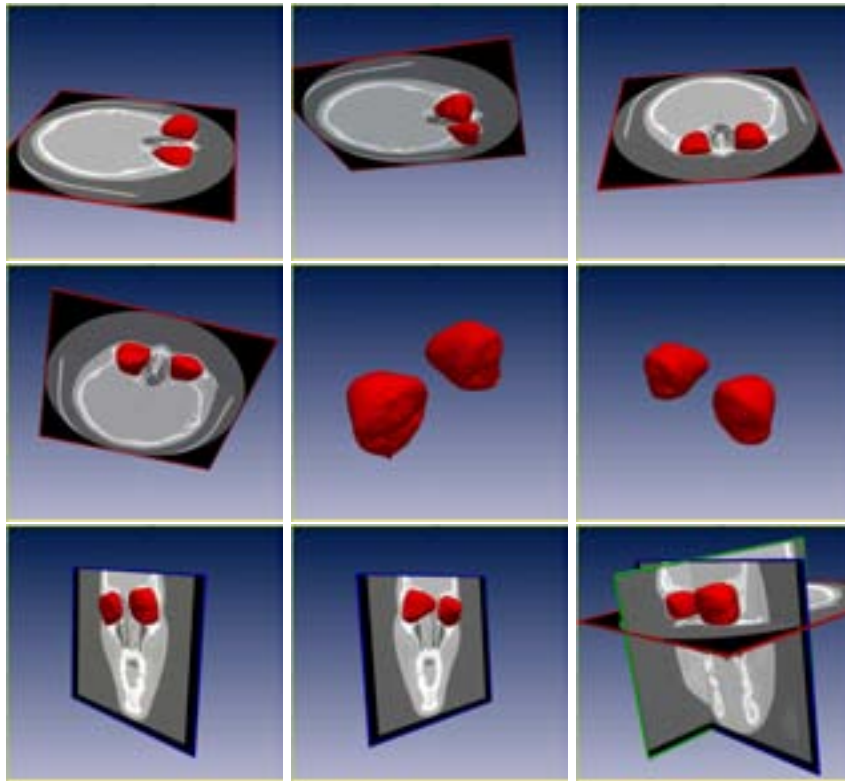


Abb. 1. MITK-basiertes Planungswerkzeug. Die übersichtlichen Funktionstasten sind im rechten Teil der Abbildung vergrößert dargestellt. Für linke und rechte Seite können die Arbeitsschritte: Setzen und Korrigieren der Startpunkte, Segmentierung und Volumenberechnung einzeln durchgeführt werden

Abb. 2. Verschiedene mit MITK generierte 3D Ansichten der segmentierten Orbita



Literaturverzeichnis

1. Shere JL, Boole JR, Holtel MR, et al. An analysis of 3599 midfacial and 1141 orbital blow out fractures among 4426 United States Army Soldiers, 1980-2000. *Otolaryngology*;130(2):164–70.
2. Bredno J, Lehmann TM, Spitzer K. A general discrete contour model in 2, 3 and 4 dimensions for topology-adaptive multi-channel segmentation. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell.* 2003;25(5):550–63.
3. Lehmann TM. *Digitale Bildverarbeitung für Routineanwendungen.* Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden; 2005.
4. Wolf I, Vetter M, Wegner I, et al. The Medical Imaging Interaction Toolkit (MITK): A toolkit facilitating the creation of interactive software by extending VTK and ITK. *Proc SPIE.* 2004;5367:16–27.
5. Bitter I, Uitert RV, Wolf I, et al. Comparison of four freely available frameworks for image processing and visualization that use ITK. *IEEE Trans Vis Comput Graph.* 2007;13(3):483–93.
6. Winter A, Ammenwerth E, Brigl B, et al. *Krankenhausinformationssysteme; 2005.* In: *Handbuch der Medizinischen Informatik,* München: Hanser Verlag.
7. Deserno TM, Kleiner MEH, Schulze D, et al. Automatic volumetry for surgical reconstruction of the orbit; 2007. Poster presented at MedInfo2007, Brisbane.