Institut für Klinische Radiologie Großhadern
der Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. Dr. h.c. M. Reiser

Die Darstellung des Felsenbeins in der Multi-Slice-CT – ein qualitativer Vergleich mit der Single-Slice-CT

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Martin Liebl
aus Landshut
2004

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. med. Dr. h.c. Maximilian Reiser
Mitberichterstatter:	Priv. Doz. Dr. med. Marc Dellian
Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter:	Dr. med. Lorenz Jäger
Dekan:	Prof. Dr. med. Dr. h.c. Klaus Peter
Tag der mündlichen Prüfung:	01.04.2004

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 1

1.1. Stellenwert der CT bei der Untersuchung des Felsenbeins 1

1.2. Vorteile der Multi-Slice-CT 2

1.3. Ziel der Studie 2

2. Die Computertomographie 3

2.1. Prinzip der Computertomographie 3

2.2. Die Mehrschicht-Spiral-CT - MSCT 6

3. Material und Methoden 8

3.1. Die technische Ausrüstung – Computertomographen 8

3.1.1. Somatom Plus 4 - Single-Slice-Computertomograph 8

3.1.2. Somatom Volume Zoom – Multi-Slice-Computertomograph 9

3.1.3. Aufnahmebereich und Darstellung 9

3.2. Studiendesign und Datenakquisition 10

3.3. Auswertung und Statistik 11

4. Ergebnisse 13

4.1. Unabhängigkeit der beiden Auswerter – Fisher-Exakt-Test 13

4.2. Übereinstimmung der beiden Auswerter – Kappa-Index 13

4.3. Wie häufig konnten die anatomischen Einheiten abgegrenzt werden? 15

4.4. Gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen MSCT und SSCT? 16

5. Diskussion 18

6. Zusammenfassung 25

7. Tabellen und Abbildungen 27
7.1. Tabellen 27
7.2. Abbildungen 40

8. Literaturverzeichnis 49

9. Anhang 54
9.1. Tabellenverzeichnis 54
9.2. Abbildungsverzeichnis 55
9.3. Lebenslauf 57

1. Einleitung

1.1. Stellenwert der CT bei der Untersuchung des Felsenbeins

Die Computertomographie (CT) in hochauflösender Technik (HRCT) zählt zu den etablierten Standarduntersuchungstechniken des Felsenbeins (8, 38). Mit Hilfe der Computertomographie wurde bereits die Anatomie der knöchernen Strukturen des Mittelohres untersucht; ebenso die Anatomie und die anatomischen Variationen der Ossikelligamente (11, 20, 21, 23, 36, 40). Außerdem eignet sich die CT zur Darstellung der Anatomie des Innenohrs (6, 39). Die Morphologie des Nervus ampullaris posterior und dessen akzessorischen Nerven wurde in anatomischen Studien beschrieben (4, 25, 26), jedoch sind bisher sowohl die hochauflösende CT als auch die Magnetresonanztomographie (MRT) nicht in der Lage gewesen, die Nerven selbst oder die knöchernen Kanäle dieser Strukturen abzugrenzen. Es ist allerdings von großem klinischem Interesse die Anatomie dieser Strukturen darzustellen, da die klinischen Befunde bei Patienten mit einer Neuritis vestibularis eine breite Variation in ihrer Ausprägung zeigen. Patienten mit einer Neuritis vestibularis können einen Funktionsverlust der Bogengänge und des Vestibulums aufweisen. Eine doppelte Innervation der Ampulle des hinteren Bogenganges könnte die Ursache dafür sein, dass die Funktion des hinteren Bogenganges bei einigen Patienten mit einer Neuritis vestibularis erhalten bleibt, während die Funktion des anterioren und lateralen Bogenganges sowie die Funktion des Vestibulums verloren gehen.

Virtuelle Labyrinthoskopie (37), virtuelle Otoskopie (10) und dreidimensional (3D) berechnete Bilder, die entweder mittels Volumen- oder Oberflächen-Rendering erstellt werden, können dem HNO-Chirurgen anatomische Detailinformationen liefern und ihm die Orientierung in den komplexen Räumen des Mittel- und Innenohres erleichtern (5, 13, 28, 29, 30). Leider sind alle diese Techniken sehr zeitintensiv, und im Vergleich zu den zweidimensionalen (2D) Bildern liefern sie keine zusätzlichen anatomischen oder diagnostischen Informationen. Ferner können dünne Strukturen, wie zum Beispiel die Schenkel des Stapes, nicht zuverlässig mit dreidimensionalen oberflächen- oder volumengerenderten Bildern dargestellt werden (13). Folglich wurden diese Bildgebungstechniken in dieser Studie nicht weiter berücksichtigt.

Weitere gravierende Nachteile sind die fehlende sichere Erfassung der Ligamente der Ossikel, pathologischer Weichteilveränderungen und Frakturen des Felsenbeins (5, 13).

1.2. Vorteile der Multi-Slice-CT

Die Multi-Slice-CT (MSCT) ermöglicht im Gegensatz zur Single-Slice-CT (SSCT) nicht nur eine überragende anatomische Detailauflösung in der x- und y-Achse, sondern erstmalig auch in der z-Achse. Die so gewonnene verbesserte anatomische Auflösung könnte nicht nur die Grundlage für eine verbesserte Detailerkennbarkeit anatomischer Strukturen in den primär axial akquirierten Bildern bilden, sondern könnte erstmalig die multiplanare Rekonstruktion von koronaren oder sagittalen Bildern in diagnostischer Qualität ermöglichen (16). Infolgedessen könnten die Nachteile der SSCT, nämlich die fehlende multiplanare Rekonstruierbarkeit von Bildern in koronaren oder sagittalen Projektionen überwunden werden. Insbesondere bei Patienten mit schwerem Schädel-Hirn-Trauma oder bei Poly-Trauma-Patienten, die nicht mobilisierbar sind, würde die Option der multiplanaren Rekonstruktionen die klinische Diagnostik nicht nur erheblich erleichtern, sondern auch verbessern (16, 36).

1.3. Ziel der Studie

Mit dieser Studie soll die räumliche Auflösungsfähigkeit der MSCT bei primär axial akquirierten Aufnahmen des Felsenbeins aufgezeigt werden. Zum Vergleich sollen primär axial akquirierte Schichten der SSCT herangezogen werden. Um den Wert und die Zuverlässigkeit koronar multiplanar rekonstruierter Schichten der MSCT beurteilen zu können, sollen koronar multiplanar rekonstruierte Schichten der MSCT mit primär koronar akquirierten Schichten der SSCT verglichen werden.

2. Die Computertomographie

2.1. Prinzip der Computertomographie

Zum besseren Verständnis ist es hilfreich, den menschlichen Körper in viele, endliche, gleich große Volumeneinheiten aufzuteilen, d.h. der Körper setzt sich aus vielen gleich großen Bausteinen zusammen; es ergibt sich also ein Mosaik, das einem Koordinatensystem gleicht. Diese Bausteine werden als Voxel bezeichnet. Im Grunde könnte man ein CT-Bild in jeder Schichtebene erstellen. Allerdings werden bei der CT in der Regel transversale Schnittbilder erstellt, die der x-y-Ebene des Koordinatensystems entsprechen. Die z-Achse verläuft senkrecht zur Transversalebene, parallel zur Körperachse und zur Rotationsachse des CT-Geräts. Somit entspricht die sagittale Schichtführung ungefähr der y-z-Ebene, die koronare Schichtführung der x-z-Ebene (16, 17). Diese Schichtführungen können allerdings aufgrund der technischen Gegebenheiten nur aus den axialen Aufnahmen rekonstruiert werden, es sei denn, der Patient wird speziell gelagert. Dann wären auch Aufnahmen in anderen Ebenen primär möglich (6).

Die Kantenlängen dieser Voxel werden durch die gewählte Schichtdicke und Matrixgröße definiert; sind die Voxel sehr groß gewählt, erscheint das resultierende Bild stark gerastert und einem Schachbrett ähnlich. Vor allem bei den ersten CT-Geräten war dies der Fall. Hier wurde eine Matrix mit einer Auflösung von 80 x 80 Bildpunkten verwendet. Die heutigen Geräte arbeiten aber mit Auflösungen, die kaum noch einzelne Bildpunkte abgrenzen lassen. Hier zeigt sich die Rasterung nur noch bei starker Vergrößerung des Bildes. Lediglich bei Rekonstruktionen entlang der z-Achse ist die Auflösung für quasi-kontinuierliche Abbildungen ohne grobe Rasterung unzureichend. Durch die Entwicklung der Spiral-CT und vor allem der MSCT können nun so feine Schichten aufgenommen werden, dass auch in der dritten Dimension quasi-kontinuierliche Abbildungen ohne grobe Rasterung gewonnen werden können, die qualitativ mit analogen Bildern vergleichbar sind (16, 17).

Bei der Computertomographie wird nun eine Schicht des Körpers durch ein dünnes, kollimiertes Strahlenbündel durchstrahlt. Bei der Spiral-CT bewegt sich der Patient kontinuierlich durch die Gantry, während die Röntgenröhre sich permanent um den

Patienten dreht. Durch die kontinuierliche Kreisbahn der Röhre und den steten Vorschub des Patienten resultiert eine zum Patienten relative spiralförmige Bahn. Davon leitet sich auch der Name Spiral-CT ab. Dabei dreht sich die Strahlenquelle um den Patienten, d.h. die Strahlung durchdringt und erfasst jede einzelne Volumeneinheit von mehreren verschiedenen Seiten aus. Direkt der Strahlenquelle gegenüberliegend sind die Detektoren angeordnet, die die jeweilige Intensitätsschwächung erfassen. Röhre und Detektoren werden zusammen als Gantry bezeichnet. Ein Voxel, das Strukturen größerer Dichte beinhaltet, absorbiert natürlich mehr Strahlung als Voxel, die weniger dichte Strukturen enthalten. Da jedes Voxel aus mehreren Richtungen von Strahlung durchdrungen wird, kann für jedes Voxel ein absoluter Dichtewert errechnet werden. Die Qualität verbessert sich natürlich umso mehr, je größer die Anzahl der Richtungen ist, von denen aus die Schicht durchstrahlt wird. Bei heutigen Geräten wird über einen Winkelbereich von 360° mit Fächerstrahlen gemessen. So setzt sich aus den vielen kleinen Bausteinen mit unterschiedlichen Dichtewerten ein großes überlagerungsfreies Bild der verschiedenen Strukturen zusammen, das im Grunde eine räumliche Verteilung der Dichte bzw. der Absorptionswerte der einzelnen Strukturen darstellt (16, 17, 34).

Durch diese Aufnahmetechnik ist es möglich kontinuierliche Daten zu gewinnen. Dies hat vor allem folgende Vorteile:

- Kurze Untersuchungszeiten werden ermöglicht, da der Patient ohne Pausen durch die Gantry gefahren wird. Mit modernen Tomographen sind Ganzkörper-Scans innerhalb weniger Sekunden möglich. Mit konventionellen Tomographen kann dieser Vorgang fünf bis zwanzig Minuten in Anspruch nehmen (16, 17).
- Die Kopplung von Scanposition und Bildposition wird aufgehoben. Durch den kontinuierlichen Vorschub können die Bildpositionen und auch das Rekonstruktionsinkrement frei und auch noch nachträglich gewählt werden. Dabei können sich die Schichtbilder auch überlappen, es können also mehr als n Bilder erzeugt werden. Durch diese Überlappung können bei gleicher Schichtdicke feinere Abstufungen erzeugt werden. Somit verbessert sich die Auflösung in der z-Achse. Bei der konventionellen CT sind sowohl die Positionen als auch die Anzahl n der Bilder vorgegeben (16).

Neben diesen Vorteilen bleibt der Nachteil der Bewegungsartefakte durch die Patientenbewegung. Um diese zu vermeiden, wird die z-Interpolation verwendet. Da zu Beginn und am Ende der Rotation verschiedene Scanbereiche erfasst werden, liegen inkonsistente Daten vor. Die z-Interpolation berechnet für jede beliebige Bildposition einen möglichst konsistenten planaren Datensatz aus den Daten des Spiral-Scans. Dabei arbeitet sie vereinfacht dargestellt nach folgendem Prinzip: Die Daten, die in der gleichen Röhrenwinkelstellung vor und hinter der gewünschten Tischposition liegen, werden linear interpoliert. So können konsistente Daten gewonnen werden. In den einzelnen Schichten werden dadurch die Bewegungsartefakte vermindert (16, 17).
Um jedoch zwei Werte des gleichen Messwinkels zu gewinnen, benötigt man 2 volle 360°-Umdrehungen. Dadurch vergrößert sich die Datenmenge pro Schichtbild enorm. Dies kann man als den großen Nachteil der Spiral-CT ansehen. Durch die Vergrößerung des Datenbereichs verbreitert sich das Schichtempfindlichkeitsprofil im Gegensatz zur konventionellen CT deutlich. Das Schichtempfindlichkeitsprofil gibt an, wie klar die aufgenommene Schicht abgegrenzt wird, das heißt, inwieweit auch Strukturen außerhalb der aufgenommenen Schicht zum Bild beitragen. Im besten Fall werden alle Objekte innerhalb der Schicht mit 100%, alle Objekte außerhalb der Schicht mit 0% erfasst. Ist das Schichtempfindlichkeitsprofil verbreitert, tragen auch Strukturen außerhalb der Schicht zum Bild bei und können dabei andere Strukturen überlagern; dann ist der Kontrast und die Ortsauflösung im Einzelbild vermindert (16).
Dieser Nachteil der Spiral-CT kann aber ausgeglichen werden:

- Es werden andere Algorithmen zur z-Interpolation verwendet, die den Datenbereich begrenzen können. Ein Ansatz zur Verkleinerung des Datenbereichs ist das so genannte Daten-Rebinning, das es ermöglicht, nur 180°-Undrehungen als Datengrundlage zu verwenden. Dies wird dadurch erreicht, dass durch geeignetes Umsortieren die Daten der gegenüberliegenden Seite erfasst und zur Berechnung herangezogen werden. So kann die Datenmenge reduziert werden, weil für zwei Werte des gleichen Messwinkels nicht mehr zwei volle 360°-Umdrehungen notwendig sind (16).

- Der Kontrast und die Ortsauflösung sind immer dann am besten, wenn die betreffende Struktur genau im Zentrum der jeweiligen Schicht liegt. Durch die Möglichkeit, Position und Rekonstruktionsinkrement frei wählen zu können, können auch nachträglich Bilder rekonstruiert werden, bei denen genau dies der Fall ist. Auch wenn das Schichtempfindlichkeitsprofil in der Spiral-CT verbreitert ist, können die Strukturen mit ausreichend Kontrast und Ortsauflösung dargestellt werden, wenn der Abstand der rekonstruierten Bilder klein genug gewählt ist. Denn dann ist immer gewährleistet, dass die anatomische Struktur in einem für sie optimalen Bild dargestellt wird (16, 17).

2.2. Die Mehrschicht-Spiral-CT – MSCT

Eine gute Ortsauflösung in der z-Achse erfordert dünne axial akquirierte Schichten und mehrere rekonstruierte Bilder pro akquirierter Schicht. Folglich wird das Rekonstruktionsinkrement genügend klein gewählt, um eine ausreichende Überlappung der Bilder zu erzielen. Obwohl die Spiral-CT diese Anforderungen bereits in hohem Maße erfüllt und bei Darstellungen in der z-Achse schon große Fortschritte ermöglicht, bieten die Rekonstruktionen in sagittalen oder koronaren Ebenen bei SSCT-Geräten trotzdem eine nur mäßige Auflösung, die Bilder wirken grob und unscharf (16, 17).

