

Anwendung eines semi-automatischen Algorithmus zur Segmentierung des Mastoid für die OP-Planung an der lateralen Schädelbasis

Florian Dammann¹, Erwin Schwaderer¹, Zein Salah², Markus Kastner¹,
Marcus M. Maassen³ und Dirk Bartz²

¹Universitätsklinik Tübingen, Abt. für Radiologische Diagnostik,
Hoppe-Seyler-Strasse 3, 72076 Tübingen

²WSI/GRIS – VCM, Universität Tübingen, Sand 14, 72076 Tübingen

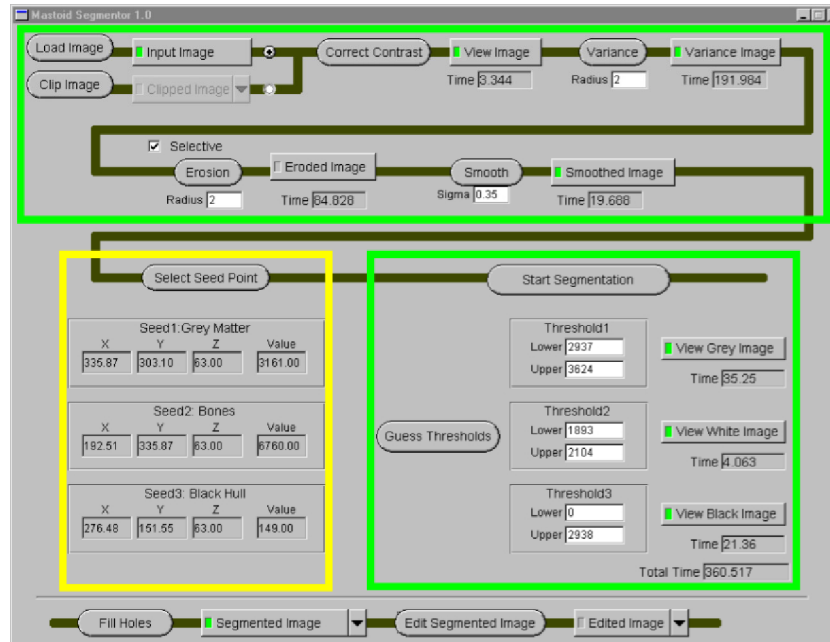
³Universitätsklinik Tübingen, Klinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde
Elfriede-Aulhorn-Strasse 5, 72076 Tübingen Email:
florian.dammann@med.uni-tuebingen.de

Zusammenfassung. Bildgestützte 3-dimensionale Operationsplanungen für die laterale Schädelbasis beruhen derzeit auf einer manuellen Bearbeitung von CT-Schichtdaten. Diese ist sehr zeitaufwändig und erfordert eine hohe Anwenderexpertise. In der vorgestellten Studie haben wir einen neu entwickelten semiautomatischen Algorithmus zur Segmentierung einer Felsenbeinaushöhlung in CT-Datensätzen in einer ersten klinischen Anwendung auf Robustheit, Ergebnisqualität und Zeiteffizienz untersucht und für einen Einsatz in der Klinik optimiert. Alle Datensätze waren mit dem Algorithmus problemlos zu bearbeiten. Der Zeitaufwand für ein qualitativ hochwertiges Ergebnis konnte im Vergleich zum bisherigen Vorgehen auf ein Drittel reduziert werden. Der semiautomatische Algorithmus scheint damit gut geeignet, eine Vereinfachung und Beschleunigung des OP-Planungsprozesses zu ermöglichen.

1 Problemstellung

Eine Mastoidektomie, also eine operative Entfernung der schaumzellenhaltigen Knochenanteile des Felsenbeins an der seitlichen Schädelbasis, ist ein chirurgisches Standardverfahren, das sowohl zur Behandlung von Erkrankungen als auch zur Einbringung vollständig implantierbarer medizinischer Geräte in diesem Bereich durchgeführt wird. Aufgrund der individuell sehr unterschiedlichen anatomischen Verhältnisse ist eine zuverlässige präoperative Planung erforderlich. Für eine Implantationsplanung ist dabei sowohl ein ausreichendes Platzangebot am definitiven Ort des Implantats als auch die Eignung des Zugangsweges zu überprüfen. Eine wesentliche Grundlage für eine zuverlässige Planung besteht in der Bestimmung der maximal möglichen Größe und Form der Knochenaushöhlung. Diese ist durch die knöchernen Grenzen des Felsenbeins und die Lage von lebenswichtigen anatomischen Strukturen definiert.

Abb. 1. Benutzerschnittstelle zur semiautomatischen Felsenbeinsegmentierung. Grün umrandet: automatische Arbeitsschritte; gelb umrandet: Tools zur manuellen Korrektur.



