

Modellgestützte chirurgische Rekonstruktion komplexer Mittelgesichtsfrakturen

Zachow S.¹, Kubiack K.³, Malinowski J.¹, Lamecker H.¹, Essig H.², Gellrich N.²

¹Zuse-Institut Berlin (ZIB)

²Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Medizinische Hochschule Hannover

³hi.dent, Praxis für Zahnheilkunde, 30173 Hannover

zachow@zib.de

Kurzfassung

Vorgestellt wird ein innovatives Verfahren zur objektiven Bestimmung der Knochenanordnung bei bilateralen Mittelgesichtsfrakturen, inklusive der Möglichkeit einer planungsgerechten, bild- und navigationsgestützten Repositionierung dislozierter Knochenfragmente. Dazu wird ein statistisches Formmodell des "gesunden", "normal geformten" knöchernen Mittelgesichtsschädels an noch intakte Bereiche des traumatisierten Schädels angepasst. Das Formmodell liefert nach seiner Anpassung eine Formvorgabe für die zerstörte Region. Der Operationsvorschlag in Form des angepassten Formmodells wird in den Bildraum übertragen und kann so im DICOM Format exportiert werden. Diese Daten können intra-operativ im Overlay mit den tomografischen Bilddaten visualisiert werden. Mittels bild- und navigationsgestützter Verfahren lassen sich einzelne Knochengsegmente exakt über die im Overlay dargestellte und per Navigation lokalisierbare Formvorgabe positionieren und in vorgegebener Position fixieren. Auf diese Art ist eine objektive Rekonstruktion eines frakturierten Mittelgesichtes praktisch umsetzbar.

1 Motivation

Operative Eingriffe am knöchernen Gesichtsschädel bei komplexen, mittellinienüberschreitenden Defekten (z.B. Huftrittfrakturen, siehe Abb. 1) erfordern eine hohe Präzision, sowohl bei der Durchführung, als auch bei der Planung. Ziel ist eine funktionelle, natürlich und harmonisch aussehende Rekonstruktion des frakturierten Gesichtsschädels. Eine Spiegelung der intakten Gesichtshälfte ist bei bilateralen Defekten nicht möglich. Liegt keine objektive Planungsgrundlage in Form von prätraumatischen tomografischen Bilddaten vor, dann obliegt die Anordnung dislozierter Knochenfragmente dem subjektiven Empfinden und dem Geschick des Operateurs.

Zielvorstellung zur Verbesserung dieser Situation ist die Schaffung einer objektiven Rekonstruktionsvorlage, über die eine chirurgische Wiederherstellung (ggf. sogar eine Verbesserung) der prätraumatischen Anatomie möglich ist. Daraus resultieren die folgenden Fragen: 1) Was ist eine objektive Grundlage zur Modellierung des knöchernen Mittelgesichtes? und 2) Wie kann man einen Operateur in die Lage versetzen, eine geplante Rekonstruktion praktisch umzusetzen? Eine weitere Frage, die in diesem Zusammenhang beantwortet werden muss, lautet: 3) Wie schnell kann eine Planungsgrundlage für einen traumatisierten Patienten vorliegen, um sie bereits in der ersten (Not-)Operation berücksichtigen zu können?

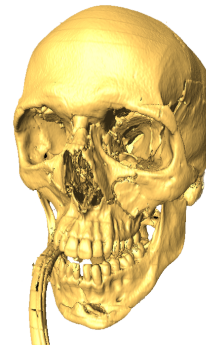


Figure 1 Mittelgesichtstrauma (geom. Rekonstruktion aus CT-Daten)

2 Methode

Die Frage nach einer objektiven Grundlage zur Rekonstruktion einer sehr ausgeprägten Mittelgesichtsfraktur lässt sich nur über statistische Verfahren beantworten. Jede Gesichtsforn ist anders, doch die grundsätzliche Form ist bei allen Menschen gleich. Somit muss die individuelle Variabilität über eine repräsentative Stichprobe untersucht und in einem sogenannten statistischen Formmodell bereitgestellt werden [1]. Das Formmodell liefert dann eine gemittelte Gesichtsforn inklusive einer Beschreibung des durch die Variabilität aufgespannten Formenraumes. Mittels Hauptkomponentenzerlegung lassen sich alle Gesichter der Stichprobe über

die mittlere Form in Kombination mit ihren sogenannten Eigenmoden beschreiben. Zusätzlich kann im gesamten Formenraum durch eine Linearkombination unterschiedlich gewichteter Eigenmoden interpoliert werden, was die Anpassung des statistischen Formmodells an individuelle Formausprägungen möglich macht.

Ein solches Formmodell, das bei geeigneter Wahl der Stichprobe ein durchschnittliches "gesundes" und "normal geformtes" Mittelgesicht repräsentiert, kann, wie vorab beschrieben, an individuelle Gesichtsmerkmale angepasst werden [2, 3]. Für die chirurgische Rekonstruktion eines traumatisierten Mittelgesichtes müssen diese Merkmale sorgfältig gewählt werden. Es können von der Fraktur unbetroffene Regionen oder klar definierbare anatomische Landmarken gewählt werden. Nach der Anpassung interpoliert das Formmodell die individuelle Gesichtsform über die vorgegebenen Merkmale und liefert für den zerstörten Teil des Mittelgesichtes eine objektive Formvorlage, die aus der teilindividualisierten, durchschnittlichen Form des Mittelgesichtes resultiert (Abb. 2).