Einen weiteren Fortschritt in dieser Richtung brachte die Einführung der Mehrschicht-Spiral-CT. Das Detektorsystem besteht dabei aus mehreren Detektorzeilen. Somit können pro Umdrehung gleichzeitig mehrere Schichten aufgenommen werden. Dies wirkt sich sowohl auf die Schichtdicke als auch auf das Rekonstruktionsinkrement aus. Die Bildverarbeitung mittels z-Interpolation wird nämlich bei der MSCT nicht anders durchgeführt als bei der SSCT. Im einfachsten Fall werden die beiden nächstliegenden Messwerte zur Interpolation herangezogen. Bei der MSCT liegen diese durch die höhere Anzahl gleichzeitig aufgenommener Schichten näher zusammen als bei der SSCT. Dadurch ist es möglich, dünnere Schichten aufzunehmen. In Folge dessen kann auch das Rekonstruktionsinkrement kleiner gewählt werden, so dass eine gute Überlappung der einzelnen Schichten erreicht werden kann. Zudem hat man nun bei der MSCT die Möglichkeit, die effektive Schichtdicke über die Wahl des so genannten z-Filters festzulegen. Es werden also nicht die beiden am nächsten liegenden Messwerte zur Interpolation verwendet,

sondern es wird auf Messwerte aus einem größeren Datenbereich zurückgegriffen. Die Weite dieses Datenbereichs wird durch die Filterweite definiert. Weil diese Messwerte weiter auseinander liegen, werden natürlich dickere Schichten aufgenommen. Dieser Vorgang wird als z-Filterung bezeichnet. Dies ist insofern klinisch von Bedeutung, weil unterschiedliche Schichtdicken verschiedenartige Vorzüge bieten können. Eine relativ große Schichtdicke bietet eine höhere Kontrastauflösung, weil die Mittelung der Messwerte immer über die gesamte Schicht erfolgt. Eine relativ kleine Schichtdicke ermöglicht eine bessere Ortsauflösung. So können mit einem einzigen Datensatz, der mit MSCT gewonnen wurde, je nach den diagnostischen Anforderungen, Bilder mit unterschiedlichen Schichtdicken erzeugt werden (16, 17).

Insgesamt bietet die MSCT gegenüber der SSCT durch die Möglichkeit, pro Umdrehung mehrere Schichten aufzunehmen, eine wesentlich bessere Auflösung entlang der z-Achse. Die Schichtdicke kann dabei über die Wahl des z-Filters frei gewählt werden. Sowohl die Schichtdicke als auch das Rekonstruktionsinkrement können vermindert werden, um die Ortsauflösung in der z-Achse zu optimieren. Zudem wird die Untersuchungszeit reduziert.

3. Material und Methoden

In den Jahren 1999 bis 2000 wurden für diese prospektive Studie 100 Patienten untersucht, bei denen der Verdacht auf verschiedenartige Erkrankungen des Innen- und Mittelohres bestand. Diese Patienten wurden an die Abteilung für Radiologische Diagnostik überwiesen, um eine anatomisch hoch auflösende CT des Felsenbeins durchzuführen.

3.1. Die technische Ausrüstung – Computertomographen

Für die Untersuchung standen zwei verschiedene Computertomographen zur Verfügung: ein Gerät mit Single-Slice-Technik (Somatom Plus 4, Siemens Medical Systems, Erlangen, Deutschland), das andere mit Multi-Slice-Technik (Somatom Volume Zoom, Siemens Medical Systems, Erlangen, Deutschland).

3.1.1. Somatom Plus 4 – Single-Slice-Computertomograph

Bei diesem Gerät wurden die Aufnahmen im Spiral-Modus durchgeführt, und sowohl axiale als auch koronare Schichtaufnahmen wurden *primär* aufgenommen. Um die primär koronaren Schichten gewinnen zu können, wurden die Patienten speziell gelagert, das heißt der Kopf musste in Hyperextensionsstellung fixiert werden (6).
Die Parameter bei der Untersuchung mit diesem Gerät waren:

Spannung	120 kV
Röhrenstrom	180 mAs
Rotationszeit	1 s
Schichtdicke	1 mm
Kollimation	1 mm
Rekonstruktionsinkrement	0,5
Vorschub pro Rotation	1 mm
Matrix	512 x 512
Field of view (FoV)	9 cm

3.1.2. Somatom Volume Zoom – Multi-Slice-Computertomograph

Auch bei diesem Gerät wurden die Aufnahmen im Spiral-Modus durchgeführt. Hier wurden jedoch nur die axialen Aufnahmen primär gewonnen, die koronaren Schichten wurden mittels multiplanarer Rekonstruktion erzeugt.
Die Parameter für die primär axial akquirierten Schichten hatten folgende Werte:

Spannung	120 kV
Röhrenstrom	180 mAs
Rotationszeit	1 s
Schichtdicke	2 x 0,5 mm
Kollimation	0,5 mm bei zwei Detektor-Reihen
Rekonstruktionsinkrement	0,2
Vorschub pro Rotation	1 mm
Matrix	512 x 512
Field of view (FoV)	9 cm

Die koronar multiplanar rekonstruierten Bilder wurden auf der Grundlage der axialen Bilder berechnet, die Schichtdicke betrug dabei 1 mm, die Überlappung 0,5 mm.

3.1.3. Aufnahmebereich und Darstellung

Die axialen Bilder wurden parallel zum harten Gaumen und unterhalb der Orbita aufgenommen (38). Der primäre Strahlengang erfasste also die Kornea nicht.
Die primär koronaren Bilder wurden in einer Ebene genau senkrecht zu den axialen Bildern aufgenommen. Die koronar multiplanar rekonstruierten Bilder wurden ebenfalls senkrecht zu den axialen Aufnahmen berechnet.
Alle Bilder wurden bei einer Fenstermitte von 800 Hounsfield Einheiten (HU) und einer Gesamtfensterweite von 4000 HU dargestellt.

3.2. Studiendesign und Datenakquisition

In diese Studie wurden konsekutiv 100 Patienten im Zeitraum von 1999 bis 2000, bei denen der Verdacht auf die verschiedensten Krankheiten des Mittel- oder Innenohres bestand, aufgenommen. Diese 100 Patienten wurden pseudorandomisiert in zwei Gruppen von jeweils 50 Patienten verteilt. Die ersten 50 Patienten wurden am SSCT und die nächsten 50 Patienten am MSCT untersucht. Patienten mit groben pathologischen Befunden, wie z.B. Tumoren, Frakturen oder Z.n. OP, wurden von der Studie ausgeschlossen. Nach einer mündlichen und schriftlichen Aufklärung gaben die Patienten schriftlich ihre Einwilligung in die Untersuchung. Die Studie wurde entsprechend der Helsinki II Deklaration von 1996 (41) durchgeführt.

Die erste Gruppe der 50 Patienten wurde mit dem Single-Slice-Computertomographen Somatom Plus 4 untersucht. Hierbei wurden sowohl die axialen als auch die koronaren Bilder primär aufgenommen. 36 der 50 Patienten waren männlich, 14 weiblich, das Durchschnittsalter betrug 49,1 Jahre mit einer Standardabweichung von 17,3 Jahren.

Die Untersuchungen der zweiten Gruppe von 50 Patienten wurden mit dem Multi-Slice-Computertomographen Somatom Volume Zoom durchgeführt. Hierbei wurden die koronaren Bilder aus den Daten der axialen Bilder berechnet. In dieser Gruppe waren 32 Patienten männlich, 18 weiblich, das Durchschnittsalter betrug 36,5 Jahre mit einer Standardabweichung von 24,3 Jahren.

Stellte sich bei einem Patienten einseitig ein krankhafter Befund dar, wurde in diesen Fällen jedoch die klinisch und radiologisch unauffällige Seite zur Beurteilung herangezogen. In die Auswertung wurden aber solche Felsenbeine eingeschlossen, die anatomische Variationen aufwiesen. Es wurde immer nur das Felsenbein einer Seite jedes Patienten untersucht. Für die Untersuchung jeder Untersuchungsgruppe (SSCT und MSCT) wurden somit pseudorandomisiert 25 rechte und 25 linke Felsenbeine ausgewählt.

Die Auswertung der Bilder führten zwei Radiologen durch, wovon der eine (Dr. med. Lorenz Jäger, Auswerter 1) erfahren in HNO-Radiologie, der zweite Auswerter (Dr. med. Harald Bonél, Auswerter 2) im Bereich der HNO-Radiologie noch unerfahren war. Die Auswerter werteten die Bilder unabhängig und getrennt voneinander aus. In

Tabelle 1 (siehe Seite 27) sind die Strukturen aufgeführt, die bei den Untersuchungen zu begutachten waren.

Die Erkennbarkeit dieser anatomischen Strukturen wurde nach folgendem Fünf-Punkte-Schema bewertet (12):

1 sicher nicht abgrenzbar
2 wahrscheinlich nicht abgrenzbar
3 nicht beurteilbar
4 wahrscheinlich abgrenzbar
5 sicher abgrenzbar

3.3. Auswertung und Statistik

Um die Unabhängigkeit beider Auswerter und beider Untersuchungsmodalitäten (MSCT und SSCT) zu prüfen, wurde der Fisher-Exakt-Test durchgeführt. Dieser wurde bezüglich jeder Untersuchungsmodalität (SSCT axial und koronar, MSCT axial und koronar) für jede einzelne der 50 untersuchten anatomischen Strukturen berechnet. Werte größer als 0,05 wurden signifikant im Sinne der Unabhängigkeit beider Untersucher und beider Untersuchungsmodalitäten gewertet.

Um den Grad der Übereinstimmung zwischen beiden Auswertern bei der Identifizierung der einzelnen Strukturen zu bestimmen, wurde ein Kappa-Index berechnet. Dabei wurde ein Kappa-Index von κ=0,41 bis κ=0,6 als gute Übereinstimmung, ein κ=0,61 bis κ=0,8 als sehr gute Übereinstimmung und ein κ= 0,81 bis κ=1,00 als annähernd vollständige Übereinstimmung festgesetzt.

Für jede anatomische Struktur wurde - für jeden Auswerter getrennt - die Häufigkeit, mit der diese Struktur vom jeweiligen Auswerter abgegrenzt werden konnte, bestimmt. Diese wurde für jeden Auswerter sowohl in Prozentangaben als auch in der absoluten Anzahl angegeben.

Um einen signifikanten Unterschied zwischen zwei Untersuchungsmethoden nachzuweisen, stehen verschiedene Tests zur Verfügung. In dieser Studie wurde

der Mann-Whitney-U-Test verwendet, um einen signifikanten Unterschied zwischen Single- und Multi-Slice-CT in der Abgrenzung anatomischer Strukturen zu zeigen. Für diesen Test müssen allerdings verschiedene Voraussetzungen bestehen:

- Es muss zwischen den beiden Untersuchungstechniken Unabhängigkeit bestehen; dies konnte mit dem Fisher-Exakt-Test nachgewiesen werden.
- Es muss zwischen den Untersuchungstechniken und den beiden Auswertern Unabhängigkeit bestehen, was ebenfalls der Fisher-Exakt-Test zeigte.
- Die Daten müssen ungleich sein; auch diese Voraussetzung ist gegeben, weil die Single- und Multi-Slice-CTs an verschiedenen Patienten durchgeführt wurden.
- Die Daten müssen innerhalb einer Einheit (also für eine anatomische Struktur) kontinuierlich verteilt sein; auch dies ist erfüllt, die Bewertung erfolgte kontinuierlich von 1 bis 5.

Somit waren alle Voraussetzungen zur Verwendung des Mann-Whitney-U-Tests erfüllt. Dieser Test wurde für beide Auswerter getrennt durchgeführt.

Zur Berechnung aller Statistiken wurde die Statistical Analysis Software 8 (SAS Institute, Cary, NC, U.S.A) verwendet.

4. Ergebnisse

4.1. Unabhängigkeit der beiden Auswerter – Fisher-Exakt-Test

Der Fisher-Exakt-Test ergab bei allen vier Bildgebungsarten eine Unabhängigkeit beider Auswerter voneinander und von der Untersuchungsmodalität.

4.2. Übereinstimmung der beiden Auswerter – Kappa-Index

Der Kappa-Test zeigte eine hohe Übereinstimmung zwischen den beiden Auswertern, unabhängig von der Untersuchungsmodalität (MSCT oder SSCT) oder der Bildebene (axial oder koronar). Insgesamt jedoch war die Übereinstimmung der Auswerter bei MSCT-Bildern signifikant höher ($p<0,001$) als bei den SSCT-Bildern.

Bei 60% (30 von 50) der anatomischen Strukturen war jedoch die Übereinstimmung zwischen den beiden Auswertern bei den primär axial akquirierten MSCT Bildern signifikant höher ($p<0,001$) als bei den primär axial akquirierten SSCT Bildern (siehe Tabelle 2a, Seite 30). Bei 20% (10 von 50) der anatomischen Strukturen gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den CT-Techniken. Bei 20 % (10 von 50) der anatomischen Strukturen zeigten die primär axial akquirierten SSCT Bilder eine signifikant bessere ($p<0,01$) Übereinstimmung zwischen den Auswertern als die primär axial akquirierten MSCT-Bilder.
In der koronaren Schichtführung ergab sich ein ähnliches Bild. Bei den koronar multiplanar rekonstruierten MSCT-Bildern war die Übereinstimmung zwischen den beiden Auswertern bei der Identifizierung anatomischer Strukturen in 58% (29 von 50) der Fälle signifikant höher ($p<0,001$) als bei den primär koronar akquirierten SSCT-Bildern. In 8% (4 von 50) gab es keinen Unterschied, während es bei 34% (17 von 50) der anatomischen Strukturen bei den primär koronar akquirierten SSCT-Bildern einen signifikant höheren Kappa-Index ($p<0,001$) gab (siehe Tabelle 2b, Seite 32).

Aus den Tabellen wird ersichtlich, bei welchen Strukturen die Übereinstimmung zwischen den Auswertern je nach Aufnahmeart höher war. Im Besonderen waren dies bei den **MSCT-Bildern** folgende der 50 ausgewählten anatomischen Punkte:

In der axialen Ebene:

- Kanal des Nervus facialis (Abb. 11, 12, 13, 15, 16)
- Kanal des Nervus cochlearis
- Kanal des Nervus saccularis (Abb. 1)
- Kanal der pars superior des Nervus vestibularis (Abb. 2)
- Ossikel (Abb. 1-5)

In der koronaren Ebene:

- Kanal des Nervus facialis
- Kanal des Nervus cochlearis
- Kanal des Nervus saccularis
- Kanal der pars superior des Nervus vestibularis
- Ossikel
- Tegmen tympani (Abb. 6)
- Fenestra cochleae (Abb. 7)

Im Gegensatz dazu wiesen die **SSCT-Bilder** eine höhere Übereinstimmung der Auswerter bei diesen Strukturen auf:

In der axialen Ebene:

- Kanal des Nervus ampullaris posterior
- Kanal des Nervus accessorius des Nervus ampullaris posterior
- Fenestra cochleae
- Aquaeductus cochlearis

In der koronaren Ebene:

- Kanal des Nervus ampullaris posterior
- Kanal des Nervus accessorius des Nervus ampullaris posterior
- Crus anterior des Stapes
- Processus cochleariformis
- Lamina spiralis ossea
- Aquaeductus vestibuli
- Aquaeductus cochlearis
- Ligamentum mallearis lateralis

4.3. Wie häufig konnten die anatomischen Einheiten abgegrenzt werden?

Wie oft wurden nun die einzelnen anatomischen Strukturen von beiden Auswertern wirklich erkannt? In den meisten Fällen war die Frequenz der abgrenzbaren Strukturen (Stufe 4 oder 5 des 5-Punkte-Bewertungs-Schemas) bei den axialen MSCT-Bildern (Auswerter 1 = 82%, 41 von 50 und Auswerter 2 = 84%, 42 von 50) und koronaren MSCT-Bildern (Auswerter 1 = 88%, 44 von 50 und Auswerter 2 = 90%, 45 von 50) höher als bei den SSCT-Bildern (siehe Tabelle 3, Seite 34-37). Dies trifft insbesondere für folgende Strukturen zu:

- Ossikel (Abb. 1-5)
- Ossikelligamente (Abb. 7, 9, 10, 11)
- Kanal des Nervus facialis (Abb. 11, 12, 13, 15, 16)
- Kanal des Nervus ampullaris posterior (Abb. 1, 4, 5)
- Fenestra cochleae (Abb. 7)
- Aquaeductus cochlearis (Abb. 14)
- Aquaeductus vestibularis
- Kanal des Nervus accessorius des Nervus ampullaris posterior (Abb. 4, 5)

Der Kanal des Nervus accessorius des Nervus ampullaris posterior ist, wie in der Einleitung beschrieben, von besonderem klinischen Interesse, konnte bisher aber nicht immer sicher im SSCT abgegrenzt werden. Der Kanal des Nervus accessorius des Nervus ampullaris posterior wurde unabhängig von den Auswertern in neun Fällen mit der MSCT erkannt. In allen neun Fällen entsprang der Kanal von der hinteren Wand des inneren Gehörgangs annähernd 2 mm medial vom Kanal des

Nervus ampullaris posterior gelegen. In zwei Fällen konnte der Kanal des akzessorischen Nerven von der hinteren Wand des inneren Gehörganges bis zur hinteren Ampulle abgegrenzt werden (Abb. 5, Seite 42). In den verbleibenden sieben Fällen vereinigte sich der Kanal des Nervus accessorius mit dem Kanal des Nervus ampullaris posterior innerhalb der ersten fünf Milimeter, nachdem er von der hinteren Wand des inneren Gehörganges entsprungen war (Abb. 4, Seite 41). In einem Fall verlief der Nervus petrosus superficialis getrennt und anterior zum labyrinthinen Segment (S1) des Kanals des Nervus facialis (Abb. 15, Seite 47). Eine andere Fehlbildung konnte nicht gefunden werden. In einem anderen Fall konnte eine Verdoppelung des S2-Segmentes des Facialiskanals abgegrenzt werden, hier waren der Aquaeductus vestibularis und der Endolymphraum vergrößert. Auf den primär axial akquirierten SSCT-Bildern konnten beide Auswerter den Kanal des akzessorischen Nerven in nur einem Fall abgrenzen, dieser wurde jedoch mit Stufe 4 bewertet. Auf den primär koronar akquirierten SSCT-Bildern konnte der Kanal des akzessorischen Nerven in keinem Fall abgegrenzt werden. Eine Dehiszenz des vorderen Bogenganges (Abb. 17a und 17b, Seite 48) war in fünf Fällen (10%) mit der MSCT, lediglich in einem Fall (2%) mit der SSCT abgrenzbar (siehe Tabelle 3, Seite 34-37). Eine Dehiszenz des S2-Segmentes des Facialiskanals konnte in 30 Fällen (60%) mit der MSCT, aber in nur 11 Fällen (22%) mit der SSCT erkannt werden.

