

Aus der Abteilung Neuroradiologie
(Prof. Dr. med. M. Knauth)
im Zentrum Radiologie
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

Magnetresonanztomographische Untersuchung der
Hirnnerven-Anatomie
unter Verwendung
von
Volumensequenzen
bei 3 Tesla

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Anne-Kathrin Brüggemann, geborene Schulz

aus
Dannenberg

Göttingen 2010

Dekan: Prof. Dr. med. C. Frömmel

I. Berichtstatter: Prof. Dr. med. M. Knauth

II. Berichtstatter/ in:

III. Berichtstatter/ in:

Tag der mündlichen Prüfung:

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Fragestellung.....	2
1.2 Darstellung der Hirnnerven in der Magnetresonanztomographie	3
1.3 Anatomie: Verläufe der Hirnnerven	3
1.3.1 Allgemeines	3
1.3.2 N.olfactorius/ Hirnnerv I	5
1.3.3 N. opticus/ Hirnnerv II	5
1.3.4 N. oculomotorius/ Hirnnerv III	6
1.3.5 N. trochlearis/ Hirnnerv IV	7
1.3.6 N. trigeminus/ Hirnnerv V	8
1.3.7 N. abducens/ Hirnnerv VI	10
1.3.8 N. facialis/ Hirnnerv VII	10
1.3.9 N. vestibulocochlearis/ Hirnnerv VIII.....	11
1.3.10 N. glossopharyngeus/ Hirnnerv IX.....	11
1.3.11 N. vagus/ Hirnnerv X	12
1.3.12 N. accessorius/ Hirnnerv XI	12
1.3.13 N. hypoglossus/ Hirnnerv XII	13
1.4 Datennachverarbeitung	13
1.4.1 Grundlegendes zur Bilddarstellung.....	13
1.4.2 Multiplanare Rekonstruktion/ MPR	14
2 Material und Methoden	15
2.1 Magnetresonanztomographie	15
2.2 Probanden und Datenakquisition	15
2.3 Daten-Nachbearbeitung	21
3 Ergebnisse	23
3.1 Daten-Akquisition	23
3.2 Daten-Nachbearbeitung	25
3.2.1 Allgemein.....	25
3.2.2 Hirnnervendarstellung	26

3.2.2.1 Zusammenfassung der Ergebnisse zur Hirnnervendarstellung.....	26
3.2.2.2 Dauer der Daten-Nachbearbeitung	29
3.2.2.3 Beurteilung der Hirnnerven-Darstellungen	30
3.2.2.4 N. olfactorius/ Hirnnerv I.....	37
3.2.2.5 N. opticus/ Hirnnerv II	39
3.2.2.6 N. oculomotorius/ Hirnnerv III.....	43
3.2.2.7 N. trochlearis/ Hirnnerv IV	46
3.2.2.8 N. trigeminus/ Hirnnerv V	50
3.2.2.9 N. abducens/ Hirnnerv VI	53
3.2.2.10 N. facialis/ Hirnnerv VII.....	57
3.2.2.11 N. vestibulocochlearis/ Hirnnerv VIII	58
3.2.2.12 N. glossopharyngeus/ Hirnnerv IX und N. vagus/ Hirnnerv X.....	61
3.2.2.13 N. accessorius/ Hirnnerv XI.....	65
3.2.2.14 N. hypoglossus/ Hirnnerv XII.....	68
4 Diskussion	71
4.1 Erfordernis der Darstellung der intrakraniellen Hirnnervenverläufe mittels MRT.....	71
4.2 Anforderungen an die Darstellung der Hirnnerven	74
4.3 Datenakquisition.....	76
4.3.1 Magnetfeldstärke von 3 Tesla.....	76
4.3.2 3D-Akquisition	77
4.3.3 3D-CISS-Sequenz	78
4.3.4 3D-MP-RAGE-Sequenz.....	79
4.4 Datennachbearbeitung	80
4.4.1 Multiplanare Rekonstruktion	80
4.4.2 Hirnnervendarstellung	81
4.4.2.1 N. olfactorius/ Hirnnerv I.....	81
4.4.2.2 N. opticus/ Hirnnerv II	82
4.4.2.3 N. oculomotorius / Hirnnerv III.....	82
4.4.2.4 N. trochlearis/ Hirnnerv IV	82
4.4.2.5 N. trigeminus/ Hirnnerv V	83
4.4.2.6 N. abducens/ Hirnnerv VI	84
4.4.2.7 N. facialis/ Hirnnerv VII und N. vestibulocochlearis/ Hirnnerv VIII	85
4.4.2.8 N. glossopharyngeus, N. vagus, N. accessorius/ Hirnnerven IX, X, XI	85

4.4.2.9 N. hypoglossus/ Hirnnerv XII.....	86
5 Zusammenfassung.....	87
6 Literaturverzeichnis.....	89
7 Verzeichnis der Abkürzungen und Fachausdrücke.....	95
8 Anhang	
8.1 Aufklärungsbogen und Einverständniserklärung für Probanden	

1 Einleitung

Die Diagnostik von Hirnnervenpathologien, wie zum Beispiel Mononeuritiden, granulomatöse Erkrankungen, perineurale Tumorausbreitung oder Trauma, ist ein klinisches Gebiet, in welchem der Bildgebung im interdisziplinären Zusammenspiel eine wichtige Rolle zufällt.

Der Wert der Magnetresonanztomographie (MRT) für die Darstellung der Hirnnerven ist bereits erwiesen. Insbesondere die Hirnnervenpaare II, V, VII und VIII werden erfolgreich bei 1,5 Tesla untersucht (Casselmann et al. 1993, 1994, 1996 und 1997, Held et al. 1997 und 2000 a, Kress et al. 2004 und 2006, Marsot-Dupuch et al. 2000, Williams et al. 2003, Yousry et al. 2000 und 2005).

Die Visualisierung der anderen Hirnnerven birgt jedoch besondere Herausforderungen. So stellt die Detaillierbarkeit, insbesondere der kleinen und oft schräg im Raum verlaufenden Hirnnerven, hohe Anforderungen an Signal-zu-Rausch-Verhältnis (SNR) und räumliche Auflösung (Caillet et al. 1990, Yousry et al. 2000).

Besonders anspruchsvoll in ihrer Darstellung sind auf der einen Seite die filigranen Hirnnerven IV, VI und XI, mit ihren langen intrakraniellen Verläufen mit wiederholtem Richtungswechsel, sowie auf der anderen Seite Hirnnerven, die in enger Beziehung zueinander verlaufen, wie die kaudale Hirnnervengruppe, bestehend aus den Hirnnerven IX, X und XI.

Die oben genannten Eigenschaften erschweren die Identifizierung dieser Strukturen und ihre Darstellung in diagnostischer Qualität.

Doch auch die bereits etablierte Untersuchung der Hirnnerven II, V, VII und VIII weist häufig Defizite in der Darstellung des gesamten intrakraniellen Verlaufes und in der Detailgenauigkeit auf. Es ist möglich, dass Anteile der Hirnnerven dem Betrachter bei der Routinedarstellung aufgrund der gewählten Schichtdicke und Orientierung entgehen.

Diesen oben genannten Anforderungen und Besonderheiten der Hirnnervendarstellung wurden in dieser Arbeit durch den Einsatz eines 3 Tesla-MRT-Systems und dreidimensionaler (3D-) Sequenzen sowie durch eine präzise Nachbearbeitung der Primärdatensätze begegnet.

Ziel war die Erarbeitung klinisch verwendbarer Grundlagen zur Erstellung Multiplanarer Reformationen durch gezielte Nachbearbeitung von Kontrast und Schichtführung.

Es wurde ein Protokoll verwendet, das eine Bildgebung der intrakraniellen Verläufe aller zwölf Hirnnervenpaare in einem Untersuchungsvorgang ermöglicht, in einer für den Patientenkomfort und den Ablauf in der klinischen Diagnostik angemessenen Zeit.

Das Protokoll soll in der Untersuchung der intrakraniellen Verläufe der Hirnnerven Anwendung finden und langfristig in der Bildgebung ihrer pathologischen Prozesse einsetzbar sein.

Anhand der entstandenen hochauflösenden Primärdatensätze, die in beliebiger Angulation bei geringem Qualitätsverlust reformatierbar sind, konnten alle Hirnnervenpaare aufgefunden und ihre Visualisierung erreicht werden.

Die Anatomie der Hirnnerven wurde ab Austritt aus dem/ Eintritt in den Hirnstamm (Hirnnerven III bis XII) beziehungsweise aus ihrem funktionellen Kerngebiet (Hirnnerven I und II) bis hin zu ihrem Durchtritt durch die jeweilige Schädelbasisöffnung untersucht.

Die Nachbearbeitung der Datensätze wurde so gestaltet, dass sie einfach nachzuvollziehen und im klinischen Alltag reproduzierbar ist.

Das Nachbearbeitungsprotokoll beinhaltet für das jeweilige Hirnnervenpaar eine Unterteilung des intrakraniellen Verlaufes in für die Diagnostik sinnvolle Abschnitte.

Für jeden dieser Abschnitte wurden festgelegt:

1. Anatomische Landmarken zum Auffinden des Hirnnerven
2. Bester Kontrast
3. Beste Schnittebene.

1.1 Fragestellung

Die Arbeit behandelt die Sichtbarkeit und Darstellbarkeit der intrakraniellen Hirnnervenverläufe.

Zur Optimierung der Datenaufnahme sollte zunächst ein hochauflösendes MRT-Daten-Akquisitions-Protokoll zur Hirnnervendarstellung bei der Feldstärke von 3 Tesla bestimmt werden. Hierbei sollten Messzeiten eingehalten werden, die auch in der radiologischen Routinediagnostik Anwendung finden können.

Auf der Basis der hochauflösenden Datensätze sollten Multiplanare Rekonstruktionen der Hirnnerven erstellt werden.

Landmarken zum unproblematischen Auffinden der Hirnnerven, sowie die Optimierung von Schichtführung und Kontrast sollten individuell für jedes Hirnnervenpaar herausgearbeitet werden.

1.2 Darstellung der Hirnnerven in der Magnetresonanztomographie

Die Magnetresonanztomographie ist ein modernes bildgebendes Verfahren, welches Schnittbilder mit hohem Weichteilkontrast, ohne Einsatz ionisierender Strahlung, generiert. Durch technische Weiterentwicklung in den 90er Jahren wurde die Darstellung der intrakraniellen Hirnnerven möglich (Caillet et al. 1990).

Die Implementierung der 3D-CISS-Sequenz (Three-dimensional-Constructive-Interference-in-Steady-State) auf klinischen Scannern der Firma Siemens Medical Systems, brachte aufgrund ihres hohen Liquor-Gewebe-Kontrastes eine Verbesserung der Darstellung der intrazisternalen Abschnitte der Hirnnerven und ihrer Pathologien, sowie die Visualisierung von Gefäß-Nerven-Kontakten mit sich (Casselmann et al. 1993).

Die CISS-Sequenz wurde in einer großen Zahl von Studien zur Hirnnervendarstellung mittels MRT bei 1,5 Tesla erfolgreich eingesetzt (Casselmann et al. 1993, 1994, 1996, 1997 und 1998, Held et al. 1997, 2000 a und b, Heine et al. 2002, Hermans et al. 1997, Linn et al. 2009 b, Yousry et al. 1999-2005).

Zusätzlich zur CISS-Sequenz wird in der Literatur der Einsatz einer hochauflösenden T1-gewichteten Sequenz, wie zum Beispiel der durch Mugler und Brookeman 1990 entwickelten 3D-MP-RAGE (Three-dimensional-Magnetization-Prepared-Rapid-Gradient-Echo) mit und ohne Einsatz von Kontrastmittel, zur Beurteilung von Pathologien empfohlen (Held et al. 1997 und 2000 a, Lell et al. 2003, Mugler und Brookeman 1990 a und b und 1993).

Mehrere Studien konnten den Nutzen einer höheren Feldstärke von 3 Tesla für die Hirnnervendarstellung belegen (Fischbach et al. 2003 und 2008, Graf et al. 2004, Linn et al. 2009 a, Nielsen et al. 2006, Röttgen et al. 2005).

1.3 Anatomie: Verläufe der Hirnnerven

Die anatomischen Fakten sind, wenn nicht anders gekennzeichnet, den folgenden Standardschriften der Anatomie entnommen: Neuhuber (2004), Lanz et al. (1979), Netter (1997), Trepel (1999).

1.3.1 Allgemeines

Als Hirnnerven bezeichnet man die 12 rostralsten Nervenpaare, deren Ein- und Austritts-

punkte im Bereich des Gehirns zu finden sind. Ihre peripheren Äste verlaufen hauptsächlich im Kopf-Hals-Bereich.

Die 12 Hirnnervenpaare werden häufig, entsprechend der Reihenfolge ihres Austritts aus dem Gehirn, von rostral nach kaudal mit römischen Ordnungszahlen belegt:

- I** N. (Nervus) olfactorius/ Nn. (Nervi) olfactorii
- II** N. opticus
- III** N. oculomotorius
- IV** N. trochlearis
- V** N. trigeminus
- VI** N. abducens
- VII** N. facialis
- VIII** N. vestibulocochlearis
- IX** N. glossopharyngeus
- X** N. vagus
- XI** N. accessorius
- XII** N. hypoglossus.

Die Punkte, an denen die Hirnnerven III bis XII den Hirnstamm verlassen, bzw. ihre Fasern in diesen eintreten, sind in eine mediale und eine laterale Reihe unterteilt. Dies korreliert mit ihrer Faserzusammensetzung, sowie mit der Lage ihrer Ursprungs- und Endkerne im Hirnstamm. Die mediale Reihe setzt die Reihe der spinalen Vorderwurzeln, welche im Sulcus anterolateralis austreten, fort. Dieser Reihe gehören die Hirnnerven III, VI und XII an. Hirnnerv IV, dessen Ursprungskern auch dieser Reihe angehört, bildet mit seinem dorsalen Verlassen des Hirnstammes eine Ausnahme. Zur lateralen Reihe zählen die Hirnnerven V, VII, VIII, IX, X und XI. Ihre Aus- oder Eintrittspunkte finden sich im Sulcus retroolivaris, der den Sulcus posterolateralis, in dem die spinalen Hinterwurzeln austreten, nach rostral fortsetzt. Hier hat die spinale Wurzel des N. accessorius eine besondere Stellung, da ihre Fasern seitlich am zervikalen Rückenmark, zwischen den Vorder- und Hinterwurzeln der Spinalnerven, austreten.

1.3.2 N. olfactorius/ Hirnnerv I

Der N. olfactorius ist ein speziell-viszeroafferenter Nerv.

Er setzt sich aus mehreren feinen Fila olfactoria zusammen und entstammt Zellen der Riechschleimhaut, die im oberen Bereich der Nasenhöhle, im Bereich der Concha nasalis superior, lokalisiert ist. Die primären Sinneszellen der Riechschleimhaut bündeln ihre Fortsätze zu den Fila olfactoria zusammen. Die Axone der Riechzellen ziehen durch die Lamina cribrosa des Os ethmoidale. Sie bilden Synapsen mit den Mitralzellen des Bulbus olfactorius aus.

Der Bulbus olfactorius ist eine paarig angelegte Ausstülpung der Großhirnhemisphären und somit ein Teil des Telenzephalons. Funktionell kann der Bulbus olfactorius als Hirnnervenkern des N. olfactorius angesehen werden.

Die Axone der Mitralzellen bilden den Tractus olfactorius, der an der Basalfläche des Frontallappens liegt. Vom kaudalen Pol des Bulbus olfactorius zieht der Tractus olfactorius nach dorsal zum Trigonum olfactorium. Der Tractus olfactorius teilt sich nach etwa 3-4 cm Verlauf in die Stria olfactoria medialis, intermedia und lateralis auf. Sie fassen, gemeinsam mit dem Band von BROCA das Trigonum olfactorium ein, das der Substantia perforata anterior entspricht.

Die Stria olfactoria medialis wendet sich nach oben-medial und zieht dann zum Septum praecommissurale und in die Area subcallosa, nahe dem Rostrum des Corpus callosum. Hier erfolgt die Umschaltung auf Fasern, die im Fasciculus prosencephalicus medialis verlaufen.

Die Stria olfactoria lateralis läuft zur Area praepiriformis und zur Regio periamygdalaris, wo die Signale auf das 2. Neuron übertragen werden.

Die Area praepiriformis und die Regio periamygdalaris gelten als die primären Riechrindenregionen.

Die Stria olfactoria intermedia bildet eine kleine Erhebung, das Tuberculum olfactorium, und zieht zur Substantia perforata anterior.

1.3.3 N. opticus/ Hirnnerv II

Der N. opticus hat etwa eine Dicke von 4-5 mm und eine Länge von ca. 4,5 cm.

Er ist ein speziell-somatoafferenter Nerv und führt die visuellen Informationen der Sinneszellen der Retina.

Die Information wird von den primären Sinneszellen auf die bipolaren Zellen der Körnerschicht umgeschaltet.

Entwicklungsgeschichtlich ist der N. opticus als ein Teil des Diencephalons anzusehen.

Er setzt sich aus den Fortsätzen der großen Ganglienzellen der Retina zusammen, die sich in der Sehnervenpapille vereinen.

Sie verlassen den Bulbus oculi etwas medial seines hintersten Poles, durchbrechen dabei die Sklera und werden von dort an von Oligodendrozyten ummantelt. So ist der N. opticus als zentrale Bahn anzusehen. Bereits in der Orbita ist der N. opticus von allen drei Hirnhäuten umgeben. Die Durahülle des N. opticus geht kontinuierlich in die Sklera bulbi über. Ein Subarachnoidalraum ist nur angedeutet und steht nicht mit dem des Gehirns in Verbindung.

In der Orbita verläuft Hirnnerv (HN) II mit S-förmiger Krümmung, um eine freie Beweglichkeit des Augapfels zu gewährleisten. Der N. opticus verlässt die Orbita durch den Canalis opticus, durch den er gemeinsam mit der Arteria (A.) ophthalmica zieht. Über der Hypophyse tritt er im Chiasma opticum mit dem N. opticus der Gegenseite in Verbindung. Fasern, die Informationen des lateralen Gesichtsfeldes/ des medialen Retinaanteiles führen, kreuzen zur Gegenseite, während die Fasern mit der Information des medialen Gesichtsfeldes/ des lateralen Retinaanteils das Chiasma opticum ohne zu kreuzen passieren. Die gekreuzten und ungekreuzten Fasern ziehen im Tractus opticus weiter, lateral des Hirnschenkels zum Corpus geniculatum laterale des Thalamus. Dort werden die Fasern auf das vierte Neuron der Sehbahn verschaltet, dessen Fortsätze als Radiatio optica weiter zur primären visuellen Großhirnrinde im Okzipitallappen (Area 17 nach Brodmann) laufen.

1.3.4 N. oculomotorius/ Hirnnerv III

Der N. oculomotorius ist ein gemischter Nerv, mit einem somatoefferenten und einem speziell-viszeroefferenten Anteil.

Er hat seinen Ursprung in zwei Kerngebieten des Mittelhirns. Der Ursprungskern für die somatomotorischen Fasern ist der Nucleus (Ncl.) n. oculomotorii. Für die speziell-viszeromotorischen Fasern ist der Ncl. accessorius n. oculomotorii (Ncl. Edinger-Westphal) zuständig.

Gemeinsam mit dem N. trochlearis und dem N. abducens ist er an der Bewegung des Bulbus oculi beteiligt. Außerdem innerviert er mit seinen parasymphatischen Fasern die beiden glatten Muskeln Musculus (M.) sphincter pupillae und M. ciliaris.

Der N. oculomotorius tritt am ventralen Hirnstamm, am Rand der Brücke, in der Fossa interpeduncularis, kaudal der Corpora mamillaria, aus.

Zwischen A. superior cerebelli (kaudal) und A. cerebri posterior (kranial) zieht er durch die Cisterna interpeduncularis, vorwärts zur Sella turcica. Hier durchbricht er die Dura mater und verläuft seitlich-unterhalb des Processus clinoideus posterior durch den Sulcus nervi oculomotorii.

Er tritt ein in die obere-äußere Wand des Sinus cavernosus. Im Dach, später in der Seitenwand, des Sinus cavernosus zieht er nach rostral. Beim Durchtritt durch die Fissura orbitalis superior befindet er sich ganz medial.

Bei Eintritt in die Orbita liegt der N. oculomotorius innerhalb des Anulus tendineus, an dem die geraden Augenmuskeln entspringen. In der Orbita teilt er sich in einen Ramus superior und einen Ramus inferior. Außerdem gibt er seine parasymphatischen Fasern ab. Die Äste innervieren:

Ramus (R.) superior:

- M. rectus superior
- M. levator palpebrae superior.

R. inferior:

- M. rectus medialis
- M. rectus inferior
- M. obliquus inferior.

Die parasymphatischen Fasern für die inneren glatten Augenmuskeln ziehen zum Ganglion ciliare (hinter dem Bulbus oculi, lateral des N. opticus gelegen) und innervieren den M. sphincter pupillae und den M. ciliaris.

1.3.5 N. trochlearis/ Hirnnerv IV

Hirnnerv IV ist der dünnste der 12 Hirnnerven, mit dem längsten intrakraniellen Verlauf. Sein Durchmesser beträgt etwa zwischen 0,75 und 1,00 mm (Villain et al. 1993).

Er ist ein rein somatomotorischer Nerv und versorgt den M. obliquus superior. Sein Ursprungskern, der Ncl. n. trochlearis, liegt im Mittelhirn.

Der N. trochlearis ist der einzige der Hirnnerven, der dorsal am Hirnstamm austritt. Er verlässt den Hirnstamm am Unterrand der Vierhügelplatte (direkt kaudal der Colliculi inferiores, lateral des Velum medullare superior).

Er zieht nach vorn-seitlich um die Hirnschenkel herum, knapp oberhalb der Brücke, in der Cisterna ambiens nach basal. Dabei verläuft er zwischen A. cerebri posterior und der A. superior cerebelli. Dann zieht er etwas abwärts und tritt hinter der Sella turcica am vorderen Ende des Tentorium cerebelli in die Dura mater ein und beendet damit sein zisternales Segment (Marinkovic et al. 1996).

Unter der Dura mater zieht er außen-oben in der Seitenwand des Sinus cavernosus nach ventral. Hierbei liegt er zwischen N. oculomotorius und N. ophthalmicus (V1) und verläuft leicht aufsteigend. Im weiteren Verlauf kreuzt er den N. oculomotorius und liegt dann über ihm. Durch die Fissura orbitalis superior tritt er in die Orbita ein, dabei gelangt er nicht durch den Anulus tendineus communis, sondern verläuft am äußeren Rand des Konus, den die geraden Augenmuskeln bilden.

Er wendet sich dem von ihm versorgten M. obliquus superior zu und tritt in diesen von lateral ein.

Der Eintritt des N. trochlearis in den Sinus cavernosus, beziehungsweise sein Eintritt in die Dura mater, wird in der Literatur unterschiedlich beschrieben. Nach Ferner und Kautzky tritt er in der hinteren Schädelgrube in die Dura mater ein, in die Unterseite des Tentorium cerebelli (Ferner und Kautzky 1959). Lang berichtete 1974 zwei Variationen seines Eintritts in den Sinus cavernosus: Zum einen den schon oben beschriebenen Eintritt in die Incisura tentorii und unterhalb des Tentoriums in den Sinus cavernosus, zum anderen einen Eintritt „in den hinteren Abschnitt der Wannenregion von oben her“ (Lang 1974, S. 87). Die Wannenregion wird durch die Plicae petroclinoideae gebildet.

1.3.6 N. trigeminus/ Hirnnerv V

Der Hirnnerv V hat einen allgemein-somatomotorischen, einen speziell-viszeromotorischen (Ncl.motorius n.trigemini) und einen gemischt-sensiblen (Ncl.spinalis, principalis und mesencephalicus n. trigemini) Anteil. Er ist in eine motorische und eine sensorische Wurzel unterteilt.

Die sensorische Wurzel innerviert sensibel das Gesicht, Kornea, Bindehaut, Nasen- und Mundschleimhaut, Zähne und Zahnhalteapparat und weite Anteile der Hirnhäute. Eine gedachte Linie zwischen Stirn, Ohr und Kinn stellt die Trennung zwischen den Hautinnervationsgebieten des N. trigeminus und des Plexus cervicalis dar.

Mit seiner motorischen Wurzel innerviert der N. trigeminus die Kau- und Mundbodenmuskulatur.

Dieser dickste der Hirnnerven tritt seitlich an der Brücke aus.

Die Trigeminiwurzel geht in das Ganglion trigeminale (GASSERI) über, das als sichelförmige Struktur im Bereich der Felsenbeinpyramidenspitze liegt. Das Ganglion trigeminale liegt in einer Ausstülpung des Subarachnoidalraumes, die mit Liquor gefüllt ist (Cavum trigeminale MECKELI). Im Bereich des Ganglions findet die Unterteilung in die drei großen Äste des N. trigeminus statt:

- N. ophthalmicus
- N. maxillaris
- N. mandibularis.

Die motorische Wurzel entspringt an der Brücke rostral des Eintritts der sensorischen Wurzel, gelangt an die Unterseite des Ganglions und schließt sich dann dem Nervus mandibularis an.

Der N. ophthalmicus (V1) versorgt sensibel Auge und Augenhöhle, Anteile der Gesichtshaut sowie Anteile der Hirnhäute.

Er zieht in der seitlichen Wand des Sinus cavernosus nach vorn. Er gibt noch im Sinus cavernosus seinen Ast zur Versorgung der Hirnhäute ab.

Vor Durchtritt durch die Fissura orbitalis superior in die Orbita teilt er sich in seine drei Hauptäste:

- N. lacrimalis
- N. frontalis
- N. nasolacrimalis.

Der N. maxillaris (V2) innerviert sensibel Anteile der Gesichtshaut, Zähne und Zahnhalteapparat des Oberkiefers sowie Anteile der Hirnhäute.

Er liegt im basalen Abschnitt der Seitenwand des Sinus cavernosus und zieht zum Foramen rotundum, durch das er in die davor gelegene Fossa pterygopalatina gelangt.

Noch innerhalb der Schädelhöhle gibt er seinen Ast zur Versorgung der Hirnhäute ab.

Der N. mandibularis (V3) versorgt sensibel Anteile der Gesichtshaut, Zähne und Zahnhalteapparat des Unterkiefers, die vorderen 2/3 der Zunge sowie Anteile der Hirnhäute. Motorisch innerviert er die Kaumuskelatur, die Mundbodenmuskulatur, den M. tensor veli palatini und den M. tensor tympani.

Er verlässt die Schädelhöhle durch das Foramen ovale und nimmt dabei die motorische Wurzel auf. Sein R. meningeus zweigt nach Durchtritt durch das Foramen rotundum ab und zieht zurück in die Schädelhöhle durch das Foramen spinosum.

1.3.7 N. abducens/ Hirnnerv VI

Der rein somatomotorische N. abducens hat sein Ursprungskerngebiet in der Brücke im Nucleus nervi abducentis. Er tritt am kaudalen Rand der Brücke nahe der Mittellinie, im Bereich des Sulcus pontomedullaris, aus dem Hirnstamm aus. Er läuft nach vorn-seitlich durch den Subarachnoidalraum und tritt am Clivus durch die Dura mater in einen osteofibrösen Kanal, genannt Dorellos Kanal, ein (Dorello 1905 und 1906 und Umansky et al. 1991). In einer Hülle aus Bindegewebe, Dura mater und Arachnoidea mater überquert er die Felsenbeinpyramidenspitze in Dorellos Kanal und gelangt in den Sinus cavernosus, den er lateral der A. carotis interna durchläuft (Ono et al. 2004).

Er verlässt den Schädel durch die Fissura orbitalis superior, zieht durch den Anulus tendineus und tritt von medial in den von ihm innervierten M. rectus lateralis, ein.

1.3.8 N. facialis/ Hirnnerv VII

Die Kerngebiete des N. facialis liegen in der Medulla oblongata. Der HN VII setzt sich zusammen aus einem Fazialisanteil und einem Intermediusanteil. Der N. facialis innerviert mit seinen speziell-viszeroefferenten (Ncl.n.facialis) Fasern die mimische Muskulatur. Der N. intermedius versorgt mit seinen allgemein-viszeroefferenten, parasymphatischen Fasern aus dem Ncl. salivatorius superior Speicheldrüsen und die Tränendrüse, sowie mit seinen speziell-viszeroeffferenten (Ncll. tractus solitarii) Geschmacksfasern die vorderen 2/3 der Zunge.

Der Hirnnerv VII entspringt mit seinen beiden Anteilen gemeinsam mit dem Hirnnerv VIII am seitlichen kaudalen Brückenrand, rostral der Olive, im Kleinhirnbrückenwinkel. Gemeinsam mit dem N. vestibulocochlearis tritt er in den Meatus acusticus internus ein. In der Felsenbeinpyramide verläuft er im Canalis nervi facialis. Dort biegt er nach hinten-seitlich um, im äußeren Fazialisknie. Hier liegt auch das Ganglion (Ggl.) geniculi, welches die Zellkerne der afferenten Fasern beherbergt. Der Nerv wendet sich im Bogen nach unten, verläuft in der hinteren Wand der Paukenhöhle und tritt durch das Foramen stylomastoideum aus der Schädelhöhle heraus. In seinem Verlauf durch das Felsenbein gibt der Hirnnerv VII seine parasymphatischen Anteile und die sensorischen Fasern ab, als N. petrosus major und Chorda tympani. Die im Foramen stylomastoideum austretenden motorischen Anteile des N. facialis teilen sich in der Glandula parotis auf.

1.3.9 N. vestibulocochlearis/ Hirnnerv VIII

Der N. vestibulocochlearis hat zwei Kerngebiete für den Cochlearis-Anteil (Ncl.cochleares) und vier Kerngebiete für den Vestibularis-Anteil (Ncl. vestibulares).

Der N. vestibulocochlearis ist ein speziell-somatoafferenter Nerv.

