

3D-Nachverarbeitung in der CT-Bildgebung des Felsenbeins

Thomas Rodt^{1,2}, Sönke Bartling^{1,2}, Hartmut Burmeister²,
Kersten Peldschuss², Peter Issing³, Thomas Lenarz³,
Hartmut Becker² und Herbert Matthies¹

¹Abteilung Medizinische Informatik, Medizinische Hochschule Hannover

²Abteilung Neuroradiologie, Medizinische Hochschule Hannover

³Abteilung Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Medizinische Hochschule Hannover

Email: rodt@gmx.de

Zusammenfassung. 3D-Nachverarbeitungstechniken der CT des Felsenbeins ermöglichen eine strukturierte räumliche Darstellung und Dokumentation der komplexen Felsenbein-Anatomie und Pathologie. Datensätze von 176 Patienten wurden unter klinischen Bedingungen mit einer Mehrschicht-CT bei Verwendung eines dosisreduzierten Protokolls akquiriert. Verschiedene Nachverarbeitungstechniken wurden unter klinischen und experimentellen Bedingungen untersucht. Um die Auswirkungen großer Datensätze auf die 3D-Nachverarbeitung zu untersuchen, wurden Daten mit einem hochauflösenden Volumen-CT akquiriert und nachverarbeitet. Die 3D-Nachverarbeitung erleichterte die klinische Diagnostik und präoperative Planung in Fällen von komplexen Felsenbeinpathologien. Gegenwärtig wird die Anwendung der 3D-Nachverarbeitung durch den erhöhten Zeitaufwand und die relativ hohen Kosten in der klinischen Verwendung limitiert.

1 Einleitung

Die radiologische Beurteilung des Felsenbeines wird durch die geringe Größe der anatomischen Strukturen, die teilweise im Submillimeterbereich liegt, sowie die Komplexität der Anatomie auf kleinem Raum erschwert. Eine hochauflösende Bildgebung ist gegenwärtig mit der Mehrschicht (MS) CT-Technik möglich [1,2]. Sie erlaubt je nach Gerätetechnik heute Auflösungen von bis zu 0.5 mm in der z-Achse. Zukünftig wird durch neue CT-Techniken eine noch höhere isometrische Auflösung in allen drei Raumachsen möglich sein. Aufgrund der Menge an Informationen, die beurteilt werden müssen, werden daher Techniken nötig, die Informationen zur Beurteilung und Dokumentation strukturieren.

Hierbei könnten computergestützte Verfahren wie die 3D-Nachverarbeitung hilfreich sein. Neben der Selektion von Informationen zur Beurteilung und Dokumentation, können 3D-Darstellungen das Erlangen einer räumlichen Vorstellung der komplexen Anatomie erleichtern. Verschiedene 3D-Nachverarbeitungsalgorithmen sind für den Bereich des Felsenbeines bereits beschrieben worden.

Die technischen Grundlagen der verschiedenen Algorithmen sind in der Literatur ausführlich beschrieben [3]. Im klinischen Bereich werden gegenwärtig zur Segmentation eines relevanten Volumens überwiegend schwellenwertbasierte Verfahren oder die manuelle Segmentation verwendet. Die Berechnung der 3D-Darstellung erfolgt vorwiegend mit Hilfe von Surface Rendering (SR) und Volume Rendering (VR). Die Vor- und Nachteile dieser beiden Verfahren für den klinischen Einsatz sind in den letzten Jahren kontrovers diskutiert worden.