4.4. Gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen MSCT und SSCT?

Wie in Kapitel 4.2 und 4.3 beschrieben, ist sowohl die Übereinstimmung zwischen den Auswertern als auch die Häufigkeit der abgrenzbaren anatomischen Strukturen bei der MSCT höher als bei der SSCT.

Die Ergebnisse zeigten dabei (siehe Tabelle 4, Seite 38) folgendes:
Bei den primär axial akquirierten Aufnahmen war in 33 von 50 Fällen (66 %) die MSCT der SSCT bei der Abgrenzung anatomischer Strukturen signifikant ($p<0,05$) überlegen, in 17 von 50 Fällen (34 %) zeigte der Mann-Whitney-U-Test keinen signifikanten Unterschied.

In der koronaren Ebene waren die Ergebnisse folgendermaßen: in 27 von 50 Fällen (54 %) waren die koronar multiplanar rekonstruierten Bilder der MSCT den primär koronaren Bildern der SSCT signifikant überlegen ($p<0,05$). Für die verbleibenden 23 anatomischen Strukturen (46 %) gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den primär koronaren SSCT-Bildern und den koronar multiplanar rekonstruierten MSCT-Bildern.

5. Diskussion:

Die SSCT mit hoher räumlicher Auflösung (HRCT) ist eine sehr gute und etablierte Methode zur Untersuchung der Felsenbeinregion. Für eine korrekte Diagnose bei Trauma, Tumoren, Entzündungen oder auch Fehlbildungen sind neben den axialen Aufnahmen koronare Schnittbilder notwendig (38).

Um mit der SSCT Bilder in axialer und koronarer Ebene gewinnen zu können, muss für jede Bildgebungsebene jeweils eine gesonderte Bildakquisition durchgeführt werden. Dies ist in hohem Maße von der Beweglichkeit des Patienten abhängig, weil der Kopf für koronare Aufnahmen sehr stark überstreckt werden muss. Bei nicht mobilisierbaren, insbesondere bei intubierten Patienten, oder auch bei Kindern waren koronare Aufnahmen bis jetzt geradezu unmöglich (22). Außerdem führt die Untersuchung des Felsenbeins in zwei Ebenen durch die zweifachen Aufnahmegänge zu einer doppelten Strahlenexposition für die Patienten.

Diese Nachteile können durch die Entwicklung der MSCT beseitigt werden, weil die koronar multiplanar rekonstruierten Bilder der MSCT das Potential haben, die primär koronar akquirierten SSCT-Bilder zu ersetzen. Die gute Bildqualität resultiert aus einer dünneren Schichtdicke (0,5 mm anstelle von 1 mm bei der SSCT) und dem kleineren Rekonstruktionsinkrement. Deshalb war das Ziel dieser Studie, die Bildqualität anhand der Erkennbarkeit feinster anatomischer Strukturen sowohl bei primär koronar akquirierten SSCT-Bildern als auch bei koronar multiplanar rekonstruierten MSCT-Bildern zu untersuchen und die beiden Techniken dabei miteinander zu vergleichen.

Bei sehr feinen Strukturen ist es für einen unerfahrenen Auswerter oft sehr schwer, die einzelnen Strukturen abzugrenzen. Hier spielt die Erfahrung des Auswerters oft eine große Rolle. Ist die Auflösung der Bilder höher und somit die Darstellung der einzelnen Strukturen besser möglich, reduziert sich die Abhängigkeit vom jeweiligen Auswerter.

In dieser Studie zeigten die Ergebnisse, dass die beiden Auswerter beim Auswerten in ihrer Bewertung sehr gut übereinstimmten, obwohl ihre Erfahrung im Auswerten

von Felsenbein-CTs sehr stark differierte. Sowohl bei den MSCT-Bildern als auch bei den SSCT-Bildern war die Übereinstimmung sehr hoch. Bei den primär axial akquirierten MSCT-Bildern zeigte sich jedoch eine noch bessere Übereinstimmung als bei den primär axial akquirierten SSCT-Bildern. Ein ähnliches Ergebnis ergab die Auswertung der koronar multiplanar rekonstruierten MSCT- und primär koronar akquirierten SSCT-Bilder; auch hier war die MSCT in der Übereinstimmung der Auswerter überlegen. Nur bei anatomischen Strukturen mit geringer Fallzahl innerhalb einer Bewertungseinheit wurden bei der MSCT niedrige Kappa-Werte beobachtet, beispielsweise bei der Stapediussehne, beim Kanal des Nervus ampullaris posterior, beim Kanal des akzessorischen Nervs des Nervus ampullaris posterior oder beim Malleushals, dem Aquäductus cochlearis oder bei der Abgrenzung einer Dehiszenz des tympanischen Segments des Fazialis-Kanals.

Anhand der Ergebnisse des Kappa-Tests wird deutlich, dass das Erkennen der Anatomie des Felsenbeins bei der MSCT weniger von der Erfahrung des Auswerters abhängig ist als bei der SSCT. Dies bedeutet, dass auch Auswerter, die wenig Erfahrung im Lesen von CTs der Felsenbeinregion haben, anatomische Strukturen und somit auch Pathologien des Felsenbeins in der MSCT leichter abgrenzen können.

Die Anatomie des Mittel- und Innenohrs ist sehr fein und komplex (9, 20, 21, 23, 36, 40). Deshalb muss die CT-Bildgebung eine hohe Ortsauflösung erbringen, um auch kleine pathologische Veränderungen darzustellen, die zu Schalleitungs- oder Schallempfindungsschwerhörigkeit führen können. Daraus resultiert die Frage, ob bei primär axial akquirierten MSCT-Bildern mit hoher räumlicher Auflösung gegenüber primär axial akquirierten SSCT-Bildern mit optimiertem Protokoll ein Informationsgewinn besteht. Da die koronar multiplanar rekonstruierten Bilder der MSCT aus den primär axial akquirierten Bildern der MSCT gewonnen werden, ergibt sich die Frage, ob koronar multiplanar rekonstruierte MSCT-Bilder die Mittel- und Innenohranatomie genauso gut darstellen können wie primär koronar akquirierte SSCT-Bilder.
Die Studie zeigt, dass mehr anatomische Strukturen auf den primär axial akquirierten und koronar multiplanar rekonstruierten MSCT-Bildern abgegrenzt werden können als auf den primär axial und koronar akquirierten SSCT-Bildern. Insbesondere die

Darstellung der Gehörknöchelchenkette (Abb. 1-5) und deren Ligamente (Abb. 7, 9-11), des Musculus tensor tympani und dessen Sehne (Abb. 10) gelang mit axialen und koronaren MSCT-Bildern besser als mit SSCT-Bildern. Allerdings waren die Ossikelligamente in der hier vorliegenden Studie schlechter erkennbar als bei einer früher veröffentlichten Studie (20), die eine um 66% längere Rotationszeit verwendete. Jedoch war bei Verwendung der MSCT selbst bei der in dieser vorliegenden Studie verwendeten kurzen Rotationszeit die Erkennbarkeit der Gehörknöchelchen-Ligamente besser als bei anderen Studien, die mit Single-Slice-Technik bei einer relativ langen Rotationszeit von 2 Sekunden arbeiteten (18).

Das Tegmen tympani (Abb. 6) ist eine dünne Knochenlamelle, die die Paukenhöhle von der mittleren Schädelgrube trennt (36). Diese anatomische Struktur ist bei Cholesteatomen, Tumoren oder Frakturen häufig mitbetroffen (14, 19) Folglich ist es klinisch besonders wichtig, diese nur ca. 1 mm dicke knöcherne Struktur abgrenzen zu können (14, 19), insbesondere weil diese Struktur in ca. 20 % der Fälle eine Dehiszenz aufweist. Die Ergebnisse zeigen, dass koronar multiplanar rekonstruierte MSCT-Bilder den primär koronar akquirierten SSCT-Bildern bei der Abgrenzung dieser dünnen Struktur tendenziell überlegen waren. Dieser Unterschied war allerdings nicht signifikant.

Der Kanal des Nervus facialis wird nach seinem Austritt aus dem inneren Gehörgang in drei Segmente unterteilt (15).
Zunächst verläuft das sogenannte labyrinthäre Segment (S1) vom Fundus des inneren Gehörgangs zum Ganglion geniculi, um dann als tympanales Segment (S2) vom Ganglion geniculi zum hinteren Knie des Nervus facialis zu ziehen. An dieser Stelle biegt der Nervus facialis vom horizontal verlaufenden tympanalen Segment in das vertikal verlaufende mastoidale Segment (S3) um, um dann am Foramen stylomastoideum, dem Austrittspunkt des Nervus facialis an der Schädelbasis, zu enden (1, 15) (Abb. 11-13, 15-16).
Der Nervus facialis ist die anatomische Struktur mit der höchsten Variabilität im Felsenbein. Doppelte Ausprägungen der Segmente des Nervus facialis sind ebenso bekannt wie Dehiszenzen des Facialiskanals (Abb. 7), die typischerweise um das ovale Fenster in den medialen zwei Dritteln des tympanischen Segments (2, 3, 7, 11) angetroffen werden. Die Facialis-Kanal-Dehiszenz variiert zwischen 25% und 74%

(2, 3, 7, 11). So wird der Nervus facialis leicht durch Pathologien des Mesotympanons erreicht, wie zum Beispiel bei Cholesteatomen, Tumoren oder entzündlichen Prozessen (14, 19). Aus diesem Grund ist eine präzise Abgrenzung des Fazialis-Kanals vor einem Eingriff am Ohr zwingend notwendig, um das Risiko artifizieller Verletzungen des Nervus facialis zu minimieren (27,31). Um diese klinischen Anforderungen erfüllen zu können, sind hohe Standards bei der Bildgebung notwendig. Diese werden von den primär axial akquirierten und koronar multiplanar rekonstruierten MSCT-Bildern in weitaus höherem Maße als bei den primären SSCT-Bildern erreicht. Sowohl die S1, S2 und S3-Segmente des Fazialis-Kanals, die Furche des Nervus superficialis major als auch Dehiszenzen des Fazialis-Kanals wurden öfter und genauer auf MSCT-Bildern als auf SSCT-Bildern abgegrenzt. Die Erkennungsrate von Dehiszenzen des Fazialis-Kanals lag bei annähernd 60% und steht somit im Einklang mit den Ergebnissen veröffentlichter anatomischer Studien (2, 3, 7, 11).

Dehiszenzen des vorderen Bogenganges (Abb. 17a, 17b) können schwerwiegende klinische Symptome bei betroffenen Patienten hervorrufen, wie zum Beispiel Dreh- und Schwankschwindel bei Husten, Anspannung oder bei lauter Umgebung (24). Plombierung oder Deckung des betroffenen vorderen Bogenganges sind mögliche chirurgische Therapiemöglichkeiten (35).
Deshalb sind hochauflösende CT-Bilder nicht nur in x- und y-Achse, sondern auch in der z-Achse nötig, um diese kleine Dehiszenz und Ausdünnung der knöchernen Bedeckung des anterioren Bogenganges zur mittleren Schädelgrube hin abzugrenzen. Eine histopatholgische Studie von 1000 Felsenbeinen zeigte eine Rate von 0,5% für Dehiszenzen und von 1,4% für schwere Knochenausdünnungen (Knochendicke 0,1 mm oder weniger) des vorderen Bogenganges (24). Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen zeigt diese Studie eine Dehiszenz des vorderen Bogenganges in einem Fall (2%) auf primär koronar akquirierten SSCT-Bildern und in vier (8%) (Auswerter 1) bzw. fünf (10%) (Auswerter 2) Fällen auf koronar multiplanar rekonstruierten MSCT-Bildern. Dabei muss man bedenken, dass diese Prozentzahlen natürlich deshalb zu hoch scheinen, weil im Vergleich zur vorher erwähnten histopathologischen Studie die Fallzahlen deutlich geringer ausfallen. Jedoch litten sowohl der Patient in dem einen Fall bei den primär koronaren SSCT-Bildern als auch drei der fünf Patienten, bei denen auf den koronar multiplanar

rekonstruierten MSCT-Bildern eine Dehiszenz nachgewiesen werden konnte, an schwerem sensoneuralem Hörverlust. Die verbleibenden zwei Patienten, bei denen eine Dehiszenz des vorderen Bogenganges abgegrenzt werden konnte, zeigten klinische Symptome eines geräusch- und druckinduzierten Schwindels, wobei bei einem der beiden Patienten die Dehiszenz intraoperativ nachgewiesen wurde. Dies lässt die Einschätzung zu, dass bei der Abgrenzung einer Dehiszenz des vorderen Bogenganges die koronar multiplanar rekonstruierten MSCT-Bilder mindestens ebenso gut sind wie die primär koronaren SSCT-Bilder. Weil jedoch die Fallzahlen sehr gering waren, zeigte der Mann-Whitney-U-Test keine Signifikanz beim Vergleich der beiden Aufnahmetechniken.

Beim Einsetzen eines Cochlear Implants wird zuerst das Mastoid teilweise reseziert. Danach wird der Recessus facialis eröffnet, dann ein Zugang zum runden Fenster oder der basalen Rundung der Cochlea geschaffen; daraufhin wird die Elektrode in der Scala tympani durch die basale Windung der Cochlea hindurch platziert (32).
Kleine Ossifikationen der basalen Cochlea-Windung, die nach einer Labyrinthitis oder bei Otospongiose vorhanden sein können, verursachen eine knöcherne Obliteration des Lumens.
Um derartige Probleme vermeiden zu können ist es wichtig, diese knöchernen Veränderungen vor der Operation darzustellen,. Eine mögliche chirurgische Alternative ist dann das Wählen eines anderen Zugangsweges, zum Beispiel durch die mittlere Schädelgrube über die Rundung an der Cochleaspitze (32).
Um die Abgrenzbarkeit dieser kleinen Ossifikationen in Ohren bewerten zu können, wurde als Referenzstruktur die knöcherne Spirallamina (Abb. 8), welche nahe des Modiolus eine Dicke von ungefähr 1 mm aufweist, gewählt (9, 36). Sowohl die primär axial akquirierten als auch die koronar multiplanar rekonstruierten MSCT-Bilder waren bei der Abgrenzung der knöchernen Spirallamina signifikant besser als die primär axial und koronar akquirierten SSCT-Bilder. Diese Tatsache spricht für die Verwendung von MSCT-Bildern, um kleine Ossifikationen der Cochlea abzugrenzen. Auch zur postoperativen Kontrolle der Lage des Cochlear Implants, insbesondere bei Verdacht auf eine lokale Entzündung hat sich die MSCT bewährt (33).

Der Nervus vestibularis unterteilt sich in einen inferioren und einen superioren Anteil. Der superiore Anteil innerviert mit afferenten Fasern sowohl die Crista des vorderen und seitlichen Bogenganges als auch den Utriculus und Anteile der Macula des Sacculus. Der inferiore Anteil des Nervus vestibularis (Abb. 5) gliedert sich auf in den Nervus saccularis (Abb. 1), der den Hauptteil der Macula des Sacculus versorgt, und in den Nervus ampullaris posterior (Abb. 2, 4, 5), der die Ampulla posterior versorgt (4).