Er verlässt lateral des N. facialis im Kleinhirnbrückenwinkel den Hirnstamm. Er tritt gemeinsam mit dem N. facialis in den Meatus acusticus internus ein. Hier teilt er sich in seine beiden Anteile, den N. vestibularis und den N. cochlearis. Der Nervus vestibularis lässt sich weiter unterteilen, je nach Autor, in die Pars superior und die Pars inferior (Netter 1997) bzw. den N. vestibularis superior und inferior (Leblanc 2001).

Die Fasern des N. vestibularis stellen die Primärafferenzen aus dem Gleichgewichtsorgan dar, deren Zellkörper im oberen und unteren Ganglion vestibulare im Meatus acusticus internus liegen. Das obere Ganglion ist zuständig für die Innervation der Cristae des vorderen und des seitlichen Bogenganges. Das untere Ganglion ist zuständig für die Innervation der Cristae des hinteren Bogenganges und der Macula sacculi.

Die Fasern des N. cochlearis stellen die Afferenzen aus dem Hörorgan, der Cochlea, dar. Die Zellkörper der zugehörigen bipolaren Zellen liegen im Ganglion cochleare.

1.3.10 N. glossopharyngeus/ Hirnnerv IX

Der Hirnnerv IX hat einen allgemein-viszeroefferenten (Ncl.salivatorius inferior), einen speziell-viszeroefferenten (Ncl.ambiguus), einen somatoafferenten (Ncl.spinalis n.trigemini) und einen allgemein-viszeroafferenten sowie einen speziell-viszeroafferenten (Ncl.tractus solitarii) Anteil.

Er innerviert Teile des Schlundes motorisch und sensibel. Die Glandula parotis wird durch ihn parasymphatisch innerviert. Sensibel und sensorisch versorgt er das hintere Zungendrittel. Allgemein-viszerosensible Fasern zum Sinus caroticus und zum Glomus caroticum bedingen seine Wichtigkeit für die Regulation von Kreislauf und Atmung.

Der N. glossopharyngeus verlässt den Hirnstamm kaudal des N. vestibulocochlearis und des N. facialis, im Sulcus retroolivariis, nahe dem Austrittspunkt des N. vagus.

Durch den vorderen Teil des Foramen jugulare gelangt er, durch eine Durabrücke von N. vagus und N. accessorius getrennt, aus der Schädelhöhle heraus.

1.3.11 N. vagus/ Hirnnerv X

Der N. vagus ist der bedeutendste parasympathische Nerv und der Hirnnerv mit dem ausgedehntesten Innervationsgebiet, welches sich vom Kopf bis zur Bauchhöhle erstreckt. Neben den speziell-viszerofferenten (Ncl.ambiguus) Fasern für die Muskulatur von Schlund, Kehlkopf, Gaumen und Speiseröhre, führt er allgemein-viszerofferente (Ncl.dorsalis n.vagi) Fasern für die glatte Muskulatur des Verdauungs- und Respirationstraktes und kardiainhibitorische Fasern. Zudem führt er somatoafferente (Ncl.spinalis n.vagi) Fasern der Haut des Meatus acusticus externus und der Zunge und viszeroafferente (Ncll.tractus solitarii) Fasern aus allen Eingeweiden.

Er tritt im Sulcus retroolivaris aus der Medulla oblongata, zwischen N. glossopharyngeus und dem kranialen Anteil des N. accessorius, aus. Seine Wurzelfäden vereinigen sich nach Austritt aus dem Hirnstamm.

Er verlässt die Schädelhöhle gemeinsam mit dem N. accessorius, durch eine Durabrücke vom N. glossopharyngeus getrennt, durch das Foramen jugulare.

1.3.12 N. accessorius/ Hirnnerv XI

Der N. accessorius ist ein somatoafferenter Nerv. Er setzt sich zusammen aus dem kranialen Anteil aus dem Ncl. ambiguus und dem spinalen Anteil aus dem Ncl. n. accessorius.

Die kraniale Wurzel entspringt dorsal der Olive, direkt kaudal der Fasern des N. vagus. Die spinale Wurzel entspringt seitlich aus dem Halsmark zwischen den zervikalen Vorder- und Hinterwurzeln. Die spinalen Anteile vereinigen sich und laufen seitlich neben dem Zervikalmark zwischen den Hinterwurzeln der zervikalen Spinalnerven und dem Ligamentum (Lig.) denticulatum nach kranial und treten durch das Foramen occipitale magnum in die Schädelhöhle ein. Kurz vor Durchtritt durch das Foramen jugulare vereinigen sich die kranialen und die spinalen Anteile zu einem kurzen gemeinsamen Verlauf. Nach Austritt aus dem Schädel teilt der Nerv sich wieder in seine beiden ursprünglichen Anteile. Der kraniale Anteil wird als R. internus an den N. vagus abgegeben. Er innerviert Anteile der Schlund- und Kehlkopfmuskulatur.

Der spinale Anteil des N. accessorius zieht als R. externus weiter zum M. sternocleidomastoideus und zum M. trapezius.

1.3.13 N. hypoglossus/ Hirnnerv XII

Der N. hypoglossus ist ein rein somatomotorischer Nerv.

Sein Ursprungskern ist der Ncl.n.hypoglossi. Er ist zuständig für die Innervation der Zungenmuskulatur.

Seine Wurzelfäden treten zwischen Pyramide und Olive im Sulcus anterolateralis an der Medulla oblongata aus. Sie setzen die Reihe der spinalen Vorderwurzeln fort.

Hirnnerv XII verlässt die Schädelhöhle durch den Canalis nervi hypoglossi, welcher in der seitlichen Umrandung des Foramen occipitale magnum gelegen ist.

1.4 Datennachverarbeitung

1.4.1 Grundlegendes zur Bilddarstellung

Sowohl zweidimensionale (2D-) als auch dreidimensionale (3D-) MRT-Datensätze sind aus Voxeln (Volume Elements) zusammengesetzt. Bei 3D-, im Gegensatz zu 2D- MRT-Datensätzen decken die Voxel das Untersuchungsvolumen lückenlos ab. Es gibt kein „Interslice-Gap“. Das beste Auflösungsvermögen zeigen 3D-Datensätze mit nahezu isotropen Voxeln, welche in allen drei Raumrichtungen die gleiche Ausdehnung zeigen. Diese Datensätze sind auch am besten für die Nachbearbeitung, zum Beispiel in Form von Multiplanaren Rekonstruktionen (MPR), geeignet. Da sich das Untersuchungsvolumen lückenlos aus Voxeln zusammensetzt, ist das Auflösungsvermögen eines 3D-Datensatzes also abhängig vom Voxelvolumen.

Die radiologischen Betrachtungsmedien, wie Bildschirm und Röntgenfilm, liefern Darstellungen, in Form von Pixeln (Picture Elements), welche Informationen über ein Voxel enthalten. Sie sind in einer Ebene angeordnet und somit zweidimensional.

Die Nachbearbeitung dreidimensionaler Primärdatensätze muss entsprechend so erfolgen, dass eine Betrachtung auf einem zweidimensionalen Medium möglich wird.

Schnittebene und Kontrast müssen derart optimiert sein, dass dem Betrachter die für die Befundung wichtigen Informationen des 3D-Datensatzes auch in der zweidimensionalen Darstellung, zum Beispiel als Ausdruck auf einem Röntgenfilm, erhalten bleiben.

Eine wichtige Rolle bei der Darstellung solch kleiner Strukturen wie die Hirnnerven spielen Partialvolumeneffekte (Teilvolumeneffekte). Hierbei handelt es sich um eine Art von Artefakt, das entsteht, weil das Signal von Strukturen unterschiedlicher Intensität, die in

einem Voxel enthalten sind, gemittelt und nicht einzeln aufgelöst wird (Weishaupt et al. 2006). Liegt also zum Beispiel ein Hirnnerv gemeinsam mit dem ihn umgebenden Liquor in einem Voxel, so wird die Signalintensität beider gemittelt, und ein intermediäres Signal entsteht. Diese mittlere Intensität führt dazu, dass der Hirnnerv „ausgedehnter“ erscheint als tatsächlich der Realität entspricht, sich also leichter identifizieren lässt. Dabei muss eine relative Unschärfe in Kauf genommen werden, welche jedoch auch den, ohne diesen Effekt entstehenden „pixeligen Bildeindruck“, reduziert.

1.4.2 Multiplanare Rekonstruktion/ MPR

Auf der Grundlage dreidimensionaler CT- oder MRT-Datensätze bildet das Erstellen Multiplanarer Rekonstruktionen eine Möglichkeit der Nachbearbeitung.

Hierbei werden durch das Untersuchungsvolumen beliebige Schnittebenen in frei bestimmbarer Orientierung gelegt (Runge et al. 2005).

Um mit diesem Nachbearbeitungsverfahren die komplette Information des Primärdatensatzes darzustellen, darf die gewählte Schichtdicke nicht das Ausmaß eines Voxels des Ursprungsdatensatzes überschreiten. Ein Voxel des Primärdatensatzes wird dann einem Pixel der Rekonstruktion entsprechen.

2 Material und Methoden

Den Untersuchungen voran ging eine Antragstellung bei der Ethikkommission der Universität Göttingen. Über den Antrag wurde positiv entschieden und die Durchführung der Studie somit genehmigt.

Jeder Untersuchung eines Probanden ging ein ausführliches Aufklärungsgespräch durch einen Neuroradiologen voraus. Zusätzlich erhielten die Probanden einen detaillierten Aufklärungsbogen, mindestens 24 Stunden vor der Untersuchung. Die Probanden erteilten am Tag der Untersuchung schriftlich ihre Einwilligung.

Ein Exemplar des Aufklärungsbogens und ein Exemplar der Einwilligungserklärung sind im Anhang zu finden. (Anhang 8.1)

Bei der Untersuchung wurden die Probanden kontinuierlich medizinisch überwacht. Ein Arzt war anwesend.

2.1 Magnetresonanztomographie

Die Untersuchungen wurden mit einem 3 Tesla-Magnetresonanztomographen (Magnetom Trio[®], Siemens Medical Solutions, Erlangen, Deutschland) unter Einsatz einer 8-Kanal-phased-array-Kopfspule (MRI Devices Wankesha, WI) durchgeführt.

An die Primärdatensätze wurden folgende, im Vorfeld der Pilotstudien festgelegte, Mindestanforderungen gestellt:

- Detektierbarkeit aller 12 Hirnnervenpaare
- Darstellung des intrazisternalen Verlaufes der Hirnnerven III bis XII
- Einsetzbarkeit des Protokolls in der Routinebildgebung.

2.2 Probanden und Datenakquisition

Bei drei Probanden (1 weiblich, 2 männlich, im Alter von 28 bis 32 Jahren, mit einem Durchschnittsalter von 29,3 Jahren), die anamnestisch und klinisch keine Pathologien der Hirnnerven aufwiesen, wurden Voruntersuchungen zur Optimierung des Untersuchungsprotokolls durchgeführt.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die bei den methodischen Voruntersuchungen eingesetzten Sequenzen.

Tabelle 1 : Bei den methodischen Voruntersuchungen eingesetzte Sequenzen

Laufende Nummer der Pilotstudie	Proband (Code) Initialen Geburtsdatum Geschlecht	Sequenzen	Untersuchungsdauer (min)
1	hum_0451 S.T. 20.07.1972 männlich	Localizer T1 w.MP-RAGE T2 w.TSE TIR T2 TIRM T2/ T1 w.CISS T2/ T1 w.CISS T1 w.se Gesamtdauer	0 :10 7 :34 2 :21 4 :37 6 :02 7 :19 9 :39 6 :58 43 :20
2	hum_0637 A.K.B. 17.08.1976 weiblich	Localizer T1 w.MP- RAGE T2 w.TSE T2/ T1 w.CISS Gesamtdauer	0:10 7:05 2:21 7:19 16:55
3	hum_0682 K.K. 12.01.1977 männlich	Localizer T1 w.MP-RAGE T2 w.TSE T2/ T1 w.CISS TOF-MRA TOF-MRA TOF-MRA Gesamtdauer	0:10 7:34 2:21 7:19 7:19 11:22 6:23 41:48

w: weighted, MP-RAGE : Magnetization-Prepared-Rapid-Gradient-Echo,

TSE : Turbo-Spin-Echo,

TIR : Turbo-Inversion Recovery, TIRM : Turbo-Inversion Recovery-Magnitude,

CISS : Constructive-Interference-in-Steady-State,

TOF-MRA : Time-Of-Flight-Magnetic-Resonance-Angiography

Die erste Voruntersuchung sollte eine Vorauswahl der für die Hirnnervendarstellung optimalen Sequenzen aus einer Reihe von Sequenzen ermöglichen.

Die zweite Voruntersuchung wurde mit den bis zu diesem Zeitpunkt ausgewählten Sequenzen durchgeführt, um eine Optimierung des Untersuchungsvolumens zu erreichen.

In der dritten Pilotstudie wurden zusätzlich drei TOF-MRA-Sequenzen untersucht.

Im Anschluss an die Voruntersuchungen wurde, anhand der Primärdatensätze, durch zwei erfahrene Neuroradiologen die Kombination von Sequenzen bestimmt, die die oben genannten Kriterien erfüllten.

Das so erarbeitete Untersuchungsprotokoll wurde in der Hauptstudie zur Untersuchung von zehn gesunden Probanden (5 weibliche und 5 männliche Probanden, im Alter von 24-43 Jahren, mit einem Durchschnittsalter von 26,8 Jahren) eingesetzt.

Die untenstehende Tabelle zeigt am Beispiel dreier Probanden die durchgeführte Untersuchung.

Tabelle 2: Hauptuntersuchungen

Laufende Nummer Proband	Proband (Code) Initialen Geburtsdatum Geschlecht	Sequenzen	Untersuchungsdauer (min)
1	hum_0736 A.S. 28.10.1980 weiblich	Localizer T1 w. MP- RAGE T2 w. TSE T2/ T1 w. CISS TOF- MRA Gesamtdauer	0 :10 7 :05 2 :21 7 :19 7 :19 24 :14
3	hum_0751 T.B. 25.11.1976 männlich	Localizer T1 w. MP- RAGE T2 w. TSE T2/ T1 w. CISS TOF- MRA Gesamtdauer	0 :10 8 :05 2 :21 7 :19 7 :19 25 :14
7	hum_0964 J.L. 14.07.1962 männlich	Localizer T1 w. MP- RAGE T2 w. TSE T2/ T1 w. CISS TOF- MRA Gesamtdauer	0 :10 7 :34 2 :21 7 :19 7 :19 24 :43

w: weighted, MP-RAGE : Magnetization-Prepared-Rapid-Gradient-Echo,
TSE : Turbo-Spin-Echo, CISS : Constructive-Interference-in-Steady-State,
TOF-MRA : Time-Of-Flight-Magnetic-Resonance-Angiography

Alle 10 Probanden wurden jeweils mit der T1-gewichteten 3D-MP-RAGE- Sequenz, mit der T2-gewichteten 3D-TSE-Sequenz, der T2/T1-gewichteten 3D-CISS-Sequenz und der 3D-TOF-MRA untersucht.

Das durch die sagittale 3D-MP-RAGE-Sequenz gescannte Volumen stellte den ganzen Kopf dar. Im Anschluss an diese Sequenz wurde die Lage des 3D-Blockes für die anderen Sequenzen individuell für den jeweiligen Probanden bestimmt. Hierbei wurde zur Orientierung festgelegt, dass der transversale 3D-Block rostral der Hirnnerven I und II beginnen und kaudal des dritten Halswirbelkörpers enden sollte. Die Kippung des 3D-Blockes wurde so vorgenommen, dass die axialen Partitionen in etwa parallel zum Chiasma opticum ausgerichtet waren.

Bei allen 10 Probanden wurden die in den Voruntersuchungen bestimmten Sequenzen mit denselben Parametern eingesetzt.

Lediglich das Field-Of-View (FOV) bei der T1-gewichteten MP-RAGE-Sequenz wurde in Phasenkodierichtung den Kopfgrößen der Probanden entsprechend angepasst, so dass durch Verringerung oder Erhöhung von Phasenkodierschritten eine abweichende Messzeit für diese Sequenz entstand. Die oben stehende Tabelle 2 zeigt anhand der gewählten drei Probanden exemplarisch die drei stattgehabten Modifikationen der Messzeit für die MP-RAGE-Sequenz. Die Messzeiten für die MP-RAGE-Sequenz variierten von 7:05 Minuten (n= 4) über 7: 34 Minuten (n= 3) bis 8:05 Minuten (n= 3).

Insgesamt variierte die Messzeit von 24:14 Minuten (n= 4) über 24:43 Minuten (n= 3) bis 25:14 Minuten (n= 3).

Exkurs:

Die 3D-MP-RAGE-Sequenz wurde 1990 von Mugler und Brookeman entwickelt und 1993 patentiert (Mugler und Brookeman 1990 a und b und 1993). Die T1-gewichtete 3D-MP-RAGE-Sequenz, hier mit einer Isovoxelgröße von 1mm^3 , ist in ihrer Struktur eine dreidimensionale TurboFLASH-Gradienten-Echo-Sequenz, bei der ein 180° -Inversionspuls vor jeden Anregungszyklus gestellt wird, um einen T1-Kontrast zu entwickeln.

Der Inversionspuls verursacht Längsmagnetisierungen. Im Intervall zwischen dem Inversionspuls und dem Anregungszug (Inversionszeit) "erholen" sich die Längsmagnetisierungen („Recovery“). Durch den Anregungspuls werden die Längsmagnetisierungen in Quermagnetisierungen gewandelt.

Die 3D-MP-RAGE-Sequenz besteht insgesamt aus drei Teilen:

1. MP: Magnetization Preparation. In diesem Fall wurde der 180° -Inversionspuls für diese Periode gewählt, um den gewünschten T1-Kontrast zu erzeugen.
2. Daten-Akquisitionsperiode: Diese Phase enthält mindestens zwei Wiederholungen der Gradientenecho-Sequenz (GE), um Daten für eine k-Raum-Fraktion zu erhalten. Es werden alle Phasenkodierungsschritte in Partitionsrichtung wiederholt.
3. Magnetization Recovery-Periode: In dieser Phase können die T1- und T2-Relaxation stattfinden, bevor die nächste Sequenz-Schleife beginnt. Sie enthält den nächsten Schritt der Phasenkodierung.

Die Phasen werden wiederholt, bis das vorbestimmte k-Raum-Volumen erstellt ist.

Die 3D-MP-RAGE-Sequenz liefert einen starken T1-Kontrast, auch bei hoher Feldstärke. Verglichen mit anderen T1-gewichteten Sequenzen ergibt sich eine besonders gute Differenzierung von grauer und weißer Hirnsubstanz, so dass sich diese Sequenz hervorragend für Darstellungen des Gehirns eignet. Flüssigkeit enthaltende Strukturen (zum Beispiel Liquorräume) zeigen eine sehr geringe Signalintensität, so dass sich darin verlaufende Strukturen höheren Signals, wie die Hirnnerven, gut abgrenzen lassen. Zudem ist sie wenig anfällig für Bewegungsartefakte jeglichen Ursprunges und für Flussartefakte (Mugler und Brookeman 1990 a und b und 1993, Brown und Semelka 1999).

Die 3D-CISS-Sequenz ist eine refokussierte dreidimensionale Gradientenecho-Sequenz. Sie verursacht einen „Steady State“ (dynamisches Gleichgewicht). Der Bildkontrast beruht auf dem Verhältnis von T2/T1. Daher wird sie auch als T2/T1-gewichtet bezeichnet. Liegt dieses Verhältnis nahe 1 (wie es zum Beispiel bei Liquor der Fall ist), entsteht ein besonders hohes Signal. So bildet sich ein ausgeprägter Kontrast zwischen dem Nervengewebe, welches eine niedrige Signalintensität aufweist und dem es umgebenden Liquor.

Das dynamische Gleichgewicht entsteht auf folgende Weise: Jedes Auslesen von Signal mit dem Kippwinkel einer Sequenz verringert die z-Magnetisierung. Diese erholt sich im darauf folgenden Zeitintervall bis zur nächsten Anregung (TR). Der Betrag, um den die z-Magnetisierung mit der Anregung verringert wird, verkleinert sich, während sich die durch Relaxation wiederhergestellte z-Magnetisierung erhöht. Letztendlich entsteht ein Gleichgewicht zwischen der Verringerung der Längsmagnetisierung und ihrer Erholung. Die Längsmagnetisierung bleibt nach jedem Puls konstant, in einem „Steady State“ (Hendrix 2003, Runge et al. 2005).

Die ausgewählten Sequenzen wiesen die in der folgenden Tabelle aufgeführten Parameter auf.

Tabelle 3: Parameter der Sequenzen für die Hirnnerven-Untersuchung

Sequenz	T1 w. 3D MP- RAGE	T2 w. 3D TSE	T2/ T1 w. 3D CISS	3D TOF- MRA
Art der Sequenz	TFL 3D	3D TSE	3D CISS	3D TOF-MRA
Kontrast	T1 gewichtet	T2 gewichtet	T2/ T1 gewichtet	T1 gewichtet
Bandbreite (Hz/Pixel)	200	434	130	65
TR (ms)	2250	2900	11, 28	50
TE (ms)	2,6	516	5,64	4,95
TI (ms)	900			
Flipwinkel (°)	9	(90)	50	25
FOV-Auslese (mm)	256	258	170	200
FOV-Phase (%)	87,5	68,75	100	93, 8
Matrix	215x 256		320x 320	240x512
Voxel- Größe (mm³)	1,0x1,0x1,0	1,0x1,0x1,0	0,5x0,5x1,0	0,8x0,4x0,6
Akquisitionen	1	1	1	1
Mittelungen	1	1	1	1
Orientierung	sagittal	axial	axial	axial
Akquisitionszeit (min)	7:05	2:21	7:19	7:19
Schichten	160	72	72	48
Effektive Schichtdicke (mm)	1,0	1,0	1,0	0,6
Basis- Auflösung	256	256	320	512
Phasenauflösung (%)	96	98,9	100	50
Schichtauflösung (%)	100	80	78	71
3D- Blöcke	1	1	1	3
Besonderheiten	Nichtselektive IR	iPAT2		iPAT2 flusskompensiert
Echoabstand (ms)	7,30	5,06		
Verknüpfungen	1	1	1	3

w: weighted, TR: Repetitionszeit, TE: Echozeit, TI: Inversionszeit, FOV: Field-Of-View,

IR: Inversion Recovery, SNR: Signal-to-Noise-Ratio,

iPAT2: Integrated Parallel Acquisition Techniques (mit Beschleunigungsfaktor 2)

iPAT ist eine parallele Akquisitionstechnik, die bei der Untersuchung mit Magnetresonanztomographen der Firma Siemens, wie in dieser Untersuchung eingesetzt, Anwendung finden kann. Sie ermöglicht ein höheres Auflösungsvermögen bei konstanter Messzeit, oder eine kürzere Untersuchungszeit bei gleichbleibender Auflösung. Die parallelen Akquisitionsverfahren verringern mithilfe von Spulenelementen eines Arrays (simultan eingesetzte Empfängerspulen) die Anzahl der Phasenkodierungsschritte und somit die eigentliche Messzeit. Es werden sozusagen parallel aufgenommene Arraybilder zu einem vollständigen Bild zusammengefügt.

2.3 Daten-Nachbearbeitung

Die Datensätze der Hauptstudie wurden entsprechend dem in den Pilotstudien erarbeiteten Verfahren nachbearbeitet.

Die Hirnnerven I bis XII sollten auf ihrem intrakraniellen Verlauf möglichst vollständig und in diagnostischer Qualität dargestellt werden.

Die Primärdatensätze wurden im DICOM- (Digital Imaging and Communications in Medicine) Format auf einer CD-ROM (Compact Disc-Read Only Memory) gespeichert und anschließend auf eine medizinische Arbeitskonsole (VITREA 2[®], Toshiba Medical Systems, Neuss, Deutschland) übertragen.

Der Verlauf des jeweiligen Hirnnerven wurde ab dem Austritt aus dem Hirnstamm (HN III bis XII) bzw. aus dem funktionellen Kerngebiet (HN I und II) bis zum Durchtritt durch die entsprechende Schädelbasisöffnung untersucht. Für jeden der 12 Hirnnerven wurden anatomische Landmarken bestimmt, die das Auffinden der Hirnnerven in der Nachbearbeitungsphase erleichtern sollen. Weist der intrakranielle Verlauf eines Hirnnerven ausgeprägte Richtungswechsel auf, so wurden verschiedene Abschnitte für seine Untersuchung festgelegt. Diesen Teilstücken wurden entsprechend separate topographische Orientierungspunkte zugeordnet. Von den verschiedenen Abschnitten der Hirnnerven wurden Multiplanare Rekonstruktionen in der jeweils besten Orientierung erstellt.

Die je Proband für die Nachbearbeitung der 12 Hirnnervenpaare benötigte Zeit wurde notiert.

Die Darstellbarkeit der einzelnen Hirnnerven wurde für die 3D-CISS-Sequenz und für die 3D-MP-RAGE-Sequenz gesondert anhand folgender 6-Punkte-Skala durch einen erfahrenen Radiologen beurteilt:

6 sehr gute Darstellung

5 gute Darstellung

4 befriedigende Darstellung

3 ausreichende Darstellung

2 mangelhafte Darstellung

1 ungenügende Darstellung.

Für eine sehr gute Beurteilung war Voraussetzung, dass der abgebildete Hirnnerv einwandfrei zu identifizieren, klar abzugrenzen und sehr gut nach diagnostischen Kriterien zu beurteilen war.

Eine gute Darstellung ließ den Hirnnerv eindeutig erkennen, klar abgrenzen und sehr gut beurteilen, jedoch weniger gut als 1.

Eine befriedigende Abbildung machte die eindeutige Identifizierung und nahezu klare Abgrenzung und eine gute Beurteilung möglich.

Eine ausreichende Darstellung ermöglichte die eindeutige Identifizierung des Hirnnerven, seine Abgrenzung gegen die umgebenden Strukturen und eine ausreichende Beurteilung.

Eine mangelhafte Abbildung ermöglichte die nahezu eindeutige Identifizierung und Abgrenzung des darzustellenden Hirnnerven und ist für eine Beurteilung nach diagnostischen Kriterien nicht ausreichend.

Eine ungenügende Darstellung machte keine eindeutige Identifizierung und Abgrenzung des Hirnnerven möglich und war für diagnostische Zwecke unzureichend.

Hirnnerven, die aufgrund des gewählten Untersuchungsvolumens nicht vollständig zur Darstellung kamen, wurden gekennzeichnet.

Die Rekonstruktionen wurden im DICOM-Format auf der Arbeitskonsole und im JPEG (Joint Photographic Experts Group)-Format sowohl auf einem USB (Universal-Serial-Bus)-Massenspeicher als auch auf einer CD-ROM gespeichert.

3 Ergebnisse

3.1 Daten-Akquisition

Die erste methodische Voruntersuchung zeigte, dass für die Darstellung der intrakraniellen Verläufe der Hirnnerven eine T1-gewichtete 3D-Sequenz und eine T2/ T1-gewichtete 3D-CISS-Sequenz die beste Eignung besitzen.

Die 3D-CISS-Sequenz wurde bei der ersten Pilotstudie mit zwei unterschiedlichen Voxel-Volumina (0,5x0,5x1mm und 0,4x0,4x1mm) durchgeführt. Es ergab sich kein wesentlicher objektivierbarer Qualitätszuwachs durch ein geringeres Voxelvolumen, welcher die Zunahme der Untersuchungszeit von 7:19 Minuten auf 9:39 Minuten, und damit ein erhöhtes Risiko für das Entstehen von Bewegungsartefakten, gerechtfertigt hätte. Die Entscheidung fiel zugunsten des höheren und annähernd isotropen Voxel-Volumens von 0,5x0,5x1mm aus.

Von den bei der ersten Voruntersuchung durchgeführten T1-gewichteten Sequenzen, überzeugte die hochauflösende 3D-MP-RAGE mit einer Isovoxelgröße von 1,0 mm³.

Eine T2-gewichtete 3D-TSE-Sequenz wurde unter Annahme eines potentiellen Nutzen für die Beurteilung von Pathologien in der Diagnostik mit in das Protokoll aufgenommen.

Auf der Basis der Daten-Nachbearbeitungen aus der zweiten Pilotstudie entstand die Vorstellung, die mit den Hirnnerven verlaufenden Gefäße mithilfe einer TOF-MRA-Sequenz besser abgrenzen zu können. Die dritte Pilotstudie verglich daraufhin drei TOF-MRA-Sequenzen.

Im Anschluss an die Voruntersuchungen wurde durch zwei erfahrene Neuroradiologen die Kombination von Sequenzen bestimmt, die in der Hauptstudie angewandt werden sollte.

Ausgewählt wurden folgende Sequenzen:

- Eine T1-gewichtete 3D- MP-RAGE
- Eine T2/ T1-gewichtete 3D-CISS-Sequenz
- Eine T2-gewichtete 3D-TSE-Sequenz
- Eine 3D-TOF-MR-Angiographie-Sequenz.

Aus den methodischen Voruntersuchungen ging so das Standardprotokoll für die Datenakquisition der Hauptstudie hervor. Dieses ist aus der folgenden Tabelle ersichtlich.