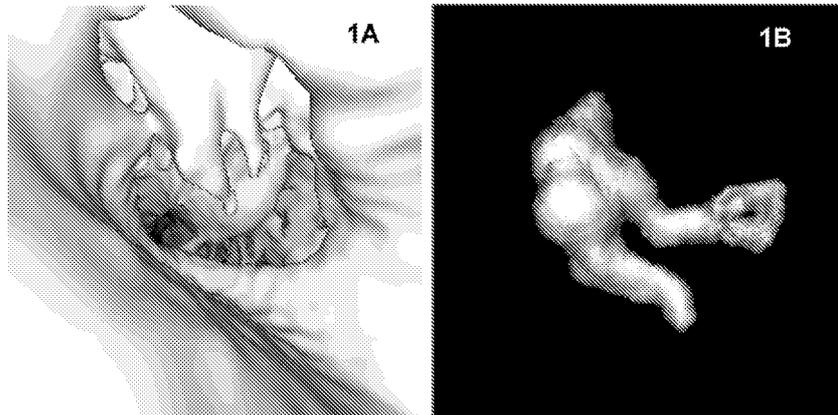
Der klinische Nutzen einer Nachverarbeitungstechnik wird durch ihre diagnostische Sicherheit und ihren Zeitaufwand bestimmt. Die daher für den klinischen Einsatz zu fordernde Standardisierung der Nachverarbeitungstechnik und Evaluation an Normalpatienten ist jedoch oft nicht gegeben. Andererseits liegt der Vorteil der 3D-Nachverarbeitung im Bereich des Felsenbeines gerade in der strukturierten räumlichen Präsentation der extrem komplexen Anatomie und Pathologie in diesem Bereich [4, 5]. Diese Komplexität wird mit zunehmender Vereinfachung der Nachverarbeitungsalgorithmen nicht mehr ausreichend erfasst und wertvolle Informationen zur korrekten Beurteilung der Anatomie und Pathologie des Felsenbeines können unterschlagen werden.

In dieser Arbeit wurden Nachverarbeitungsalgorithmen zur 3D-Darstellung der anatomischen Strukturen des Felsenbeines untersucht. Ein Algorithmus, der den klinischen Ansprüchen genügte, wurde an einem größeren Patientenkollektiv untersucht. Die Auswirkungen großer Datensätze auf die Bedeutung der 3D-Nachverarbeitung ist bislang nur unzureichend untersucht. Exemplarisch wurden daher Datensätze, die unter Verwendung einer hochauflösenden Bildgebungstechnik akquiriert wurden, mit den verschiedenen 3D-Nachverarbeitungstechniken untersucht.

2 Material und Methoden

176 Patienten wurden untersucht, davon 20 Patienten ohne morphologische Felsenbeinpathologie und 156 Patienten mit Pathologien des Mittel- und Innenohres. Die klinische Datenakquisition erfolgte mit einem MS-CT (GE LightSpeed QX/i). Das CT besitzt 4 Detektorzeilen, mit denen eine simultane Datenakquisition im helikalen Modus möglich ist. Ein dosisreduziertes Protokoll wurde zur Datenakquisition bei 140 kV Röhrenspannung und 80 mA Anodenstromstärke verwendet. Der Pitch betrug 3 und die Schichtkollimation 1.25 mm. Anschließend erfolgte die Bildrekonstruktion unter Verwendung eines kantenbetonten 180 Lineare Interpolation Algorithmus bei 0.3 mm Rekonstruktionsintervall und 9.6 cm Blickfeld. Der Cone-Winkel wurde bei der Bildrekonstruktion am CT vernachlässigt. Weiter wurden 3 anatomische Felsenbeinmodelle unter Verwendung des klinischen Protokolls mit dem MS-CT untersucht sowie 4 anatomische Felsenbeine mit einer experimentellen Volumen CT (VCT)-Technologie, die durch Verwendung eines 20 x 20 cm großen Flachdetektors, bei einer 1024 x 1024 Matrix, eine deutlich höhere Auflösung erlaubte. Es wurden 900 Projektionsaufnahmen während einer 360° Rotation des Felsenbeines auf einer Drehscheibe aufgenommen. Die Bildrekonstruktion erfolgte mit einem Feldkamp-Davis-Kress

Abb. 1. Virtuelle Endoskopie des Mittelohres (A) mit dem SR. Ansicht eines Normalbefundes der linken Seite aus dem äußeren Gehörgang nach medial. 3D-Darstellung der Ossikel (B) mit dem VR. Ansicht eines Normalbefundes der rechten Seite von anterior-superior.