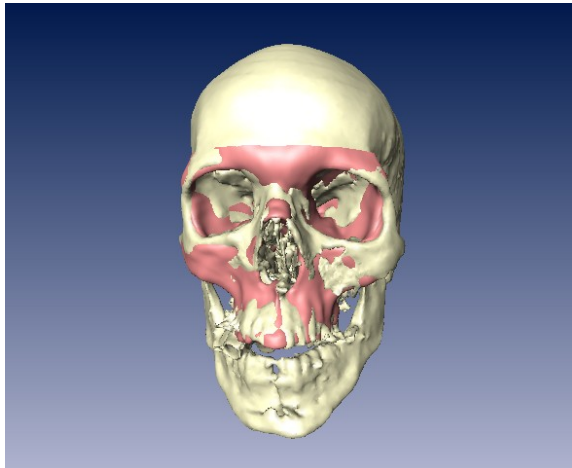


Figure 2 Rekonstruktionsvorschlag auf Basis eines statistischen Formmodells des Mittelgesichtes (in rot)

Die Frage nach der Umsetzungsmöglichkeit einer solchen Planung ist bislang noch unbeantwortet. Aus der Planung ließe sich ein physisches Modell mittels 3D Drucktechnik fertigen, das sterilisiert mit in den OP genommen werden könnte. Auf einem solchen Modell ließen sich Osteosynthesen konfektionieren, oder durch Verwendung von Navigations- und Registrierungstechniken Punkte lokalisieren, die im Bilddatensatz oder auch direkt am Patienten zugeordnet werden können. Ein innovativer Ansatz ist, das registrierte Planungsmodell direkt in das Bildvolumen der tomografischen Daten zu übertragen und dem Operateur in einem navigationsgestützten Verfahren als den Bilddaten überlagerte Sicht zu präsentieren (siehe Abb. 3). Zu diesem Zweck wurde von uns ein spezielles Rasterisierungsverfahren entwickelt, das diese Übertragung des in seiner Form angepassten geometrischen Modells in das Bildvolumen ermöglicht.

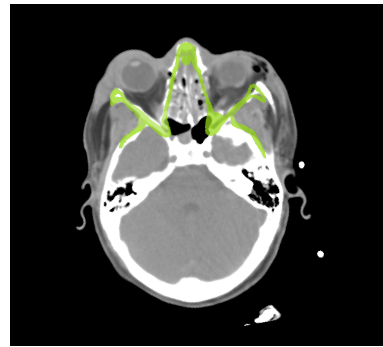


Figure 3 Überlagerte Darstellung der CT-Daten und des Rekonstruktionsvorschlages (in grün)

3 Ergebnisse und Diskussion

Das vorgestellte Verfahren zur verbesserten Planung und Umsetzung einer komplexen Mittelgesichtsfraktur wurde von uns in einem ersten klinischen Fall erprobt und erscheint praxistauglich und vielversprechend [?]. Mobilisierte Knochenfragmente lassen sich unter Navigationskontrolle im Bilddatenraum positionieren. Die Position kann durch überlagerte Darstellung der Planungsvorgabe mit den tomografischen Bilddaten direkt in beliebigen Schnittansichten überprüft werden. Nach geplanter Positionierung können die Segmente mit Osteosynthesen fixiert werden.

Die Planung auf Basis der Bilddaten und dem aus derzeit 50 Datensätzen bestehenden statistischen Formmodell benötigt nur wenige Minuten. Die Planungsschritte sind: 1) Einlesen der CT-Daten des jeweiligen Patienten, 2) Anpassung des Formmodells an die Bilddaten bei vorheriger Spezifikation von bevorzugten Regionen und 3) Rasterung des Formmodells und Export der Planungsdaten im DICOM Format zum Einlesen in die Navigationssoftware. Wir glauben mit diesem Ansatz ein praxistaugliches Verfahren zur computergestützten Planung der chirurgischen Rekonstruktion von bilateralen Mittelgesichtsfrakturen gefunden zu haben. Eine Erweiterung des statistischen Formmodells des Mittelgesichtes sowie weitere klinische Einsätze sind geplant.

4 References

- [1] Lamecker, H.: Variational and statistical shape modeling for 3d geometry reconstruction. Ph.d. thesis, Freie Universität Berlin, Fachbereich Mathematik und Informatik (P. Deuffhard), October 2008
- [2] Zachow, S.; Lamecker, H.; Elsholtz, B. et al.: Reconstruction of mandibular dysplasia using a statistical 3D shape model. In Proc. Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS), Berlin, Germany, pp. 1238–1243
- [3] Lamecker, H.; Zachow, S.; Hege, H.-C. et al.: Surgical treatment of craniosynostosis based on a statistical 3D-shape model: First clinical application. Int. J. Computer Assisted Radiology and Surgery, 1(1) (2006) pp. 253–255