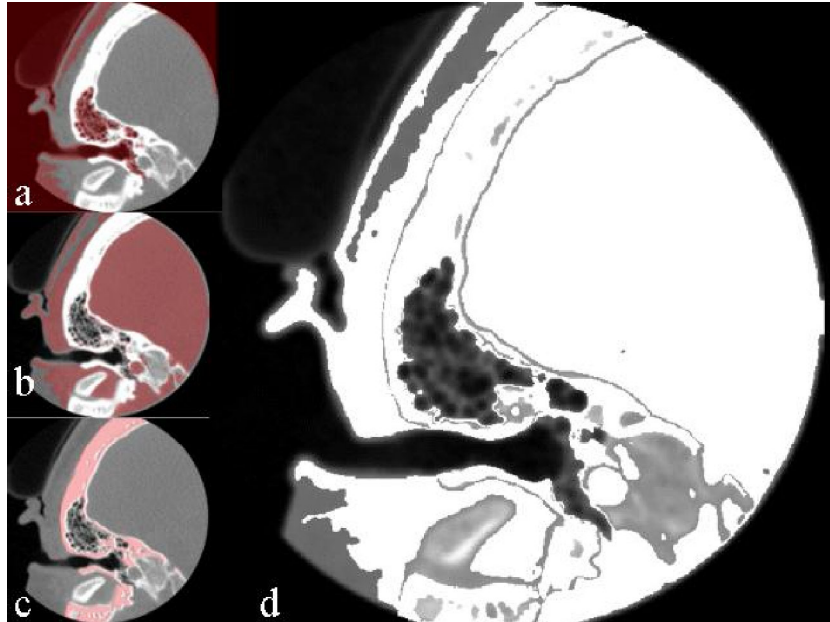
2 Stand der Forschung

Eine dreidimensionale CT-basierte Operationsplanung hat sich als zuverlässigste und aussagekräftigste Methode für den o.g. Zweck bewährt [1]. Grundlage ist bislang eine manuelle schichtweise Segmentierung der Mastoidstrukturen im CT-Datensatz. Diese Methode zeichnet sich zwar durch eine hohe Vorhersagezuverlässigkeit der Mastoidaushöhlung aus, ist aber sehr zeitaufwendig und erfordert eine besondere Expertise hinsichtlich der anatomischen Detailstrukturen [2].

3 Wesentlicher Fortschritt durch den Beitrag

Deshalb haben wir einen semiautomatischen Algorithmus entwickelt, der bei gleicher anatomischer Vorhersagegenauigkeit des Operationsergebnisses (Größe und Lage der erzielbaren Mastoidektomie-Höhle) eine Vereinfachung und Beschleunigung des OP-Planungsprozesses ermöglichen soll [3]. In einer ersten klinischen Anwendung soll die prototypische Softwareentwicklung auf Robustheit, Ergebnisqualität und Zeiteffizienz untersucht und für einen Einsatz in der Klinik optimiert werden.

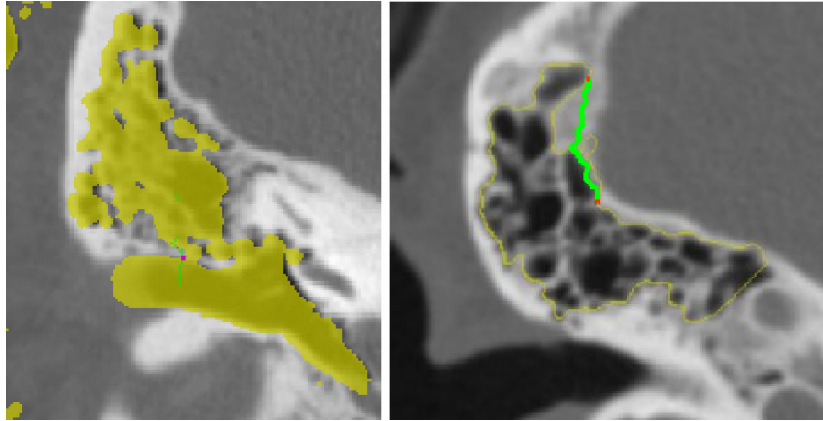
Abb. 2. In den vorverarbeiteten CT-Datensätzen werden nach Saatpunktplatzierung automatisch drei unterschiedliche Kompartimente extrahiert: a) spongiöser Knochen im Felsenbein; b) Weichteilstrukturen einschließlich subcutanen Fetts und intracranieller Strukturen; c) kortikaler Knochen des Felsenbeins und der Kalotte. D) zeigt nach Fusion von a)-c) das zusammengefasste Segmentierungsergebnis.