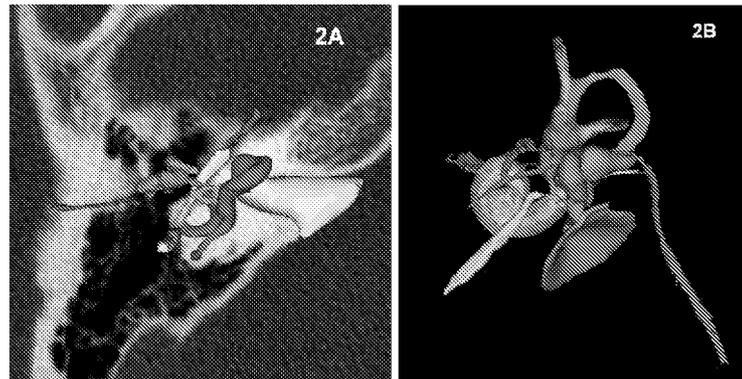
Algorithmus. Es resultierten pro Felsenbein mehr als 400 Schichtbilder mit einer isometrischen Auflösung von 0.15 mm.

Verschiedene Nachverarbeitungstechniken kamen unter Verwendung von kommerzieller (GE Advantage Windows 3.1) und experimenteller Software (Slicer; Surgical Planning Laboratory, Harvard Medical School, Boston MA, USA) zur Anwendung.

Für die klinische Diagnostik wurden bei festen Schwellenwerten 6 standardisierte virtuell endoskopische Ansichten des Cavum tympani mit dem SR-Algorithmus generiert (Abb. 1A). Nach grober manueller Vorsegmentation der Ossikel und ihrer Umgebung wurden 6 standardisierte Ansichten mit dem VR-Algorithmus erstellt (Abb. 1B). Die Darstellungsqualität des Algorithmus wurde an Normalpatienten quantitativ durch Auswertung der Darstellung von 36 anatomischen Strukturen sowie experimentell durch Vergleich mit korrespondierenden realen Ansichten evaluiert [6]. Die 3D-Darstellungen wurden mit den intraoperativen Befunden verglichen.

Weiter wurden experimentell unter Verwendung manueller und automatischer Segmentationsverfahren 3D-Modelle der einzelnen anatomischen Strukturen untersucht. Die einzelnen Modelle konnten getrennt bearbeitet und dargestellt werden. Verschiedene Visualisierungstechniken wurden untersucht. Neben 3D-Ansichten wurden unter anderem virtuell endoskopische und stereoskopische Ansichten sowie Filmsequenzen erstellt. Die 3D-Ansichten wurden mit den 2D-Schichtbildern korreliert [7]. Die Möglichkeiten der 3D-Nachverarbeitung bei der Beurteilung sehr hochauflösender Datensätze wurden anhand der VCT Datensätze aufgezeigt.

Abb. 2. 3D-Darstellung des Mittel- und Innenohres anhand von MS-CT Daten (A). Felsenbeinlängsfraktur mit Frakturfragment, das eine Dislokation des Hammer-Amboss- und des Amboss-Stapes-Gelenkes verursacht. Die 3D-Modelle der einzelnen anatomischen Strukturen sind mit einer axialen 2D-Schicht korreliert. Ansicht von inferior. 3D-Darstellung des Mittel- und Innenohres anhand von VCT Daten (B). Aufgrund der verbesserten Auflösung lassen sich deutlich mehr anatomische Substrukturen beurteilen. Normalbefund, Ansicht von lateral.



3 Ergebnisse

Die klinische 3D-Nachverarbeitung von CT-Datensätzen des Felsenbeines mit der beschriebenen Technik vereinfachte das Erlangen einer räumlichen Vorstellung der individuellen Anatomie und Pathologie. Die radiologische Beurteilung insbesondere bei komplexen Pathologien wie Missbildungen, Trauma und Implantaten wurde so erleichtert. Die Virtuelle Endoskopie ermöglichte Darstellungen, die die intraoperativen Ansichten bereits präoperativ simulierten. Aufgrund des standardisierten und an Normalpatienten evaluierten Nachverarbeitungsalgorithmus wurde die diagnostische Sicherheit erhöht und der Zeitaufwand reduziert. Es standen quantitative Informationen über die Darstellungshäufigkeit einzelner anatomischer Strukturen bei standardisierter Nachverarbeitung an Normalpatienten zur Verfügung. So konnte beispielweise bei der klinischen Beurteilung einer nicht dargestellten Struktur sicher zwischen einer Aplasie dieser Struktur und einem Nachverarbeitungsartefakt differenziert werden. Die Evaluation ergab eine verbesserte Darstellung kleiner Strukturen, wie der Stapeschenkel, durch Verwendung des VR. Auch in der experimentellen Korrelation der virtuellen mit den realen Ansichten zeigte sich mit dem VR eine höhere Übereinstimmung der Ansichten als mit dem SR. Die gesamte Nachverarbeitung benötigte 15 Minuten. Für die Beurteilung komplexer Pathologien erschien dieser Zeitaufwand akzeptabel, insbesondere da durch die 3D-Darstellungen die Präsentation der Befunde erleichtert wurde. Für weniger komplexe Pathologien und Dokumentationszwecke war die Methode bei dieser Nachverarbeitungszeit nicht praktikabel.