Mit der SSCT mit hoher räumlicher Auflösung ist die Darstellung sowohl des knöchernen Kanals des superioren Anteils als auch des Hauptstamms des inferioren Anteils des Nervus vestibularis möglich. In SSCT-Bildern stellt sich der Kanal des Nervus saccularis als Aufhellung dar, dessen Ursprung am Fundus des inneren Gehörgangs liegt und dann bis zu den medialen zwei Dritteln des Vestibulums verläuft (9).

Der Kanal des Nervus ampullaris posterior (Abb. 2, 4) und der Kanal dessen akzessorischen Nerven (Abb. 4, 5) war jedoch bis jetzt nicht auf SSCT-Bildern darstellbar. Beide Nerven spalten sich vom inferioren Anteil des Nervus vestibularis im Fundus des inneren Gehörganges ab und verlaufen von der hinteren Wand des inneren Gehörganges zur Ampulla posterior (4). Anatomische Studien zeigen abweichende Ergebnisse. Die Inzidenz eines Kanals des Nervus ampullaris posterior variiert zwischen 6,7 % und 100 % (4, 25, 26). Ein eigener Kanal des akzessorischen Nerven des Nervus ampullaris posterior wurde in 5,6 % bis 100 % beobachtet (4, 25, 26). Weil diese Werte enorm voneinander abweichen, wurde diese sehr feine anatomische Struktur verwendet, um die räumliche Auflösung der Single-Slice- und Multi-Slice-CT zu untersuchen. Die primär axial akquirierten und koronar multiplanar rekonstruierten MSCT-Bilder waren signifikant den primär axial und koronar akquirierten SSCT-Bildern bei der Abgrenzung des Kanals des Nervus ampullaris posterior überlegen. Bei den MSCT-Bildern betrug die Frequenz der Abgrenzung des Kanals des Nervus ampullaris posterior zwischen 84 % und 94 %, die Frequenz bei der Abgrenzung eines eigenen Kanals des akzessorischen Nerven des Nervus ampullaris posterior lag bei 18 %. Weil jedoch die Fallzahlen der dargestellten Kanäle dieses Nerven klein waren, gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen SSCT und MSCT. Die Darstellbarkeit des Kanals des akzessorischen Nerven des

Nervus ampullaris posterior ist von großer klinischer Relevanz, da mit der MSCT ein radiologisches Verfahren zur Verfügung steht, um erstmalig nachzuweisen, warum bei einem Teil der Patienten mit Neuritis vestibularis die Funktion des posterioren Bogenganges bei gleichzeitigem Ausfall des anterioren und lateralen Bogenganges bestehen bleibt, bei anderen Patienten jedoch nicht. Dies könnte nämlich durch eine doppelte Innervation des posterioren Bogenganges erklärt werden.
Der Wert der primär axial akquirierten und koronar multiplanar rekonstruierten MSCT-Bilder wurde oben beschrieben. Nicht nur die Frequenz bei der Abgrenzung anatomischer Strukturen, sondern auch die Gewissheit bei der Abgrenzung dieser Strukturen war für beide Auswerter bei den primär axial akquirierten und koronar multiplanar rekonstruierten MSCT-Bildern deutlich besser als bei den SSCT-Bildern. Bei der Auswertung der MSCT-Bilder wurden die Werte „wahrscheinlich nicht abgrenzbar“, „unsicher“ und „wahrscheinlich abgrenzbar“ deutlich seltener angegeben als bei den SSCT-Bildern.

Die wesentlich bessere Leistung der MSCT bei der Abgrenzung anatomischer Strukturen auf primär axial akquirierten ebenso wie auf koronar multiplanar rekonstruierten Bildern, die geringere Abhängigkeit von der Erfahrung des Auswerters und die höhere Gewissheit und Treffsicherheit bei der Abgrenzung auch feiner Strukturen im Vergleich zur SSCT sprechen deutlich für die Verwendung der MSCT-Technik bei der Diagnostik in der Region des Felsenbeins.

6. Zusammenfassung

Die anatomisch hoch auflösende Computertomographie zählt zu den Standard-techniken bei der Untersuchung des Felsenbeins. Um die feinen Strukturen klar abgrenzen zu können, sind Aufnahmen in axialer und koronarer Ebene nötig. Es ist prinzipiell möglich, die koronare Ebene aus axialen Datensätzen zu rekonstruieren, jedoch waren diese Rekonstruktionen bisher von unzureichender Qualität.

Das Ziel dieser Studie war, die Qualität von Mehr- und Einzeilen-Spiral-CTs in der Darstellung verschiedener anatomischer Strukturen des Felsenbeins zu vergleichen. Dabei wurden einerseits primär axial akquirierte Bilder beider Aufnahmetechniken verglichen, in der koronaren Ebene jedoch primär koronar akquirierte Einzeilen-CT-Bilder mit koronar multiplanar rekonstruierten Mehrzeilen-CT-Bildern.

Die Ergebnisse zeigten dabei Folgendes:
Bei 60% der anatomischen Strukturen war die Übereinstimmung der Auswerter bei den Mehrzeilen-CT-Bildern deutlich besser als bei den Einzeilen-CT-Bildern. Ein ähnliches Bild zeigte sich in der koronaren Ebene. Hier war die Übereinstimmung in 58% der Fälle bei den koronar multiplanar rekonstruierten Bildern besser als bei den primär koronaren Bildern der Einzeilen-CT.
Auch bei der Abgrenzbarkeit der einzelnen Strukturen waren die Ergebnisse ähnlich: In 82% (Auswerter 1) bzw. 84% (Auswerter 2) der Fälle waren die anatomischen Strukturen besser auf primär axial akquirierten Mehrzeilen-CT-Bildern abgrenzbar als auf Einzeilen-CT-Bildern.
Ebenso waren in 88% (Auswerter 1) bzw. 90% (Auswerter 2) der Fälle bei den koronar multiplanar rekonstruierten Mehrzeilen-CT-Bildern die anatomischen Strukturen besser erkennbar als bei den primär koronaren Einzeilen-CT-Bildern.

Zusammenfassend bringt die Mehrzeilen-CT entscheidene Vorteile mit sich. Erstens können noch feinere Strukturen dargestellt werden. Zweitens werden die Untersuchungszeiten noch kürzer; dies ist insbesondere bei Kindern von großem Interesse, da so häufig auf eine Sedierung verzichtet werden könnte. Drittens kann durch die Möglichkeit der Rekonstruktion die Strahlenexposition ohne Qualitäts-

verlust reduziert werden. Die Option der Rekonstruktion ist auch bedeutend bei immobilen Patienten, bei denen primär koronare Aufnahmen nicht möglich sind.
Aufgrund der wesentlich besseren Leistung bei der Abgrenzbarkeit der einzelnen Strukturen, der qualitativ gleichwertigen, wenn nicht sogar besseren koronar multiplanar rekonstruierten Aufnahmen ist die Mehrzeilen-CT Methode der Wahl zur Darstellung des Felsenbeins.

7. Tabellen und Abbildungen

7.1. Tabellen

Tabelle 1: In der Single- und Multi-Slice-CT untersuchte anatomische Strukturen

ligamentum mallei anterius
ligamentum mallei superius
ligamentum mallei laterale
ligamentum incudalis superior
ligamentum incudalis posterior
musculus stapedius
tendo stapedius
musculus tensor tympani
tendo tensor tympani
canalis facialis: labyrinthäres segment (S1)
canalis facialis: tympanales segment (S2)
canalis facialis: mastoidales segment (S3)
Furche des N. petrosus major superficialis
Dehiszenz des canalis facialis im Segm. S2
Kanal des N. cochlearis
Kanal der pars superior des N. vestibularis
Kanal des Nervus saccularis
Kanal des N. ampullaris posterior
Kanal des N. accessorius des N. ampullaris posterior
caput mallei
collum mallei
manubrium mallei
processus lateralis mallei
processus anterior mallei
corpus incudis
crus breve incudis
crus longum incudis
processus lenticularis incudis
articulatio incudomallearis
caput stapedis
crus anterior stapedis
crus posterior stapedis
basis stapedis

articulatio incudostapedialis
membrana tympanica
fenestra vestibulae
fenestra cochleae
tegmen tympani
eminentia pyramidalis
processus cochleariformis
Mastoidzellen
lamina spiralis ossea cochlearis
modiolus cochlearis
aquaeductus cochlearis
aquaeductus vestibularis
ampulla ossea anterior
ampulla ossea posterior
ampulla ossea lateralis
Dehiszenz des canalis semicircularis lateralis
Dehiszenz des canalis semicircularis anterior

Tabelle 2a: **(Seite 30-31)** Der Kappa-Index gibt den Grad der Übereinstimmung der beiden Auswerter bei jeder anatomischen Struktur sowohl für jede einzelne Bewertungsstufe ((1=sicher nicht abgrenzbar, 2= wahrscheinlich nicht abgrenzbar, 3=nicht beurteilbar, 4=wahrscheinlich abgrenzbar, 5=sicher abgrenzbar)) als auch insgesamt an. Hier für **primär axial akquirierte** SSCT- und MSCT-Bilder.
S1=Segment 1; S2= Segment 2; S3=Segment 3 des canalis facialis; N. amp. post.=Nervus ampullaris posterior.

Tabelle 2b: **(Seite 32-33)** Der Kappa-Index gibt den Grad der Übereinstimmung der beiden Auswerter bei jeder anatomischen Struktur sowohl für jede einzelne Bewertungsstufe (1=sicher nicht abgrenzbar, 2= wahrscheinlich nicht abgrenzbar, 3=nicht beurteilbar, 4=wahrscheinlich abgrenzbar, 5=sicher abgrenzbar) als auch insgesamt an. Hier für **primär koronar akquirierte** SSCT- und **koronar multiplanar rekonstruierte** MSCT-Bilder.
S1=Segment 1; S2= Segment 2; S3=Segment 3 des canalis facialis; N. amp. post.=Nervus ampullaris posterior.

Tabelle 3a-d: **(Seite 34-37)** Die Frequenz der abgrenzbaren anatomischen Strukturen mit der Verteilung in den einzelnen Bewertungsstufen (1=sicher nicht abgrenzbar, 2= wahrscheinlich nicht abgrenzbar, 3=nicht beurteilbar, 4=wahrscheinlich abgrenzbar, 5=sicher abgrenzbar) ist getrennt für SSCT und MSCT dargestellt.
S1=Segment 1; S2= Segment 2; S3=Segment 3 des canalis facialis; N. amp. post.=Nervus ampullaris posterior.

Tabelle 4: **(Seite 38-39)** Mit den Ergebnissen, die mit Hilfe des 5-Punkte-Bewertungssystems gewonnen wurden, wurden die primär axial akquirierten SSCT- und MSCT-Bilder ebenso wie die primär koronar akquirierten SSCT- und koronar multiplanar rekonstruierten MSCT-Bilder unter Verwendung des Mann-Whitney-U-Tests miteinander hinsichtlich der Erkennbarkeit anatomischer Strukturen verglichen. Der Signifikanzgrad ist für Auswerter 1 angegeben, in Klammern der Wert für Auswerter 2.
S1=Segment 1; S2= Segment 2; S3=Segment 3 des canalis facialis; N. amp. post.=Nervus ampullaris posterior.

Tabelle 2a: Kappa Index axialer SSCT- und MSCT Bilder

Anatomische Strukturen	Axiale SSCT-Bilder Fünf-Punkt Qualitätsbewertung						Axiale MSCT-Bilder Fünf-Punkt Qualitätsbewertung					
	1	2	3	4	5	gesamt	1	2	3	4	5	gesamt
ligamentum mallei anterius	0,96	-0,29	0,37	1	1	0,86				1	1	1
ligamentum mallei superius	1				1	1	1	1	1	1	1	1
ligamentum mallei laterale	0,78	0,56	1	1	1	0,8			0,63	0,63	0,81	0,71
ligamentum incudalis superior	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1
ligamentum incudalis posterior	0,94	0,85	1	0,8	0,66	0,88	1	0,643	0,55	0,61	0,82	0,7
musculus stapedius	0,81	0,75	0,77	0,78	1	0,79			1	0,79	0,85	0,85
tendo stapedius	0,84	0,54	1	1		0,85	0,66	-0,01	0,37	0,75	0,91	0,77
musculus tensor tympani			0,48	0,87	1	0,89				1	1	1
tendo tensor tympani	0,9	0,56	0,79	0,95	1	0,87				1	1	1
canalis facialis: labyrinthäres segment (S1)			1	0,9	0,91	0,91					1	1
canalis facialis: tympanales segment (S2)			0,79	0,95	1	0,96					1	1
canalis facialis: mastoidales segment (S3)				1	1	1					1	1
Furche des N. petrosus major superficialis		0,66	0,79	1	1	0,96				1	1	1
Dehiszenz des canalis facialis im Segm. S2	0,65	0,72	0,88	0,69	1	0,78	1	-0,01	1	0,76	0,91	0,9
Kanal des N. cochlearis				0,66	0,66	0,66					1	1
Kanal des oberen Teils des N. vestibularis			1	0,95	0,95	0,95				1	1	1
Kanal des Nervus saccularis	-0,01	-0,01	0,9	0,91	1	0,91				1	1	1
Kanal des N. ampullaris posterior	0,88	0,74	0,91	1	1	0,92	1	1		-0,02	0,73	0,74
Kanal des akzess. N. des N. amp. post.	1			1		1	1	1	-0,01	0,66	1	0,94
caput mallei				1	1	1					1	1
collum mallei		0,66	0,89	0,78	0,9	0,85			0,01	0,96	1	0,96
manubrium mallei				1	1	1					1	1
processus lateralis mallei	0,77	0,52	0,77	1	1	0,76			1	0,9	0,93	0,93
processus anterior mallei	0,8	0,55	0,9	1	1	0,82			1	1	1	1

Fortsetzung Tabelle 2a

corpus incudis				0,66	0,66	0,66				1	1	1
crus breve incudis		1		0,73	0,81	0,82				1	1	1
crus longum incudis				1	1	1				1	1	1
processus lenticularis incudis	1	0,66	0,63	0,75	0,92	0,82					1	1
articulatio incudomallearis	1		0,48	0,6 5	1	0,82				1	1	1
caput stapedis	1	1	0,91	0,91	0,96	0,94				1	1	1
crus anterior stapedis	0,91	0,62	0, 9	1	1	0,89				1	1	1
crus posterior stapedis	0,82	0,61	0,94	1	1	0,87				1	1	1
basis stapedis	1		0,94	0,95	1	0,97				1	1	1
articulatio incudostapedialis	1	1	0,95	0,94	1	0,97					1	1
membrana tympanica	0,95	0,92	1	1	1	0,97				1	1	1
fenestra vestibuli			0,48	0,69	0,92	0,77				1	1	1
fenestra cochleae	0,01	0,79	1	0,92	0,95	0,91				0,66	0,66	0,66
tegmen tympani		1	1	0,93	0,65	0,95				1	1	1
eminentia pyramidalis		1	0,89	0,83	0,91	0,88					1	1
processus cochleariformis	0,54	0,55	0,79	0,94	1	0,82				0,79	0,79	0,79
Mastoidzellen				1	1	1					1	1
lamina spiralis ossea cochlearis	0,84	0,7	1	1	1	0,88			0,53	0,68	1	0,76
modiolus cochlearis				1	1	1					1	1
aquaeductus cochlearis	0,95	0,85	0,79	0,77	0,88	0,85	-0,01	0,37	0,78	0,76	0,91	0,78
aquaeductus vestibularis	0,91	0,63	0,65	0,94	0,96	0,88	1				1	1
ampulla ossea anterior	-0,02	0,88	1	0,94	0,85	0,9			0,69	0,87	1	0,89
ampulla ossea posterior	-0,02	0,88	0,95	0,88	1	0,89			0,69	0,87	1	0,89
ampulla ossea lateralis	-0,01	0,85	0,91	0,92	1	0,91				1	1	1
Dehiszenz des canalis semicircularis lateralis	0,66		0,66			0,66	1			1	1	1
Dehiszenz des canalis semicircularis anterior	1	1	1	1		1	1		1	1	1	1

Tabelle 2b: Kappa Index koronarer SSCT- und MSCT Bilder

Anatomische Strukturen	Koronare SSCT-Bilder Fünf-Punkt Qualitätsbewertung						Koronare MSCT-Bilder Fünf-Punkt Qualitätsbewertung					
	1	2	3	4	5	gesamt	1	2	3	4	5	gesamt
ligamentum mallei anterius	1					1	1	1	1			1
ligamentum mallei superius	0,92	0,66	0,66	0,88		0,85		0,66	0,8	0,78	0,95	0,84
ligamentum mallei laterale	1	1	0,9	0,94	1	0,97			0,69	0,64	0,86	0,75
ligamentum incudalis superior	1	1	1	1		1		-0,01	0,7	0,72	1	0,8
ligamentum incudalis posterior	1					1	1	1	1		1	1
musculus stapedius	1					1	0,92	0,85	1		1	0,93
tendo stapedius	1					1	0,92	0,85	1		1	0,93
musculus tensor tympani			0,54	0,71	0,83	0,73					1	1
tendo tensor tympani	0,89	0,79	1	0,92	0,91	0,92					1	1
canalis facialis: labyrinthäres segment (S1)			0,85	0,96	1	0,96					1	1
canalis facialis: tympanales segment (S2)			1	1	1	1					1	1
canalis facialis: mastoidales segment (S3)	0,85	0,73	0,83	0,89	1	0,89					1	1
Furche des N. petrosus major superficialis	1	0,85	0,88	0,93	1	0,95				1	1	1
Dehiszenz des canalis facialis im Segm. S2	1	0,93	0,93	0,85	0,92	0,95	1	-0,01	-0,01	-0,01	0,95	0,91
Kanal des N. cochlearis	1		-0,01	0,91	1	0,93		1	1		1	1
Kanal des oberen Teils des N. vestibularis		0,66	-0,01	0,87	0,88	0,83				1	1	1
Kanal des Nervus saccularis		-0,01	-0,02	0,88	0,95	0,84				0,79	0,79	0,79
Kanal des N. ampullaris posterior	0,92	0,81	1	1	1	0,95	1	-0,01	0,48	0,54	0,83	0,68
Kanal des akzess. N. des N. amp. post.	1					1	1		0,48	0,02	1	0,87
caput mallei				0,66	0,66	0,66					1	1
collum mallei			0,66	0,87	0,34	0,88				1	1	1
manubrium mallei			0,66	0,87	0,94	0,88					1	1
processus lateralis mallei	0,85	0,56	0,75	0,8	0,95	0,82			0,79	0,88	1	0,92
processus anterior mallei	1	1	1		1	1	0,86	0,78	0,93	1	1	0,87

Fortsetzung Tabelle 2b

corpus incudis			1	0,48	0,65	0,65					1	1
crus breve incudis	0,85	0,66	0,88	0,94	1	0,93				1	1	1
crus longum incudis			-0,02	0,73	1	0,78					1	1
processus lenticularis incudis	1	1	0,94	0,94	1	0,97			1		1	1
articulatio incudomallearis	1	1	1	0,9	0,94	0,95			1		1	1
caput stapedis	0,89	0,88	1	0,95	0,95	0,95					1	1
crus anterior stapedis	0,96	0,94	0,91	-0,01		0,92	1	0,79	0,62	-0,04	1	0,64
crus posterior stapedis	0,96	0,81	0,83	1		0,89	1	1	0,93	0,48	1	0,84
basis stapedis	1	1	0,71	0,67	0,83	0,77			1	1	1	1
articulatio incudostapedialis	0,95	0,94	0,93	0,83	0,94	0,92			1		1	1
membrana tympanica	1	1	1	0,95	0,88	0,97				1	1	1
fenestra vestibuli		1		1	1	1					1	1
fenestra cochleae		-0,01	0,79	1	1	0,94					1	1
tegmen tympani			1	-0,02	0,73	0,73					1	1
eminentia pyramidalis	1					1	1	1			1	1
processus cochleariformis	0,75	0,69	0,95	1	1	0,85			0,36	0,68	0,82	0,72
Mastoidzellen				0,83	0,83	0,83					1	1
lamina spiralis ossea cochlearis	0,96	0,94	1	1		0,96		-0,01	0,72	0,72	0,93	0,76
modiolus cochlearis		0,88	0,85	0,85	0,96	0,89				1	1	1
aquaeductus cochlearis	0,84	0,8	0,93	0,66		0,84	-0,01	0,71	0,58	0,9	1	0,79
aquaeductus vestibularis	0,91	0,67	0,65	0,81	1	0,82	1	0,66	0,66	0,55	0,72	0,68
ampulla ossea anterior			0,85	0,92	0,96	0,93					1	1
ampulla ossea posterior	1	1	1	0,92	0,92	0,94					1	1
ampulla ossea lateralis	1	1	0,91	0,91	0,96	0,94					1	1
Dehiszenz des canalis semicircularis lateralis	1			1		1	1					1
Dehiszenz des canalis semicircularis anterior	0,88	0,79	1		1	0,88	0,88				0,88	0,88

Tabelle 3a: Frequenz abgrenzbarer anatomischer Strukturen auf axialen Bildern: Reader 1

Anatomische Strukturen	SS-CT	MS-CT	SS-CT	MS-CT	SS-CT	MS-CT	SS-CT	MS-CT	SS-CT	MS-CT
	1		2		3		4		5	
ligamentum mallei anterius	31	0	2	0	4	0	8	9	5	41
ligamentum mallei superius	49	41	0	4	0	3	0	1	1	1
ligamentum mallei laterale	36	0	7	0	2	3	2	15	3	32
ligamentum incudalis superior	48	41	0	4	1	3	0	1	1	1
ligamentum incudalis posterior	40	1	4	2	2	7	2	13	2	27
musculus stapedius	8	0	12	0	15	1	12	2	3	47
tendo stapedius	37	1	4	1	7	1	2	18	0	29
musculus tensor tympani	0	0	0	0	1	0	10	0	39	50
tendo tensor tympani	5	0	4	0	14	0	15	1	12	49
canalis facialis: labyrinthäres segment (S1)	0	0	0	0	1	0	5	0	44	50
canalis facialis: tympanales segment (S2)	0	0	0	0	2	0	14	0	34	50
canalis facialis: mastoidales segment (S3)	0	0	0	0	0	0	4	0	46	50
Furche des N. petrosus major superficialis	0	0	1	0	3	0	11	0	35	50
Dehiszenz des canalis facialis im Segm. S2	2	20	18	0	24	1	5	9	1	20
Kanal des N. cochlearis	0	0	0	0	0	2	1	1	49	47
Kanal des oberen Teils des N. vestibularis	0	0	0	0	1	0	13	0	36	50
Kanal des Nervus saccularis	0	0	1	0	15	0	18	4	16	46
Kanal des N. ampullaris posterior	9	2	7	1	7	0	17	0	10	47
Kanal des akzess. N. des N. amp. post.	49	38	0	1	0	0	1	2	0	9
caput mallei	0	0	0	0	0	0	3	0	47	50
collum mallei	0	0	1	0	39	0	5	23	5	27
manubrium mallei	0	0	0	0	0	0	4	0	46	50
processus lateralis mallei	14	0	13	0	13	4	4	5	6	41
processus anterior mallei	24	0	10	0	6	1	5	4	5	45
corpus incudis	0	0	0	0	0	0	1	1	49	49
crus breve incudis	0	0	2	0	0	0	3	1	45	49
crus longum incudis	0	0	0	0	0	0	1	1	49	49
processus lenticularis incudis	3	0	1	0	4	0	10	0	32	50
articulatio incudomallearis	1	0	0	0	1	0	4	1	44	49
caput stapedis	1	0	3	0	6	0	21	2	19	48
crus anterior stapedis	17	0	7	0	13	0	9	9	4	41
crus posterior stapedis	14	0	9	0	12	0	11	9	4	41
basis stapedis	1	0	0	0	9	0	15	2	25	48
articulatio incudostapedialis	5	0	8	0	13	0	11	1	13	49
membrana tympanica	13	0	8	0	14	0	12	1	3	49
fenestra vestibuli	0	0	0	0	1	0	6	1	43	49
fenestra cochleae	0	0	3	0	4	0	7	1	36	49
tegmen tympani	0	0	1	0	36	0	12	48	1	2
eminentia pyramidalis	0	0	1	0	4	0	13	0	32	50
processus cochleariformis	2	0	8	0	14	0	11	3	15	47
Mastoidzellen	22	0	9	0	6	6	12	26	1	18
lamina spiralis ossea cochlearis	0	0	0	0	0	0	5	0	45	50
modiolus cochlearis	0	0	0	0	0	0	6	0	44	50
aquaeductus cochlearis	12	0	8	2	8	10	11	9	11	29
aquaeductus vestibularis	6	1	5	0	3	0	12	0	24	49
ampulla ossea anterior	0	0	11	0	26	4	10	27	3	19
ampulla ossea posterior	0	0	12	0	32	4	5	25	1	21
ampulla ossea lateralis	0	0	4	0	15	0	22	1	9	49
Dehiszenz des canalis semicircularis lateralis	48	50	0	0	2	0	0	0	0	0
Dehiszenz des canalis semicircularis anterior	15	42	3	0	31	3	1	4	0	1

Tabelle 3b: Frequenz abgrenzbarer anatomischer Strukturen auf axialen Bildern: Reader 2

Anatomische Strukturen	SS-CT	MS-CT	SS-CT	MS-CT	SS-CT	MS-CT	SS-CT	MS-CT	SS-CT	MS-CT
	1		2		3		4		5	
ligamentum mallei anterius	31	0	2	0	4	0	8	9	5	41
ligamentum mallei superius	49	41	0	4	0	3	0	1	1	1
ligamentum mallei laterale	40	0	3	0	2	7	2	15	3	28
ligamentum incudalis superior	48	41	0	3	1	4	0	1	1	1
ligamentum incudalis posterior	41	1	3	4	2	8	3	15	1	22
musculus stapedius	11	0	8	0	16	1	12	3	3	46
tendo stapedius	38	2	3	0	7	4	2	17	0	27
musculus tensor tympani	0	0	0	0	3	0	8	0	39	50
tendo tensor tympani	6	0	6	0	12	0	14	1	12	49
canalis facialis: labyrinthäres segment (S1)	0	0	0	0	1	0	6	0	34	50
canalis facialis: tympanales segment (S2)	0	0	0	0	3	0	13	0	43	50
canalis facialis: mastoidales segment (S3)	0	0	0	0	0	0	4	0	34	50
Furche des N. petrosus major superficialis	0	0	2	0	2	0	11	0	35	50
Dehiszenz des canalis facialis im Segm. S2	4	20	14	1	25	1	6	8	1	20
Kanal des N. cochlearis	0	0	0	0	0	2	2	1	48	47
Kanal des oberen Teils des N. vestibularis	0	0	0	0	1	0	12	0	37	50
Kanal des Nervus saccularis	2	0	3	0	17	0	17	4	11	46
Kanal des N. ampullaris posterior	11	2	6	1	6	0	17	2	10	45
Kanal des akzess. N. des N. amp. post.	49	38	0	1	0	1	1	1	0	9
caput mallei	0	0	0	0	0	0	3	0	47	50
collum mallei	0	0	2	0	37	1	5	22	6	27
manubrium mallei	0	0	0	0	0	0	4	0	46	50
processus lateralis mallei	19	0	12	0	9	3	4	7	6	40
processus anterior mallei	29	0	6	0	5	1	5	4	5	45
corpus incudis	0	0	0	0	0	0	2	1	48	49
crus breve incudis	0	0	2	0	0	0	5	1	43	49
crus longum incudis	0	0	0	0	0	0	1	1	49	49
processus lenticularis incudis	3	0	2	0	5	0	10	0	30	50
articulatio incudomallearis	1	0	0	0	3	0	2	1	44	49
caput stapedis	1	0	3	0	7	0	19	2	20	48
crus anterior stapedis	19	0	5	0	13	0	9	9	4	41
crus posterior stapedis	18	0	6	0	11	0	11	9	4	41
basis stapedis	1	0	0	0	10	0	14	2	25	48
articulatio incudostapedialis	5	0	8	0	14	0	10	1	13	49
membrana tympanica	14	0	7	0	14	0	12	1	3	49
fenestra vestibuli	0	0	0	0	3	0	5	1	42	49
fenestra cochleae	1	0	2	0	4	0	8	2	35	48
tegmen tympani	0	0	1	0	36	0	11	48	2	2
eminentia pyramidalis	0	0	1	0	5	0	10	0	34	50
processus cochleariformis	5	0	8	0	12	0	10	2	15	48
Mastoidzellen	0	0	0	0	0	0	6	0	44	50
lamina spiralis ossea cochlearis	24	0	7	0	6	4	12	18	1	18
modiolus cochlearis	0	0	0	0	0	0	5	0	45	50
aquaeductus cochlearis	13	1	8	3	9	9	11	8	9	29
aquaeductus vestibularis	7	1	4	0	3	0	11	0	25	49
ampulla ossea anterior	2	0	9	0	26	8	9	23	4	19
ampulla ossea posterior	2	0	10	0	33	8	4	21	1	21
ampulla ossea lateralis	1	0	3	0	17	0	20	1	9	49
Dehiszenz des canalis semicircularis lateralis	49	50	0	0	1	0	0	0	0	0
Dehiszenz des canalis semicircularis anterior	15	42	3	0	31	3	1	4	0	1

Tabelle 3c: Frequenz abgrenzbarer anatomischer Strukturen auf koronaren Bildern: Reader 1

Anatomische Strukturen	SS-CT	MS-CT	SS-CT	MS-CT	SS-CT	MS-CT	SS-CT	MS-CT	SS-CT	MS-CT
	1		2		3		4		5	
ligamentum mallei anterius	50	45	0	4	0	1	0	0	0	0
ligamentum mallei superius	43	0	1	1	1	15	5	16	0	18
ligamentum mallei laterale	25	0	4	0	5	5	11	13	5	32
ligamentum incudalis superior	44	0	1	0	2	15	3	16	0	19
ligamentum incudalis posterior	50	45	0	1	0	1	0	0	0	3
musculus stapedius	50	41	0	5	0	2	0	0	0	2
tendo stapedius	50	41	0	5	0	2	0	0	0	2
musculus tensor tympani	0	0	0	0	3	0	15	0	32	50
tendo tensor tympani	5	0	3	0	8	0	19	0	15	50
canalis facialis: labyrinthäres segment (S1)	0	0	0	0	3	0	23	0	24	50
canalis facialis: tympanales segment (S2)	0	0	0	0	1	0	6	0	43	50
canalis facialis: mastoidales segment (S3)	3	0	4	0	11	0	13	0	19	50
Furche des N. petrosus major superficialis	7	0	3	0	12	0	8	2	20	48
Dehiszenz des canalis facialis im Segm. S2	22	19	9	0	8	1	3	0	8	30
Kanal des N. cochlearis	1	0	0	1	0	1	7	0	42	48
Kanal des oberen Teils des N. vestibularis	0	0	1	0	1	0	8	1	40	49
Kanal des Nervus saccularis	0	0	0	0	1	0	10	2	39	48
Kanal des N. ampullaris posterior	19	1	7	1	5	1	8	3	11	44
Kanal des akzess. N. des N. amp. post.	50	40	0	0	0	1	0	2	0	7
caput mallei	0	0	0	0	0	0	2	0	48	50
collum mallei	0	0	0	0	1	0	9	1	40	49
manubrium mallei	0	0	0	0	1	0	2	0	47	50
processus lateralis mallei	7	0	5	0	10	2	10	5	18	43
processus anterior mallei	44	19	2	15	3	10	0	5	1	1
corpus incudis	0	0	0	0	1	0	1	0	48	50
crus breve incudis	3	0	2	0	4	0	12	33	29	17
crus longum incudis	0	0	0	0	0	0	5	0	45	50
processus lenticularis incudis	5	0	2	0	9	1	10	0	24	49
articulatio incudomallearis	2	0	2	0	2	1	5	0	39	49
caput stapedis	4	0	5	0	13	0	15	0	13	50
crus anterior stapedis	33	1	10	2	6	43	1	3	0	1
crus posterior stapedis	33	1	8	3	8	42	1	3	0	1
basis stapedis	2	0	5	0	12	1	24	17	7	32
articulatio incudostapedialis	13	0	12	0	8	0	7	1	10	49
membrana tympanica	14	0	8	0	11	0	12	1	5	49
fenestra vestibuli	0	0	1	0	0	0	3	0	46	50
fenestra cochleae	0	0	0	0	3	0	6	0	41	50
tegmen tympani	0	0	0	0	3	0	1	0	46	50
eminentia pyramidalis	50	40	0	8	0	0	0	0	0	2
processus cochleariformis	11	0	15	0	13	1	6	21	5	28
Mastoidzellen	0	0	0	0	0	0	6	0	44	50
lamina spiralis ossea cochlearis	31	0	11	0	6	17	2	22	0	11
modiolus cochlearis	0	0	4	0	14	0	15	1	17	49
aquaeductus cochlearis	24	0	16	13	9	9	1	17	0	11
aquaeductus vestibularis	16	1	7	1	8	2	11	3	8	43
ampulla ossea anterior	0	0	0	0	3	0	22	1	25	49
ampulla ossea posterior	1	0	1	0	5	0	22	1	21	49
ampulla ossea lateralis	1	0	1	0	7	0	17	1	24	49
Dehiszenz des canalis semicircularis lateralis	49	50	0	0	0	0	1	0	0	0
Dehiszenz des canalis semicircularis anterior	45	46	3	0	1	0	0	0	1	4

Tabelle 3d: Frequenz abgrenzbarer anatomischer Strukturen auf koronaren Bildern: Reader 2

Anatomische Strukturen	SS-CT	MS-CT	SS-CT	MS-CT	SS-CT	MS-CT	SS-CT	MS-CT	SS-CT	MS-CT
	1		2		3		4		5	
ligamentum mallei anterius	50	45	0	4	0	1	0	0	0	0
ligamentum mallei superius	42	0	2	2	2	18	4	13	0	17
ligamentum mallei laterale	25	0	4	0	6	8	10	11	5	31
ligamentum incudalis superior	44	0	1	1	2	18	3	12	0	19
ligamentum incudalis posterior	50	45	0	1	0	1	0	0	0	3
musculus stapedius	50	42	0	3	0	3	0	0	0	2
tendo stapedius	50	42	0	3	0	3	0	0	0	2
musculus tensor tympani	0	0	0	0	5	0	15	0	30	50
tendo tensor tympani	6	0	2	0	8	0	19	0	15	50
canalis facialis: labyrinthäres segment (S1)	0	0	0	0	4	0	22	0	24	50
canalis facialis: tympanales segment (S2)	0	0	0	0	1	0	6	0	43	50
canalis facialis: mastoidales segment (S3)	4	0	4	0	12	0	11	0	19	50
Furche des N. petrosus major superficialis	7	0	4	0	10	0	9	1	20	49
Dehiszenz des canalis facialis im Segm. S2	22	19	8	1	9	0	4	1	7	29
Kanal des N. cochlearis	1	0	0	1	1	1	6	0	42	48
Kanal des oberen Teils des N. vestibularis	0	0	2	0	0	0	10	1	38	49
Kanal des Nervus saccularis	0	0	1	0	1	0	10	3	38	47
Kanal des N. ampullaris posterior	21	1	5	0	5	3	8	4	11	42
Kanal des akzess. N. des N. amp. post.	50	40	0	0	0	3	0	0	0	7
caput mallei	0	0	0	0	0	0	1	0	49	50
collum mallei	0	0	0	0	2	0	9	1	39	49
manubrium mallei	0	0	0	0	1	0	2	0	47	50
processus lateralis mallei	9	0	5	0	10	3	9	4	17	43
processus anterior mallei	44	20	2	15	3	9	0	5	1	1
corpus incudis	0	0	0	0	1	0	3	0	46	50
crus breve incudis	4	0	1	0	5	0	12	33	28	17
crus longum incudis	0	0	0	0	2	0	3	0	45	50
processus lenticularis incudis	5	0	2	0	10	1	9	0	24	49
articulatio incudomallearis	2	0	2	0	2	1	6	0	38	49
caput stapedis	5	0	4	0	13	0	16	0	12	50
crus anterior stapedis	32	1	11	3	7	45	0	0	0	1
crus posterior stapedis	32	1	11	3	6	44	1	1	0	1
basis stapedis	2	0	5	0	18	1	18	17	7	32
articulatio incudostapedialis	14	0	11	0	9	1	7	0	9	49
membrana tympanica	14	0	8	0	11	0	13	1	4	49
fenestra vestibuli	0	0	1	0	0	0	3	0	46	50
fenestra cochleae	0	0	1	0	2	0	6	0	41	50
tegmen tympani	0	0	0	0	3	0	1	0	46	50
eminentia pyramidalis	50	40	0	8	0	0	0	0	0	2
processus cochleariformis	0	0	0	0	0	0	8	0	42	50
Mastoidzellen	16	0	11	0	12	4	6	22	5	24
lamina spiralis ossea cochlearis	32	0	10	1	6	21	2	18	0	10
modiolus cochlearis	0	0	5	0	15	0	14	1	16	49
aquaeductus cochlearis	28	1	12	12	8	11	2	15	0	11
aquaeductus vestibularis	18	1	7	2	9	1	8	8	8	38
ampulla ossea anterior	0	0	0	0	4	0	22	1	24	49
ampulla ossea posterior	1	0	1	0	5	0	24	1	19	49
ampulla ossea lateralis	1	0	1	0	6	0	19	1	23	49
Dehiszenz des canalis semicircularis lateralis	49	50	0	0	0	0	1	0	0	0
Dehiszenz des canalis semicircularis anterior	46	45	2	0	1	0	0	0	1	5

Tabelle 4: Signifikanzgrad der Erkennbarkeit anatomischer Strukturen in der MSCT im Vergleich zur SSCT

Anatomische Strukturen	axiale Bilder Signifikanzgrad p <		koronare Bilder Signifikanzgrad p <	
ligamentum mallei anterius	0.01	(0.01)	0.35	(0.46)
ligamentum mallei superius	0.24	(0.24)	0.01	(0.01)
ligamentum mallei laterale	0.01	(0.01)	0.01	(0.01)
ligamentum incudalis superior	0.33	(0.33)	0.01	(0.01)
ligamentum incudalis posterior	0.01	(0.01)	0.35	(0.46)
musculus stapedius	0.01	(0.01)	0.14	(0.09)
tendo stapedius	0.01	(0.01)	0.09	(0.14)
musculus tensor tympani	0.04	(0.04)	0.01	(0.01)
tendo tensor tympani	0.01	(0.01)	0.01	(0.01)
canalis facialis: labyrinthäres segment (S1)	0.18	(0.24)	0.01	(0.01)
canalis facialis: tympanales segment (S2)	0.01	(0.01)	0.24	(0.24)
canalis facialis: mastoidales segment (S3)	0.40	(0.40)	0.01	(0.01)
Furche des N. petrosus major superficialis	0.02	(0.02)	0.01	(0.01)
Dehiszenz des canalis facialis im Segm. S2	0.06	(0.15)	0.01	(0.01)
Kanal des N. cochlearis	0.69	(0.81)	0.35	(0.35)
Kanal des oberen Teils des N. vestibularis	0.03	(0.05)	0.14	(0.07)
Kanal des Nervus saccularis	0.01	(0.01)	0.14	(0.14)
Kanal des N. ampullaris posterior	0.01	(0.01)	0.01	(0.01)
Kanal des akzess. N. des N. amp. post.	0.06	(0.06)	0.09	(0.09)
caput mallei	0.62	(0.62)	0.87	(0.87)
collum mallei	0.01	(0.01)	0.13	(0.10)
manubrium mallei	0.75	(0.90)	0.61	(0.61)
processus lateralis mallei	0.01	(0.01)	0.01	(0.01)
processus anterior mallei	0.01	(0.01)	0.01	(0.01)
corpus incudis	0.99	(0.88)	0.62	(0.50)
crus breve incudis	0.51	(0.32)	0.37	(0.43)
crus longum incudis	0.98	(0.98)	0.31	(0.31)
processus lenticularis incudis	0.01	(0.01)	0.01	(0.01)
articulatio incudomallearis	0.63	(0.62)	0.10	(0.07)
caput stapedis	0.01	(0.01)	0.01	(0.01)
crus anterior stapedis	0.01	(0.01)	0.01	(0.01)
crus posterior stapedis	0.01	(0.01)	0.01	(0.01)
basis stapedis	0.01	(0.01)	0.01	(0.01)
articulatio incudostapedialis	0.01	(0.01)	0.01	(0.01)
membrana tympanica	0.01	(0.01)	0.01	(0.01)
fenestra vestibuli	0.32	(0.24)	0.49	(0.49)
fenestra cochleae	0.03	(0.01)	0.13	(0.13)
tegmen tympani	0.01	(0.01)	0.50	(0.50)

eminentia pyramidalis	0.01 (0.01)	0.09 (0.09)
processus cochleariformis	0.01 (0.01)	0.01 (0.01)
Mastoidzellen	0.31 (0.31)	0.31 (0.26)
lamina spiralis ossea cochlearis	0.01 (0.01)	0.01 (0.01)
modiolus cochlearis	0.51 (0.51)	0.01 (0.01)
aquaeductus cochlearis	0.01 (0.01)	0.01 (0.01)
aquaeductus vestibularis	0.01 (0.01)	0.01 (0.01)
ampulla ossea anterior	0.01 (0.01)	0.01 (0.01)
ampulla ossea posterior	0.01 (0.01)	0.01 (0.01)
ampulla ossea lateralis	0.01 (0.01)	0.01 (0.01)
Dehiszenz des canalis semicircularis lateralis	0.74 (0.87)	0.87 (0.87)
Dehiszenz des canalis semicircularis anterior	0.01 (0,01)	0.97 (0.75)

7.2. Abbildungen

Abbildung 1:

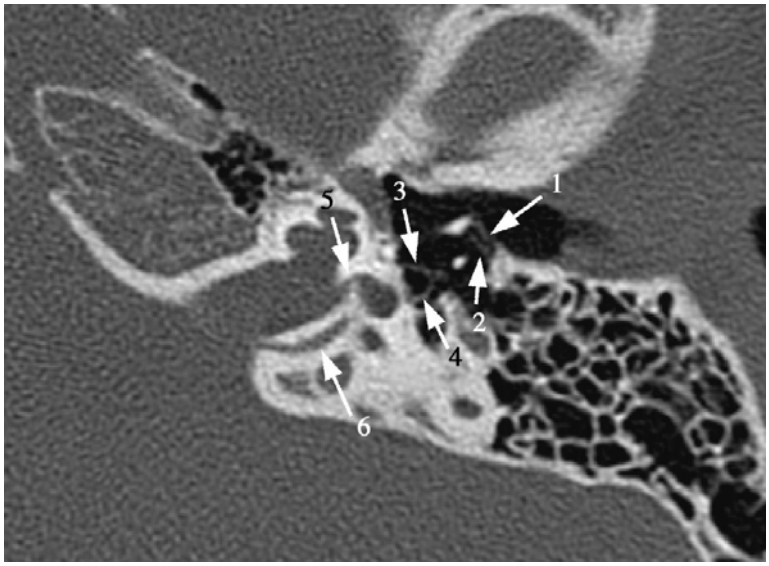

Abb. 1: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins. Das Trommelfell (1) verläuft lateral zur Chorda tympani (2). Der vordere (3) und hintere Schenkel (4) des Stapes sind ebenso dargestellt wie der Kanal des N. saccularis (5), der vom unteren Teil des N. vestibuaris abgeht. Der N. ampullaris posterior (6) entspringt von der hinteren Wand des inneren Gehörgangs und läuft zur hinteren Ampulle.

Abbildung 2:

Abb. 2: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins. Eine normale articulatio incudomallearis (1) wird dargestellt. Der Kanal des N. ampullaris lateralis (2) verläuft vom Kanal des oberen Anteils des N. vestibularis (3) zur lateralen Ampulle (4).

Abbildung 3:

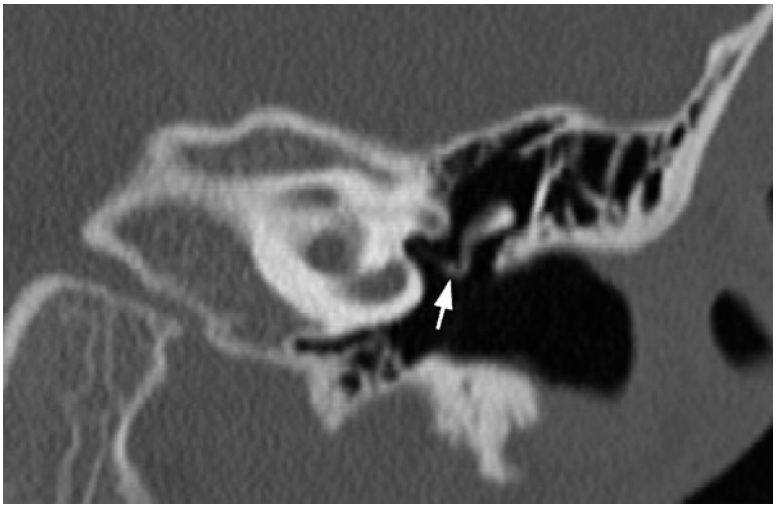

Abb. 3: Aus axialen MSCT-Bildern koronar multiplanar rekonstruierte Aufnahmen eines normalen Felsenbeins. Die Articulatio incudostapedialis (Pfeil) wird gezeigt.

Abbildung 4:

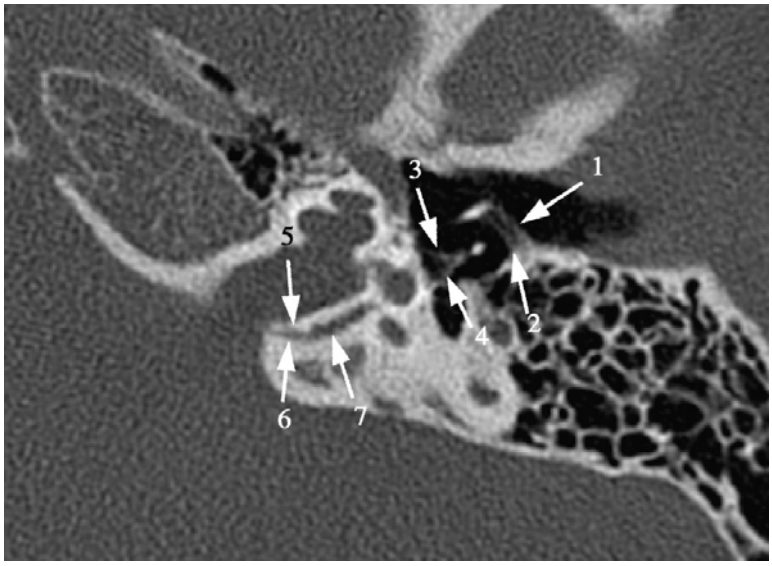

Abb. 4: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins. Das Trommelfell (1) verläuft lateral zur Chorda tympani (2). Der vordere (3) und hintere Schenkel (4) des Stapes sind dargestellt. Der Kanal des akzessorischen Nerven des N. ampullaris posterior (5) entspringt von der hinteren Wand des inneren Gehörgangs lateral zum Kanal des N. ampullaris posterior (6). Innerhalb einer Strecke von ungefähr sieben mm vereinigen sich beide Kanäle zu einem Kanal (7) der zur posterioren Ampulle zieht.

Abbildung 5:

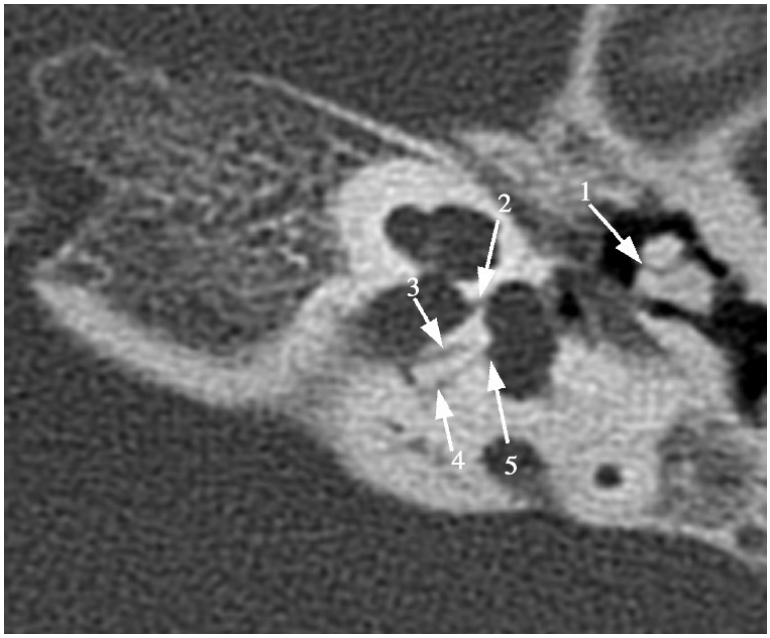

Abb. 5: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins. Eine normale articulatio incudomallearis (1) ist erkennbar. Der inferiore Anteil des N. vestibularis (2) versorgt Utriculus und Sacculus. Der Kanal des akzessorischen Nerven des N. ampullaris posterior (3) entspringt von der hinteren Wand des inneren Gehörgangs lateral zum Kanal des N. ampullaris posterior (4). Beide laufen getrennt zur Ampulla posterior (5).

Abbildung 6:

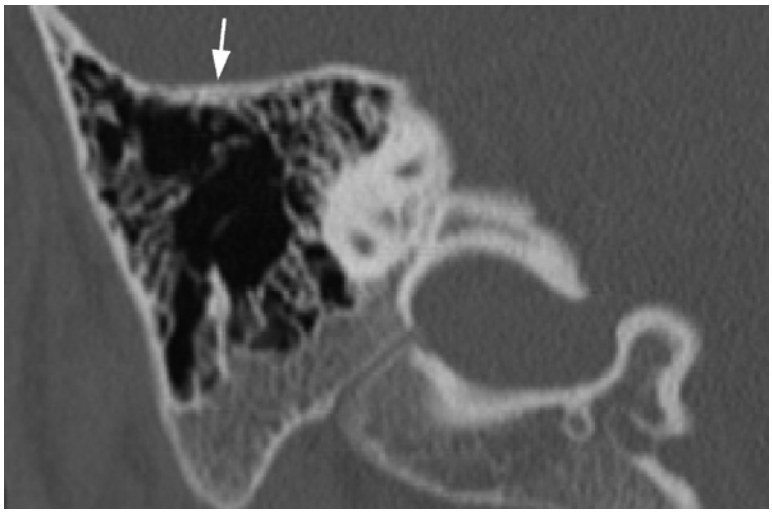

Abb. 6: Aus axialen MSCT-Bildern koronar multiplanar rekonstruierte Aufnahmen eines normalen Felsenbeins. Das Tegmen Tympani kann kontinuierlich gut abgegrenzt werden (Pfeil).

Abbildung 7:

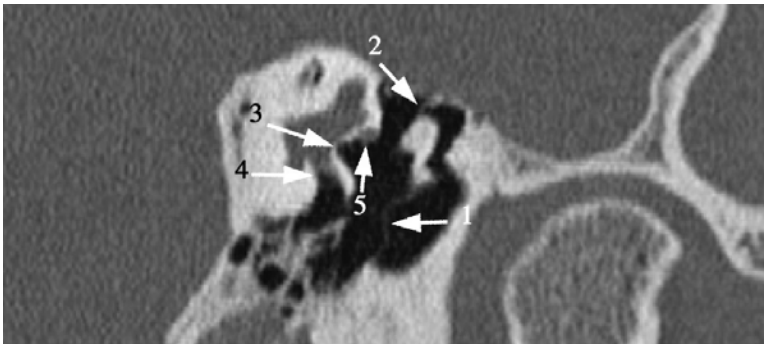

Abb. 7: Aus axialen MSCT-Bildern koronar multiplanar rekonstruierte Aufnahmen eines normalen Felsenbeins. Das Trommelfell (1) liegt zwischen Paukenhöhle und äußerem Gehörgang. Das ligamentum mallei superior (2) verläuft vom Kopf des Malleus zum Tegmen Tympani. Das ovale Fenster (3) liegt kranial vom runden Fenster (4). Nahe des ovalen Fensters fällt eine Dehiszenz des S2 Segments des Kanals des N. facialis (5) auf.

Abbildung 8:

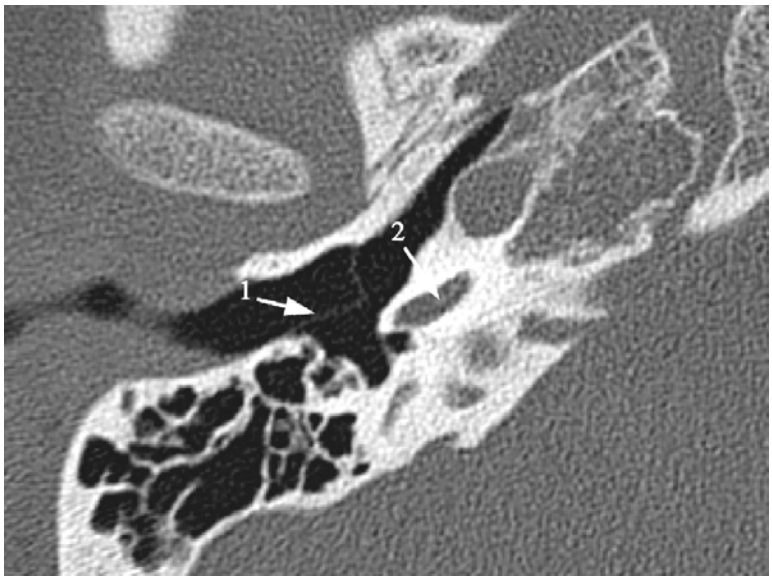

Abb. 8: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins. Das Trommelfell (1) erscheint trichterförmig. Die Lamina spiralis ossea der Cochlea (2) befindet sich innerhalb der Cochlea und erscheint als hyperdense Struktur.

Abbildung 9:

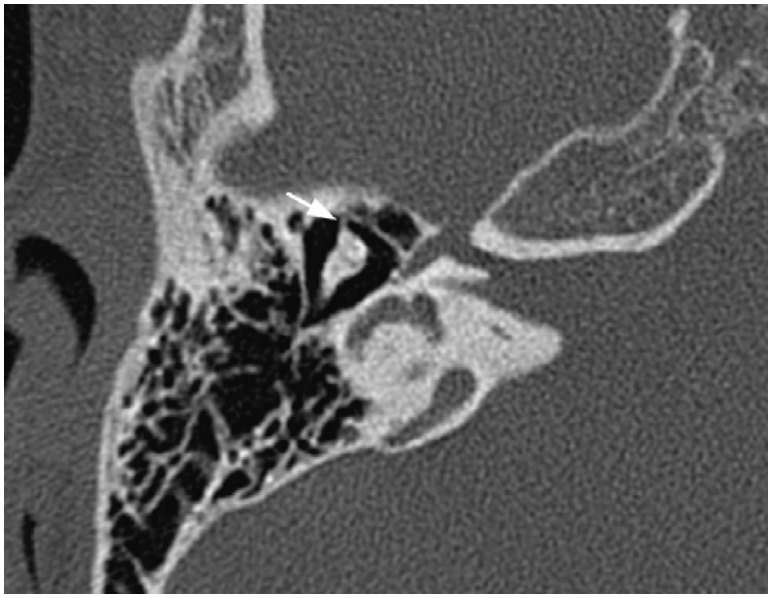

Abb. 9: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins. Das Ligamentum mallei anterior (Pfeil) verläuft vom Processus anterior mallei zur petrotympanischen Fissur.

Abbildung 10:

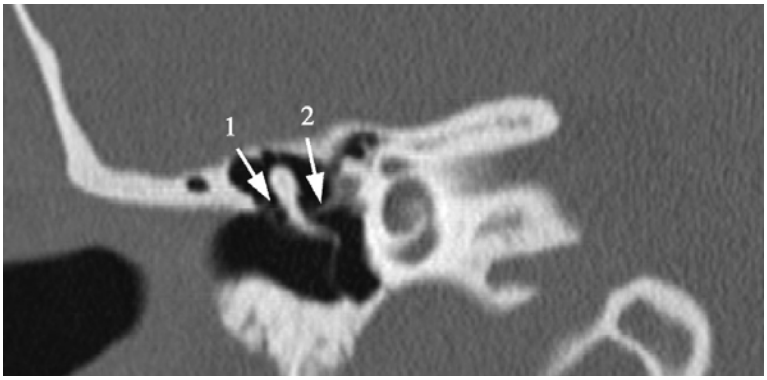

Abb. 10: Aus axialen MSCT-Bildern koronar multiplanar rekonstruierte Aufnahmen eines normalen Felsenbeins. Das Ligamentun mallei lateralis (1) und die Sehne des M. tensor tympani (2) sind abgebildet.

Abbildung 11:

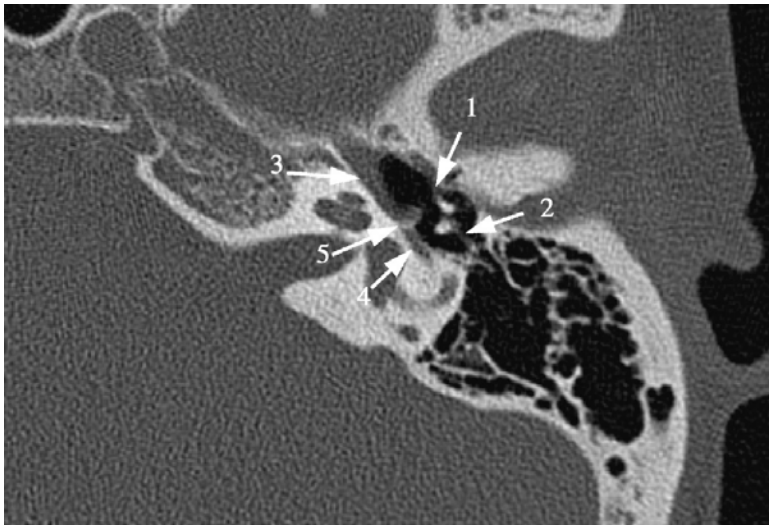

Abb. 11: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins. Das Ligamentum mallei anterior (1), das Ligamentum incudis posterior (2) und der M. tensor tympani (3) sind dargestellt. Ebenso das Segment S2 des N. facialis (4) und der Processus cochleariformis (5).

Abbildung 12:

Abb. 12: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins. Der Kanal des N. stapedius (1) tritt aus dem Segment S3 des Kanals des N. facialis (2) und läuft zum M. stapedius (3).

Abbildung 13:

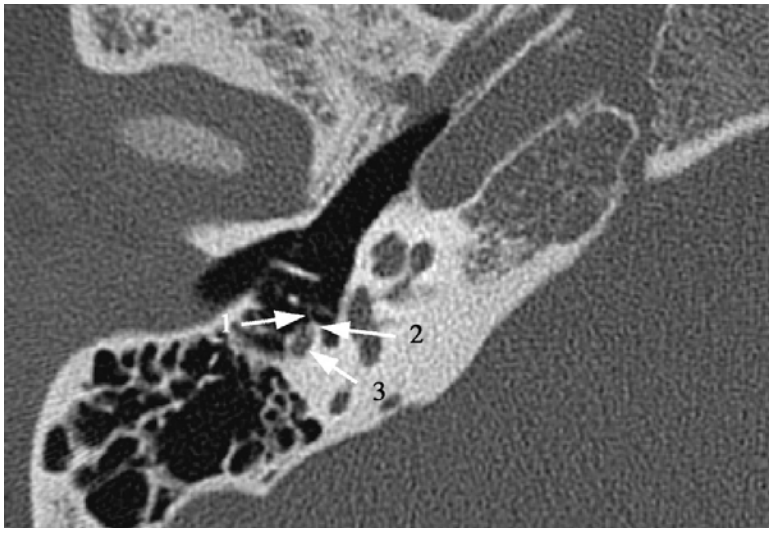

Abb. 13: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins. Die Stapedius-Sehne (1) hat ihren Ursprung an der Eminentia pyramidalis (2) und zieht zum Stapes-Kopf. Das Segment S3 des Kanals des N. facialis (3) liegt lateral und posterior zur Eminentia pyramidalis.

Abbildung 14:

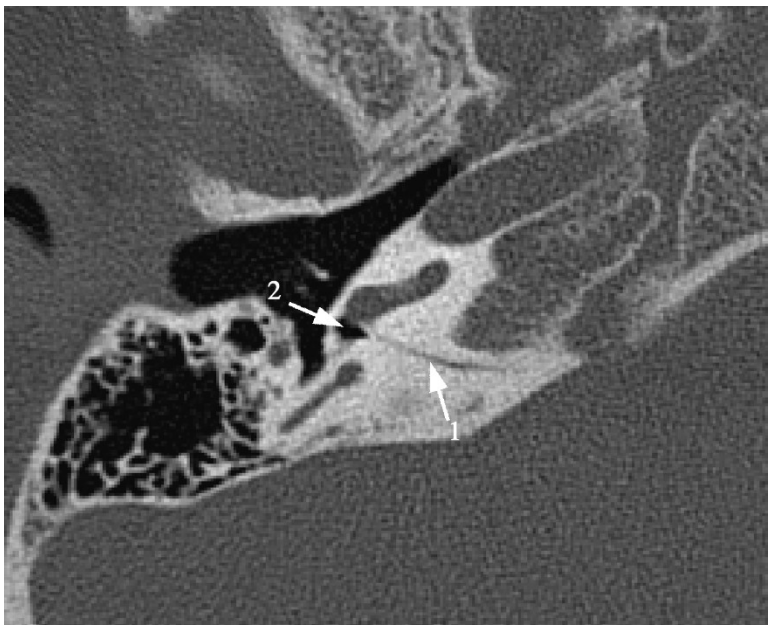

Abb. 14: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins. Der Aquaeductus cochlearis (1) verläuft vom runden Fenster (2) zum cerebellopontinen Winkel.

Abbildung 15:

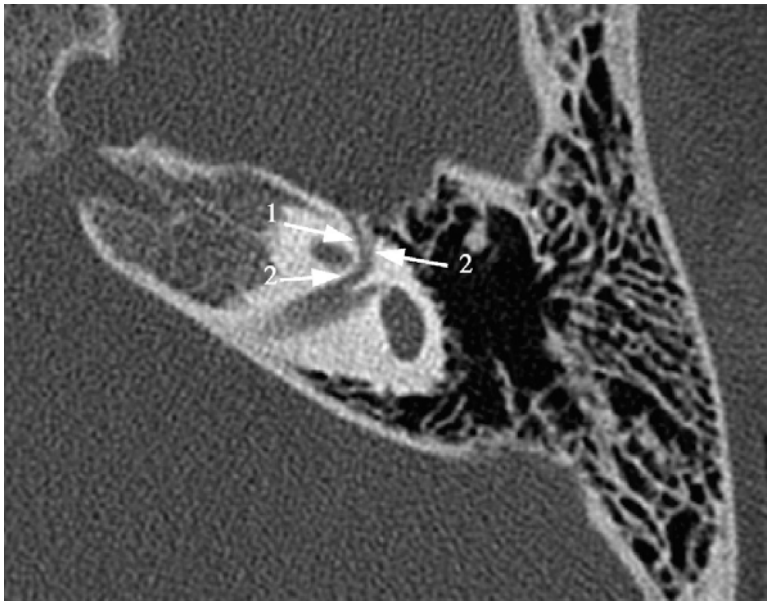

Abb. 15: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins. Der Kanal des N. petrosus major superficialis (1) entspringt vom proximalen Segment S1 des Kanals des N. facialis (2).

Abbildung 16:

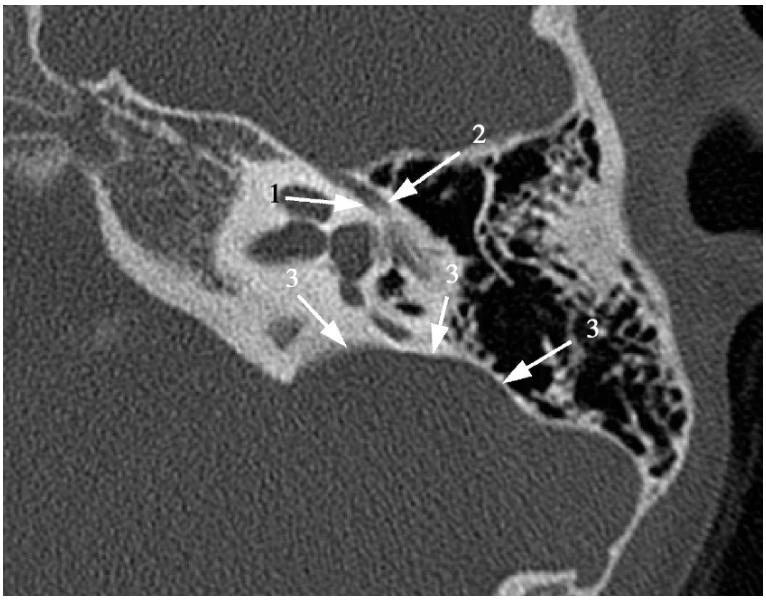

Abb. 16: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins. Ein akzessorischer Kanal (1) des Segments S2 des Kanals des N. facialis liegt medial zum Segment S2 des Kanals des N. facialis (2). Ein vergrößerter Endolymphraum liegt am hinteren Mastoidrand (3) vor.

Abbildung 17a:

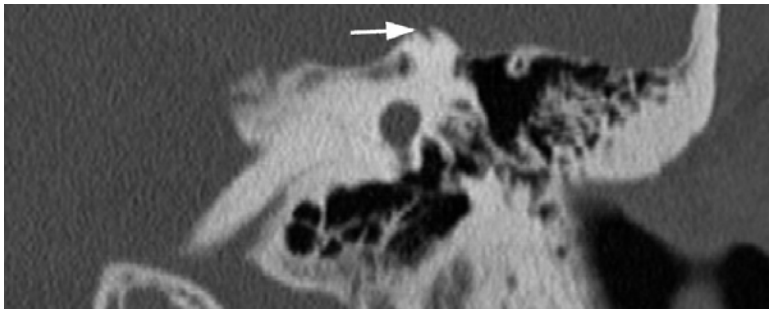

Abb. 17a: Aus axialen MSCT-Bildern koronar multiplanar rekonstruierte Aufnahmen eines normalen Felsenbeins. Eine Dehiszenz des vorderen Bogenganges (Pfeil) ist dargestellt.

Abbildung 17b:

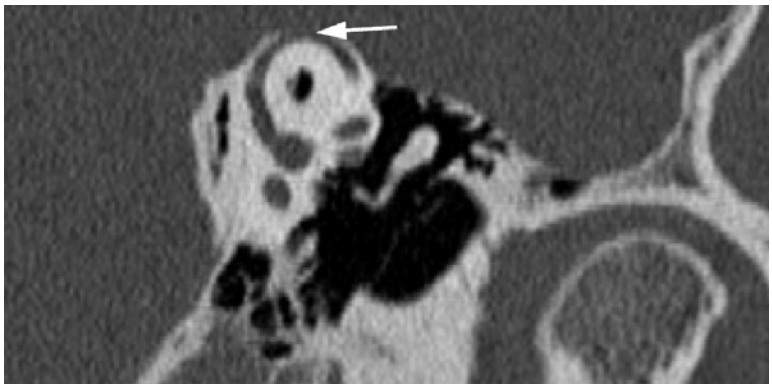

Abb. 17b: Aus axialen MSCT-Bildern koronar multiplanar rekonstruierte Aufnahmen eines normalen Felsenbeins, parallel zur Achse des vorderen Bogenganges. Wie in Abb. 17a ist eine Dehiszenz des vorderen Bogenganges (Pfeil) dargestellt.

8. Literaturverzeichnis

[1] Anderhuber W, Weiglein A, Jakse R, Einspieler R. *Multiplanar angulierte 2D-Rekonstruktion.* HNO 1995; 43: 76-79.

[2] Baxter A. *Dehiscence of the fallopian canal.* J Laryng Rhinol Otol 1971; 85: 587-594.

[3] Beddard D, Saunders WH. *Congenital defects in the fallopian canal.* Laryngoscope 1962; 72: 112-115.

[4] Bergström B. *Morphology of the vestibular nerve.* Acta Otolaryng 1973; 76: 162-172.

[5] Brüning R, Quade R, Keppler V, Reiser M. *3-D-CT reconstructions in fractures of the skull base and facial skeleton.* Fortschr. Röntgenstr 1994; 160 (2): 113-117.

[6] Caldemeyer KS, Sandrasegaran K, Shinaver CN, Mathews VP, Smith RR, Kopecky KK. *Temporal Bone: Comparison of isotropic helical CT and conventional direct axial and coronal CT.* AJR 1999; 172: 1675-1682.

[7] Dimopoulos PA, Muren C, Wadin K. *Anatomical variations of the tympanic and mastoid portions of the facial nerve canal.* Acta Radiol 1996; 37: 49-59.

[8] Dixon AK. *The appropriate use of computed tomography.* Br J Radiol 1997; 70: 98-105.

[9] Fatterpekar GM, Mukherji SK, Lin Y, Alley JG, Stone JA, Castillo M. *Normal canals at the fundus of the internal auditory canal: CT evaluation.* J Comput Assist Tomogr 1999; 23 (5): 776-780.

[10] Frankenthaler R, Moharir V, Kikinis R, et al. *Virtual Otoscopy.* Otolaryngol Clin North Am 1998; 31: 383-391.

[11] Fuse T, Tada Y, Aoyagi M, Sugai Y. *CT detection of facial canal dehiscence and semicircular canal fistula: comparison with surgical findings.* J Comput Assist Tomogr 1996; 20 (2): 221-224.

[12] Hanley JA, McNeil BJ. *The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve.* Radiology 1982; 143: 29-36.

[13] Hermans R, Feenstra L, Marchal G, Baert AL. *Three-dimensional CT-imaging of the ossicular chain.* Clin Otolaryngol 1995; 20: 475-478.

[14] Ishii K, Takahashi S, Matsumoto K, Kobayashi T, Ishibashi T, Sakamoto K, Soda T. *Middle ear cholesteatoma extending into the petrous apex: evaluation by CT and MR Imaging.* AJNR 1991; 12: 719-724.

[15] Jäger L, Reiser M. *CT and MR imaging of the normal and pathologic conditions of the facial nerve.* EJR 2001; 40: 133-146.

[16] Kalender WA. *Die Computertomographie.* Wiley-VCH, Weinheim, 2000.

[17] Kearney SE, Garvey CJ. *Unravelling the helix – a pyhsician's guide to spiral computed tomography.* Postgrad Med J 1998; 74: 96-100.

[18] Kurosaki Y, Kuramoto K, Matsumoto K, Itai Y, Hara A, Kusakari J. *Congenital ossifications of the stapedius tendon: diagnosis with CT.* Radiology 1995; 195: 711-714.

[19] Leighton SEJ, Robson AK, Anslow P, Milford CA. *The role of CT imaging in the management of chronic suppurative otitis media.* Clin Otolaryngol 1993; 18: 23-29.

[20] Lemmerling MM, Stambuk HE, Mancuso AA, Antonelli PJ, Kubilis PS. *CT of the normal suspensory ligaments of the ossicles in the middle ear.* AJNR 1997; 18: 471-477.

[21] Lemmerling MM, Stambuk HE, Mancuso AA, Antonelli PJ, Kubilis PS. *Normal and opacified middle ears: CT appearance of the stapes and incudostapedial joint.* Radiology 1997; 203: 251-256.

[22] Luker GD, Lee BCP, Erickson KK. *Spiral CT of the temporal bone in unsedated pediatric patients.* AJNR 1993; 14: 1145-1150.

[23] Mayer TE, Brueckmann H, Siegert R, Witt A, Weerda H. *High-resolution CT of the temporal bone in dysplasia of the auricle and external auditory canal.* AJNR 1997; 18: 53-65.

[24] Minor LB, Solomon D, Zinreich JS, Zee DS. *Sound- and/or pressure-induced vertigo due to bone dehiscence of the superior semicircular canal.* Arch Otolaryngol Head Neck Surg 1998; 124: 249-258.

[25] Montandon P, Gacek RR, Kimura RS. *Crista neglecta in the cat and human.* Ann Otol Rhinol Laryngol 1970; 79: 105-112.

[26] Okano Y, Sando I, Myers EN. *Branch of the singular nerve (posterior ampullary nerve) in the otic capsule.* Ann Otol 1980; 89: 13-19.

[27] Pellicer M, Quesada P. *The use of a CT scan to predict the feasibility of decompression of the first segment of the facial nerve via the transattical approach.* J of Laryngol and otol 1995; 109: 935-940.

[28] Ray CE Jr, Mafee MF, Friedman M, Tahmoressi CN. *Applications of three-dimensional CT imaging in head and neck pathology.* Radiol Clin of NA 1993; 31: 181- 194.

[29] Reisser C, Schubert O, Forsting M, Sartor K. *Anatomy of the temporal bone: detailed three-dimensional display based on image data from high-resolution helical CT: a preliminary report.* Am J Otol 1996; 17: 473-479.

[30] Reisser C, Schubert O, Weidauer H. *Die dreidimensionale Darstellung von Felsenbeinfrakturen mittels Spiral-CT.* HNO 1995; 43: 596-600.

[31] Schwager K, Helms J. *Anomalien des Nervus facialis im fehlgebildeten Felsenbein.* Laryngo-Rhino-Otol. 1995; 74: 549-552.

[32] Seicshnaydre MA, Johnson MH, Hasenstab MS, Williams GH. *Cochlear implants in children: reliability of computed tomography.* Otolaryngol Head Neck Surg 1992; 107: 410-417.

[33] Shpizner BA, Holliday RA, Roland JT, Cohen NL, Waltzman SB, Shapiro WH. *Postoperative Imaging of the multichannel cochlear implant.* AJNR 1995; 16: 1517-1524.

[34] Squire, Novelline. *Radiologie.* Schattauer, Stuttgart New York 1997.

[35] Strupp M, Eggert T, Straube A, Jäger L, Querner V, Brandt T. *„Innere Perilymphfistel“ des anterioren Bogengangs.* Nervenarzt 2000; 71: 138-142.

[36] Swartz JD, Harnsberger R, *Imaging of the temporal bone.* Thieme, Stuttgart 1998.

[37] Tomandl BF, Hastreiter P, Eberhardt KEW, Rezk-Salama C, Naraghi R, Greess H, Nissen U, Huk WJ. *Virtual Labyrinthoscopy: visualization of the inner ear with interactive direct volume rendering.* RadioGraphics 2000; 20: 547-558.

[38] Torizuka T, Hayakawa K, Satoh Y, et al.. *High-resolution CT of the temporal bone: a modified baseline.* Radiology 1992; 184: 109-111.

[39] Westerhof JP, Rademaker J, Weber BP, Becker H. *Congenital malformations of the inner ear and the vestibulocochlear nerve in children with sensorineural hearing loss: evaluation with CT and MRI.* J Comput Assist Tomogr 2001; 25(5): 719-726.

[40] Wigand ME, Aurbach G, Haid CT, Berg M, Goertzen W. *Topographical anatomy of the internal auditory canal.* Acta otolaryngol 1991; 111: 269-272.

[41] World Medical Association**.** *Declaration of Helsiniki.*
Adopted by the 18th World Medical Assembly, Helsinki, Finland, June, 1964, amended by the 29th World Medical Assembly, Tokyo, Japan, October 1975, and the 35th World Medical Assembly, Venice, Italy, October 1983, and the 41st World Medical Assembly, Hong Kong, September 1989, and the 48th World Medical Assembly, South Africa, 1996.

9. Anhang:

9.1. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	In der Single- und Multi-Slice-CT untersuchte anatomische Strukturen	27
Tabelle 2a:	Kappa Index axialer SSCT- und MSCT Bilder	30
Tabelle 2b:	Kappa Index koronarer SSCT und MSCT Bilder	32
Tabelle 3a:	Frequenz abgrenzbarer anatomischer Strukturen auf axialen Bildern: Auswerter 1	34
Tabelle 3b:	Frequenz abgrenzbarer anatomischer Strukturen auf axialen Bildern: Auswerter 2	35
Tabelle 3c:	Frequenz abgrenzbarer anatomischer Strukturen auf koronaren Bildern: Auswerter 1	36
Tabelle 3d:	Frequenz abgrenzbarer anatomischer Strukturen auf koronaren Bildern: Auswerter 2	37
Tabelle 4:	Signifikanzgrad der Erkennbarkeit anatomischer Strukturen in der MSCT im Vergleich zur SSCT	38

9.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins: *Abgebildet: Trommelfell, Stapes, Chorda tympani, Kanal des N. sacculariis und des N. ampullaris posterior.* 40

Abbildung 2: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins *Abgebildet: Articulatio incudomallearis, Kanal des N. ampullaris lateralis, laterale Ampulle.* 40

Abbildung 3: Aus axialen MSCT-Bildern koronar multiplanar rekonstruierte Aufnahme eines normalen Felsenbeins: *Abgebildet: Articulatio incudostapedialis.* 41

Abbildung 4: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins: *Abgebildet: Trommelfell, Chorda tympani, Stapes, Kanal des N. accessorius des N. ampullaris posterior und der Kanal des N. ampullaris posterior.* 41

Abbildung 5: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins: *Abgebildet: Articulatio incudomallearis, pars inferior des N. vestibularis, Kanal des N. accessorius des N. ampullaris posterior und der Kanal des N. ampullaris posterior, Ampulla posterior.* 42

Abbildung 6: Aus axialen MSCT-Bildern koronar multiplanar rekonstruierte Aufnahme eines normalen Felsenbeins: *Abgebildet: Tegmen tympani.* 42

Abbildung 7: Aus axialen MSCT-Bildern koronar multiplanar rekonstruierte Aufnahme eines normalen Felsenbeins: *Abgebildet: Trommelfell, ovales und rundes Fenster, Ligamentum mallei superior.* 43

Abbildung 8: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins: *Abgebildet: Trommelfell, Lamina spiralis ossea.* 43

Abbildung 9: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins: *Abgebildet: Ligamentum mallei anterior.* 44

Abbildung 10: Aus axialen MSCT-Bildern koronar multiplanar rekonstruierte Aufnahme eines normalen Felsenbeins: *Abgebildet: Ligamentum mallei lateralis, Tendo tensor tympani.* 44

Abbildung 11: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins: *Abgebildet: Ligamentum mallei anterior,Ligamentum Incudis superior, M. tensor tympani, Processus cochleariformis, Segment S2 des Facialiskanals.* 45

Abbildung 12: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins: *Abgebildet: Kanal des N. stapedius, des N. facialis, M. stapedius.* 45

Abbildung 13: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins: *Abgebildet: Stapediussehne, Eminentia pyramidalis, Segment S3 des Facialiskanals.* 46

Abbildung 14: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins: *Abgebildet: Aquaeductus cochlearis, rundes Fenster.* 46

Abbildung 15: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins: *Abgebildet: Kanal des N. petrosus major superficialis, Segment S1 des Facialiskanals.* 47

Abbildung 16: Axiales MSCT-Bild eines normalen Felsenbeins: *Abgebildet: Verdoppelung des Segments S2 des Facialiskanals.* 47

Abbildung 17a: Aus axialen MSCT-Bildern koronar multiplanar rekonstruierte Aufnahme eines normalen Felsenbeins: *Abgebildet: Dehiszenz des vorderen Bogenganges.* 48

Abbildung 17b: Aus axialen MSCT-Bildern koronar multiplanar rekonstruierte Aufnahme eines normalen Felsenbeins: *Abgebildet: Dehiszenz des vorderen Bogenganges.* 48

9.3. Lebenslauf

Name:	L i e b l	
Vorname:	Martin	
Anschrift:	Papiererstrasse 41 84034 Landshut	
Geburtsdatum:	17. August 1977	
Geburtsort:	Landshut	
Bekenntnis:	römisch katholisch	
Familienstand:	ledig	
Staatsangehörigkeit:	deutsch	
Eltern:	Monika Liebl, geb. Jürschick, Bankkauffrau Dr. med. Gerhard Liebl, selbst. Allgemeinarzt	
Schulausbildung:	*1983-1987* *1987-1996* *1996*	Grundschule Niederaichbach Hans-Carossa-Gymnasium Landshut Abitur
Zivildienst:	*07/96-01/97*	OP, Chir. Klinik, Klinikum Landshut
Studium:	*seit 05/97*	Studium Humanmedizin LMU München
Promotionsarbeit:	*seit 09/00*	Thema: „Die Anatomie des Felsenbeins in der Multi-Slice-CT – ein Vergleich mit der Single-Slice-CT“ Institut für radiologische Diagnostik, Klinikum Großhadern
Berufspraxis:	*08/99-09/99*	*Famulatur* Chirurgie, Klinikum Landshut
	09/99-10/99	*Famulatur* Allgemeinärztliche Praxis Dr.Liebl, Niederaichbach
	08/00	*Famulatur* Chirurgie, Chirurgische Klinik, Klinikum Innenstadt, München
	09/00	*Famulatur* Allgemeinärztliche Praxis Dr. Liebl, Niederaichbach
	03/01	*Famulatur* Abteilung für Anästhesiologie, Klinikum Landshut

seit 04/02	*Praktisches Jahr:* Erstes Tertial: Anästhesiologie, Klinikum Innenstadt der Ludwig-Maximilians-Universität München Zweites Tertial: Chirurgie, Klinikum Landshut Drittes Tertial: Innere Medizin, Medizinische Klinik I, Klinikum Landshut
seit 07/03	*Arzt im Praktikum:* Innere Medizin, Medizinische Klinik I, Klinikum Landshut