4 Methoden

Präoperative CT-Datensätze von 15 Patienten, bei denen eine Mastoidektomie zum Einsetzen eines voll implantierbaren Hörgerätes durchgeführt werden sollte, wurden für eine Operationssimulation und Planung verwendet. Hierzu wurde eine Aushöhlung des Felsenbeins in den CT-Datensätzen (“virtuelle Mastoidektomie”) zunächst manuell schichtweise von einem erfahrenen Radiologen und einem Otorhinolaryngologen durchgeführt. Unabhängig hiervon wendeten wir den von uns entwickelten semiautomatischen Algorithmus zur Mastoidsegmentierung auf die selben CT-Datensätze an (Abb. 1). Hierbei wurde in einer automatischen Vorverarbeitung der spongiöse Anteil des Mastoid nach Kontrastverstärkung durch morphologische Erosion entfernt. Verbleibende Strukturen wurden mit rekursiver Gaußscher Glättung gefiltert. Anschließend wurden die Mastoidkonturen durch eine Abfolge von schwellenwertbasierten region growing Schritten extrahiert (Abb. 2). Fallweise verbleibendes Leakage oder Ungenauigkeiten konnten mit speziellen semiautomatischen Werkzeugen (live wire, Leakage schließen) korrigiert werden (Abb. 3). Zum Schluss erfolgte ein lokales Entfernen der Schädelkalotte zur Öffnung der segmentierten Mastoidhöhle nach aussen.

Abb. 3. Semimanuelle Korrektur a) Lücken aufspüren und schliessen; b) Konturanpassung mit life wires“.



Die Resultate der manuellen und der semiautomatischen Segmentierung wurden sowohl zweidimensional durch eine schichtweise Überblendung als auch dreidimensional quantitativ durch einen softwarebasierten Oberflächenvergleich verglichen. Der Zeitaufwand wurde sowohl für die manuelle als auch für die einzelnen Schritte der semiautomatischen Segmentierung notiert.

5 Ergebnisse

Das semiautomatische Segmentierungsverfahren des Mastoid zeichnete sich in allen 15 Fällen durch eine stabile Funktion und eine einfache, intuitive Bedienbarkeit aus. Der Zeitaufwand betrug für die manuelle Segmentierung im Mittel 45 min., beim semiautomatischen Verfahren dagegen nur 17 min (min. 15 min, max. 19 min). Dabei erforderte die automatische Vorverarbeitung im Mittel 3'20“, der anschließende interaktiv-semiautomatische Anteil 13'42“.

Das semiautomatische Segmentierungsverfahren konnte die schaumzellenhaltigen Anteile des Mastoid weitgehend vollständig erfassen. In einigen Fällen wurde jedoch die Knochenlamelle zum Cerebrum nicht erkannt und die Dura durchstossen. Teils wurden auch Innenohrstrukturen arodiert, so dass hier kritische Organstrukturen fälschlicherweise nicht respektiert wurden. Diese Stellen konnten jedoch durch die Anwendung der semiautomatisch-interaktiven Werkzeuge in dem o.a. Zeitaufwand vollständig korrigiert werden.

6 Diskussion

Der präzisen Segmentierung des Mastoids in präoperativen CT-Datensätzen kommt eine Schlüsselfunktion für eine zuverlässige bildbasierte Planung von

Eingriffen an der lateralen Schädelbasis zu. Erstmals wurde hierfür ein semi-automatischer Segmentierungsalgorithmus entwickelt, der sich in der vorgestellten klinischen Anwendung bewährt hat und den Zeitaufwand im Vergleich zur herkömmlichen manuellen Segmentierung beträchtlich reduzieren konnte. Dies erleichtert wesentlich eine Anwendung der Op-Planung im klinischen Umfeld, wo sie zur Implantationssimulation, für die intraoperative Navigation und auch direkt zur Ansteuerung mechanotronischer Operationshilfen genutzt werden kann.

7 Danksagung

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im SPP 1124 „Medizinische Navigation und Robotik“ (DFG Nr. MA 1458/2).

Literaturverzeichnis

1. Maassen M, Lehner R, Dammann F, Lüdtke R, Zenner HP. Der Stellenwert der konventionellen Röntgendiagnostik nach Schüller sowie der Computertomographie des Felsenbeins bei der präoperativen Diagnostik des Tübinger implantierbaren Kochleaverstärkers. *HNO* 1998;46:220–227.
2. Dammann F, Bode A, Schwaderer E, Schaich M, Heuschmid M, Maassen M. Computer-aided surgical planning for implantation of hearing aids based on CT data in a VR environment. *RadioGraphics* 2001;21:183–190.
3. Salah Z, Bartz D, Schwaderer E, Dammann F, Maassen M, Strasser W. Segmenting the mastoid: allocating space in the head for a hearing aid implantation. In: *Procs BVM*; 2004. p. 45–49.