Die experimentell untersuchten Nachverarbeitungstechniken ermöglichten die strukturierte Präsentation mit Hilfe der 3D-Modelle der einzelnen anatomischen Strukturen. Die unterschiedlichen Visualisierungstechniken, wie die transparente Darstellung von 3D-Modellen, die Korrelation mit den 2D-Schichtbildern oder die Translation anhand einer den 3D-Modellen zugeordneten Matrix ermöglichte instruktive Darstellungen. Aufgrund des Zeitaufwandes von mehreren Stunden zum Erstellen der hochwertigen 3D-Modelle erscheint weniger die klinische Verwendung dieser Technik als vielmehr die Verwendung für Lehrzwecke gegenwärtig praktikabel.

Mit der VCT-Technik wurden pro Felsenbein 400 nichtüberlappende Schichten mit einem Schichtabstand von 0.15 mm akquiriert. Durch die verbesserte Auflösung waren deutlich mehr anatomische Substrukturen darstellbar als mit der MS-CT. Aufgrund der großen Anzahl an Schichten in denen kleinste anatomische Strukturen dargestellt waren, wurde die mentale Integration der 2D-Informationen in eine 3D-Vorstellung der Struktur erschwert. Beispielsweise wurden die Ossikel in über 100 2D-Schichtbildern dargestellt. Die 3D-Nachverarbeitung ermöglichte eine strukturierte Präsentation der Information und somit die einfache Dokumentation der Befunde sowie die erleichterte Lokalisation relevanter Befunde in den Schichtbildern.

4 Schlussfolgerung

3D-Darstellungsverfahren können die klinische Diagnostik und präoperative Planung bei komplexen Felsenbeinpathologien vereinfachen. Zur Beurteilung und Dokumentation relevanter Befunde sind 3D-Nachverarbeitungstechniken bei hochauflösenden Datensätzen hilfreich. Neue technische Entwicklungen könnten die Anwendung dieser Techniken als Routineverfahren aufgrund der vereinfachten Handhabung und des reduzierten Zeitaufwandes ermöglichen.

Literaturverzeichnis

1. Klingebiel R, Bauknecht HC et al. High-resolution Petrous Bone Imaging Using Multi-slice Computerized Tomography. *Acta Otolaryngol* 121: 632-636, 2001.
2. Ohnesorge B, Flohr T, Schaller S et al. Technische Grundlagen und Anwendungen der Mehrschicht-CT. *Radiologe* 39: 923-931, 1999.
3. Calhoun P, Kuszyk B, Heath D et al. Three-dimensional Volume Rendering of Spiral CT Data: Theory and Method. *RadioGraphics* 19: 745-764, 1999.
4. Howard J, Elster A, May J. Temporal Bone: Three-dimensional CT, Part I. Normal Anatomy, Techniques, and Limitations. *Radiology* 177: 421-425, 1990
5. Seemann M, Luboldt W et al. Hybride 3D-Visualisierung und virtuelle Endoskopie von Cochlea-Implantaten. *Fortschr Röntgenstr* 172: 238-243, 2000.
6. Rodt T, Bartling S, Schmidt A et al. Virtual endoscopy of the middle ear: experimental and clinical results of a standardised approach using multi-slice helical computed tomography. *Eur Radiol* 12: 1684-1692, 2002.
7. Rodt T, Ratiu P et al. 3D visualisation of the middle ear and adjacent structures using reconstructed multi-slice CT datasets, correlating 3D images and virtual endoscopy to the 2D cross-sectional images. *Neuroradiology* 44: 783-790, 2002.