Tabelle 4: Standardprotokoll der Datenakquisition für die Hirnnervenuntersuchung

Sequenz	Typ	Kontrast	Akquisitionszeit (min)	Bemerkung
3D T1 w. MP- RAGE	TFL	T1-gewichtet	7:05 bis 8:05	Sagittaler 3D-Block: Ganzer Kopf
3D T2 w. TSE	TSE mit iPAT2	T2-gewichtet	2:21	Transversaler 3D-Block: rostral von HN I und II kaudal von HWK 3
3D T2/ T1 w. CISS	CISS	T2/T1-gewichtet	7:19	Transversaler 3D- Block: rostral von HN I und II kaudal von HWK 3
3D TOF- MRA	TOF- MRA mit iPAT2	T1-gewichtet	7:19	3 transversale 3D- Blöcke: rostral von HN I und II kaudal von HWK 3

w: weighted, MP-RAGE: Magnetization Prepared-Rapid Gradient Echo,

TFL: Turboflash, TSE: Turbo Spin Echo, CISS: Constructive-Interference-in-Steady-State, TOF-MRA: Time-Of-Flight-Magnetic-Resonance-Angiography, iPAT2: integrated Parallel Acquisition Techniques (mit Beschleunigungsfaktor 2), HWK: Halswirbelkörper

Wie aus dieser Tabelle zu lesen ist, wurden die 10 Probanden der Hauptstudie mit folgenden Sequenzen untersucht:

Mit einer T1-gewichteten 3D-MP-RAGE-Sequenz, deren Messzeit, bei Untersuchung des ganzen Kopfes, zwischen 7:05 und 8:05 Minuten lag.

Mit einer T2-gewichteten 3D-TSE-Sequenz mit paralleler Bildgebung (iPAT2), deren Untersuchungszeit bei 2:21 Minuten lag. Hierfür wurde auf der Grundlage des Datensatzes der MP-RAGE-Sequenz, ein 3D-Block rostral von Hirnnerv I und II und kaudal von Halswirbelkörper 3, parallel zum Verlauf des Nervus und Tractus opticus definiert, dessen Lage für die beiden nachfolgenden Sequenzen übernommen wurde.

Des Weiteren wurde eine T2/ T1-gewichteten 3D-CISS-Sequenz, mit einer Akquisitionszeit von 7:19 Minuten eingesetzt.

Außerdem war Bestandteil des Protokolls eine 3D-TOF-MRA, die mit paralleler Bildgebung (iPAT2) eine Akquisitionszeit von 7:19 Minuten aufwies.

3.2 Daten-Nachbearbeitung

3.2.1 Allgemein

Die Nachbearbeitung der Datensätze der T1-w MP-RAGE-Sequenz und in der T2/ T1-w CISS-Sequenz machte die Rekonstruktion aller 12 Hirnnervenpaare in unterschiedlicher Bildqualität möglich.

Eine Visualisierung der Hirnnerven in angemessener Qualität war mittels der T2-w TSE-Sequenz auch durch intensive Nachbearbeitung der Primärdatensätze nicht erreichbar. Die T2-gewichtete TSE-Sequenz wurde, mit dem Gedanken an einen diagnostischen Nutzen bei der Beurteilung von potentiellen Pathologien anderer Lokalisation als die der Hirnnerven, in das Standardprotokoll für die Hauptstudie weiterhin mit aufgenommen.

Es zeigte sich, dass die TOF-MRA für die Differenzierung von Hirnnerven und Gefäßen nicht erforderlich ist. Mithilfe topographischer Orientierungspunkte sind die Nerven in der T1-w MP-RAGE-Sequenz und in der T2/ T1-w CISS-Sequenz gut zu identifizieren und von Gefäßen zu differenzieren. Die TOF-MRA blieb mit dem Gedanken an einen Nutzen bei der Beurteilung von Pathologien der Gefäße weiterhin Bestandteil des Protokolls.

Die Daten der T2-gewichteten TSE-Sequenz und die der TOF-MRA wurden bei der Auswertung vernachlässigt, da sie keinen Beitrag zur Hirnnervendarstellung in diagnostischer Qualität leisten konnten.

3.2.2 Hirnnervendarstellung

3.2.2.1 Zusammenfassung der Ergebnisse zur Hirnnervendarstellung

Die untenstehende Tabelle 5 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse zur Hirnnervendarstellung.

Tabelle 5: Hirnnervendarstellung

Hirnnerv	Intrakranieller Abschnitt	Anatomische Landmarken	Kontrast	Abbildungsebene	Besonderheiten
I	Bulbus olfactorius Tractus olfactorius	Kaudal des Gyrus rectus und der Gyri orbitales gelegen.	CISS	koronar besser als paraaxial	Die Abbildung mittels MP- RAGE ist möglich. Die CISS- Sequenz ist jedoch besser geeignet. Paraaxiale Rekonstruktionen sind möglich. Aufgrund der Lage des 3D-Blockes der CISS- Sequenz ist die Qualität der Abbildung nicht optimal. Artefakte stören die Darstellung.
II	N. opticus Chiasma-Region Tractus opticus	Hypophyse	MP- RAGE ist CISS überlegen.	paraaxial, parasagittal und koronar	In allen Ebenen gleichermaßen gut darstellbar. Paraaxial: Alle drei Segmente bis zum Thalamus darstellbar. Parasagittal: N. opticus der einen Seite und Tractus opticus der Gegenseite ergeben eine interessante Darstellungsvariante.
III	Zisternal Sinus cavernosus	Fossa interpeduncularis, Corpora mamillaria Kranial/ lateral der A. carotis interna und kaudal des Proc. clinoides anterior gelegen.	MP- RAGE ist CISS überlegen.	paraaxial, parasagittal und koronar paraaxial und parasagittal	In allen Ebenen gleichermaßen gut darstellbar. Die MP-RAGE-Sequenz eignet sich insgesamt besser für die Darstellung des N. oculomotorius.

Hirnnerv	Intrakranieller Abschnitt	Anatomische Landmarken	Kontrast	Abbildungsebene	Besonderheiten
IV	Proximal zisternal	Colliculi inferiores, Velum medullare superius, Tentorium cerebelli	CISS	paraaxial	Insgesamt schlecht darstellbar, da der HN IV sehr filigran ist. Lediglich das proximale zisternale Segment ist regelmäßig gut darstellbar.
	Distal zisternal	Tentorium cerebelli		paraaxial	
	Sinus cavernosus	kaudal des N. oculomotorius			
V	Zisternal	Pons, Austritt lateral	CISS ist MP-RAGE überlegen.	paraaxial, koronar und parasagittal	Der HN V ist gut darstellbar mittels MP-RAGE- und CISS-Sequenz. Die drei Hauptäste lassen sich mittels CISS-Sequenz gut differenzieren. Eine Abgrenzung von V1 und V2 im Sinus cavernosus ist möglich mittels CISS-Sequenz.
	Ganglion trigeminale	Liquortasche Cavum Meckeli			
	Sinus cavernosus (V1 und V2)	Kaudal/ lateral der A. carotis interna, lateral des Sinus sphenoidalis: Im unteren Wandbereich des Sinus cavernosus.	CISS	koronar	
VI	Zisternales Segment	Pyramide und Sulcus pontomedullaris	CISS ist der MP-RAGE überlegen.	parasagittal und paraaxial	Gute Darstellung, sowohl mittel CISS-Sequenz als auch mittels MP-RAGE- Sequenz. Die CISS- ist insgesamt der MP-RAGE- Sequenz überlegen. Im Sinus cavernosus ist die Darstellung erschwert. Der dortige Verlauf ist sowohl in der MP- RAGE als auch in der CISS- Sequenz nicht regelmäßig nachvollziehbar.
	Dorellos Kanal	Liquoreinstülpung am Processus clinoides posterior	CISS ist MP-RAGE überlegen.	parasagittal, paraaxial, koronar	
	Sinus cavernosus	Direkt kaudal und lateral der A. carotis interna bei koronarer Schichtführung. Lateral der ACI bei paraaxialer Orientierung.	MP-RAGE ist der CISS überlegen.	paraaxial	

Hirnnerv	Intrakranieller Abschnitt	Anatomische Landmarken	Kontrast	Abbildungsebene	Besonderheiten
VII	zisternal meatal	Kleinhirnbrückenwinkel Meatus acusticus internus und labyrinthäre Strukturen	CISS	paraaxial	Gute Darstellbarkeit.
VIII	zisternal meatal	Kleinhirnbrückenwinkel Meatus acusticus internus und labyrinthäre Strukturen	CISS	paraaxial	Gut darstellbar.
IX	zisternal	Sulcus retroolivaris Kleinhirnbrückenwinkel und labyrinthäre Strukturen	CISS	paraaxial	Gute Identifizierung möglich.
X	zisternal	Sulcus retroolivaris Kleinhirnbrückenwinkel und labyrinthäre Strukturen	CISS	paraaxial	Gute Darstellung möglich.
XI	zisternal: craniale Wurzel zisternal: spinale Wurzel	Sulcus retroolivaris Kleinhirnbrückenwinkel und labyrinthäre Strukturen Vorder- und Hinterwurzeln der zervikalen Spinalnerven	CISS CISS ist MP-RAGE überlegen.	paraaxial koronar, paraaxial	Die kraniale Wurzel lässt sich schlecht von HN IX und X differenzieren, da sie sowohl mit ihnen gemeinsam den Hirnstamm verlässt und sich zum Verlassen der Schädelhöhle mit Hirnnerv X vereinigt. Die filigranen spinalen Wurzelfäden lassen sich mittig der Austrittspunkte der spinalen Vorder- und Hinterwurzeln gut auffinden.
XII	zisternales Segment	Sulcus anterolateralis und Canalis nervi hypoglossi	CISS ist MP-RAGE überlegen.	paraaxial und koronar	Die CISS- Sequenz ist zur Darstellung besser geeignet als die MP-RAGE- Sequenz.

3.2.2.2 Dauer der Daten-Nachbearbeitung

Tabelle 6: Nachbearbeitungsdauer je Hirnnerv/Hirnnervengruppe pro Proband in Minuten:Sekunden (beide Seiten)

	I	II	III	IV	V	VI	VII/ VIII	IX/ X/ XI	XII	gesamt
0736	2: 21	3: 13	3: 50	5: 23	3: 22	7: 00	4: 27	4: 46	2: 56	34: 18
0739	3: 15	3: 20	3: 41	5: 15	4: 04	5: 54	4: 05	5: 42	4: 46	40: 02
0751	1: 14	2: 58	3: 20	5: 56	3: 45	6: 10	4: 05	5: 37	8: 42	41: 47
0781	1: 11	3: 05	4: 10	7: 01	2: 14	5: 41	3: 56	5: 55	5: 35	38: 48
0915	1: 20	3: 00	3: 05	5: 12	2: 30	4: 00	3: 11	4: 54	4: 50	32: 02
0916	0: 54	2: 51	2: 50	5: 22	3: 14	4: 10	3: 05	5: 21	3: 20	31: 06
0964	0: 55	3: 24	3: 55	5: 16	3: 00	3: 26	4: 05	5: 14	3: 00	32: 15
0983	2: 15	3: 18	3: 25	7: 45	3: 25	4: 00	5: 04	6: 20	3: 10	38: 42
0984	1: 45	2: 30	3: 10	7: 15	5: 04	6: 02	3: 14	4: 40	2: 44	36: 24
0989	4: 22	2: 55	2: 56	4: 45	3: 00	6: 14	4: 58	8: 05	3: 50	41: 05
Ø	1: 57	3: 03	3: 26	5: 55	3: 21	5: 16	4: 01	5: 39	4: 17	36: 39

Die Tabelle 6 zeigt die Nachbearbeitungsdauer (NBD) für die einzelnen Hirnnervendarstellungen für den jeweiligen Probanden in Minuten (min) : Sekunden (sec) an. Hierbei ist die Zeitspanne angegeben, die zur Rekonstruktion in der jeweils besten Orientierung im besten Kontrast benötigt wurde.

Die NBD variierte zwischen 0 min 54 sec und 4 min 22 sec für den Nervus olfactorius. Die durchschnittliche Nachbearbeitungszeit (NBZ) für den ersten Hirnnerven lag bei 1 min 57 sec.

Für den Nervus opticus betrug die kürzeste NBZ 2:30 min, die längste 3:24 min. Im Durchschnitt waren es 3:03 min.

Für die Bearbeitung des N. oculomotorius wurden im Durchschnitt 3:26 min benötigt. Die kürzeste Nachbearbeitungsdauer lag hier bei 2:50 min, die längste bei 4:10 min.

Die NBZ für den Nervus trochlearis variierte zwischen 4 min 45 sec und 7 min 45 sec. Die durchschnittliche NBZ lag hier bei 5 min 55 sec.

Die Variationsbreite der Nachbearbeitungsdauer für den Nervus trigeminus lag zwischen 2 min 14 sec und 5 min 4 sec. Für den fünften Hirnnerv lag die mittlere NBZ bei 3 min 21 sec.

Die NBD für den Nervus abducens bewegte sich im Bereich zwischen 3 min 26 sec und 7 min. Hier lag die durchschnittlich benötigte Zeit bei 5 min 16 sec.

Für den Nervus facialis und den Nervus vestibulocochlearis lagen die gemeinsamen Nachbearbeitungszeiten im Bereich zwischen 3 min 5 sec und 5 min 4 sec. Im Durchschnitt betrug die NBD 4 min 1 sec.

Die gemeinsame NBZ für die kaudalen Hirnnerven IX, X und XI variierte zwischen 4 min

40 sec und 8 min 5 sec. Im Durchschnitt betrug sie 5 min 39 sec.

Für den Nervus hypoglossus lag die mittlere NBD bei 4 min 17 sec. Die kürzeste betrug 2 min 44 sec, die längste 8 min 42 sec.

Für alle 12 Hirnnerven beider Seiten, im besten Kontrast und in der optimalen Orientierung variierte die NBD der Datensätze der einzelnen Probanden zwischen 31 min 6 sec und 41 min 47 sec. Die durchschnittliche Nachbearbeitungsdauer lag bei 36 min 39 sec.

3.2.2.3 Beurteilung der Hirnnerven- Darstellungen

Die untenstehende Tabelle zeigt an, wie die Darstellung der einzelnen Hirnnerven in der jeweiligen Sequenz durch einen einzelnen unabhängigen Betrachter (Facharzt für Radiologie) beurteilt wurde.

Tabelle 7: Beurteilung der Darstellung der Hirnnerven durch einen unabhängigen Betrachter

6 sehr gute Darstellung

5 gute Darstellung

4 befriedigende Darstellung

3 ausreichende Darstellung

2 mangelhafte Darstellung

1 ungenügende Darstellung

n.i.V. nicht vollständig im Untersuchungsvolumen

MW Mittelwert **SA** Standardabweichung

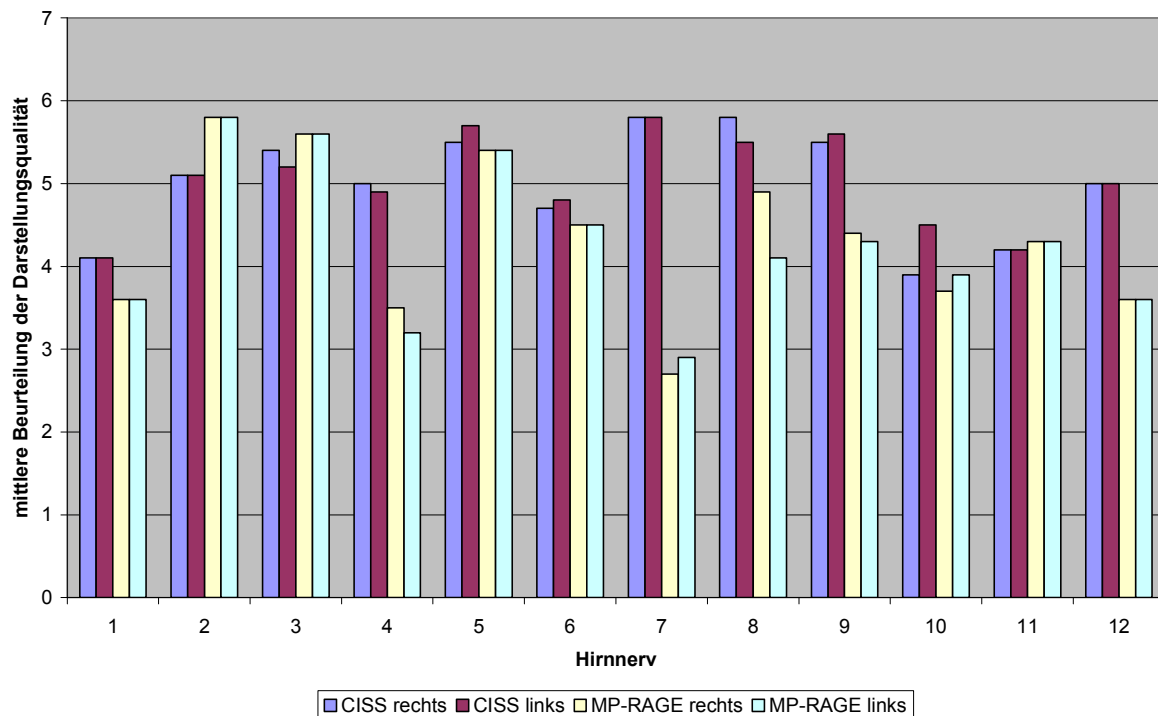
Hirnnerv Proband	CISS rechts	CISS links	MP-RAGE rechts	MP-RAGE links
I				
0736	4	4	5	5
0739	5	5	5	5
0751	4	4	3	3
0781	3	3	2	2
0915	6	6	5	5
0916	4	4	5	5
0964	4	4	3	3
0983	3	3	2	2
0984	3	3	3	3
0989	5	5	3	3
MW	4,1	4,1	3,6	3,6
SA	0,99	0,99	1,26	1,26
II				
0736	4 (n.i.V.)	4 (n.i.V.)	6	6
0739	5	5	5	5
0751	5	5	6	6
0781	5	5	6	6
0915	6	6	6	6
0916	5	5	5	5
0964	5	5	6	6
0983	6	6	6	6
0984	6	6	6	6
0989	4	4	6	6
MW	5,1	5,1	5,8	5,8
SA	0,74	0,74	0,42	0,42

Hirnnerv Proband	CISS rechts	CISS links	MP-RAGE rechts	MP-RAGE links
III				
0736	5 (n.i.V.)	5 (n.i.V.)	6	6
0739	5	5	6	6
0751	6	4	6	6
0781	6	6	6	6
0915	6	6	6	6
0916	6	6	6	6
0964	6	5	6	6
0983	3	5	5	5
0984	6	4	5	5
0989	5	6	4	4
MW	5,4	5,2	5,6	5,6
SA	0,97	0,79	0,69	0,69
IV				
0736	5	4	2	2
0739	5	5	4	3
0751	5	5	5	5
0781	6	6	4	4
0915	5	5	3	3
0916	4	4	4	2
0964	5	4	3	4
0983	6	6	4	4
0984	5	5	3	3
0989	4	5	3	2
MW	5,0	4,9	3,5	3,2
SA	0,66	0,74	0,85	1,03
V				
0736	6	6	5	5
0739	5	6	5	5
0751	4	5	6	6
0781	6	6	6	6
0915	6	6	5	5
0916	6	6	6	6
0964	6	6	5	5
0983	5	5	5	5
0984	6	6	5	5
0989	5	5	6	6
MW	5,5	5,7	5,4	5,4
SA	0,71	0,48	0,52	0,52
VI				
0736	6	6	5	5
0739	4	6	4	4
0751	3	2	2	2
0781	5	4	6	6
0915	6	6	6	6
0916	5	5	4	4
0964	6	5	4	4
0983	2	3	5	5
0984	5	6	5	5
0989	5	5	4	4
MW	4,7	4,8	4,5	4,5
SA	1,34	1,39	1,18	1,78

Hirnnerv Proband	CISS rechts	CISS links	MP-RAGE rechts	MP-RAGE links
VII				
0736	6	6	3	3
0739	6	6	2	2
0751	6	6	2	4
0781	6	6	3	4
0915	6	6	4	4
0916	5	5	2	2
0964	6	6	2	2
0983	6	6	2	2
0984	6	6	3	2
0989	5	5	4	4
MW	5,8	5,8	2,7	2,9
SA	0,42	0,42	0,82	0,99
VIII				
0736	6	6	5	4
0739	6	6	5	3
0751	6	6	5	4
0781	6	6	5	5
0915	6	6	5	5
0916	5	5	5	3
0964	6	6	4	4
0983	6	3	5	4
0984	6	6	5	4
0989	5	5	5	5
MW	5,8	5,5	4,9	4,1
SA	0,42	0,97	0,32	0,74
IX				
0736	6	5	5	5
0739	6	6	6	6
0751	4	5	3	3
0781	6	6	4	4
0915	6	6	5	5
0916	5	5	3	3
0964	5	5	6	5
0983	6	6	3	3
0984	6	6	5	5
0989	5	6	4	4
MW	5,5	5,6	4,4	4,3
SA	0,71	0,52	1,17	1,06
X				
0736	6	5	5	5
0739	2	4	6	6
0751	2	5	2	3
0781	6	6	4	4
0915	5	3	4	4
0916	3	6	3	3
0964	4	4	5	2
0983	6	6	2	5
0984	3	4	3	4
0989	2	2	3	3
MW	3,9	4,5	3,7	3,9
SA	1,73	1,35	1,34	1,19

Hirnnerv Proband	CISS rechts	CISS links	MP-RAGE rechts	MP-RAGE links
XI				
0736	6	6	5	5
0739	5	5	5	5
0751	6	6	4	4
0781	4	4	4	4
0915	3 (n.i.V.)	3 (n.i.V.)	4	4
0916	3 (n.i.V.)	3 (n.i.V.)	4	4
0964	5	5	5	5
0983	3 (n.i.V.)	3 (n.i.V.)	3	3
0984	3 (n.i.V.)	3 (n.i.V.)	5	5
0989	4	4	4	4
MW	4,2	4,2	4,3	4,3
SA	1,23	1,23	0,67	0,67
XII				
0736	6	6	4	4
0739	6	5	6	5
0751	3	3	2	2
0781	6	6	3	4
0915	5	4	3	2
0916	6	6	3	5
0964	4	5	4	4
0983	4	5	4	5
0984	5	5	2	2
0989	5	5	5	4
MW	5,0	5,0	3,6	3,7
SA	1,05	0,94	1,26	1,25

Diagramm 1: Mittlere Beurteilung der Hirnnervendarstellung.



Für die Tabelle 7 und das Diagramm 1 wurden die einzelnen Darstellungen der Hirnnerven der 10 untersuchten Probanden durch einen einzelnen unabhängigen Betrachter mittels oben angeführter Scala beurteilt.

Es wurden jeweils die Rekonstruktionen beider Seiten aus den Datensätzen der 3D-MP-RAGE- Sequenz und der 3D-CISS-Sequenz zur Beurteilung herangezogen.

Im Einzelnen ergaben sich für den Hirnnerv I in der CISS-Sequenz für beide Seiten jeweils drei ausreichende, vier befriedigende, zwei gute und eine sehr gute Darstellung. Daraus lässt sich auf eine mittlere Darstellungsbeurteilung von 4,1 schließen.

Die Abbildungen, die aus dem Datensatz der MP-RAGE-Sequenz rekonstruiert wurden, erzielten im Durchschnitt für beide Seiten eine Bewertung mit 3,6. Dieser Wert ermittelte sich aus zwei mangelhaften, vier ausreichenden und vier guten Rekonstruktionen.

Für den N. opticus beider Seiten ergab sich für die Rekonstruktionen aus den Primärdaten der CISS-Sequenz eine mittlere Beurteilung von 5,1. Diese setzt sich zusammen aus zwei befriedigenden, fünf guten und drei sehr guten Beurteilungen.

Die Rekonstruktionen aus den Daten der MP-RAGE-Sequenz wurden für beide Seiten für acht Probanden gleichermaßen mit sehr gut beurteilt und für zwei Probanden mit gut (mittlere Beurteilung 5,8).

Die Rekonstruktionen des N. oculomotorius aus dem Datensatz der CISS-Sequenz wurden für die rechte Seite im Durchschnitt mit 5,4 bewertet, für die linke Seite mit 5,2. Für die rechte Seite ergaben sich eine ausreichende, drei gute und sechs sehr gute Darstellungen. Für die linke Seite gab es zwei befriedigende, vier gute und vier sehr gute Beurteilungen.

Die Rekonstruktionen des N. oculomotorius aus den Primärdaten der MP-RAGE- Sequenz wurden bei sieben Probanden für sehr gut befunden, bei zwei Probanden für gut und bei einem für befriedigend (mittlere Bewertung 5,6).

Für den zisternalen Anteil des N. trochlearis wurden die Darstellungen im Kontrast der CISS-Sequenz im Durchschnitt mit 5,0 (zwei befriedigende, sechs gute und zwei sehr gute Abbildungen) für die rechte Seite und mit 4,9 (drei befriedigende, fünf gute und zwei sehr gute Rekonstruktionen) für die linke Seite beurteilt.

Die Visualisierung des vierten Hirnnerven im T1-Kontrast war deutlich schlechter. So wurde sie für die rechte Seite in einem Fall als ungenügend, in vier Fällen als ausreichend, in vier Fällen als befriedigend und in einem Fall als gut beurteilt (Mittelwert 3,5). Für die linke Seite ergaben sich drei ungenügende, drei ausreichende, drei befriedigende und eine gute Beurteilungen (Mittelwert 3,2).

Die MPR des fünften Hirnnerven aus den Primärdaten der CISS-Sequenz wurden für die

rechte Seite im Durchschnitt mit 5,5 bewertet, für die linke mit 5,7. Für die rechte Seite waren sechs sehr gute, drei gute und eine befriedigende Abbildung möglich. Für die linke Seite waren es sieben sehr gute und drei gute Darstellungen.

Für die MP-RAGE-Sequenz ergaben sich für beide Seiten jeweils sechs gute und vier sehr gute Rekonstruktionen. Hier lag der Mittelwert der Bewertungen bei 5,4.

Der N. abducens rechts erreichte im Kontrast der CISS-Sequenz einmal mangelhaft, einmal ausreichend einmal befriedigend, viermal gut und dreimal sehr gut. Dies ergab eine mittlere Beurteilung von 4,7. Für die linke Seite ergaben sich eine mangelhafte, eine ausreichende, eine befriedigende, drei gute und vier sehr gute Bewertungen. Im Durchschnitt wurde die Darstellbarkeit mit 4,8 bewertet.

Für den T1-Kontrast ergab sich eine mittlere Beurteilung der Darstellungsqualität von 4,5 für beide Seiten. Im Einzelnen wurden die Abbildungen der rechten und der linken Seite jeweils in einem Fall als mangelhaft, in vier Fällen als befriedigend, in drei Fällen als gut und in zwei Fällen als sehr gut beurteilt.

Für die Darstellungen des N. facialis im Kontrast der CISS-Sequenz ergab sich in acht Fällen für beide Seiten eine sehr gute Beurteilung, in zwei Fällen eine gute (mittlere Beurteilung 5,8).

Im T1-Kontrast wurden die Rekonstruktionen der rechten Seite im Mittel mit 2,7 bewertet, die der linken Seite mit 2,9. Für die rechte Seite ergaben sich fünf mangelhafte, drei ausreichende und zwei befriedigende Bewertungen, für die linke Seite fünf mangelhafte, eine ausreichende und vier befriedigende.

Die Multiplanaren Rekonstruktionen des N. vestibulocochlearis aus den Primärdaten der CISS- Sequenz wurden für acht der Probanden für die rechte Seite mit sehr gut bewertet und für zwei Probanden mit gut (mittlere Beurteilung 5,8). Sieben Darstellungen der linken Seite wurden für sehr gut befunden, zwei für gut und eine für ausreichend (mittlere Bewertung 5,5).

Für die Darstellungen im T1-Kontrast ergab sich für die rechte Seiten eine durchschnittliche Beurteilung von 4,9: Neun gute und eine befriedigende. Drei der Rekonstruktionen der linken Seite erhielten eine gute Beurteilung, fünf eine befriedigende und zwei eine ausreichende (mittlere Bewertung 4,1).

Die Darstellungen des N. glossopharyngeus der rechten Seite im Kontrast der CISS-Sequenz wurde bei sechs Probanden für sehr gut befunden, bei drei für gut und bei einem für befriedigend. Für die linke Seite ergaben sich sechs sehr gute und vier gute Bewertungen (mittlere Bewertung rechts 5,5 und links 5,6).

Im Kontrast der MP-RAGE-Sequenz ergab sich für die rechte Seite eine durchschnittliche

Bewertung von 4,4 (dreimal ausreichend, zweimal befriedigend, dreimal gut, zweimal sehr gut) und für die linke Seite eine Bewertung von 4,3 (dreimal ausreichend, zweimal befriedigend, viermal gut, einmal sehr gut).

Für die Rekonstruktionen des N. vagus aus den Primärdatensätzen der CISS-Sequenz ergab sich für die rechte Seite eine durchschnittliche Beurteilung von 3,9 (drei mangelhaft, zwei ausreichend, ein befriedigend, ein gut, drei sehr gut) und für die linke Seite von 4,5 (ein mangelhaft, ein ausreichend, drei befriedigend, zwei gut, drei sehr gut).

Für die Abbildungen im T1-Kontrast errechnete sich für die rechte Seite eine mittlere Beurteilung von 3,7 (zweimal mangelhaft, dreimal ausreichend, zweimal befriedigend, zweimal gut, einmal sehr gut) und für die linke Seite von 3,9 (einmal mangelhaft, dreimal ausreichend, dreimal befriedigend, zweimal gut, einmal sehr gut).

Die Multiplanaren Rekonstruktionen des N. accessorius beider Seiten aus dem Datensatz der CISS-Sequenz erhielten im Durchschnitt eine Beurteilung von 4,2 (jeweils viermal ausreichend, zweimal befriedigend, zweimal gut, zweimal sehr gut). Die vier ausreichenden Darstellungen wurden derart bewertet, da die spinale Wurzel des elften Hirnnerven nicht adäquat beurteilt werden konnte, da sie nicht vollständig im Untersuchungsvolumen enthalten war.

Für die Abbildungen des elften Hirnnerven im Kontrast der MP-RAGE-Sequenz ergab sich für beide Seiten eine durchschnittliche Beurteilung von 4,3 (jeweils einmal ausreichend, fünfmal befriedigend, viermal gut).

Dass die Rekonstruktionen im T1-Kontrast hier besser beurteilt wurden, jedoch letztendlich die CISS-Sequenz für geeigneter zur Darstellung des N. accessorius erklärt wird, lässt sich darauf zurückführen, dass die schlechtere Qualität der Darstellungen aus den Daten der CISS-Sequenz nicht aufgrund des gewählten Kontrastes sondern aufgrund des gewählten Untersuchungsbereiches entstanden ist.

Die aus den Daten der CISS-Sequenz erstellten Rekonstruktionen des N. hypoglossus wurden für beide Seiten im Durchschnitt mit 5,0 bewertet. Für die rechte Seite gab es eine ausreichende, zwei befriedigende, drei gute und vier sehr gute Beurteilungen. Für die linke Seite wurden eine ausreichende, eine befriedigende, fünf gute und drei sehr gute Bewertungen erteilt.

Die MPR des zwölften Hirnnerven aus den Primärdaten der MP-RAGE-Sequenz wurden im Mittel für die rechte Seite mit 3,6 (zweimal mangelhaft, dreimal ausreichend, dreimal befriedigend, einmal gut und einmal sehr gut) und für die linke Seite mit 3,7 (dreimal mangelhaft, viermal befriedigend, dreimal gut) beurteilt.

Zusammenfassend lässt sich eine deutliche Überlegenheit der CISS- Sequenz für die Dar-

stellbarkeit der Hirnnerven IV, VI, VII, VIII, IX, X und XII erkennen.

Für die Abbildung der Hirnnerven II und III sind beide Sequenzen nahezu gleichermaßen geeignet. Die Darstellung des fünften Hirnnerven ist durch beide Sequenzen sehr gut möglich. Zur Differenzierung der drei Hauptäste des N. trigeminus ist die CISS- Sequenz besser geeignet.

Die Hirnnerven I und XI lassen sich mittels beider Sequenzen gut visualisieren. Für beide Hirnnervenpaare kann gesagt werden, dass sie sich, sofern sie vollständig im Untersuchungsvolumen gelegen sind, im Kontrast der CISS-Sequenz etwas besser abbilden lassen.

3.2.2.4 N. olfactorius/ Hirnnerv I

Der intrakranielle Weg des N. olfactorius ließ sich sinnvoll unterteilen in die bereits anatomisch vorgegebenen Abschnitte Bulbus olfactorius und Tractus olfactorius.

Der Bulbus olfactorius war zwischen den anatomischen Landmarken Gyrus rectus und Gyri orbitales, an der Basis des Frontallappens, in koronarer Schichtführung gut aufzufinden.

Der weitere Verlauf des Tractus olfactorius ließ sich in koronarer Orientierung von ventral nach dorsal verfolgen.

Der erste Hirnnerv war am besten mittels CISS-Sequenz in koronarer Schichtführung darzustellen. Mit Hilfe der CISS-Sequenz war eine Visualisierung des Bulbus und des Tractus olfactorius auch in paraaxialer Orientierung möglich.

Da aufgrund der Lokalisation des 3D-Blockes der CISS-Sequenz jedoch Bulbus und Tractus olfactorius am Rande des Untersuchungsvolumens gelegen sind, ist ihre Darstellung durch Artefaktbildung gestört.

Eine Visualisierung des ersten Hirnnerven mithilfe der MP-RAGE-Sequenz war in koronarer Orientierung möglich. Der Kontrast der CISS-Sequenz war insgesamt als besser geeignet zu beurteilen.

Die Abbildungen 1 bis 3 zeigen Darstellungen des ersten Hirnnerven.

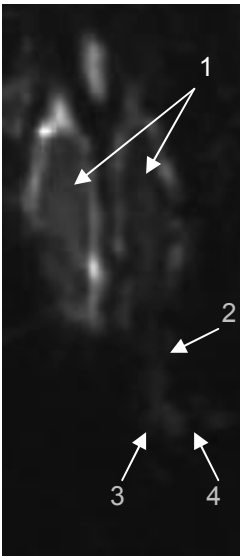


Abb. 1: Bulbus olfactorius links und rechts. Tractus olfactorius, Stria olfactoria medialis und lateralis links.
CISS- Sequenz, paraaxial.
1= Bulbus olfactorius rechts und links
2= Tractus olfactorius links
3= Stria olfactoria medialis links
4= Stria olfactoria lateralis links

Der in Abbildung 1 gewählte Kontrast ist derjenige der CISS-Sequenz. Die Orientierung ist paraaxial. Gezeigt sind der Bulbus olfactorius, der Tractus olfactorius und die Striae olfactoriae der linken Seite. Der Bulbus olfactorius der rechten Seite ist ebenfalls abgebildet.

Deutlich zu erkennen sind die den ersten Hirnnerven umgebenden Liquorscheiden, die im Kontrast der CISS-Sequenz eine hohe Signalintensität aufweisen.

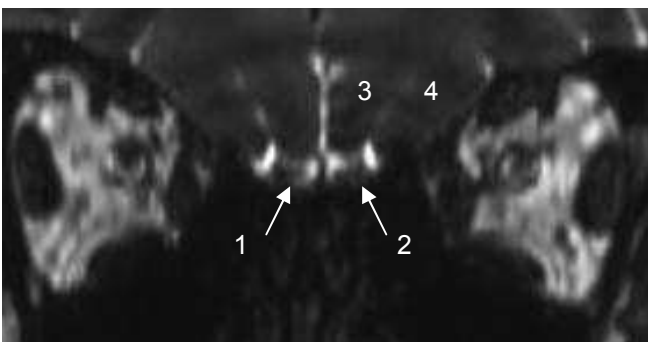


Abb. 2: Bulbus olfactorius links (2) und rechts (1).
CISS-Sequenz, koronar.
3= Gyrus rectus
4= Gyrus orbitalis

Abbildung 2 zeigt, im Kontrast der CISS-Sequenz und in koronarer Orientierung, den Bulbus olfactorius der linken (2) und der rechten (1) Seite.

Auch hier sind die Liquorscheiden, welche die signalarmen Bulbi olfactorii umgeben, zu erkennen. Der Gyrus rectus (3) und die Gyri orbitales (4) erleichtern das Auffinden des ersten Hirnnerven in der koronaren Orientierung.

Abbildungen 1 und 2 lassen die bessere Eignung der koronaren Schichtführung im Vergleich zur paraaxialen erkennen.

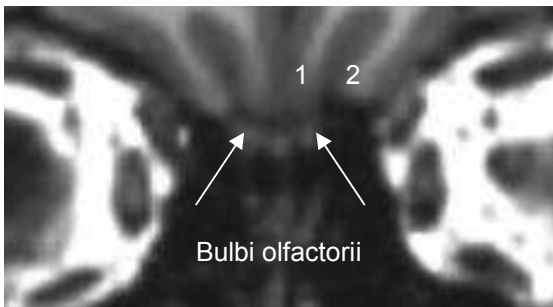


Abb. 3: Bulbus olfactorius rechts und links.
MP-RAGE-Sequenz, koronar.
1= Gyrus rectus
2= einer der Gyri orbitales

Abbildung 3 zeigt den Bulbus olfactorius sowohl der rechten als auch der linken Seite in koronarer Orientierung.

Der hier gewählte Kontrast ist derjenige der MP-RAGE-Sequenz, welcher den Bulbus olfactorius hyperintens im Vergleich zum Liquorsignal darstellt.

Der Gyrus rectus (1) und die Gyri orbitales (2), die als Landmarken zum Auffinden des ersten Hirnnerven in koronarer Orientierung dienen, sind abgebildet.

Die höhere Qualität der Darstellung des ersten Hirnnerven in der CISS-Sequenz im Gegensatz zur MP-RAGE-Sequenz wird deutlich.

3.2.2.5 N. opticus/ Hirnnerv II

Die folgenden drei Abschnitte der Sehbahn waren darstellbar:

- N. opticus
- Chiasma opticum
- Tractus opticus.

Mit Hilfe der Hypophyse als topographischen Orientierungspunkt ließ sich der zweite Hirnnerv sehr gut auffinden.

Sowohl die CISS-Sequenz als auch die MP-RAGE-Sequenz waren für die Darstellung geeignet, wobei die Rekonstruktionen im T1-Kontrast denen im T2/ T1-Kontrast überlegen waren.

In der paraaxialen Orientierung war die Darstellung aller drei Abschnitte in einer Multiplanaren Rekonstruktion möglich. In der koronaren Schichtführung konnten die Abschnitte getrennt dargestellt werden. In der parasagittalen Ebene ließ sich eine Rekonstruktion erstellen, die den N. opticus der einen Seite gemeinsam mit dem Tractus opticus der Gegenseite sichtbar machte.

Die Abbildungen 4 bis 12 zeigen Multiplanare Rekonstruktionen des zweiten Hirnnerven.

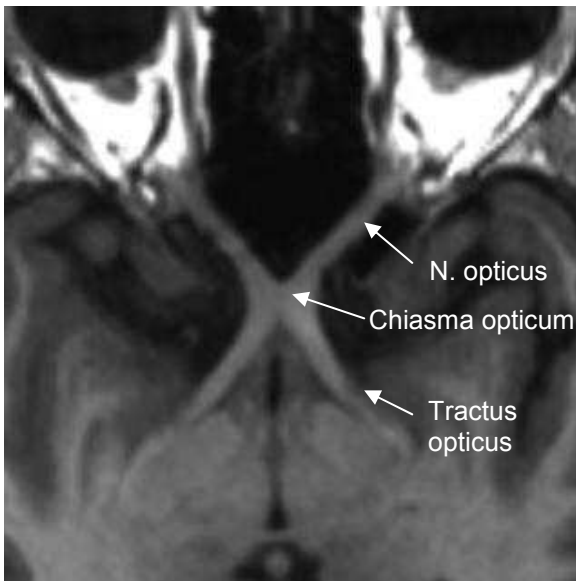


Abb. 4: N. opticus und Tractus opticus beider Seiten. MP-RAGE-Sequenz, paraaxial.

Die Abbildung 4 ist die paraaxiale Darstellung des N. opticus beider Seiten, des Chiasma opticum und des Tractus opticus beider Seiten im Kontrast der MP-RAGE-Sequenz.

Der linke und rechte N. opticus können von ihrem Austritt aus der Orbita durch den jeweiligen Canalis opticus bis hin zum Chiasma opticum verfolgt werden.

Vom Chiasma opticum aus, ist es möglich, den Tractus opticus sowohl der rechten als auch der linken Seite bis zum Thalamus hin zu betrachten.

Die Abbildungen 5 und 6 sind parasagittale Rekonstruktionen im T1-Kontrast der MP-RAGE-Sequenz.

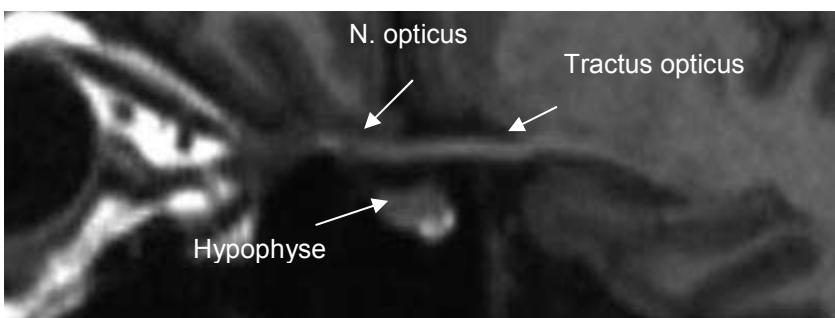


Abb. 5: Rechter N. opticus und linker Tractus opticus. MP-RAGE- Sequenz, parasagittale Orientierung.

In der Abbildung 5 kommen der rechte N. opticus ab Austritt aus der Orbita, das Chiasma opticum und der linke Tractus opticus bis zum Thalamus zur Abbildung.

Die deutlich abgrenzbare Hypophyse kann die Orientierung erleichtern. Der kranial von ihr abgebildete Anteil der Sehbahn entspricht dem Chiasma opticum.

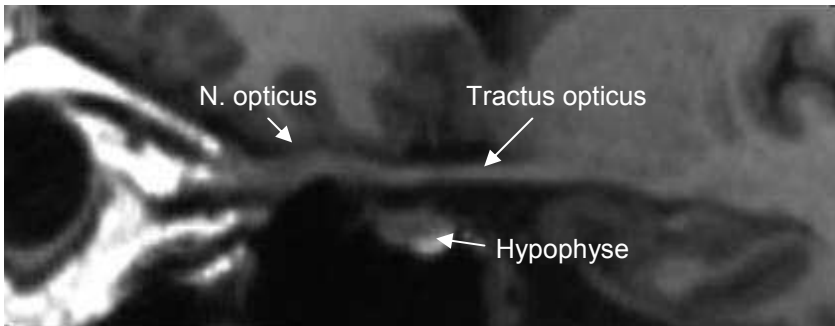


Abb. 6: Linker N. opticus und rechter Tractus opticus. MP-RAGE-Sequenz, parasagittal.

Die Abbildung 6 zeigt den linken N. opticus von der Orbita ausgehend, das Chiasma opticum und den rechten Tractus opticus bis hin zum Thalamus.

Auch hier hilft die Hypophyse, den Bereich des Chiasma opticum zu identifizieren.

Die Abbildungen 7 bis 9 sind koronare Rekonstruktionen der Sehbahn aus dem Datensatz der MP-RAGE-Sequenz.

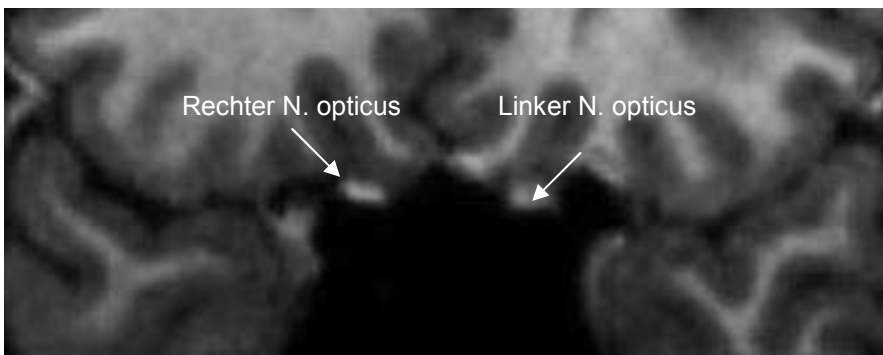


Abb. 7: Linker und rechter N. opticus. MP-RAGE, koronar.

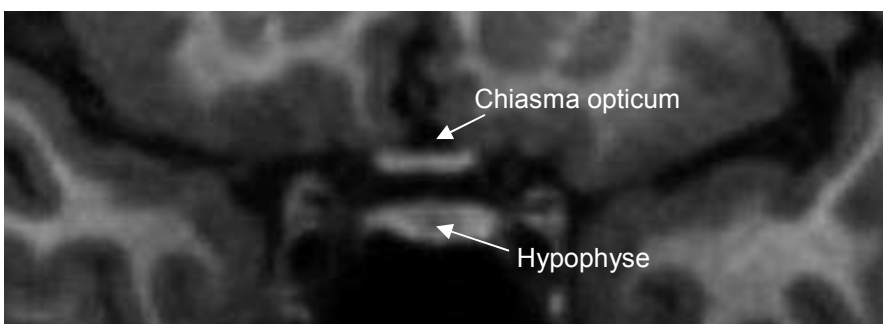


Abb. 8: Chiasma opticum. MP-RAGE, koronar.

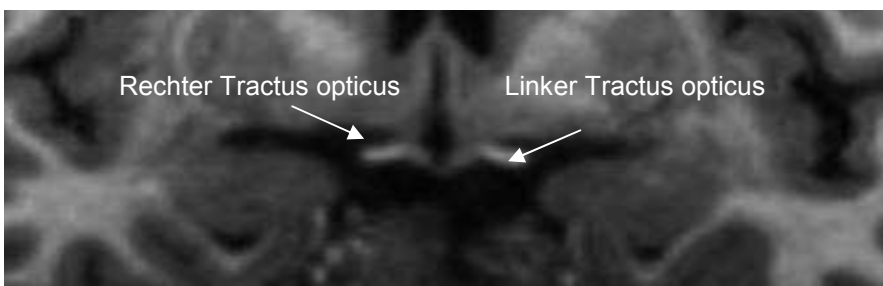


Abb. 9: Linker und rechter Tractus opticus. MP-RAGE, koronar.

Auf der Abbildung 7 sind der linke und rechte N. opticus abgebildet.

Die Abbildung 8 zeigt das Chiasma opticum. Die Hypophyse erleichtert die Orientierung.

Auf der Abbildung 9 ist eine Rekonstruktion des rechten und des linken Tractus opticus, nahe dem Bereich des Chiasma opticum, zu sehen.

Die Abbildungen 10, 11 und 12 zeigen den zweiten Hirnnerven im Kontrast der 3D-CISS-Sequenz. N. opticus und Tractus opticus stellen sich hypointens im Vergleich zum hohen Liquorsignal dar und sind so gut abgrenzbar.

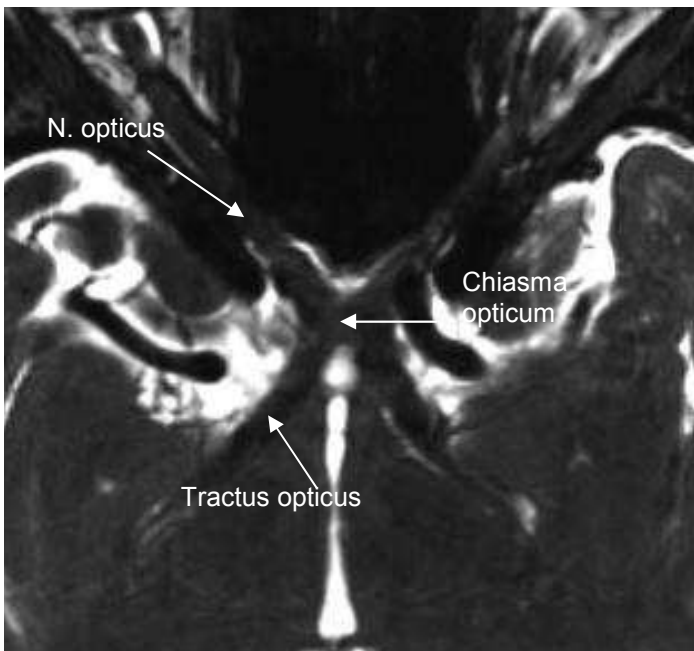


Abb. 10:
N. opticus und Tractus opticus.
CISS-Sequenz,
paraaxiale Orientierung.

Die Abbildung 10 stellt den rechten und linken N. opticus, das Chiasma opticum und den rechten und linken Tractus opticus in paraaxialer Orientierung dar.

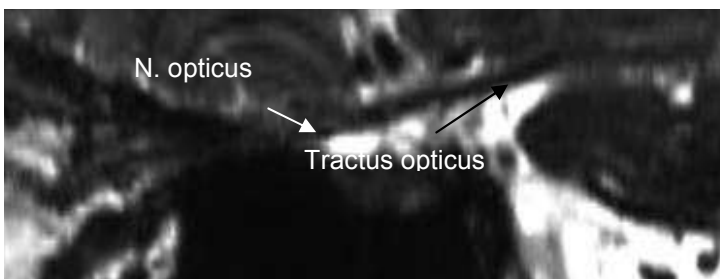


Abb.11: Rechter N. opticus
und linker Tractus opticus.
CISS-Sequenz, parasagittale
Orientierung.

Auf der Abbildung 11 sind der rechte N. opticus und der linke Tractus opticus in parasagittaler Orientierung zu sehen.

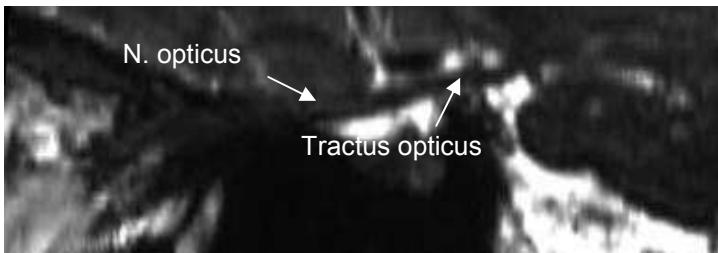


Abb.12: Linker N. opticus und rechter Tractus opticus. CISS-Sequenz, parasagittal.

Die Abbildung 12 ist eine parasagittale Rekonstruktion des linken N. opticus und des rechten Tractus opticus.

3.2.2.6 N. oculomotorius/ Hirnnerv III

Der intrakranielle Anteil des dritten Hirnnerven wurde unterteilt in die folgenden Abschnitte:

- Verlauf intrazisternal
- Verlauf im Sinus cavernosus.

Für das Auffinden des N. oculomotorius auf seinem intrazisternalen Verlauf konnten die Corpora mamillaria (insbesondere in der parasagittalen Orientierung) und die Fossa interpeduncularis (besonders in der paraaxialen Orientierung) als Landmarken genutzt werden.

Im Bereich des Sinus cavernosus ist der dritte Hirnnerv kranial und lateral der Arteria carotis interna aufzufinden. Der Processus clinoideus anterior konnte als zusätzliche Orientierungshilfe dienen.

Der gesamte intrakranielle Verlauf des N. oculomotorius ließ sich mittels CISS-Sequenz gut und mittels MP-RAGE-Sequenz in paraaxialer und parasagittaler Orientierung sehr gut zur Abbildung bringen. Insbesondere im Bereich des Sinus cavernosus zeigten die Rekonstruktionen aus dem Datensätzen der MP- RAGE- Sequenz eine bessere Darstellungsqualität.

In der koronaren Schichtführung konnte die Darstellung abschnittsweise erfolgen.

Die Abbildungen 13 bis 16 zeigen Rekonstruktionen des dritten Hirnnerven im T1-Kontrast der MP- RAGE- Sequenz. Der N. oculomotorius stellt sich hyperintens im Vergleich zum Liquorsignal dar und ist gut abgrenzbar.

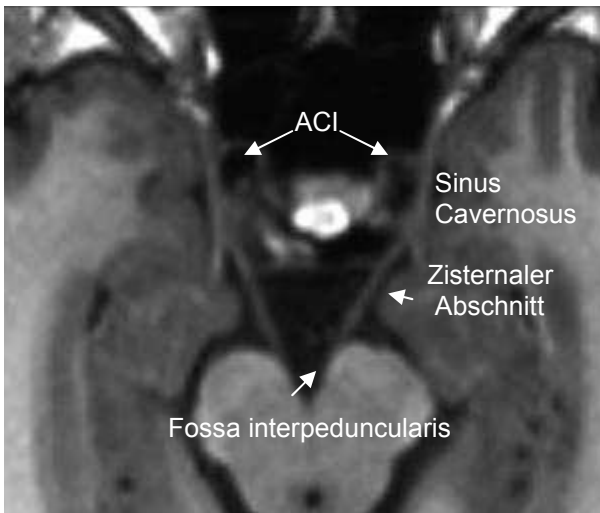


Abb. 13:
Rechter und linker N. oculomotorius.
Darstellung in der MP-RAGE- Sequenz,
paraaxiale Orientierung.
ACI= Arteria carotis interna

Die Abbildung 13 zeigt eine paraaxiale Rekonstruktion des Verlaufes des rechten und linken N. oculomotorius.

Der Austritt des dritten Hirnnerven im Bereich der Fossa interpeduncularis ist in dieser Orientierung zu identifizieren.

Der zisternale Verlauf lässt sich leicht verfolgen.

Weiterhin ist hier gut zu beurteilen der Verlauf des dritten Hirnnerven lateral der Arteria carotis interna (ACI), in der Wand des Sinus cavernosus, links besser als rechts.

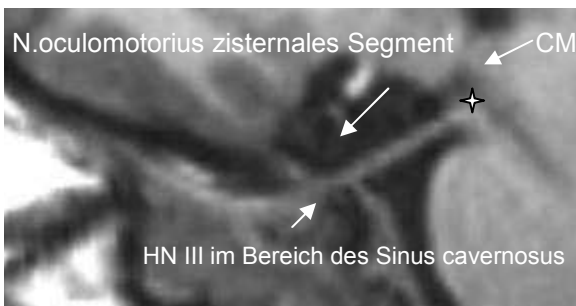


Abb. 14: N. oculomotorius,
linke Seite.
MP-RAGE- Sequenz,
parasagittale Orientierung.
CM: Corpus mamillare links
✦ Austrittspunkt HN III

Die Abbildung 14 zeigt eine parasagittale Darstellung des linken N. oculomotorius im Kontrast der MP-RAGE-Sequenz.

Der kleine Stern markiert den Austrittspunkt aus dem Hirnstamm, in der Fossa interpeduncularis, direkt kaudal der Corpora mamillaria.

Der Verlauf des dritten Hirnnerven von seinem Austrittspunkt aus dem Hirnstamm, durch die Cisterna interpeduncularis, durch den Sinus cavernosus, bis zum Eintritt in die Orbita ist gut zu verfolgen.

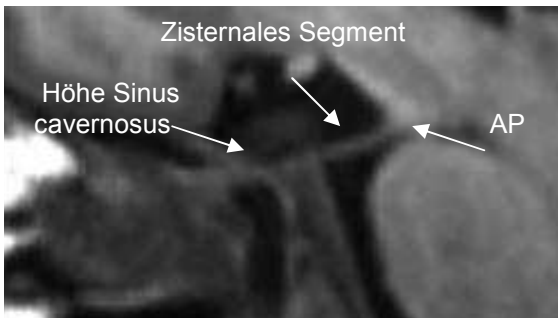


Abb 15.:
Rechter N. oculomotorius.
MP-RAGE, parasagittal.
AP= Austrittspunkt

Abbildung 15 ist eine parasagittale Rekonstruktion des rechten N. oculomotorius. Der Verlauf vom Austrittspunkt (AP) in der Fossa interpeduncularis bis hin zur Orbita kann gut nachvollzogen werden. Sowohl der zisternale Abschnitt, als auch der Verlauf im Sinus cavernosus sind dargestellt.

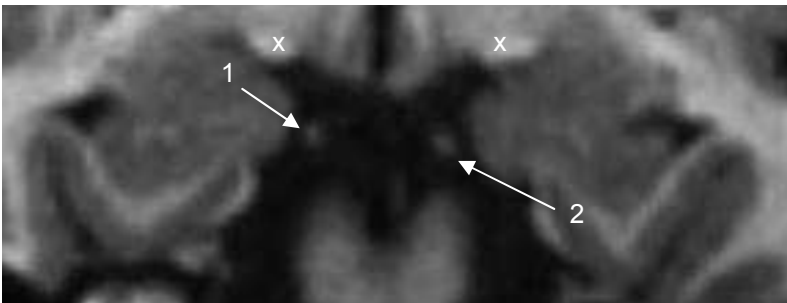


Abb. 16: N. oculomotorius,
rechts und links,
zisternales Segment.
MP-RAGE, koronar.
1= Hirnnerv III rechts
2= Hirnnerv III links
x= Hirnnerv II links und
rechts

Abbildung 16 ist eine koronare Darstellung des frühen zisternalen Verlaufes des N. oculomotorius der linken und rechten Seite im T1-Kontrast. Neben den Nervi oculomotorii kommen auch die Nervi optici beider Seiten zur Abbildung und können die Orientierung erleichtern.

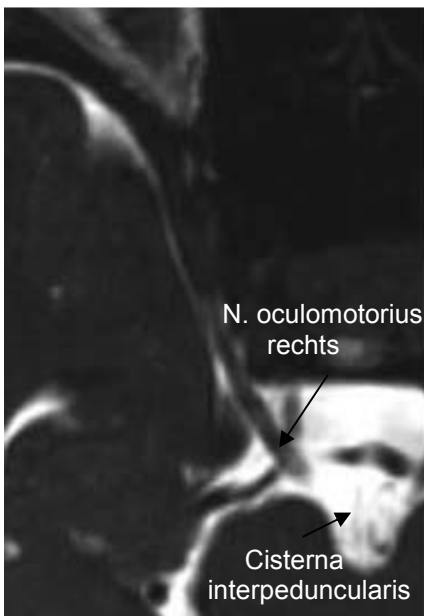


Abb. 17: Rechter N. oculomotorius.
Zisternales Segment und Verlauf
im Bereich des Sinus cavernosus.
CISS- Sequenz, paraaxial.

Abbildung 17 zeigt eine paraaxiale Rekonstruktion des rechten N. oculomotorius im Kontrast der CISS-Sequenz. Der dritte Hirnnerv stellt sich hypointens im Vergleich zum hohen Liquorsignal dar.

Der zisternale Verlauf und der Verlauf in der Wand des Sinus cavernosus sind dargestellt. Der Austrittspunkt in der Fossa interpeduncularis kommt in dieser Orientierung nicht exakt zur Darstellung.

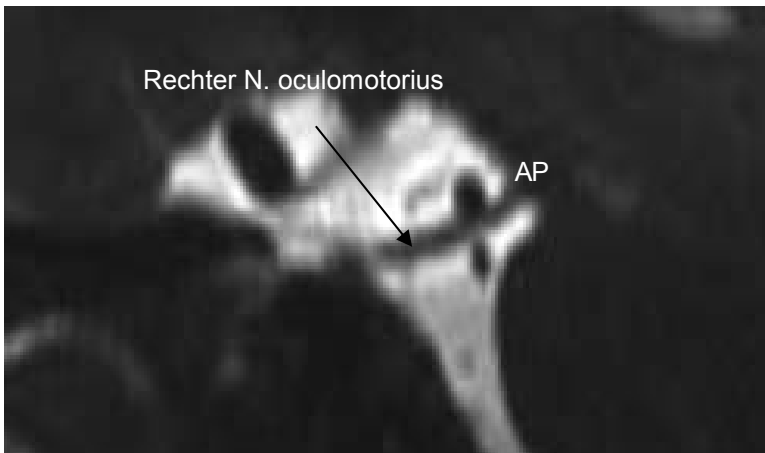


Abb.18: Hirnnerv III rechts.
CISS-Sequenz, parasagittal.
AP= Austrittspunkt

In der Abbildung 18 ist eine parasagittale Darstellung des rechten N. oculomotorius im Kontrast der CISS-Sequenz zu sehen.

In dieser Orientierung ist der Austrittspunkt (AP) des dritten Hirnnerven aus dem Hirnstamm gut zu identifizieren.

Der zisternale Verlauf kommt zur Abbildung.

Die Abgrenzung des Nerven im Bereich des Sinus cavernosus ist in dieser Orientierung bei diesem Kontrast erschwert.

3.2.2.7 N. trochlearis/ Hirnnerv IV

Für den N. trochlearis wurden für die Nachbearbeitung die folgenden Abschnitte bestimmt:

- zisternales Segment
- Verlauf im Sinus cavernosus.

Das zisternale Segment kann weiterhin in einen proximalen (dem Austrittspunkt aus dem Hirnstamm nahe gelegen) und einen distalen Anteil unterteilt werden. Das proximale zisternale Segment ließ sich mit den Colliculi inferiores und dem Velum medullare superius als anatomische Landmarken gut identifizieren.

Der Austrittspunkt des N. trochlearis aus dem Hirnstamm ließ sich direkt kaudal der Vierhügelplatte lokalisieren. Die Arteria superior cerebelli läuft im zisternalen Segment teilweise annähernd parallel zum N. trochlearis. Am rostralen Rand des Tentorium cerebelli endet das zisternale Segment.

Im Bereich des Sinus cavernosus ist der filigrane Hirnnerv IV kaudal des kräftigeren Hirnnerven III aufzusuchen.

Für die Visualisierung des intrakraniellen Verlaufes des N. trochlearis eignet sich am besten das Erstellen einer paraaxialen Rekonstruktion aus den Primärdaten der CISS-Sequenz.

Insgesamt war der N. trochlearis schlecht darzustellen.

Der Verlauf des vierten Hirnnerven unterhalb des Tentorium cerebelli ließ eine Abbildung bei der vorgestellten Untersuchungsmethode nicht zu.

Die Darstellung im Sinus cavernosus erreichte keine diagnostische Qualität.

Die Abbildungen 19 bis 22 zeigen den N. trochlearis im Kontrast der CISS- Sequenz. Hier kommt der vierte Hirnnerv hypointens im Vergleich zum hohen Liquorsignal zur Darstellung.

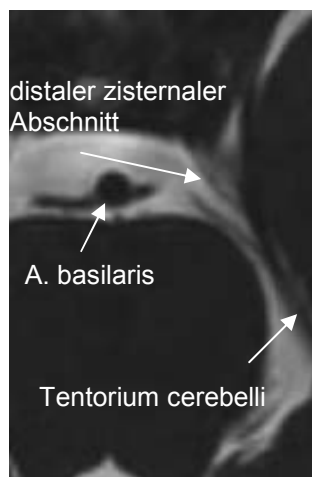


Abb. 19: Linker N. trochlearis, distaler zisternaler Abschnitt CISS, paraaxial.

Die Abbildung 19, eine paraaxiale Rekonstruktion aus dem Datensatz der CISS-Sequenz, zeigt den distalen zisternalen Anteil des linken N. trochlearis, im Anschluss an seinen Verlauf direkt unterhalb des Tentorium cerebelli.

In diesem Fall trat der vierte Hirnnerv kurz vor seinem Eintritt in die Seitenwand des Sinus cavernosus unter dem Tentorium cerebelli hervor und konnte zur Darstellung gebracht werden.

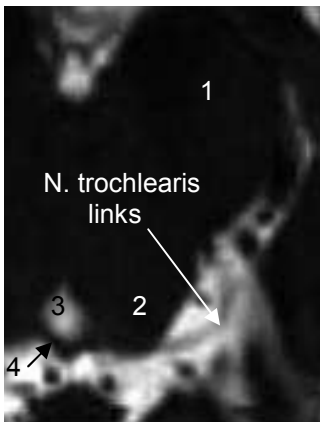


Abb.20: N. trochlearis links, proximaler zisternaler Abschnitt.
CISS-Sequenz, paraaxial.
1= Hirnschenkel
2 Colliculus inferior
3 Aquaeductus mesencephali
4 Velum medullare superius

Die Abbildung 20 zeigt eine paraaxiale Rekonstruktion des proximalen zisternalen Abschnitts des N. trochlearis links.

In diesem Fall ist auch der Austritt des Nerven in Höhe des Velum medullare superius und der Colliculi inferiores dargestellt.

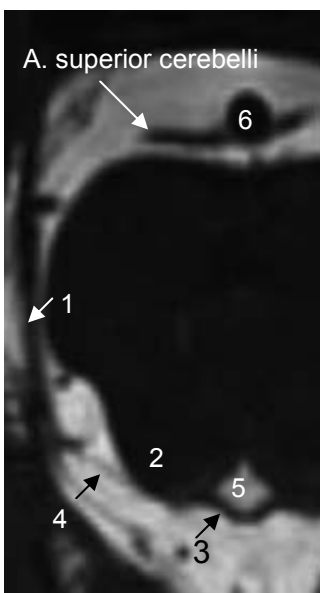


Abb.21: Rechter N. trochlearis, proximaler zisternaler Abschnitt.
CISS, paraaxial
1= Tentorium cerebelli
2= Colliculus inferior
3= Velum medullare superius
4= N. trochlearis
5= Aquaeductus mesencephali
6= Arteria basilaris

In der Abbildung 21 ist der proximale zisternale Abschnitt des rechten N. trochlearis, ausgehend von seinem Austrittspunkt in Höhe des Velum medullare superius und dem Colliculus inferior bis hin zum Tentorium cerebelli, in paraaxialer Schichtführung dargestellt.

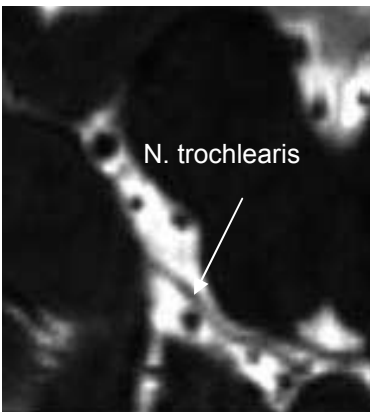


Abb.22: N. trochlearis rechts,
proximaler zisternaler Abschnitt.
CISS, paraaxial.

Die Abbildung 22 zeigt eine paraaxiale Rekonstruktion des rechten N. trochlearis aus dem Datensatz der CISS-Sequenz, bei einem anderen Probanden. Auch hier ist der vierte Hirnnerv von seinem Austrittspunkt zum Tentorium cerebelli zu verfolgen.

Die Abbildungen 23 und 24 zeigen den vierten Hirnnerven im T1- Kontrast.

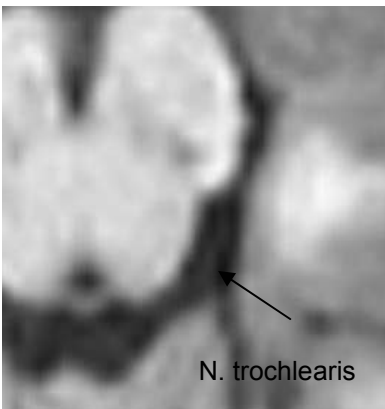


Abb. 23: N. trochlearis links.
MP-RAGE, paraaxial.

Die Abbildung 23 verdeutlicht die Unterlegenheit der Darstellung des vierten Hirnnerven mittels T1-gewichteter MP-RAGE-Sequenz. Die Identifizierung des im Vergleich zum Liquor hypointens zur Darstellung kommenden vierten Hirnnerven ist erschwert.

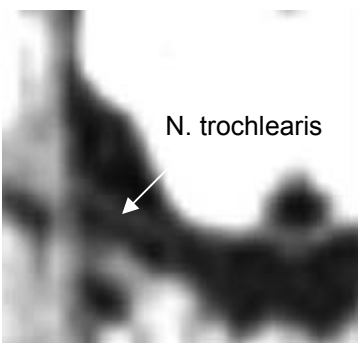


Abb. 24: N. trochlearis rechts.
MP-RAGE, paraaxial.

Auch in Abbildung 24 zeigt sich die MP-RAGE-Sequenz ungeeignet für eine zuverlässige Darstellung des N. trochlearis.

3.2.2.8 N. trigeminus/ Hirnnerv V

Für den N. trigeminus wurden folgende Abschnitte bestimmt:

- zisternales Segment
- Ganglion trigeminale/ Ganglion GASSERI
- Verlauf im Sinus cavernosus (Hauptast V1 und Hauptast V2).

Der Austrittspunkt der sensorischen Wurzel am lateralen Oberrand der Brücke ist leicht zu identifizieren. Von dort aus ist der Verlauf zum Ganglion trigeminale zu verfolgen. Vom Ganglion trigeminale aus, lassen sich die drei Hauptäste des fünften Hirnnerven identifizieren.

In der Darstellung des N. trigeminus ist die CISS- der MP-RAGE-Sequenz überlegen. Insbesondere das Ganglion trigeminale und die Abgänge der drei Hauptäste lassen sich mittels CISS-Sequenz differenzierter darstellen. Im Sinus cavernosus lassen sich die dort verlaufenden Äste V1 und V2 in der CISS- Sequenz abgrenzen.

Für die Darstellung des N. trigeminus und seiner drei Hauptäste eignen sich axiale, sagittale und koronare Rekonstruktionen gleichermaßen.

Die Abbildungen 25 bis 29 zeigen Rekonstruktionen des fünften Hirnnerven im Kontrast der CISS- Sequenz. Der hypointens im Vergleich zum hohen Liquorsignal zur Darstellung kommende N. trigeminus ist gut zu identifizieren.

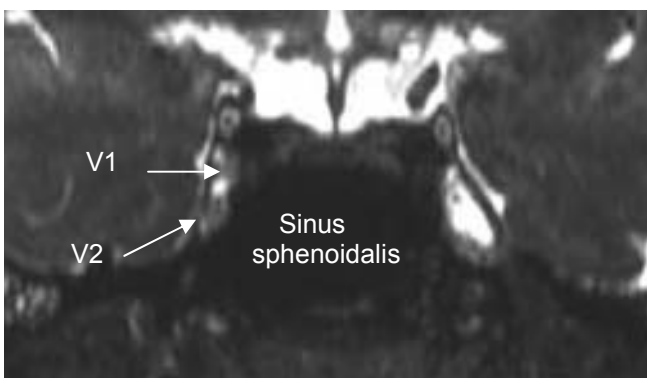


Abb. 25: N. ophthalmicus (V1) und N. maxillaris (V2) in der Seitenwand des Sinus cavernosus. CISS- Sequenz, koronar.

Die Abbildung 25 zeigt eine koronare Rekonstruktion des Sinus cavernosus im Kontrast der CISS-Sequenz. Es lassen sich in diesem Bereich der erste und der zweite Hauptast der sensorischen Wurzel des N. trigeminus der rechten Seite identifizieren. Der N.

ophthalmicus ist mit der Abkürzung V1 (erster Hauptast von HN V) gekennzeichnet, der N. maxillaris mit der Abkürzung V2 (zweiter Hauptast).

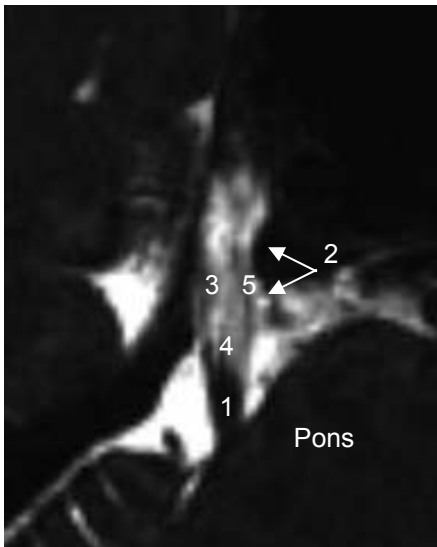


Abb.26: N. trigeminus rechts.
CISS, paraaxial.
1= sensorische Wurzel
2= Ganglion trigeminale
3= N. mandibularis
4= N. maxillaris
5= N. ophthalmicus

Die Abbildung 26 zeigt eine paraaxiale Rekonstruktion aus dem Datensatz der CISS-Sequenz. Es kommt die sensorische Wurzel des linken N. trigeminus mit der Aufteilung in seine drei Hauptäste im Ganglion trigeminale zur Darstellung.

Die drei Hauptäste N. ophthalmicus, N. maxillaris und N. mandibularis lassen sich differenzieren.

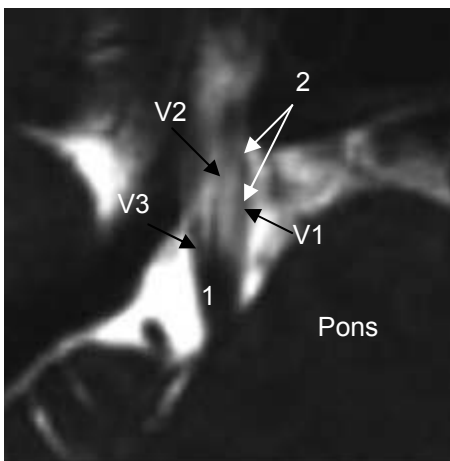


Abb. 27: N. trigeminus rechts mit den
drei Hauptästen V1, V2, V3.
CISS, paraaxial.
1= sensorische Wurzel
2= Ganglion trigeminale

In der Abbildung 27 ist die sensorische Wurzel des rechten N. trigeminus mit seiner Aufteilung in die drei Hauptäste im Ganglion trigeminale abgebildet.

Die drei Hauptäste N. ophthalmicus, N. mandibularis und N. maxillaris lassen sich gut abgrenzen.

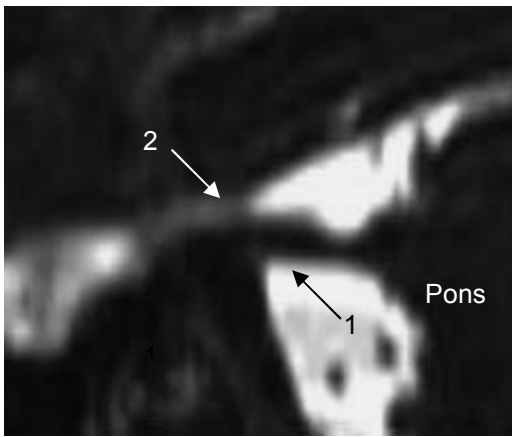


Abb. 28: N. trigeminus links.
CISS, parasagittal.
1= sensorische Wurzel
2= Ganglion trigeminale

Die Abbildung 28 stellt eine Rekonstruktion des linken N. trigeminus in parasagittaler Orientierung dar. Die sensorische Wurzel und das Ganglion trigeminale sind dargestellt.

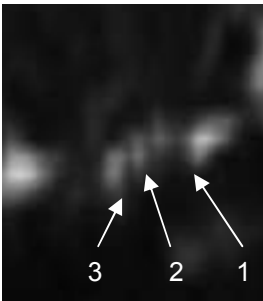


Abb. 29: N. trigeminus, Ganglion trigeminale, Aufteilung in die drei Hauptäste.
CISS-Sequenz, koronar.
1= N. ophthalmicus
2= N. maxillaris
3= N. mandibularis

Die Abbildung 29 ist eine koronare Rekonstruktion des Ganglion trigeminale der rechten Seite. Die drei Hauptäste, N. ophthalmicus, N. maxillaris und N. mandibularis lassen sich gut abgrenzen.

Die Abbildungen 30 bis 32 zeigen Rekonstruktionen des N. trigeminus im T1- Kontrast.

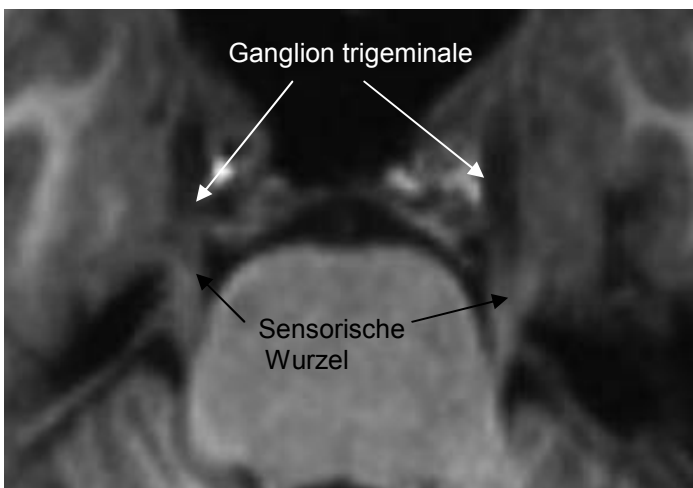


Abb. 30: N. trigeminus rechts und links. MP-RAGE, paraaxial.

Abbildung 30 zeigt eine paraaxiale Rekonstruktion der sensorischen Wurzel und des Ganglion trigeminale des N. trigeminus rechts und links. Die Unterlegenheit des hier gewählten T1-Kontrastes der MP-RAGE-Sequenz, im Gegensatz zu dem in Abbildung 26 bis 30 gewählten CISS-Kontrast wird deutlich. Eine Abgrenzung der Hauptäste ist im T1-Kontrast nicht möglich.

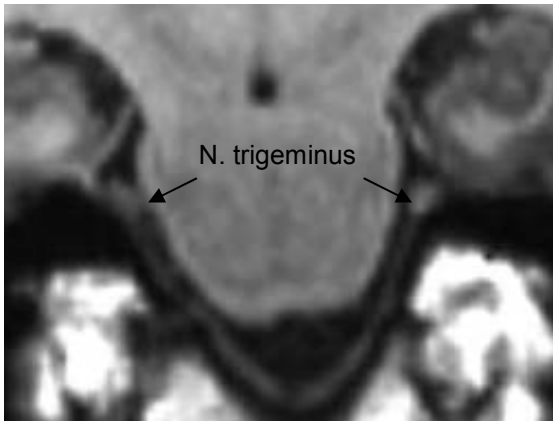


Abb. 31: N. trigeminus, sensorische Wurzel, rechts und links. MP-RAGE, koronar.

Abbildung 31 zeigt eine koronare Rekonstruktion des N. trigeminus der rechten und linken Seite. Die drei Hauptäste lassen sich im hier gewählten T1-Kontrast nicht differenzieren.

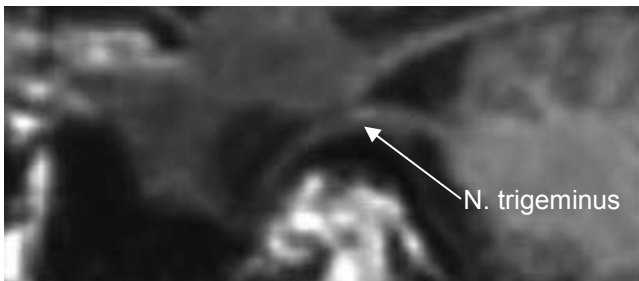


Abb. 32: N. trigeminus rechts. MP-RAGE, parasagittal.

Die Abbildung 32 zeigt eine parasagittale Rekonstruktion des N. trigeminus der rechten Seite.

3.2.2.9 N. abducens/ Hirnnerv VI

Für den sechsten Hirnnerven konnten folgende Abschnitte bestimmt werden:

- zisternales Segment
- Verlauf in Dorellos Kanal
- Verlauf im Sinus cavernosus.

Als Landmarke zum Auffinden des Austrittspunktes des N. abducens aus dem Hirnstamm dienten sowohl die Pyramiden als auch der Sulcus pontomedullaris.

Der Austrittspunkt des sechsten Hirnnerven war im Bereich des Sulcus pontomedullaris zu finden.

Der Sulcus nervi abducentis, auch Dorellos Kanal genannt, ist als Liquoreinstülpung nah dem Processus clinoideus posterior zu finden (Dorello 1905 und 1906, Umansky et al. 1991).

Im Sinus cavernosus konnte man sich an der Arteria carotis interna (ACI) orientieren. Der sechste Hirnnerv zieht lateral und kaudal der ACI durch den Sinus cavernosus. Er liegt nicht, wie die anderen dort verlaufenden Hirnnerven, in der Wand des Sinus cavernosus.

Für die Visualisierung des N. abducens war die CISS-Sequenz insgesamt besser geeignet als die MP-RAGE-Sequenz. Nur im Sinus cavernosus ergab sich mittels MP-RAGE, in der paraaxialen Orientierung eine bessere Darstellung.

Der zisternale Abschnitt des N. abducens ließ sich besonders gut in der paraaxialen Orientierung abbilden. Auch in der parasagittalen Orientierung war eine gute Darstellung zu erreichen. Der Eintritt in Dorellos Kanal und auch der Verlauf in diesem ließen sich in der paraaxialen und parasagittalen Schnittebene rekonstruieren.

Die Darstellung im Sinus cavernosus erreichte keine diagnostische Qualität.

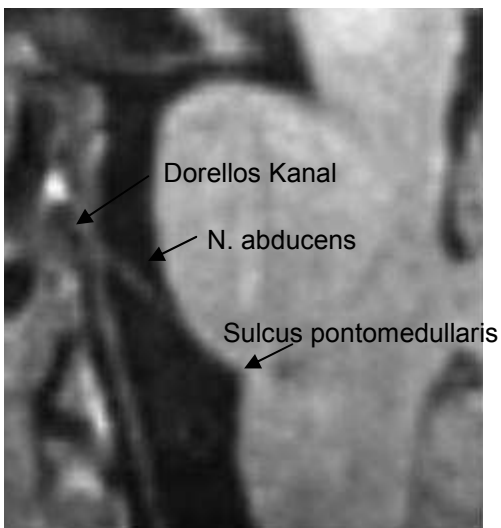


Abb. 33: Rechter N. abducens, zisternales Segment. MP-RAGE- Sequenz, parasagittale Orientierung.

In der Abbildung 33 ist eine parasagittale Rekonstruktion des rechten N. abducens aus dem Datensatz der MP-RAGE-Sequenz zu sehen.

Der sechste Hirnnerv verlässt im Bereich des Sulcus pontomedullaris den Hirnstamm. Der weitere zisternale Verlauf, sowie Dorellos Kanal, sind abgebildet.

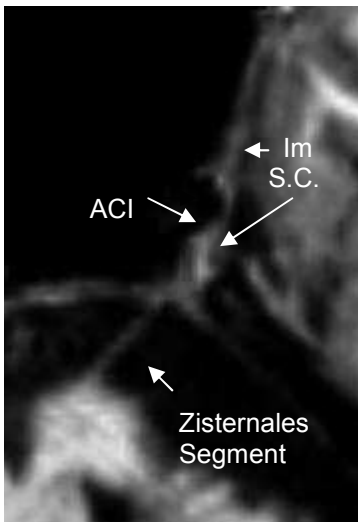


Abb. 34: N. abducens links, zisternales Segment und im S.C. (Sinus cavernosus). Darstellung in der MP-RAGE-Sequenz, paraaxial.
ACI= Arteria carotis interna

Die Abbildung 34 zeigt eine paraaxiale Rekonstruktion des linken N. abducens im Kontrast der MP-RAGE-Sequenz. Der zisternale Verlauf ist dargestellt. Man kann den Verlauf des sechsten Hirnnerven durch den Sinus cavernosus, lateral der Arteria carotis interna (ACI) verfolgen.

Die Abbildungen 35 bis 38 sind Rekonstruktionen aus dem Datensatz der CISS- Sequenz.

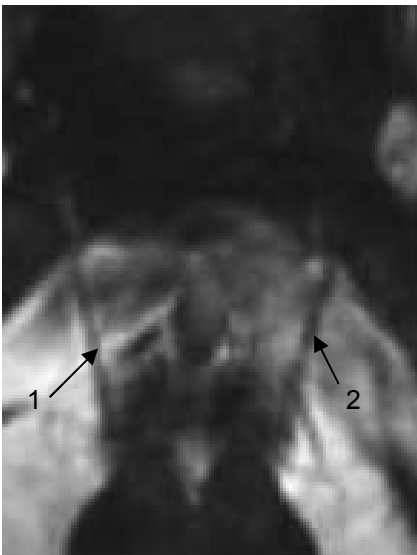


Abb. 35: N.abducens links und rechts, zisternaler Abschnitt.
CISS-Sequenz, paraaxial.
1= rechter N. abducens
2= linker N. abducens

Die Abbildung 35 zeigt eine paraaxiale Rekonstruktion des N. abducens der rechten und der linken Seite vom Austrittspunkt aus dem Hirnstamm bis hin zum Durchtritt durch Dorellos Kanal und Eintritt in den Sinus cavernosus.

Der Verlauf innerhalb Dorellos Kanals ist abgebildet.

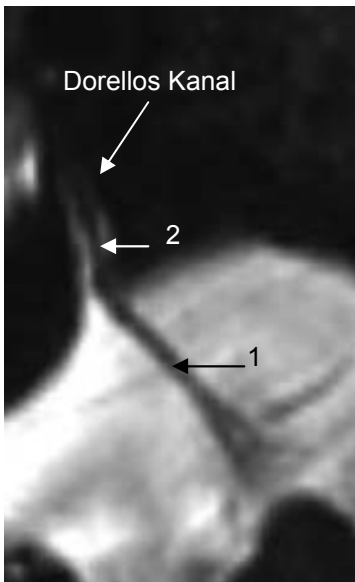


Abb. 36: N. abducens rechts.
CISS-Sequenz, paraaxiale Orientierung.
1= zisternales Segment
2= in Dorellos Kanal

Auf der paraaxialen Rekonstruktion, in der Abbildung 36, ist der rechte N. abducens zu sehen.

Das zisternale Segment und der Verlauf innerhalb Dorellos Kanals kommen im gewählten CISS-Kontrast gut zur Darstellung.

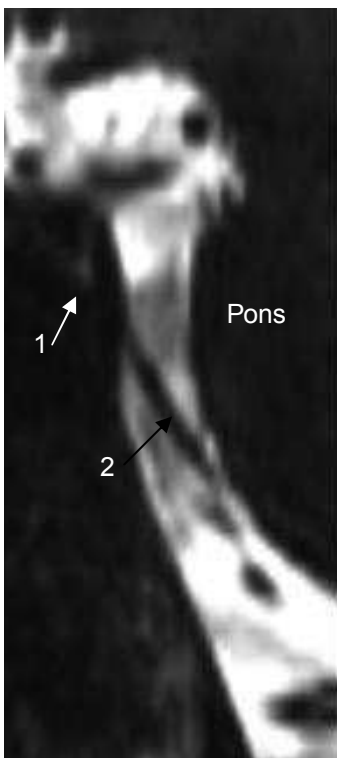


Abb. 37: N. abducens rechts, zisternales Segment.
CISS, parasagittal.
1= Dorellos Kanal
2= N. abducens

Abbildung 37 zeigt eine parasagittale Rekonstruktion des rechten N. abducens. Der Verlauf des sechsten Hirnnerven lässt sich hier von seinem Austrittspunkt im Sulcus pontomedullaris bis hin zum Eintritt in Dorellos Kanal verfolgen.

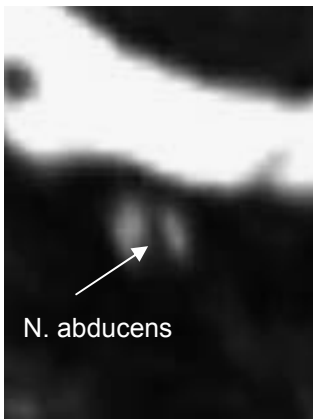


Abb. 38: N. abducens rechts
in Dorellos Kanal.
CISS-Sequenz, koronar.

Die koronare Rekonstruktion, Abbildung 38, zeigt den N. abducens der rechten Seite innerhalb von Dorellos Kanal.

3.2.2.10 N. facialis/ Hirnnerv VII

Für den N. facialis konnten ein zisternales Segment und ein Segment im Meatus acusticus internus bestimmt werden, die sich gut in einer Multiplanaren Rekonstruktion gemeinsam darstellen ließen.

Als Landmarken für das Auffinden des siebenten Hirnnerven dienten der Kleinhirnbrückenwinkel und die labyrinthären Strukturen (Cochlea und Vestibulum).

Die beste Darstellung konnte mittels CISS-Sequenz erzielt werden.

Als geeignete Orientierung für die Darstellung von Hirnnerv VII ergab sich die paraaxiale. Für die sichere Differenzierung des N. facialis vom N. vestibulocochlearis waren parasagittale und koronare Rekonstruktionen sinnvoll.

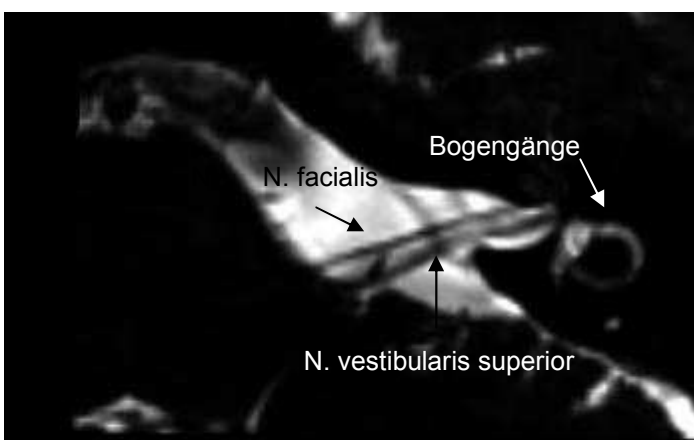


Abb. 39: N. facialis und
N. vestibularis superior links.
CISS, paraaxiale Orientierung.

Die Abbildung 39 zeigt eine paraaxiale Rekonstruktion des N. facialis und des N. vestibularis superior der linken Seite. Die beiden Hirnnerven sind von ihrem Austrittspunkt

aus dem Hirnstamm im Kleinhirnbrückenwinkel bis in den Eingang des Meatus acusticus internus dargestellt. Die Rekonstruktion wurde aus dem Datensatz der CISS-Sequenz erstellt.

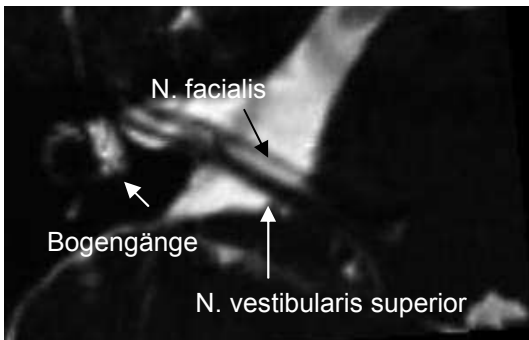


Abb. 40: N. facialis und N. vestibularis superior rechts.
CISS, paraaxiale Orientierung.

In Abbildung 40 ist eine paraaxiale Rekonstruktion des rechten N. facialis und des rechten N. vestibularis superior aus dem Datensatz der CISS-Sequenz zu sehen. Der Austritt aus dem Hirnstamm im Kleinhirnbrückenwinkel, der zisternale Verlauf der beiden Hirnnerven und ihr Eintritt in den Meatus acusticus internus sind dargestellt.

3.2.2.11 N. vestibulocochlearis/ Hirnnerv VIII

Der N. vestibulocochlearis wurde in ein zisternales Segment und in ein im Meatus acusticus internus verlaufendes Segment unterteilt.

Der Kleinhirnbrückenwinkel und die labyrinthären Strukturen dienen als Landmarken für das Auffinden des achten Hirnnerven.

Die beste Darstellung des N. vestibulocochlearis konnte mit der CISS-Sequenz erreicht werden.

Die paraaxiale Orientierung eignete sich am besten für die Rekonstruktionen von Hirnnerv VIII.

Parasagittale und koronare Rekonstruktionen konnten sinnvoll sein, um den Hirnnerv VIII von Hirnnerv VII sicher abzugrenzen und um die drei Anteile des N. vestibulocochlearis (N. cochlearis, N. vestibularis superior und N. vestibularis inferior) zu differenzieren.

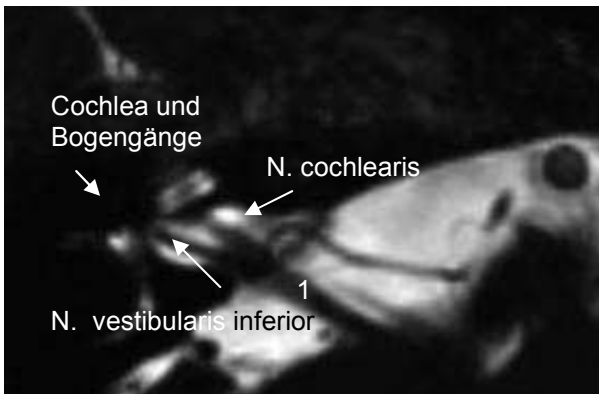


Abb. 41: N. cochlearis und N. vestibularis inferior rechts.
Darstellung in der CISS-Sequenz, paraaxial.
1= N. vestibulocochlearis

Die Abbildung 41 zeigt eine paraaxiale Rekonstruktion aus dem Datensatz der CISS-Sequenz. Zu sehen ist der rechte N. cochlearis, der die Afferenzen aus der Cochlea zum Hirnstamm führt, sowie der rechte N. vestibularis inferior. Der gemeinsame Verlauf dieser Nerven mit dem N. vestibularis superior als N. vestibulocochlearis (1) ist bis zu seinem Eintritt in den Hirnstamm zu verfolgen. Anteile der Bogengänge und die Cochlea sind abgebildet.

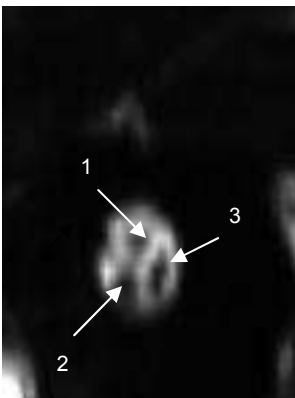


Abb. 42: N. cochlearis und N. vestibularis superior und inferior im Meatus acusticus internus rechts.
CISS-Sequenz, parasagittal.
1= N. vestibularis superior
2= N. vestibularis inferior
3= N. cochlearis

Die parasagittale Rekonstruktion aus dem Datensatz der CISS-Sequenz, die in Abbildung 42 zu sehen ist, zeigt einen Querschnitt durch den Meatus acusticus internus, in welchem der N. vestibularis superior (1), der N. vestibularis inferior (2) und der N. cochlearis (3) zu identifizieren sind.

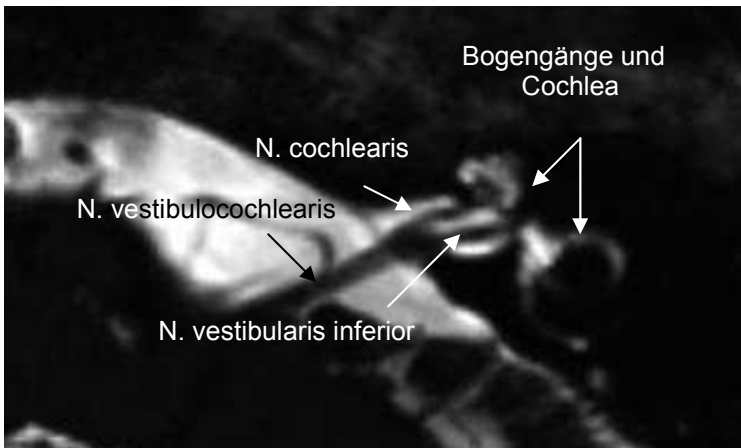


Abb. 43:
N. cochlearis und N. vestibularis inferior links.
Darstellung in der CISS-Sequenz, paraaxiale Orientierung.

In der paraaxialen Rekonstruktion aus der CISS-Sequenz, in Abbildung 43, sind der N. cochlearis und der N. vestibularis inferior der linken Seite zu sehen.

Die Darstellung zeigt den Verlauf des N. cochlearis von der Cochlea aus, den Verlauf des N. vestibularis inferior von den Bogengängen aus.

Die Zusammenführung der Fasern dieser beiden Nerven mit dem N. vestibularis superior zum N. vestibulocochlearis und dessen Verlauf bis hin zu seinem Eintritt in den Hirnstamm im Kleinhirnbrückenwinkel ist vollständig abgebildet.

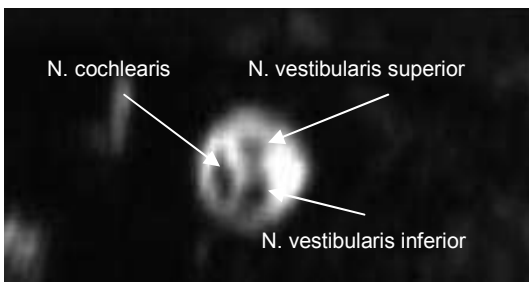


Abb. 44:
N. cochlearis und N. vestibularis superior und inferior im Meatus acusticus internus links.
CISS, parasagittal.

Die parasagittale Rekonstruktion, die in Abbildung 44 zu sehen ist, entstammt dem Datensatz der CISS-Sequenz.

Es kommt ein Querschnitt des Meatus acusticus internus zur Darstellung.

Im Lumen lassen sich der N. vestibularis superior, der N. vestibularis inferior und der N. cochlearis als hypointense Strukturen im signalreichen Liquor gut abgrenzen.

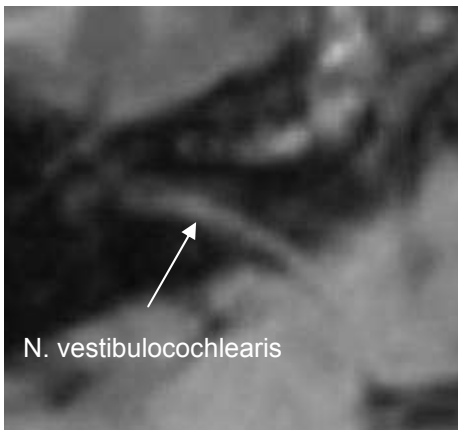


Abb. 45: N. cochlearis und N. vestibularis inferior rechts. Darstellung in der MP-RAGE-Sequenz, paraaxial.

Die Abbildung 45, eine paraaxiale Rekonstruktion aus dem Datensatz der MP-RAGE-Sequenz, zeigt den N. cochlearis und den N. vestibularis inferior der rechten Seite, sowie deren gemeinsamen Verlauf mit den Fasern des N. vestibularis superior der rechten Seite im N. vestibulocochlearis bis hin zum Hirnstamm.

Die genannten Strukturen kommen hyperintens im signalarmen Liquor zur Abbildung. Im Vergleich zu den oben gezeigten Abbildungen des achten Hirnnerven wird die signifikant bessere Darstellung mittels CISS-Sequenz deutlich.

3.2.2.12 N. glossopharyngeus/ Hirnnerv IX und N. vagus/ Hirnnerv X

Die Ergebnisse für die Untersuchung der Hirnnerven IX und X lassen sich unter einem Punkt zusammenfassen.

Der intrakranielle Verlauf des N. glossopharyngeus und des N. vagus ist zisternal.

Das Auffinden der kaudalen Hirnnervengruppe aus Hirnnerven IX, X und XI kann durch das Orientieren am Kleinhirnbrückenwinkel und den labyrinthären Strukturen erleichtert werden. Dieser Hirnnervenkomplex findet sich direkt kaudal der Gruppe aus Hirnnerv VII und VIII.

Der Sulcus retroolivaris, in welchem Hirnnerv IX, X und der kraniale Anteil von XI aus dem Hirnstamm austreten lässt sich gut als anatomische Landmarke nutzen.

Für die Darstellung eignet sich insbesondere die CISS-Sequenz.

Die Darstellung der Hirnnerven IX und X konnte besonders gut in der paraaxialen Orientierung erfolgen.

Zur sicheren Differenzierung der beiden Hirnnerven waren koronare Rekonstruktionen hilfreich.



Abb. 46: N. glossopharyngeus rechts.
MP-RAGE-Sequenz, paraaxial.

Die paraaxiale Rekonstruktion aus dem Datensatz der MP-RAGE-Sequenz, Abbildung 46, zeigt den N. glossopharyngeus der rechten Seite.

Der Verlauf vom Austrittspunkt des neunten Hirnnerven aus dem Hirnstamm bis hin zum Foramen jugulare ist dargestellt.

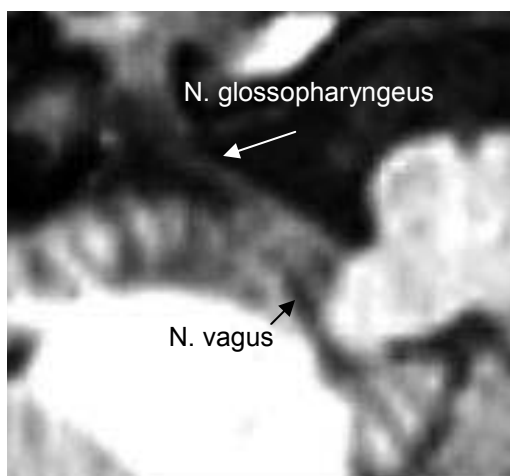


Abb. 47: Rechter N. glossopharyngeus
und N. vagus. MP- RAGE-Sequenz,
paraaxial.

In der Abbildung 47, einer paraaxialen Rekonstruktion aus dem Datensatz der MP-RAGE-Sequenz, kommen der N. glossopharyngeus und Anteile des N. vagus der rechten Seite zur Darstellung.

Der gesamte intracranielle Verlauf des N. glossopharyngeus, vom Hirnstamm bis zum Foramen jugulare ist abgebildet.

Der Austritt der Fasern des N. vagus aus dem Hirnstamm und der proximale Anteil seines zisternalen Verlaufes sind dargestellt. Der weitere Verlauf des zehnten Hirnnerven ist in dieser Darstellung nicht abzugrenzen.

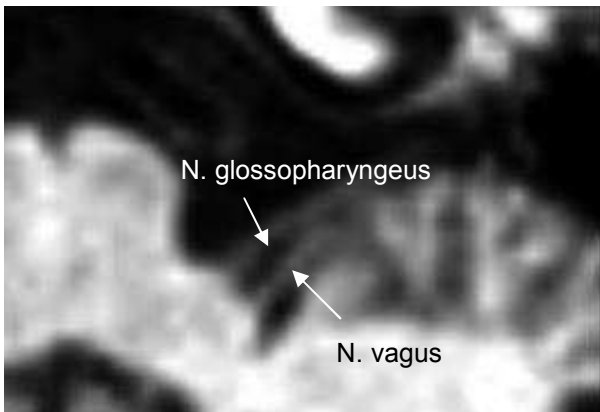


Abb. 48: N. glossopharyngeus und N.vagus links. MP-RAGE, paraaxial.

Die in Abbildung 48 gezeigte, paraaxiale Rekonstruktion aus den Primärdaten der MP-RAGE-Sequenz, bringt den gesamten zisternalen Verlauf des N. glossopharyngeus, ausgehend vom Hirnstamm bis hin zum Foramen jugulare, zur Darstellung. Der proximale Anteil des zisternalen Verlaufes des N. vagus ist abgebildet. Sein weiterer Verlauf ist nicht abgebildet.

Die Abbildungen 49 bis 53 zeigen Darstellungen der Hirnnerven IX und X im Kontrast der CISS- Sequenz.

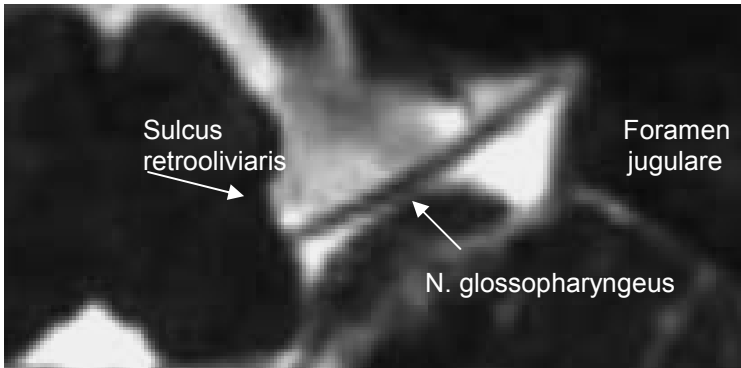


Abb. 49:
N. glossopharyngeus links.
CISS-Sequenz, paraaxiale
Orientierung.

Die paraaxiale Rekonstruktion in Abbildung 49 zeigt den N. glossopharyngeus der linken Seite. Sein Verlauf von seinem Austritt aus dem Hirnstamm, im Sulcus retroolivaris, bis hin zum Foramen jugulare kommt in dem hier vorliegenden Kontrast deutlich zur Darstellung.

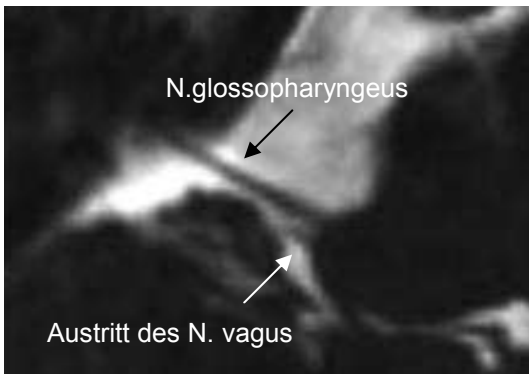


Abb. 50: N. glossopharyngeus und Austritt des N. vagus rechts aus dem Hirnstamm.
CISS-Sequenz, paraaxial

Die Abbildung 50 zeigt in paraaxialer Orientierung eine Rekonstruktion des neunten Hirnnervs rechts. Der Austritt des N. vagus aus dem Hirnstamm ist ebenfalls abgebildet.

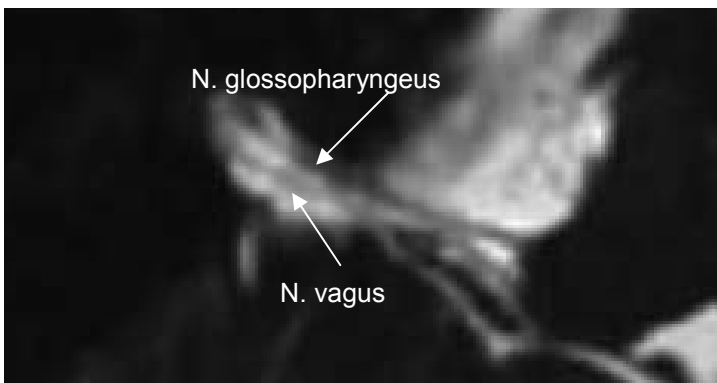


Abb. 51: N. glossopharyngeus und N. vagus rechts.
CISS-Sequenz, paraaxial.

Die Abbildung 51 zeigt eine paraaxiale Rekonstruktion des rechten N. glossopharyngeus und des rechten N. vagus.

Der Verlauf der beiden Hirnnerven kommt vom Hirnstamm aus bis hin zum Foramen jugulare zur Darstellung.

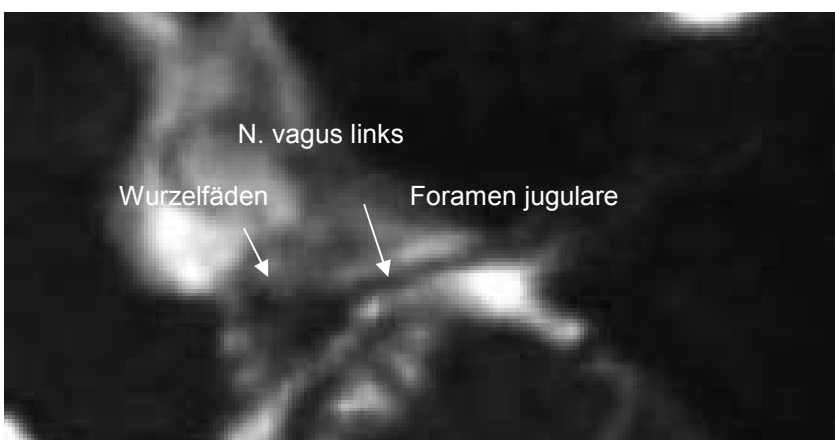


Abb. 52:
N. vagus links.
CISS, paraaxial.

Die paraaxiale Rekonstruktion in Abbildung 52 zeigt den Austritt mehrerer Wurzeln des linken zehnten Hirnnerven aus dem Hirnstamm.

Diese Wurzelfäden vereinen sich zum N. vagus.

Der weitere Verlauf des Nerven bis zum Foramen jugulare ist dargestellt.



Abb. 53:
Hirnnerven IX, X und XI.
CISS, koronar.
1= N. glossopharyngeus
2= N. vagus und kraniale Wurzel
des N. accessorius

Die Abbildung 53 zeigt eine koronare Rekonstruktion der Hirnnerven IX, X und XI.

Es lassen sich der Austritt des N. glossopharyngeus (1) und der Austritt des N. vagus und der kranialen Wurzel des N. accessorius (2) aus dem Hirnstamm identifizieren. Auf dem weiteren, gemeinsamen, Verlauf dieser kaudalen Hirnnerven zum Foramen jugulare erlaubt diese Orientierung keine weitere Differenzierung der drei Nerven.

3.2.2.13 N. accessorius/ Hirnnerv XI

Der N. accessorius hat einen kranialen und einen spinalen Anteil, die sich intrakraniell vereinigen.

Die kraniale Wurzel lässt sich gemeinsam mit den Hirnnerven IX und X auffinden und abbilden.

Eine Differenzierung der kranialen Wurzel des elften Hirnnerven vom N. vagus ist nicht grundsätzlich mit Sicherheit möglich, da diese Wurzel sowohl den Hirnstamm als auch die Schädelhöhle mit dem N. vagus verlässt und nur über eine Distanz von wenigen Millimetern von diesem getrennt verläuft.

Die spinalen Wurzelfäden, die sich intrakraniell mit der kranialen Wurzel vor Verlassen der Schädelhöhle zum N. accessorius vereinigen, entspringen mittig zwischen den Vorder- und Hinterwurzeln der Spinalnerven und sind dort gut auffindbar. Man kann die Wurzelfäden verfolgen, bis sie auf den kaudalen Hirnnervenkomplex aus Hirnnerv IX, X und der kranialen Wurzel von Hirnnerv XI treffen und sich dort diesem anschließen.

Für die Darstellung der beiden Anteile des elften Hirnnerven ist die CISS-Sequenz am besten geeignet.

Die Rekonstruktionen der kranialen Wurzel erfolgten gemeinsam mit denen der Hirnnerven IX und X in paraaxialer Orientierung.

Für die Rekonstruktionen der spinalen Wurzelfäden eigneten sich die paraaxiale und die koronare Orientierung am besten.

Darstellungen des elften Hirnnerven im CISS- Kontrast zeigen die Abbildungen 54 bis 57.

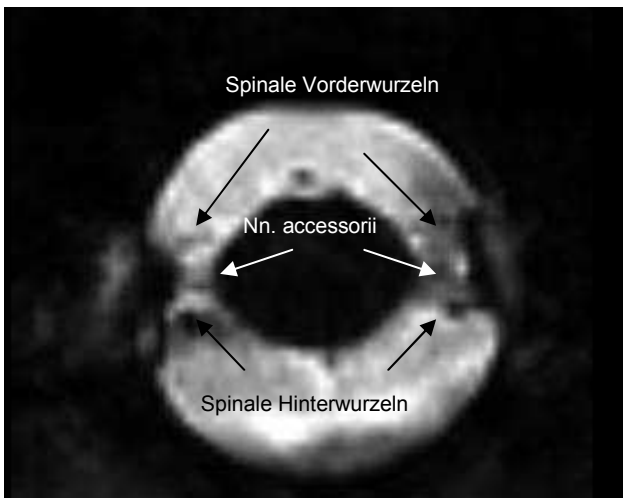


Abb. 54: Spinale Wurzelfäden des N. accessorius. CISS-Sequenz, paraaxial.

Die Abbildung 54 zeigt eine paraaxiale Rekonstruktion. Eine Identifizierung der spinalen Wurzelfäden des N. accessorius beider Seiten, mittig zwischen den Vorder- und Hinterwurzeln der Spinalnerven, ist möglich.



Abb. 55: Spinale Wurzelfäden des elften Hirnnerven CISS-Sequenz, paraaxial

Oben zu sehen ist eine paraaxiale Rekonstruktion der Nn. accessorii beider Seiten. In dieser Schicht sind die spinalen Hinter- und Vorderwurzeln nicht abgebildet.

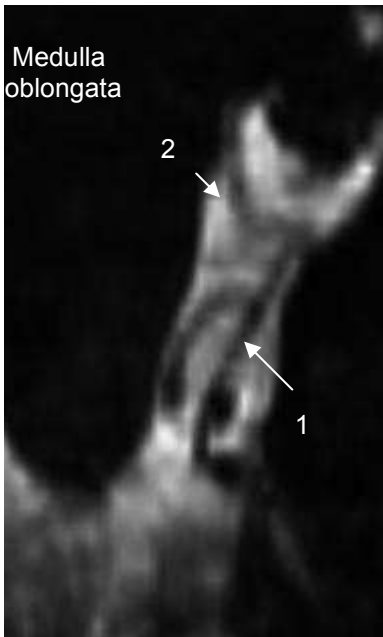


Abb. 56: N. accessorius links,
spinaler Anteil.
CISS-Sequenz, koronar.
1= N. accessorius
2= Hirnnerv IX, X und kranialer Anteil
von XI

Die koronare Rekonstruktion in Abbildung 56, lässt den zervicalen Anteil des linken N. accessorius (1), nach Zusammenschluss der einzelnen spinalen Wurzelfäden, aus denen sich dieser Anteil zusammensetzt, erkennen.

Das Zusammentreffen der spinalen Wurzel des N. accessorius mit dem Hirnnervenkomplex aus Hirnnerv IX, X und dem kranialen Anteil von Hirnnerv XI (2), nahe dem Foramen jugulare, ist dargestellt.

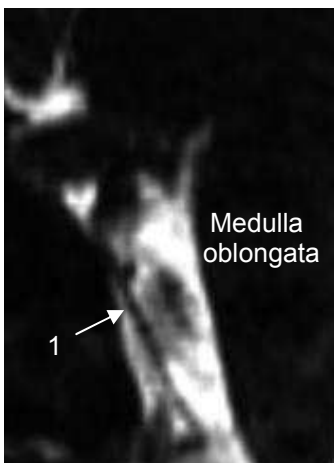


Abb. 57: N. accessorius rechts,
spinale Wurzel.
CISS-Sequenz, koronar.
1= N. accessorius

Die Abbildung 57 zeigt den spinalen Anteil des rechten elften Hirnnerven (1), in koronarer Orientierung.

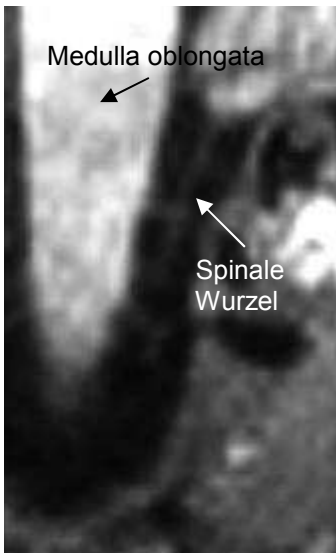


Abb. 58: Spinale Wurzel des linken N. accessorius. MP-RAGE, koronare Orientierung

Die koronare Rekonstruktion des spinalen Anteils des N. accessorius links, in Abbildung 58, wurde aus den Primärdaten der MP-RAGE-Sequenz erstellt.

Die einzelnen Wurzelfäden und ihr Zusammenschluss zur spinalen Wurzel kommen zur Abbildung.

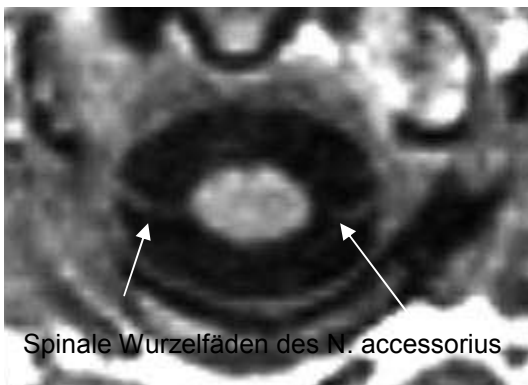


Abb. 59: Spinale Wurzelfäden des N. accessorius, in Höhe des Hals-Wirbel-Körpers 2. MP-RAGE-Sequenz, paraaxial.

In der Abbildung 59, einer paraaxialen Rekonstruktion aus dem Datensatz der MP-RAGE-Sequenz, macht spinale Wurzelfäden des N. accessorius beider Seiten sichtbar.

3.2.2.14 N. hypoglossus/ Hirnnerv XII

Der Hirnnerv XII verläuft intrazisternal. Sein Austrittspunkt aus dem Hirnstamm kann mithilfe der Landmarken Pyramide, Olive und Sulcus anterolateralis aufgesucht werden. Der Austrittspunkt liegt zwischen Olive und Pyramide, im Sulcus anterolateralis.

Von dort aus ist der zwölfte Hirnnerv gut bis zu seiner Schädelbasisöffnung, dem Canalis nervi hypoglossi, zu verfolgen.

Für die Darstellung eignet sich besonders die CISS-Sequenz.

Sowohl die paraaxiale als auch die koronare Orientierung ist gut für Rekonstruktionen des N. hypoglossus geeignet.

Die folgenden Abbildungen 60 bis 63 zeigen Rekonstruktionen des zwölften Hirnnerven aus dem Datensatz der CISS- Sequenz.

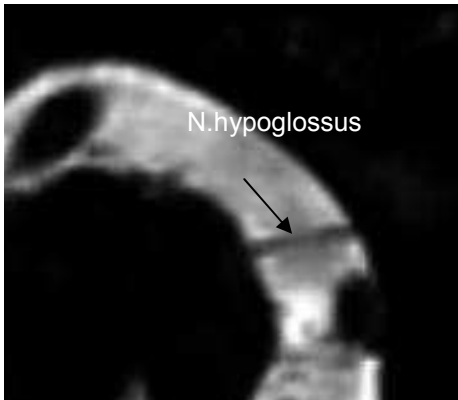


Abb. 60: Linker N. hypoglossus. Darstellung in der CISS-Sequenz, paraaxial.

Abbildung 60 zeigt den linken N. hypoglossus in paraaxialer Orientierung. Im hier vorliegenden CISS-Kontrast kommt der Verlauf des zwölften Hirnnerven, ausgehend vom Austrittspunkt aus dem Hirnstamm bis zum Canalis nervi hypoglossi zur Abbildung.

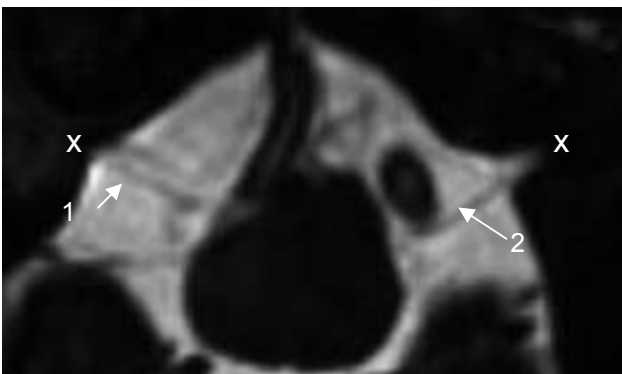


Abb. 61: N. hypoglossus links und rechts. CISS, paraaxial.
1= rechter N. hypoglossus
2= linker N. hypoglossus
X= Canalis nervi hypoglossi

Die Abbildung 61 zeigt eine paraaxiale Rekonstruktion des N. hypoglossus der rechten (1) und der linken (2) Seite.

Die einzelnen Wurzelfäden der beiden zwölften Hirnnerven sind bei ihrem Austritt aus dem Hirnstamm gut zu identifizieren. Der Eintritt in den Canalis nervi hypoglossi (x) der jeweiligen Seite kann nachvollzogen werden.

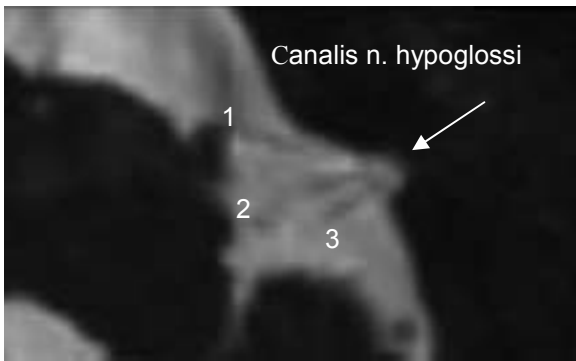


Abb. 62: Wurzelfäden (1, 2, 3) des N. hypoglossus beim Eintritt in den Canalis nervi hypoglossi. CISS-Sequenz, paraaxial.

In der Abbildung 62 sind deutlich die Wurzelfäden (1, 2, 3) des N. hypoglossus der linken Seite bei ihrem Austritt aus dem Hirnstamm zu erkennen. Der Eintritt der Wurzelfäden in den Canalis nervi hypoglossi ist abgebildet. Die Rekonstruktion wurde in paraaxialer Orientierung erstellt.

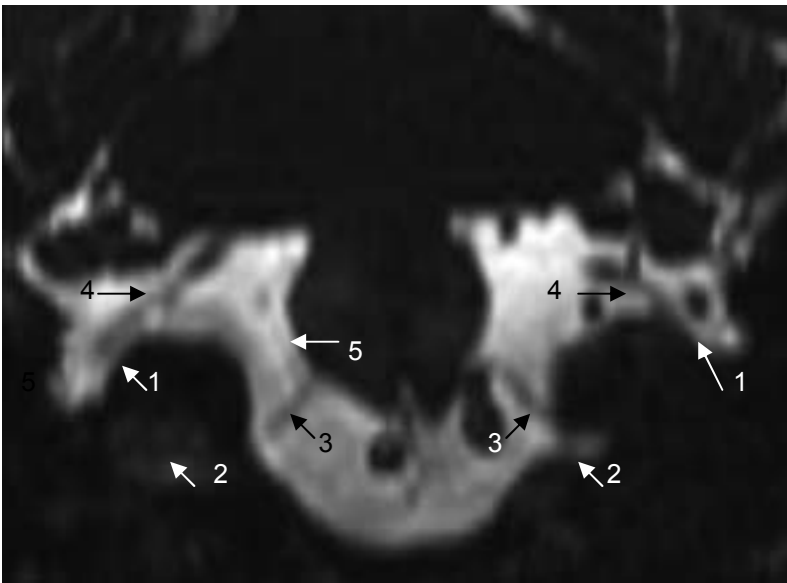


Abb. 63: N hypoglossus rechts und links. CISS-Sequenz, koronar.

- 1= Foramen jugulare rechts und links
- 2= Canalis nervi hypoglossi rechts und links
- 3= N. hypoglossus rechts und links
- 4= Hirnnerven IX, X, XI
- 5= Hirnnerv XI, spinaler Anteil

Die Abbildung 63 zeigt eine koronare Rekonstruktion. Dargestellt sind der N. hypoglossus (3) der rechten und der linken Seite, ausgehend vom Austrittspunkt aus dem Hirnstamm bis hin zum Eintritt in den Canalis nervi hypoglossi (2) der entsprechenden Seite. Die Beziehungen zum Foramen jugulare (1) und der Hirnnervengruppe IX, X, XI (4 und 5), werden deutlich.

4 Diskussion

Die hier vorliegende Arbeit zeigt, dass sich der intrakranielle Verlauf der zwölf Hirnnervenpaare mithilfe der Kombination zweier Sequenzen, einer T1-gewichteten 3D-MP-RAGE-Sequenz und einer T2/T1-gewichteten 3D-CISS-Sequenz, bei einer Magnetfeldstärke von 3 Tesla, in diagnostischer Qualität und in für die neuroradiologische Routinebildgebung adäquater Untersuchungs- und Nachbearbeitungszeit, darstellen lässt.

Ausnahmen stellen die Verläufe der Hirnnerven IV, V1, V2 und VI im Bereich des Sinus cavernosus dar. Die vorgestellte Methode ist zur Visualisierung der Hirnnervenverläufe im Sinus cavernosus nicht ausreichend geeignet. Die Gabe von Kontrastmittel bei der Untersuchung mit der T1-gewichteten MP-RAGE-Sequenz, könnte hier für eine verbesserte Darstellbarkeit sorgen (Ettl und Salomonowitz 2004, Korogi et al. 1991). Der von Yousry et al. und Yagi et al. beschriebene Einsatz von Kontrastmittel bei der CISS-Sequenz könnte auch die Visualisierung der Hirnnerven im Bereich des Sinus cavernosus verbessern (Yagi et al. 2005, Yousry et al. 2002 b und 2005).

Wie in Studien anderer Arbeitsgruppen beschrieben, gelang es auch in dieser Untersuchung nicht, den gesamten intrazisternalen Kurs des N. trochlearis regelmäßig in guter Qualität darzustellen. Dies lässt sich auf den sehr geringen Durchmesser dieses Hirnnerven, 0,7 bis 1,0 mm nach Villain et al., sowie auf seinen Verlauf, direkt dem Tentorium cerebelli von kaudal anliegend, zurückführen (Villain et al. 1993, Yousry et al. 2002 a).

Die Darstellungen der spinalen Wurzel des N. accessorius ließe sich durch den Einsatz einer Kopf-Hals-Spule, anstelle einer Kopf-Spule, noch verbessern.

Insgesamt könnte die Darstellungsqualität im CISS-Kontrast durch Einhalten des Kriteriums der Voxel-Isotropie sicherlich deutlich erhöht werden.

4.1 Erfordernis der Darstellung der intrakraniellen Hirnnervenverläufe mittels MRT

Die Magnetresonanztomographie ist derzeit die einzige nichtinvasive Untersuchungsmethode, die eine Darstellung der Hirnnerven und ihrer Pathologien ohne Anwendung ionisierender Strahlung ermöglicht.

Eine Visualisierung der intrakraniell verlaufenden Hirnnervenabschnitte kann bei Erkrankungen einzelner oder mehrerer Hirnnerven, beziehungsweise bei Hirnnervenbefall

oder- beeinflussung im Rahmen einer disseminierten oder lokalisierten Erkrankung des Gehirns und seiner Hüllen, die klinisch-neurologische Untersuchung und diagnostisch-apparative Untersuchungsverfahren sinnvoll ergänzen. Eine Lokalisation und eine Beurteilung des Ausmaßes eines Hirnnervenbefalls kann durch eine Bildgebung des gesamten intrakraniellen Kurses ermöglicht werden. Rekonstruktionen aus den Primärdatensätzen können gegebenenfalls eine Operationsplanung vereinfachen.

Ein Untersuchungsprotokoll wie das in dieser Arbeit vorgestellte, welches die Bildgebung aller zwölf Hirnnervenpaare in einem Untersuchungsgang möglich macht, ist insbesondere sinnvoll für die radiologische Diagnostik bei klinischem Befund einer gleichzeitigen Alteration mehrerer Hirnnerven. Ursachen hierfür können beispielsweise sein: Ein disseminiertes entzündliches Geschehen, Tumorausbreitung entlang der Nerven im Rahmen einer Meningeosis neoplastica, eine Atrophie mehrerer Hirnnerven durch eine oder mehrere Gefäßschlingen, direkte Einengung durch einen raumfordernden Prozess oder ein Schädel-Hirn-Trauma.

Lell et al. beschrieben einen Fall von Neuroborreliose, bei welchem sowohl der dritte als auch der sechste Hirnnerv betroffen waren (Lell et al. 2003). Fälle wurden beschrieben, bei denen die Hirnnerven III, V, VI oder XII von der Erkrankung betroffen waren (Lell et al. 2003). Häufiger ist der Befall des siebenten Hirnnerven (Marsot- Dupuch et al. 2000).

Die entzündlichen Veränderungen der Hirnnerven werden am besten im T1-Kontrast mit Kontrastmittel zur Darstellung gebracht (Lell et al. 2003, Mark et al. 1992).

Ein disseminierter Hirnnervenbefall im Rahmen einer Neuroborreliose könnte mit dem hier vorgestellten Untersuchungsprotokoll, bei Kontrastmittelapplikation, ausgeschlossen oder diagnostiziert und beurteilt werden.

Raumforderungen des Kleinhirnbrückenwinkels können sowohl die Hirnnervengruppe von N. facialis und N. vestibulocochlearis als auch die Hirnnervengruppe N. glossopharyngeus, N. vagus und N. accessorius betreffen (Shenouda et al. 2005, Yousry et al. 2000).

Eine Beurteilung dieser beiden Hirnnervengruppen bei Verdacht oder Bestätigung eines den Kleinhirnbrückenwinkel betreffenden Prozesses ist demnach sinnvoll und wäre mithilfe des in dieser Studie vorgestellten Protokolls durchführbar.

Kang et al. beschrieben einen Patienten, bei dem sich, 5 Jahre nach kurativer Radio-Chemo-Therapie eines nasopharyngealen Karzinoms, eine therapiebedingte einseitige Hypoglossusparese manifestierte. Sie stellen die These auf, dass derartige Alterationen, bedingt durch eine Fibrose und reduzierte Vaskularisierung nach Radiotherapie, auch andere Hirnnerven betreffen können. Sie empfehlen, nach Radio-Chemo-Therapie des

Kopf-Hals-Bereiches sowohl eine klinische als auch eine magnetresonanztomographische Hirnnervenuntersuchung bei der Tumornachsorge miteinzubeziehen (Kang et al. 2000).

Auch hier könnte das vorliegende Protokoll hilfreich sein, um eine die Hirnnervenfunktion beeinträchtigende Fibrose frühzeitig aufzudecken.

In ihrem Review zur Meningeosis neoplastica, beschreiben Thiel und Gleissner, dass Hirnnervenläsionen bei 40% der Patienten mit Meningeosis neoplastica neben einer Vielzahl unspezifischer Symptome, wie Kopfschmerz und Bewusstseinsstörungen auftreten. Insbesondere sind betroffen die extraokulären Augenmuskelnerven, der Gesichtsnerv sowie Hör- und Sehnerv. Als diagnostisch entscheidend sehen Thiel und Gleissner die MRT des Gehirns und des Spinalkanales, sowie die Liquor-Untersuchung an.

Die Meningeosis neoplastica entsteht bei etwa 3-5 % der Patienten mit soliden Tumoren. In bis zu 25% der Fälle ist sie die Erstmanifestation oder gar die einzige Manifestation der Tumorerkrankung. Anschluss an den subarachnoidalen Raum oder die Hirnhäute erhalten die Tumorzellen über arterielle oder venöse Versorgung, durch Migration entlang der Nerven- und Gefäßscheiden, durch parenchymatöse Hirnfiliae, durch knöcherne Metastasen der Kalotte oder der Wirbelkörper. Per Liquor gelangen die Zellen in alle Regionen des ZNS. Im MRT finden sich fokale und diffuse Kontrastmittel-Anreicherungen der Pia mater, Anreicherungen und Verdickungen der Hirnnerven und Kontrastmittel-anreichernde subarachnoidale Knoten (Thiel und Gleissner 2006). Eine MRT-Untersuchung aller zwölf Hirnnerven, wie sie in der vorliegenden Arbeit vorgestellt wird, könnte für Ausschluss, Diagnose und Beurteilung einer Meningeosis neoplastica hilfreich sein. Die CISS-Sequenz bietet durch ihren hohen Liquor-Nerv-Kontrast die Möglichkeit, zuverlässig Auftreibungen der Nerven zu erkennen. Die MP-RAGE- Sequenz mit Kontrastmittel-Applikation, würde eine Beurteilung der Nervenstruktur und der Meningen ermöglichen.

In ihrer Studie untersuchten Kress et al. Kontakte des fünften Hirnnerven mit Venen oder Arterien in der perimesencephalen Zisterne bei Probanden ohne Gesichtsschmerz.

Sie kommen zu dem Schluss, dass bei den meisten schmerzfreien Probanden Kontakte des Nerven mit Arterien oder Venen bestehen, diese aber nicht zu einer Deformierung oder Atrophie des Nerven führen. So kann in diesen Fällen von einem nicht-pathologischen Gefäß-Nerven-Kontakt gesprochen werden (Kress et al. 2006). Pathologische Konflikte entstehen vor allem im Kontakt des N. trigeminus mit der Arteria superior cerebelli, die auf den zisternalen Anteil des Nerven drückt (Tronnier et al. 2002).

Kress et al. betonen, dass der Kontakt allein nicht pathologisch ist, sondern erst die Deformierung des Nerven durch ein Blutgefäß, die zu einer pulsationsbedingten Atrophie führen kann (Kress et al. 2004).

Da bei Trigeminusneuralgie nur die direkte Druckschädigung des Nerven bei Gefäß-Nerven-Kontakt eine Operationsindikation darstellt, nimmt die Bedeutung der Diagnostik einer solchen zu. Hier kann das vorliegende Protokoll mit seinen hochauflösenden Sequenzen und der Möglichkeit, Multiplanare Rekonstruktionen zu erstellen bei der Indikationsstellung hilfreich sein (Kress et al. 2006).

Das hier vorgestellte Untersuchungsprotokoll könnte die radiologische Diagnostik wesentlich vereinfachen, da alle intrakraniellen Abschnitte aller Hirnnerven aus den Primärdatensätzen in einer kurzen Nachbearbeitungszeit rekonstruiert werden können. So ist es möglich, sowohl die bereits klinisch apparenten Hirnnervenmanifestationen zu lokalisieren, als auch noch nicht klinisch relevante Manifestationen sichtbar zu machen.

4.2 Anforderungen an die Darstellung der Hirnnerven

Die zwölf Hirnnervenpaare sind Strukturen unterschiedlicher Größenordnung. Yousry et al. haben eine Unterteilung der Hirnnerven entsprechend ihres Durchmessers vorgenommen, die Rückschlüsse auf die Möglichkeit ihrer Abbildung zulassen. Die Hirnnerven I und II sind hier der ersten Gruppe, der Gruppe der Hirnnerven großen Durchmessers, zugeordnet. Es folgt die Gruppe der Hirnnerven mittleren Durchmessers, der die Hirnnerven III, V, VII, VIII und der kaudale Hirnnervenkomplex aus den Hirnnerven IX, X und XI zugeordnet wird. Zur Gruppe der Hirnnerven kleinen Kalibers werden die Hirnnerven IV, VI und XII gerechnet. Sie beschreiben, dass insbesondere die Darstellung der Hirnnerven kleineren Durchmessers kompliziert ist (Yousry et al. 2000).

Andere Autoren ordnen den N. trigeminus mit seinem Durchmesser von ca. 2,3- 5,4 mm der Gruppe der Hirnnerven großen Durchmessers zu (Lanz et al. 1979).

Die Darstellung der Hirnnerven stellt hohe Anforderungen an das Auflösungsvermögen und das Signal-zu-Rausch-Verhältnis der eingesetzten Sequenzen. Die Sequenzen müssen die Identifizierung filigraner Strukturen, wie die des N. abducens oder des N. trochlearis ermöglichen. Gleichzeitig muss eine Differenzierung von in enger Nachbarschaft verlaufenden Nerven und Gefäßen erfolgen können. Die Beurteilung von Abweichungen von der Norm, wie Entzündungen, Tumorausbreitung entlang der Nerven, Beeinflussung der Hirnnerven durch Raumforderungen, Gefäß-Nerven-Kontakte muss möglich sein.

Es existieren einige Studien, die die Darstellung eines oder mehrerer Hirnnerven durch Magnetresonanztomographie bei 1,5 Tesla untersucht haben. Die überwiegende Anzahl der Studien unterstreicht den Einsatz der von Casselman et al. vorgestellten CISS-Sequenz für die Hirnnervendarstellung (Casselmann et al. 1993, 1994, 1996, 1997 und 1998, Held et al. 1997, 2000 a und b, Heine et al. 2002, Lemmerling et al. 1999, Linn et al. 2009 a und b, Yousry et al. 1999, 2000, 2002a und b, 2004 und 2005). Held et al. schlagen die Aufnahme einer T1-gewichteten Sequenz ohne und mit Kontrastmittelgabe ins Protokoll vor (Held et al. 2000 a).

Für die Visualisierung intraossärer Abschnitte kann eine zusätzliche Computertomographie sinnvoll sein (Castillo 2002, Larson et al. 2002 und Leblanc 2001).

Eine Untersuchung, die den zisternalen Abschnitt aller zwölf Hirnnerven berücksichtigt, wurde von Yousry et al. 2000 vorgestellt (Yousry et al. 2000). In dieser Studie wurden alle Hirnnerven mit einer T2-TSE-Sequenz und mit einer 3D-CISS-Sequenz untersucht. Yousry et al. beschreiben, dass sich mittels T2-TSE-Sequenz alle Hirnnerven außer Hirnnerv IV, VI und XII darstellen lassen, jedoch nicht so gut wie im Kontrast der CISS-Sequenz, mit der sich in ihrer Untersuchung alle zwölf Hirnnerven abbilden ließen. Yousry et al. schlagen zusammenfassend eine Aufnahme beider Sequenzen in ein Protokoll für die Hirnnervenuntersuchung vor, um mithilfe der T2-TSE-Sequenz pathologische Prozesse besser beurteilen zu können.

Unter dieser Vorstellung wurde auch eine T2-gewichtete TSE-Sequenz in die vorliegende Arbeit aufgenommen. Es stellte sich jedoch heraus, dass sie für die Darstellung der Hirnnerven keinen Nutzen erbrachte.

Yousry et al. haben in der oben genannten Studie Rekonstruktionen in der axialen Orientierung für jeden Hirnnerven erstellt. Den ersten Hirnnerv haben sie zusätzlich in der koronaren Ebene rekonstruiert. Sie räumen ein, dass die Darstellung der Hirnnerven durch die Erstellung paraaxialer oder parasagittaler Rekonstruktionen verbessert werden könnte. Dies erfolgte in ihren Einzelstudien zu den Hirnnerven IV, V, VI, IX, X, XI und XII gesondert (Linn et al. 2009 a und b, Yousry et al. 1999, 2002 a und b, 2004, 2005).

Die Hirnnerven haben zum Teil lange intrakranielle Verläufe, auf denen sie mehrmals ihre Verlaufsrichtung ändern. Um eine gute Darstellung dieser oft komplizierten Verläufe zu ermöglichen und um die adäquate Diagnostik der Hirnnerven betreffender pathologischer Prozesse zu gewährleisten, müssen die Sequenzen für die Hirnnervendarstellung Rekonstruktionen in beliebiger Raumorientierung zulassen. In der vorliegenden Arbeit wurde daher insbesondere Wert auf das Herausarbeiten der besten Schichtführung für die Nachverarbeitung gelegt.

4.3 Datenakquisition

4.3.1 Magnetfeldstärke von 3 Tesla

Von einer Datenakquisition bei einer Feldstärke von 3 Tesla verspricht man sich insbesondere den Vorteil, aufgrund eines höheren Signal-zu-Rausch-Verhältnisses entweder bei konstantem Auflösungsvermögen eine kürzere Untersuchungszeit zu ermöglichen, oder bei gleichbleibender Untersuchungszeit ein besseres Auflösungsvermögen.

Verschiedene Autoren haben beschrieben, dass diese Erwartungen erfüllt werden.

Fischbach et al. beschreiben die Möglichkeit, bei der Bildgebung des N.glossopharyngeus bei 3 Tesla, hochauflösende Bilder in einer angemessenen Untersuchungszeit zu erhalten (Fischbach et al. 2003).

Graf et al. zeigen auf, dass die Innenohrdarstellung durch MRT bei 3 Tesla im Vergleich zu 1,5 Tesla signifikant besser ist. Das in dieser Studie bestimmte Signal-zu-Rausch-Verhältnis erreicht bei 3 Tesla deutlich höhere Werte als bei 1,5 Tesla. Sie schließen daraus, dass bei 1,5 Tesla zum Erreichen eines annähernd so hohen SNR-Wertes wie bei 3 Tesla etwa die doppelte Messzeit erforderlich wäre. Dies bedeutet eine erheblich längere Untersuchungszeit und damit einen deutlich eingeschränkten Patientenkomfort bei 1,5 Tesla im Gegensatz zu 3 Tesla (Graf et al. 2004).

Nielsen et al. beschreiben, dass bei der MRT- Untersuchung des N. opticus bei einer Neuritis nervi optici deutlich mehr Läsionen bei der Untersuchung bei 3 Tesla gefunden wurden, als bei der Untersuchung bei 1,5 Tesla (Nielsen et al. 2006).

Röttgen et al. bestätigten in ihrer Studie zum Vergleich zwischen 1,5 Tesla und 3 Tesla, dass bei annähernd gleicher Messzeit eine signifikante Verbesserung der Bildqualität von 1,5 Tesla zu 3 Tesla besteht (Röttgen et al. 2005).

Man könnte bei der Verdoppelung der Feldstärke des Grundmagnetfeldes eine Verdoppelung des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses erwarten. Jedoch wird nur ein Signalgewinn von 30-60% beobachtet. Der Grund hierfür wird in der Variation der Relaxationszeiten und der Suszeptibilitätseffekte vermutet (Baudendistel et al. 2004).

Der SNR ist eine Funktion der Relaxationszeiten T1 und T2. Daraus ergibt sich deren Einfluss auf das Signal-zu-Rausch-Verhältnis. Verändert sich also die Relaxationszeit eines Mediums bei 3 Tesla im Vergleich zu 1,5 Tesla, so wird auch der SNR beeinflusst. Die T1-Relaxationszeiten steigen bei 3 Tesla um etwa 30-50% an. Die T2-Relaxationszeiten bleiben nahezu unverändert. So macht sich die Signalverbesserung bei

T2-gewichteten Sequenzen stärker bemerkbar als bei T1-gewichteten Sequenzen (Baudendistel et al. 2004).

Insgesamt eine Ausnahme bildet hier laut Frayne et al. die Cerebro-Spinale-Flüssigkeit (CSF). Die Relaxationszeiten von CSF (Frayne et al. 2003) und Blut (Baudendistel et al. 2004) bleibt bei 3 Tesla im Vergleich zu 1,5 Tesla im Wesentlichen unverändert. Hier lässt sich somit am ehesten der Signalgewinn beim Vergleich von 1,5 Tesla und 3 Tesla erfahren.

Die hier vorliegende Arbeit stellt keinen Vergleich zwischen der Darstellung bei 1,5 Tesla und 3 Tesla dar. Die Untersuchungen wurden bei einer Feldstärke von 3 Tesla durchgeführt. Im Vergleich mit den Ergebnissen anderer Arbeitsgruppen, die bei 1,5 Tesla gearbeitet haben, ergibt sich für das hier erarbeitete Untersuchungsprotokoll bei 3 Tesla insbesondere der Vorteil der schnellen Datenakquisition bei etwa vergleichbarer Bildqualität.

4.3.2 3D-Akquisition

Leicht können die Hirnnerven dem Betrachter radiologischer Medien aufgrund zu hoher Schichtdicke oder „Inter-Slice-Gap“ entgehen.

Die Akquisition eines 3D-Datensatzes für die Hirnnervendarstellung ist sinnvoll, um dünne und kontinuierliche Schichten zu erhalten und gleichzeitig das Signal-zu-Rausch-Verhältnis möglichst groß zu halten.

Diese Eigenschaften der 3D-Akquisition sind relevant für die Abbildung der sehr filigranen Hirnnervenstrukturen.

Die 3D-Akquisition ermöglicht in der Nachbearbeitung das Erstellen Multiplanarer Rekonstruktionen in allen erdenklichen Orientierungen. Dies ist unerlässlich für die Darstellung der Hirnnerven, da diese auf ihren häufig langen intrakraniellen Verläufen oft die Richtung ändern. Die individuelle Visualisierung des gesamten intrakraniellen Verlaufes jedes einzelnen Hirnnerven kann aus einem Datensatz erfolgen, unabhängig von der Orientierung des Primärdatensatzes.

So ist ein Verfolgen des Verlaufes der Hirnnerven möglich. Dies ist für die Lokalisation potentieller Hirnnerven-Läsionen von großer Bedeutung.

Besonders gute Ergebnisse bei der Datennachbearbeitung erhält man, wenn die Voxeldimensionen nahezu isotrop sind (Runge et al. 2005).

Iwayama et al. vergleichen 2-dimensionale und 3-dimensionale, stark T2-gewichtete Sequenzen. Sie stellen zum einen fest, dass die 2D-Sequenzen im Vergleich zu den 3D-

Sequenzen höhere Signalverluste aufweisen und zum anderen, dass 3D- Sequenzen eine höhere Liquor-Signal-Intensität aufweisen.

Das Kontrast-zu-Rausch-Verhältnis zwischen Liquor und den Kleinhirnschenkeln ist bei 3D-Sequenzen signifikant höher als bei 2D-Sequenzen. Als Hauptursache für den höheren Liquor-Signalverlust bei 2D-Sequenzen im Gegensatz zu 3D-Sequenzen nennen sie das „Wash-Out-Phänomen“, welches dadurch zustande kommt, dass die Liquor-Geschwindigkeit bedingt, dass der Liquor die angeregte Schicht bereits verlassen hat bevor das Signal ausgelesen wird, er wurde sozusagen aus der Schicht „ausgewaschen“. 3D-Sequenzen reduzieren diesen Effekt- und ermöglichen dünnere Schichten und das Erstellen Multiplanarer Rekonstruktionen.

Iwayama et al. empfehlen zur Erstellung von MR-Zisternographien 3D-Sequenzen. Die Darstellung der intrazisternalen Hirnnervenverläufe ist für die Diagnostik wesentlich. CSF-Signal-Verlust würde den Kontrast zwischen Liquor und Nervengewebe mindern und die Darstellung der wesentlichen Strukturen verschlechtern (Iwayama et al. 1999).

Yousry et al. erstellten in ihrer Studie bezüglich der Darstellung aller 12 Hirnnerven aus einem 3D-CISS-Datensatz Rekonstruktionen in der Orientierung des Primärdatensatzes (axial), lediglich der N. olfactorius wurde in koronarer Orientierung rekonstruiert (Yousry et al. 2000).

In der vorliegenden Arbeit wurden die Rekonstruktionen in der dem jeweiligen Verlauf eines Hirnnervenabschnittes am besten gerecht werdenden Orientierung erstellt.

4.3.3 3D-CISS-Sequenz

Aufgrund ihres hohen Liquor-Gewebe-Kontrastes eignet sich diese T2/T1-gewichtete Sequenz ideal für die Bildgebung der intrakraniell verlaufenden Hirnnerven. Im Kontrast zum signalreichen Liquor, kommen die Nervenstrukturen signalarm zur Abbildung. Die 3D-CISS-Sequenz ermöglicht insbesondere die Lokalisation der Nerven, ihre Abgrenzung gegen die Umgebung, die Darstellung von Gefäßnerven-Kontakten und die Identifizierung von Nerven-Auftreibungen.

Eine große Anzahl der Studien zur Hirnnervendarstellung stützt sich auf diese von Casselman et al. 1993 vorgestellte Sequenz. Casselman et al. setzten sie ein, um die Anatomie der Hirnnerven im Meatus acusticus internus und ihre Pathologien darzustellen (Casselmann et al. 1993).

In weiteren Studien wurde die Sequenz eingesetzt, um diese Region zu untersuchen (Casselmann et al. 1994, 1996, 1997, 1998, Held et al. 1997 und Hermans et al. 1997).

Andere Arbeiten beschreiben ihren Einsatz bei der Untersuchung anderer Hirnnerven (Heine et al. 2002, Held et al. 2000 a und b, Lemmerling et al. 1999, Linn et al. 2009 a und b, Yousry et al. 1999, 2000, 2002 a und b, 2004, 2005).

Die früheren Arbeiten haben gezeigt, dass eine 3D-CISS-Sequenz die Hirnnerven detailliert abbilden kann (Casselmann et al. 1993, 1994, 1996, 1997, 1998, Heine et al. 2002, Held et al. 1997, 2000 a und b, Lemmerling et al. 1999, Linn et al. 2009 a und b, Yousry et al. 1999, 2000, 2002 a und b, 2004, 2005).

Heine et al. beschreiben die gute Möglichkeit der Visualisierung von Gefäß-Nerven-Kontakten mittels 3D- CISS- Sequenz (Heine et al. 2002).

Kress et al. setzten die CISS-Sequenz bei 1,5 Tesla ein, um Gefäß-Nerven-Kontakte bei nicht von Trigeminusneuralgie betroffenen Probanden zu evaluieren (Kress et al. 2006).

Bei Yousry et al. wird beschrieben, dass die CISS-Sequenz die Begrenzung eines Tumors in den Zisternen gut abbilden kann (Yousry et al. 2004).

In der vorliegenden Arbeit hat sich gezeigt, dass der intrakranielle Verlauf aller zwölf Hirnnervenpaare mithilfe der eingesetzten 3D-CISS-Sequenz gut darstellbar ist. Eine Ausnahme bildet der Hirnnerv IV, dessen intrazisternaler Verlauf nicht immer vollständig abgebildet werden konnte. Dieses Problem ist in der Literatur schon vorbeschrieben. Auch anderen Arbeitsgruppen ist eine Darstellung des distalen Segments des N. trochlearis nicht gelungen. Dies kann auf den Verlauf dieses Hirnnerven unterhalb des Tentorium cerebelli zurückgeführt werden (Leblanc 2001, Yousry et al. 2002 a).

Die Darstellung der Verläufe der Hirnnerven IV, V, VI im Bereich des Sinus cavernosus war erschwert. Yousry et al. und Yagi et al. beschreiben den Einsatz von Kontrastmittel bei der Untersuchung mit der CISS-Sequenz, zur besseren Darstellung intrakanalikulärer Hirnnervenabschnitte, die von Venenplexus begleitet werden (Yousry et al. 2005) und zur verbesserten Darstellung der Hirnnerven im Bereich des Sinus cavernosus (Yagi et al. 2005). Ein Einsatz von Kontrastmittel zur besseren Visualisierung der im Sinus cavernosus verlaufenden Hirnnervensegmente wäre auf dieser Grundlage vorstellbar.

Zur Verbesserung der Abbildungsqualität, könnte die Wahl eines streng isotropen Voxelvolumen von z.B. $0,5 \times 0,5 \times 0,5 \text{ mm}^3$ im Gegensatz zu dem in dieser Studie verwandten Volumen von $0,5 \times 0,5 \times 1 \text{ mm}^3$ beitragen.

4.3.4 3D-MP-RAGE-Sequenz

Die 3D-MP-RAGE-Sequenz entwickelt auch bei 3 Tesla einen starken T1-Kontrast. Sie zeigt eine sehr gute Differenzierung von weißer und grauer Hirnsubstanz, so dass sie sich

ausgezeichnet für Darstellungen des Gehirns eignet. Die Hirnnerven zeigen im Vergleich zu den sie umgebenden signalarmen Liquorräumen hohe Signalintensität und lassen sich so gut identifizieren. Ferner ist diese Sequenz wenig anfällig für Bewegungs- und Flussartefakte (Brown und Semelka 1999, Mugler und Brookeman 1990 a und b und 1993).

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass die 3D-MP-RAGE-Sequenz mit ihrer Isovoxelgröße von 1mm^3 Rekonstruktionen der Hirnnerven in guter Qualität ermöglicht. Insbesondere die Hirnnerven I, II und III lassen sich gut im T1-Kontrast der MP-RAGE-Sequenz darstellen. Für die Darstellung der anderen Hirnnerven bietet die 3D-CISS-Sequenz überwiegend den besseren Kontrast. Jedoch stellt die T1-gewichtete MP-RAGE-Sequenz zusätzliche Informationen. Die umliegenden anatomischen Strukturen sind in dieser Sequenz einfacher zu identifizieren und zu beurteilen. Dies erleichtert in Verbindung mit der CISS-Sequenz das Auffinden der Hirnnerven und auch die Diagnostik. So ermöglicht die MP-RAGE-Sequenz nicht nur die Beurteilung der Binnenstruktur der Nerven und die Diagnostik potentieller Pathologien der Hirnnerven ohne und mit Einsatz von Kontrastmittel, sondern auch eine Untersuchung des übrigen Neurokraniums.

Die Kontrastmittelgabe bei der MP-RAGE-Sequenz kann weiterführende Informationen liefern. Zum einen könnte sich daraus eine bessere Abbildung der Hirnnerven in bestimmten Bereichen, zum Beispiel im Sinus cavernosus oder in den intrakanalikulären Abschnitten, ergeben (Yagi et al. 2005, Yousry et al. 2005). Zum anderen ist die Kontrastmittelgabe für die Beurteilung von Pathologien, zum Beispiel entzündlicher Prozesse, sinnvoll (Held et al. 2000 a und b, Lell et al. 2003, Mark et al. 1992).

4.4 Datennachbearbeitung

4.4.1 Multiplanare Rekonstruktion

Die Methode der Multiplanaren Rekonstruktion zur Hirnnervendarstellung ist in verschiedenen Studien zum Einsatz gekommen (Held et al. 1997, 2000 a und b, Lemmerling et al. 1999, Linn et al. 2009 a und b, Yousry et al. 1999, 2000, 2002 a und b, 2004, 2005). Auch in der vorliegenden Arbeit hat sich diese Form der Darstellung als für die Hirnnervenvisualisierung angemessen herausgestellt.

In der vorliegenden Arbeit wurden keine „curved“-Rekonstruktionen (Runge et al. 2005) erstellt. Dies wäre eine Möglichkeit, die Darstellung einzelner Hirnnerven, zum Beispiel die des N. abducens oder des N. accessorius eventuell noch zu verbessern.

Als Kritikpunkt zur MPR kann man anführen, dass für die Beurteilung der Rekonstruktionen ein hohes Abstraktionsvermögen des Betrachters notwendig ist. Eine Volume-Rendering-Technik, wie sie in der Veröffentlichung zur virtuellen Zisternoskopie der Hirnnerven V-VIII von Heine et al. eingesetzt wurde, könnte eventuell auch bei der Darstellung aller 12 Hirnnerven zum Einsatz kommen und durch ihre Plastizität dem Betrachter eine bessere Orientierung ermöglichen (Heine et al. 2002).

Die Beurteilung der Hirnnerven könnte, wenn technisch möglich, auch direkt auf einer medizinischen Workstation erfolgen. Das „bewegte“ Bild, das aufgrund des 3D-Datensatzes zu betrachten ist, lässt eine gute Orientierung und Beurteilung der Strukturen im Kontext mit ihrer Umgebung zu.

Insgesamt lassen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit darauf schließen, dass die Erstellung Multiplanarer Rekonstruktionen aus 3D-Datensätzen eine Methode ist, die die Darstellung der Hirnnerven in für die neuroradiologische Diagnostik angemessener Qualität, bei adäquatem Zeitaufwand, ermöglicht.

4.4.2 Hirnnervendarstellung

4.4.2.1 N. olfactorius/ Hirnnerv I

Yousry et al. stellten den ersten Hirnnerven in koronarer Orientierung mittels T2-gewichteter TSE-Sequenz und in koronarer und axialer Orientierung mittels CISS-Sequenz dar (Yousry et al. 2000).

Bei Held et al. wurde beschrieben, dass sich Bulbus und Tractus olfactorius mittels 3D-MP-RAGE und 3D-CISS-Sequenz besser darstellen lassen als mittels 2D-TSE-Sequenz. Sie beurteilten die Qualität der Darstellung im T1-Kontrast höher als die im Kontrast der CISS-Sequenz (Held et al. 2000 b).

Die vorliegende Arbeit zeigte, dass der Kontrast der CISS-Sequenz und die koronare Orientierung zur Darstellung des Nervus und Tractus olfactorius am besten geeignet sind. Jedoch war der N. olfactorius am Rande des für die Studie festgelegten 3D-Blockes der 3D-CISS-Sequenz gelegen, so dass die Ergebnisse für diesen Hirnnerven aufgrund von Artefaktbildungen und Anschnitten des Hirnnerven nicht von der höchsten zu erreichenden Qualität waren.

Eine Verschiebung der Begrenzungen des 3D-Blockes um wenige Millimeter nach kranial, könnte die Abbildungsmöglichkeiten erheblich verbessern, so dass auch die Erstellung paraaxialer Rekonstruktionen in allen Fällen möglich wäre.

4.4.2.2 N. opticus/ Hirnnerv II

Die Darstellung des Hirnnerven II ist in der Bildgebung bereits etabliert. Es werden zur Beurteilung des N. opticus, zum Beispiel bei Verdacht auf Neuritis nervi optici, insbesondere T1-gewichtete fettunterdrückte Sequenzen ohne und mit Kontrastmittel gefahren.

Held et al. haben die Visualisierung des zweiten Hirnnerven mittels CISS- und MP-RAGE-Sequenz evaluiert. Sie sind zu dem Schluss gekommen, dass dieser Hirnnerv sich in beiden Kontrasten in guter Qualität abbilden lässt. Sie empfehlen für die Diagnostik beide Sequenzen einzusetzen, um Pathologien adäquat beurteilen zu können (Held et al. 2000a).

In der vorliegenden Arbeit konnten sowohl im T1-Kontrast der MP-RAGE-Sequenz, als auch im Kontrast der CISS-Sequenz paraaxiale, parasagittale und koronare Rekonstruktionen erstellt werden.

4.4.2.3 N. oculomotorius / Hirnnerv III

Held et al. haben neben der Darstellung des zweiten Hirnnerven auch die des dritten mittels CISS- und MP-RAGE-Sequenz beurteilt. Sie schlussfolgern, dass auch dieser Hirnnerv sich mithilfe beider Sequenzen in hoher Qualität darstellen lässt. Sie empfehlen daher auch für die Beurteilung des N. oculomotorius beide Sequenzen einzusetzen (Held et al. 2000 a).

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass aus den Primärdatensätzen der MP-RAGE- und der CISS-Sequenz paraaxiale, parasagittale und koronare Rekonstruktionen des N. oculomotorius in diagnostischer Qualität erstellt werden können.

4.2.2.4 N. trochlearis/ Hirnnerv IV

Die MRT-Darstellung des vierten Hirnnerven wurde bereits durch Leblanc 1995 gezeigt (aktuelle Auflage des Werkes: Leblanc 2001).

Casselmann et al. zeigten die Darstellung des N. trochlearis durch die CISS-Sequenz (Casselmann et al. 1998).

Yousry et al. stellten den proximalen zisternalen Abschnitt des N. trochlearis mittels CISS-Sequenz bei 1,5 Tesla dar. Zur Beurteilung seiner Beziehungen zu benachbarten Gefäßen, setzten sie eine TOF-MRA mit und ohne Kontrastmittel ein. Sie bestimmten die

darstellbare Länge des Nerven, den Abstand zwischen seinem Austrittspunkt und der Mittellinie und seine Beziehungen zu Gefäßen. Sie befanden die CISS-Sequenz für sinnvoll zur Darstellung des vierten Hirnnerven. Um zu verhindern, den N. trochlearis mit einem Gefäß zu verwechseln, verglichen sie die Strukturen, die durch die CISS-Sequenz abgebildet wurden mit denen, die durch die TOF-MRA abgebildet wurden. Der Hirnnerv IV konnte in der TOF-MRA nicht identifiziert werden (Yousry et al. 2002 a).

In der hier vorliegenden Arbeit war der proximale zisternale Abschnitt des N. trochlearis mittels CISS-Sequenz in der paraaxialen Orientierung am besten zu identifizieren. Eine Identifizierung in der koronaren Schichtführung war nur in Ausnahmefällen möglich und nicht in einer für die Diagnostik ausreichenden Qualität. Der weitere Verlauf des vierten Hirnnerven ließ sich nicht darstellen. Sein distales zisternales Segment, das unterhalb des Tentorium cerebelli verläuft war nicht darstellbar. Nur bei abweichendem Verlauf, wenn der N. trochlearis nicht direkt unterhalb des Tentorium cerebelli in den Sinus cavernosus eintritt, sondern seinen Kurs zur Mittellinie hinwendet und oberhalb des N. ophthalmicus (V1) in den Sinus cavernosus eintritt, ist eine Identifizierung möglich gewesen. Diese beiden in dieser Arbeit vorgefundenen Formen des Eintritts des N. trochlearis in den Sinus cavernosus, sind in der Literatur bereits beschrieben (Ferner und Kautzky 1959, Lang 1974). Die Darstellung im Sinus cavernosus war nicht erfolgreich. Hier könnte der Einsatz von Kontrastmittel sowohl bei der CISS- als auch bei der MP-RAGE-Sequenz hilfreich sein (Ettl und Salomonowitz 2004, Korogi et al. 1991, Yagi et al. 2005, Yousry 2002 a und 2005). Die MP-RAGE-Sequenz erwies sich insgesamt als ungeeignet zur Darstellung dieses Hirnnerven.

4.4.2.5 N. trigeminus/ Hirnnerv V

Williams et al. zeigten, dass eine Darstellung des N. trigeminus und seiner drei Hauptäste mithilfe einer T1-gewichteten-Sequenz unter Einsatz von Kontrastmittel erfolgen kann (Williams et al. 2003).

Yousry et al. führten eine Studie zur Darstellung des N. trigeminus mithilfe einer kontrastgestützten CISS-Sequenz durch. Sie setzten zusätzlich eine kontrastgestützte TOF-MRA ein. Sie schließen aus ihren Untersuchungen, dass die 3D-CISS-Sequenz mit Kontrastmittel sehr gut zur Darstellung des fünften Hirnnerven und seiner drei Hauptäste geeignet ist. Die kontrastgestützte TOF-MRA erbrachte eine sehr gute Darstellung der drei Hauptäste (Yousry 2005).

In der hier vorliegenden Untersuchung war eine Visualisierung des fünften Hirnnerven sehr gut möglich. Es konnte mithilfe der CISS-Sequenz eine Darstellung der sensorischen Wurzel, des Ganglions und der Aufspaltung in die drei Hauptäste erfolgen. Die weiterführende Darstellung der drei Hauptäste war erschwert. Insbesondere die im Sinus cavernosus verlaufenden Äste V1 und V2 ließen sich nicht regelmäßig in diagnostischer Qualität abbilden. In der Praxis könnte die von Yousry et al. vorgestellte CISS-Sequenz mit Kontrastmittel bessere Ergebnisse ermöglichen. Eine Verbesserung der Darstellung könnte auch durch den Einsatz von Kontrastmittel bei der MP-RAGE-Sequenz erzielt werden (Williams et al. 2003).

4.2.2.6 N. abducens/ Hirnnerv VI

Die MRT-Darstellung des sechsten Hirnnerven wurde bereits durch Leblanc 1995 vorgestellt (aktuelle Auflage des Werkes: Leblanc 2001).

Casselmann et al. zeigten die Darstellung des N. abducens 1998 mithilfe der von ihnen 1993 vorgestellten CISS-Sequenz (Casselmann et al. 1998).

Lemmerling et al. und Yousry et al. stellten den N. abducens mittels CISS-Sequenz bei 1,5 Tesla erfolgreich dar. Beide nutzten Dorells Kanal als Landmarke zum Auffinden des Nerven. Yousry et al. beschreiben zusätzlich den Colliculus facialis als Landmarke (Lemmerling et al. 1999, Yousry et al. 1999).

Die hier vorliegende Arbeit zeigt die Darstellung des Hirnnerven VI im Kontrast der CISS-Sequenz, ausgehend von seinem Austrittspunkt aus dem Hirnstamm bis hin zum Sinus cavernosus. Der Verlauf im Sinus cavernosus konnte nicht in diagnostischer Qualität dargestellt werden. Wie auch auf die anderen im Sinus cavernosus verlaufenden Nerven zutreffend, könnte eine Verbesserung der Visualisierung durch Kontrastmittelgabe sowohl bei der MP-RAGE- als auch bei der CISS-Sequenz erreicht werden (Ettl und Salomonowitz 2004, Korogi et al. 1991, Yagi et al. 2005, Yousry 2002 a und 2005).

Die Darstellung des sechsten Hirnnerven im T1-Kontrast der MP-RAGE war erfolgreich, jedoch nicht in der hohen Qualität der CISS-Sequenz. Für eine Beurteilung pathologischer Prozesse die den N. abducens betreffen, wäre der Einsatz der MP-RAGE-Sequenz zu empfehlen.

4.2.2.7 N. facialis/ Hirnnerv VII und N. vestibulocochlearis/ Hirnnerv VIII

Da die Arbeiten über den Bereich des Kleinhirnbrückenwinkels zumeist die Hirnnerven VII und VIII untersuchen, werden sie hier gemeinsam betrachtet.

Casselmann et al. untersuchten den Kleinhirnbrückenwinkel und die Innenohrstrukturen mit der CISS-Sequenz. Ihre Studien zeigten die sehr gute Eignung dieser Sequenz zur Untersuchung dieses Areals (Casselmann et al. 1993, 1994, 1996, 1997).

Held et al. setzten zur Untersuchung dieses Bereiches sowohl eine 3D-CISS- Sequenz als auch eine 3D-MP-RAGE- Sequenz mit und ohne Kontrastmittel ein. Aus ihren Ergebnissen schlossen sie, dass die CISS-Sequenz für die Darstellung der Innenohrstrukturen und des N. facialis gut geeignet ist. Sie empfehlen den Einsatz der CISS- und der MP-RAGE-Sequenz mit und ohne Kontrastmittel zur Beurteilung neoplastischer, entzündlicher und vaskulärer Läsionen (Held 1997).

Heine et al. konnten auf der Grundlage der CISS-Sequenz unter anderem virtuelle Zisternographien zur Darstellung der Hirnnerven VII und VIII erstellen (Heine et al. 2002).

In der hier vorliegenden Arbeit konnte eine gute Darstellung der Hirnnerven VII und VIII im Kontrast der CISS-Sequenz erreicht werden. Die Differenzierung der Hirnnerven VII und VIII und die Unterteilung des Hirnnerven VIII in seine Komponenten N. cochlearis, N. vestibularis superior und N. vestibularis inferior konnten durch Erstellung Multiplanarer Rekonstruktionen in allen drei Orientierungen möglich gemacht werden. Eine Darstellung der Hirnnerven VII und VIII mithilfe der MP-RAGE-Sequenz war möglich, jedoch nicht in der hohen Qualität der CISS-Sequenz. Zur Beurteilung pathologischer Prozesse in diesem Bereich kann die MP-RAGE-Sequenz mit und ohne Kontrastmittel sicher gute Beiträge leisten.

4.4.2.8 N. glossopharyngeus, N. vagus, N. accessorius/ Hirnnerven IX, X, XI

Die Hirnnerven IX, X und XI werden in der Literatur zumeist gemeinsam beschrieben. Auch hier werden sie nun gemeinsam betrachtet.

Yousry et al. und Linn et al. konnten zeigen, dass die CISS-Sequenz bei 1,5 Tesla eine Visualisierung der kaudalen Hirnnervengruppe mit Differenzierung der Hirnnerven IX, X und der spinalen Wurzel von IX ermöglicht (Linn et al. 2009 a und b, Yousry et al. 2000 und 2004).

In der vorliegenden Arbeit konnte eine differenzierte Darstellung der Hirnnerven IX, X und

IX in diagnostischer Qualität erreicht werden.

In der hierfür am besten geeigneten CISS-Sequenz kamen regelmäßig die Hirnnerven IX und X gut abgrenzbar zur Darstellung. Die kraniale Wurzel des N. accessorius ließ sich aufgrund seines Verlaufes in sehr enger Nachbarschaft, beziehungsweise seines häufig gemeinsamen Verlaufes mit dem N. vagus nicht regelmäßig abgrenzen. Die spinale Wurzel des N. accessorius konnte dargestellt werden.

Die MP-RAGE-Sequenz bildete diese kaudale Hirnnervengruppe ab, jedoch nicht in der Qualität der CISS-Sequenz. Für die Diagnostik wäre ihr Einsatz sinnvoll.

4.4.2.9 N. hypoglossus/ Hirnnerv XII

Yousry et al. zeigten in ihrer Arbeit zur MRT-Darstellung des zwölften Hirnnerven, dass die beste Eignung zu seiner Abbildung die CISS-Sequenz besitzt. Sie schlagen den Einsatz von Kontrastmittel vor, zur besseren Darstellung der intrakanalikulären Abschnitte des Nerven (Yousry et al. 2002 b).

In der vorliegenden Arbeit konnte eine Darstellung des Hirnnerven XII mithilfe der CISS-Sequenz erreicht werden. In paraaxialer und koronarer Orientierung war eine Abbildung des zwölften Hirnnerven von seinem Austritt aus dem Hirnstamm bis hin zum Canalis nervi hypoglossi möglich. Die Notwendigkeit einer Kontrastmittelgabe zur besseren Darstellung intrakanalikulärer Segmente, wie von Yousry et al. beschrieben kann in Erwägung gezogen werden.

5 Zusammenfassung

Die Zielsetzung der hier vorliegenden Untersuchungen war es, die Datenakquisition und Datennachbearbeitung hochauflösender 3Tesla-MRT-Daten so zu optimieren, dass eine Darstellung der intrakraniellen Verläufe aller zwölf Hirnnervenpaare ermöglicht wird.

Es sollten Sequenzen zusammengestellt werden, die die Visualisierung des intrakraniellen Verlaufes der Hirnnerven ebenso möglich machen, wie die potentieller pathologischer Erscheinungen der Hirnnerven.

Die Datenakquisition sollte dahingehend optimiert werden, dass das erarbeitete Untersuchungsprotokoll das Erstellen von Datensätzen ermöglicht, die sowohl ein hohes Auflösungsvermögen und ein angemessenes Signal-zu-Rausch-Verhältnis aufweisen als auch die Nachbearbeitung in Form Multiplanarer Rekonstruktionen unterstützen.

Das so entstandene Standarduntersuchungsprotokoll für die Hirnnervenuntersuchung sollte eine Messzeit von ungefähr 30 Minuten nicht überschreiten, um sich die Möglichkeit einer Anwendung in der Routinebildgebung offen zu halten.

Die Datennachbearbeitung sollte so gestaltet werden, dass sie einfach nachzuvollziehen und in der klinischen Diagnostik anwendbar ist.

Es wurde das Verfahren der Multiplanaren Rekonstruktion für die Nachbearbeitung ausgewählt. Dieses Verfahren ermöglicht die Visualisierung der intrakraniell verlaufenden Hirnnervenanteile in diagnostischer Qualität und ist in der klinischen Bildgebung gut einsetzbar.

In drei Pilotstudien wurde das Standarduntersuchungsprotokoll für die Hirnnervenuntersuchung erarbeitet. Dieses enthielt vier 3D-Sequenzen. Eine T1-gewichtete 3D-MPRAGE-Sequenz, eine T2/T1-gewichtete 3D-CISS-Sequenz, eine T2-gewichtete 3D-TSE-Sequenz und eine 3D-TOF-MRA.

Mit diesem Untersuchungsprotokoll wurden in der Hauptstudie 10 Probanden untersucht, die anamnestisch und klinisch keine Pathologien der Hirnnerven aufwiesen.

Die Nachbearbeitung der Datensätze der Probanden der Voruntersuchungen ergab bereits, dass die T2-gewichtete TSE-Sequenz und die TOF-MRA zur Darstellung der Hirnnerven in dieser Untersuchung keinen Beitrag in diagnostischer Qualität leisten konnten, so dass diese Daten in dieser Arbeit vernachlässigt wurden. Beide Sequenzen wurden unter Berücksichtigung potentieller Pathologien anderer Lokalisation als die der Hirnnerven weiterhin im Protokoll belassen.

Das erarbeitete Akquisitions- und Nachbearbeitungs-Protokoll ist für die Darstellung der intrakraniellen Verläufe aller zwölf Hirnnervenpaare geeignet.

Probleme traten auf bei der Darstellung der im Sinus cavernosus verlaufenden Abschnitte der Hirnnerven IV, V und VI. Hier könnte eine Kontrastmittelgabe, die bei den gesunden Probanden nicht erfolgte, bei der Untersuchung von Patienten bessere Ergebnisse erzielen.

Die Darstellung der kaudalen Hirnnerven konnte nicht in allen Fällen einwandfrei erreicht werden. Die Anwendung einer Kopf-Hals-Spule anstelle einer Kopf-Spule könnte eine bessere Ausleuchtung der interessierenden Region und somit bessere Ergebnisse erzielen.

Insgesamt könnte die Darstellungsqualität der Rekonstruktionen im CISS-Kontrast durch ein streng isotropes Voxelvolumen, im Gegensatz zum hier eingesetzten nur annähernd isotropen Volumen, mit Sicherheit entscheidend verbessert werden.

6 Literaturverzeichnis

Baudendistel et al. 2004: Baudendistel KT, Heverhagen JT, Knopp MV (2004): Klinische MRT bei 3 Tesla: Aktueller Stand. Radiologe 44 (1): 11- 8

Brown und Semelka 1999: Brown MA, Semelka RC (1999): MR Imaging Abbreviations, Definitions, and Descriptions: A Review. Radiology 213: 647- 62

Caillet et al. 1990: Caillet H, Delvalle A, Doyon D, Sigal R, Francke JP, Halimi P, Bely N (1990): Visibility of cranial nerves at MRI. J Neuroradiol 17 (4):289-302

Casselmann et al. 1993: Casselman JW, Kuhweide R, Deimling M, Ampe W, Dehaene I, Meeus L (1993): Constructive interference in steady state- 3DFT MR imaging of the inner ear and cerebellopontine angle. Am J Neuroradiol 14 (1): 47- 57

Casselmann et al. 1994: Casselman JW, Kuhweide R, Dehaene I, Ampe W, Devlies F (1994): Magnetic resonance examination of the inner ear and cerebellopontine angle in patients with vertigo and/ or abnormal findings at vestibular testing. Acta Otolaryngol 513: 15- 27

Casselmann et al. 1996: Casselman JW, Kuhweide R, Ampe W, D' Hont G, Offeciers EF, Faes WK, Pattyn G (1996): Inner ear malformations in patients with sensoneural hearing loss: detection with gradient- echo (3DFT- CISS) MRI. Neuroradiology 38: 278- 86

Casselmann et al. 1997: Casselman JW, Offeciers FE, Govaerts PJ, Kuhweide R, Geldof H, Somers T, D'Hont G (1997): Aplasia and Hypoplasia of the Vestibulocochlear Nerve: Diagnosis with MR Imaging. Radiology 202: 773- 81

Casselmann et al. 1998: Casselman JW, Dehaene I (1998): Imaging of the IIIrd, IVth and VIth cranial nerves. Neuroophthalmology 19 (2): 63- 8

Castillo 2002: Castillo M (2002): Imaging of the upper cranial nerves I, III- VIII, and the cavernous sinuses. Magn Reson Imaging Clin N Am 10 (3): 415- 31

Dorello 1905: Dorello P (1905): Considerazioni sopra la causa della paralisi transitoria dell'abducente nelle flogosi dell'orecchio medio. Atti Clin Otorinolaringoiatrica Univ Roma 3: 209- 217

Dorello 1906: Dorello P (1906): Über die Ursache der transitorischen Abducenslähmung bei Mittelohrentzündungen. Int Centralbl Ohrenheilkd 4: 418- 9

Ettl und Salomonowitz 2004: Ettl A, Salomonowitz E (2004): Visualization of the oculomotor cranial nerves by magnetic resonance imaging. Strabismus:12 (2): 85- 96

Ferner und Kautzky 1959: Ferner H, Kautzky R: Handbuch der Neurochirurgie. Grundlagen 1, Angewandte Anatomie. Physiologie. Pathophysiologie. Berlin- Göttingen- Heidelberg. Springer 1959

Fischbach et al. 2003: Fischbach F, Lehmann TN, Ricke J, Bruhn H (2003): Vascular compression in glossopharyngeal neuralgia:demonstration by high- resolution MRI at 3 tesla. *Neuroradiology* 45 (11): 810- 1

Fischbach et al. 2008: Fischbach F, Müller M, Bruhn H (2008): Magnetic resonance imaging of the cranial nerves in the posterior fossa: a comparative study of t2-weighted spin-echo sequences at 1.5 and 3.0 tesla. *Acta Radiol* 49 (3): 358-63

Frayne et al. 2003: Frayne R, Goodyear BG, Dickhoff P, Lauzon ML, Sevick RJ (2003): Magnetic resonance imaging at 3.0 Tesla: challenges and advantages in clinical neurological imaging. *Invest Radiol* 38 (7): 385-402

Graf et al. 2004: Graf H, Schick F, Claussen CD, Seemann MD (2004): MR Visualization of the Inner Ear Structures: Comparison of 1, 5 Tesla and 3 Tesla Images. *Fortschr Röntgenstr* 2004 176 (1): 17-20

Heine et al. 2002: Heine CN, Klingebiel R, Lehmann R (2002): Three- dimensional MR visualization of the intracisternal course of the cranial nerves V- VIII by virtual cisternography. *Acta Radiol* 43 (3): 242- 8

Held et al. 1997: Held P, Fellner C, Fellner F, Seitz J, Graf S, Hilbert M, Strutz J (1997): MRI of the inner ear and facial nerve pathology using 3D MP- RAGE and 3 D CISS sequences. *Br J Radiol* 70 (834): 558- 66

Held et al. 2000 a: Held P, Nitz W, Seitz J, Fründ R, Müller HM, Haffke T, Hees H (2000 a): Comparison of 2D and 3D MRI of the optic and oculomotor nerve anatomy. *Clin Imaging* 24 (6): 337- 43

Held et al. 2000 b: Held P, Seitz J, Fründ R, Nitz WR, Haffke T, Hees H, Bonkowsky V (2000 b): MRI detection of olfactory bulb and tract. *J Neuroradiol* 27 (2): 112- 8

Hendrix 2003: Hendrix A : Magnete, Spins und Resonanzen. Eine Einführung in die Grundlagen der Magnetresonanztomographie. Siemens Medical Solutions Magnetresonanztomographie Erlangen 2003

Hermans et al.1997: Hermans R, Van der Goten A, De Foer B, Baert AL (1997): MRI screening for acoustic neuroma without gadolinium: value of 3DFT- CISS- sequence. *Neuroradiology* 39 (8): 593- 8

Iwayama et al. 1999: Iwayama E, Naganawa S, Ito T, Fukatsu H, Ikeda M, Ishigaki T, Ichinose N (1999): High- Resolution MR Cisternography of the Cerebellopontine Angle: 2D versus 3D Fast Spin- Echo Sequences. *Am J Neuroradiol* 20 (5): 889- 95

Kang et al. 2000: Kang MY, Holland JM, Stevens KR (2000): Cranial neuropathy following curative chemotherapy and radiotherapy for carcinoma of the nasopharynx. *J Laryngol Otol* 114 (4): 308- 10

Korogi et al. 1991: Korogi Y, Takahashi M, Sakamoto Y, Shinzato J (1991): Cavernous sinus: correlation between anatomic and dynamic gadolinium-enhanced MR- imaging findings. *Radiology* 180 (1): 235- 7

Kress et al. 2004: Kress B, Rasche D, Fiebach J, Tronnier V, Sartor K, Stippich C (2004): MR Volumetrie des N. trigeminus bei Patienten mit einseitigen Gesichtsschmerzen. *Fortschr Röntgenstr* 176 (5): 719- 23

Kress et al. 2006: Kress B, Schindler M, Rasche D, Hähnel S, Tronnier V, Sartor K (2006): Trigemini neuralgie: Wie häufig gibt es einen Gefäß- Nerven-Kontakt bei schmerzfreien Probanden? *Fortschr Röntgenstr* 178 (3): 313- 5

Lang 1974: Lang J (1974): Eintritt und Verlauf der Hirnnerven (III, IV, VI) „im“ Sinus cavernosus. *Z. Anat. Entwickl.- Gesch* 145, 87- 99

Lanz et al. 1979: Lanz T v, Wachsmuth W, