Kernspintomographie des Innenohrs

Vergleich der Darstellung mittels einer T2-gewichteten Turbo Spin-Echo Sequenz, Maximum-Intensitätsprojektionen und dreidimensionalen Volumenrekonstruktionen

Gabriele A. Krombach, Thomas Schmitz-Rode, Josef Tacke, Markus Kilbinger, Rolf W. Günther

Klinik für Radiologische Diagnostik, Universitätsklinikum der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH), 52057 Aachen
Email: krombach@rad.rwht-aachen.de

Zusammenfassung. Die gezielte Therapie von Erkrankungen des Innenohrs erfordert die detaillierte Darstellung der anatomischen Strukturen und morphologischer Veränderungen, die kernspintomographisch mittels neuentwickelter schneller Gradientensysteme gelingt. Die Interpretation der zweidimensional präsentierten Schichten bleibt jedoch schwierig. Zur dreidimensionalen Darstellung wurden in 50 Fällen Maximum-Intensitätsprojektionen und Volumenrekonstruktionen aus den MRT-Daten angefertigt. Mittels dieser Techniken gelang die detaillierte Abbildung der Innenohrstrukturen in perspektivischen Ansichten, die ergänzende Informationen liefern konnten.

Schlüsselwörter: Innenohr, Anatomie, Magnetresonanztomographie, Volumenrekonstruktion, Maximum-Intensitätsprojektionen

1 Einleitung

Der Fortschritt auf dem Gebiet der Mikrochirurgie des Innenohres, insbesondere die Einführung des Cochlearimplantates in die klinische Routine und die Entwicklung neuer konservativer Therapiekonzepte hat die Anforderungen an die Bildgebung deutlich erweitert. Zur Untersuchung der flüssigkeitsgefüllten Gangsysteme des Innenohrs wurde die dreidimensionale T2-gewichtete Magnetresonanztomographie etabliert [1]. Sie erlaubt die hochauflösende Darstellung der Strukturen des häutigen Labyrinths. Die Interpretation der zweidimensional präsentierten axialen Schichten dieser komplexen anatomischen Region bleibt jedoch auch für den Erfahrenen schwierig, weil die tubulären Strukturen die Schichten mehrfach durchkreuzen. Ist eine operative Therapie geplant, muss der Arzt aus den axialen Schichten mental ein dreidimensionales Bild erstellen. Die Nutzung moderner Computertechnologien in der Bildverarbeitung hat zu der Entwicklung neuer Darstellungsverfahren, wie der Volumenrekonstruktion mit perspektivischen Ansichten geführt. Native axialen Schichten sowie Maximum-Intensitätsprojektionen und dreidimensionalen Volumenrekonstruktionen aus diesen Daten wurden hinsichtlich der Darstellung der anatomischen Strukturen und pathologischer Veränderungen verglichen.

2 Material und Methoden

2.1 Probanden und Patienten

25 gesunde Probanden (8 Frauen, 16 Männer) im Alter von 27 bis 58 Jahren (mittleres Alter 33 Jahre) und 25 Patienten (11 männliche, 14 weibliche Patienten) im Alter von 2 bis 74 Jahren (mittleres Alter 46 Jahre), die sich mit sensorineuronalem Hörverlust oder Schwindel vorstellten, wurden in die Studie eingeschlossen.

2.2 Kernspintomographie und Maximum-Intensitätsprojektionen

Die Untersuchungen wurden an einem 1,5 Tesla Gerät (Gyroscan, ACS-NT, Philips, Best, Niederlande), das mit einem schnellen Gradientensystem (Power Track 6000, Philips) ausgerüstet ist und über eine Gradientenstärke von 23 mT/m mit einer Anstiegsgeschwindigkeit von 200 µm/s verfügt, durchgeführt. Zur Darstellung des Innenohrs wurde eine stark T2-gewichtete Turbo Spin-Echo Sequenz mit folgenden Parametern angefertigt: TR 2000 ms, effektive TE 500 ms, Echozuglänge 100, Echoabstand 9,9 ms, Matrix 128 × 128, Rekonstruktionsmatrix 256 × 256, FOV 9 × 9 cm², Schichtdicke 0,66 mm, Voxelgröße 0,66 × 0,7 × 0,7 mm³. 24 Schichten wurden in axialer Orientierung erhoben, so dass die Akquisitionszeit bei 9,36 min lag.

Unter Anwendung der Software des MRT-Gerätes wurden Maximum-Intensitätsprojektionen (MIP) anhand des MRT-Datensatzes erstellt. Diese Technik stellt eine einfache Volumenrekonstruktion dar. Die maximale Signalintensität entlang einer Projektionslinie durch den Quelldatensatz wird durch ein Pixel in dem MIP-Bild wiedergegeben. Die MIP wurden standardisiert in koronarer und transversaler Orientierung in Schritten von 15° rekonstruiert, sodass jede Serie aus jeweils 12 Projektionen bestand. Um eine Überlagerung des Innenohrs durch Nachbarstrukturen und den Liquor cerebrospinalis zu vermeiden wurde nur der Bereich des häutigen Labyrinths in das Rekonstruktionsvolumen eingeschlossen.

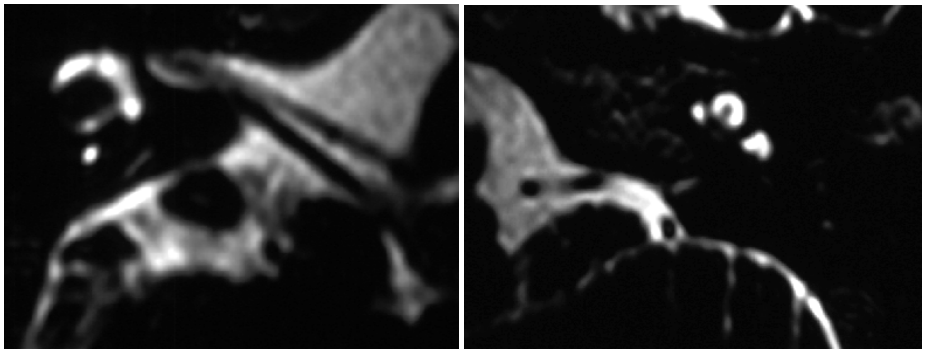

Abb. 1. Axiale Schichten der TSE-Sequenz. Links: Das Vestibulum, der laterale Bogengang, der N. vestibulocochlearis, der Aquaeductus vestibuli und der N. facialis sind dargestellt. Rechts: Schnitt durch die Cochlea. Der Modiolus ist im Zentrum der Ohrschnecke sichtbar.

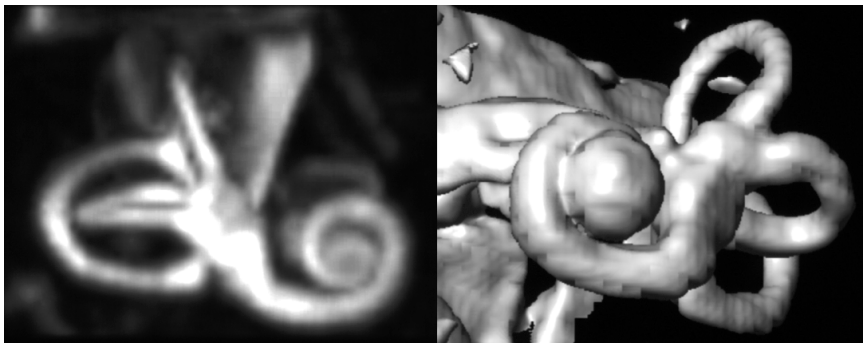

Abb. 2. Links: MIP. Die 2,5 Windungen der Cochlea sind auf einen Blick zu erkennen. Rechts: Volumenrekonstruktion. Die apikalen Cochleawindungen sind verschmolzen.

2.3 Dreidimensionale Volumenrekonstruktion

Die Volumenrekonstruktionen wurden an einem Bildverarbeitungscomputer (Easy Vision, Philips, Best, Niederlande) durchgeführt. Das System basiert auf einem Sun Ultra 2 Computer (Sun Microsystems, Palo Alto, USA), mit einem Arbeitsspeicher von 393 Megabyte. Die Bilddaten wurden zunächst segmentiert. Zur Darstellung einer in Vergleich zu der Umgebung signalreichen Struktur muss ein oberer Schwellenwert bestimmt werden, der für das Innenohrs bei 420 - 480 (Mittelwert 450) auf einer Skala von 0 – 3000 gewählt wurde. Die Voxel, deren Signalintensität oberhalb des Schwellenwerts liegen, werden bei der Rekonstruktion zur Bilderstellung herangezogen. Der Wert für die Transparenz der Oberfläche wurde zwischen 5 – 10 % festgesetzt. Auch die Volumenrekonstruktion wurde selektiv für den Bereich des Innenohrs durchgeführt, um eine Überlagerung durch benachbarte Strukturen zu vermeiden. Die Rekonstruktionen wurden um 360° horizontal und vertikal gedreht und in Abständen von 30° abgebildet, so das jede Serie aus 12 Bildern bestand.

2.4 Auswertung

Alle Aufnahmen der Probanden wurden von zwei erfahrenen Radiologen im Konsensus auf die Darstellung der 2,5 Windungen der Cochlea, des Modiolus, der Lamina spiralis, des Vestibulums, Saccus und Utriculus, der Bogengänge, der Ampullen, des Aquaeductus cochlearis und vestibuli, des N. facialis und N. vestibulocochlearis im inneren Gehörgang sowie für die Patienten auf das vorliegen pathologischer Veränderungen hin begutachtet.

3 Ergebnisse

Die Bildqualität der axialen MRT-Aufnahmen war bei allen 50 Untersuchungen gut, sodass die Datensätze zur Weiterverarbeitung geeignet waren. Bei den 25 Probanden waren die Cochlea, die Bögengänge und das Vestibulum in den axialen Schichten in

allen Fällen sichtbar. Der Inhalt des Vestibulums, Sacculus und Utriculus, konnten in 97 % identifiziert werden. Der Modiolus konnte in 85 % im Zentrum der Cochlea abgegrenzt werden, die osseäre Lamina spiralis war in 22 % der Untersuchungen erkennbar. Der N. facialis und N. vestibulocochlearis waren im inneren Gehörgang aufgrund des hohen Kontrastes zum umgebenden Liquor gut sichtbar. Der Aquaeductus vestibuli war in 38 %, der Aquaeductus cochlearis in 78 % erkennbar (Abb. 1). Diese Gänge konnten mittels beider Rekonstruktionstechniken nicht dargestellt werden. Aufgrund des hohen Kontrastes zwischen dem flüssigkeitsgefüllten Hohlraumsystems des Innenohrs und den umgebenden knöchernen Strukturen des Felsenbeins konnten die Maximum-Intensitätsprojektionen und die dreidimensionale Volumenrekonstruktion in allen Fällen mit gutem Ergebnis angefertigt werden. Zur Rekonstruktion der MIP wurden im Durchschnitt 5 min benötigt. Die 2,5 Windungen der Cochlea konnten am besten mittels dieser Technik abgebildet werden (Abb. 2). Das Vestibulum und die Bogengänge konnten in der MIP in allen Fällen dargestellt werden, die Ampullen waren in 30 % sichtbar. Zur Durchführung der Volumenrekonstruktionen wurden durchschnittlich 20 min für beide Seiten benötigt. Die Volumenrekonstruktion gaben die räumliche Beziehung der Bogengänge und des Vestibulums zueinander am besten wieder (Abb. 3). Nur mit dieser Technik konnten die Ampullen in allen Fällen dargestellt werden. Die oberen Windungen der Cochlea verschmolzen jedoch miteinander und konnten nicht voneinander abgegrenzt werden. Strukturen innerhalb des Röhrensystems des Innenohres, wie Sacculus und Utrikulus, der Modiolus, die Lamina spiralis oder der 7. und 8. Hirnnerv konnten mit beiden Rekonstruktionstechniken nicht dargestellt werden.

22 der 25 Patienten hatten einen anatomischen Normalbefund. Zwei Patienten wiesen umschriebene Obliterationen im Bogengangsystem auf. Bei einem Patienten wurde das Syndrom des erweiterten Aquaeductus vestibuli diagnostiziert. Diese Veränderungen konnten mit allen Techniken dargestellt werden, die Rekonstruktionen zeigten jedoch die Lage und Ausdehnung auf einen Blick.

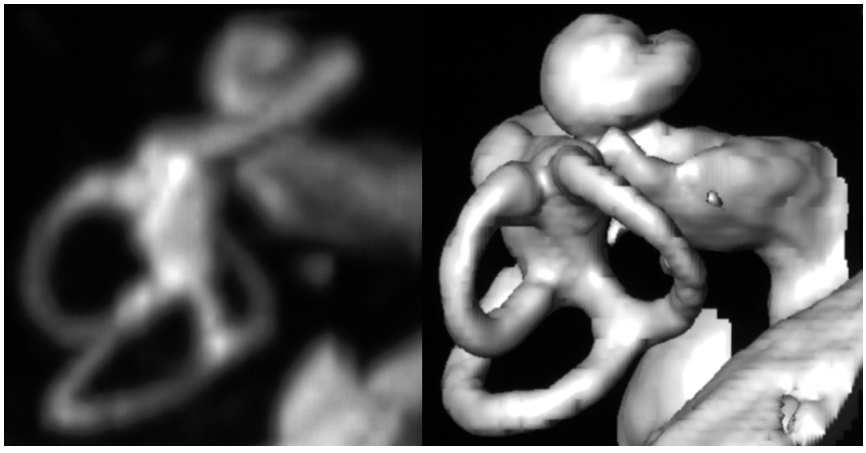

Abb. 3. Links: MIP. Vestibulum und Bogengänge sind erkennbar. Rechts: Volumenrekonstruktion. Die räumliche Anordnung der Bogengänge und des Vestibulums ist sichtbar.

4 Diskussion

Das Innenohr stellt eine komplexe anatomische Region dar, deren detaillierte Darstellung jedoch für die Diagnostik und operative Therapie unbedingt erforderlich ist [2, 3]. Volumenrekonstruktion und Maximum-Intensitätsprojektion ermöglichen die dreidimensionalen Darstellung und können die räumliche Orientierung in diesem Bereich verbessern. Der unkritische Umgang mit neuen Bildverarbeitungstechniken kann zur Fehleinschätzung der Methoden, überhöhten Erwartungen und Fehlinterpretationen der Daten führen. In einer kürzlich durchgeführten Studie wurden in den Rekonstruktionen fehlende nervale Strukturen anhand des Verlaufs umgebender Gangsysteme extrapoliert und am Computer eingezeichnet [4]. Zum gezielten diagnostischen Einsatz neuer Bildverarbeitungsverfahren ist die Kenntnis der Möglichkeiten und Grenzen der Techniken unabdingbar. In dieser Studie wurde erstmals systematisch die Darstellung anatomischer Details des Innenohrs durch axiale Schichten einer dreidimensionalen T2-gewichteten Turbo Spin-Echo Sequenz, Maximum-Intensitätsprojektionen und Volumenrekonstruktion aus diesen Daten verglichen.

Mittels der axialen Schichten konnten im Unterschied zu den anderen Techniken die meisten anatomischen Strukturen dargestellt werden. Details, die im Inneren des Röhrensystems des häutigen Labyrinths liegen, konnten nur auf den axialen Schichten abgegrenzt werden. Die MIP zeigte die 2,5 Windungen der Cochlea in einer Ansicht, und zeichnete sich damit gegenüber den anderen Techniken aus. Der in den axialen Schichten bei der Beurteilung der Cochlea störende Partialvolumeneffekt viel in dieser Technik weg. Die Volumenrekonstruktion stellte die räumliche Konstellation von Vestibulum, Bogengängen und Cochlea zueinander am besten dar. Die drei Ampullen konnten nur mittels dieser Technik in allen Fällen abgebildet werden. Der diagnostische Wert der Volumenrekonstruktion bleibt jedoch auf Veränderungen beschränkt, die die äußere Form des Labyrinths oder die topographische Beziehung der tubulären Strukturen zueinander verändern und ist damit besonders zur Darstellung von Malformationen geeignet. Die vorgestellten Techniken stellen sich ergänzende Verfahren dar, die komplementäre Informationen liefern.

5 Literatur

1. Czerny C, Rand T, Gstoettner W, Woelfl G, Imhof H, Trattnig S: MR Imaging of the inner ear and cerebellopontine angle: comparison of three-dimensional and two-dimensional sequences. AJR, 170: 791 – 796, 1998.
2. Casselman JW, Kuhweide R, Deimling M, Ampe W, Dehaene I, Meeus L: Constructive interference in steady state-3DFT MR imaging of the inner ear and cerebellopontine angle. AJNR, 14: 47 – 57, 1993
3. Naganawa S, Ito T, Fukatsu H, Nakashima T, Ichinose N, Kassai Y, Miyazaki M: MR imaging of the inner ear: comparison of a three-dimensional fast spin-echo sequence with use of a dedicated quadrature-surface coil with a gadolinium-enhanced spoiled gradient-recalled sequence. Radiology, 208: 679 – 685, 1998
4. Seemann MD, Seemann O, Bonél H, Suckfüll M, Englmeier KH, Naumann A, Allen CM, Reiser MF: Evaluation of the middle and inner ear structures: comparison of hybrid rendering, virtual endoscopy and 2D source images. Eur Radiol, 9: 1851 - 1858, 1999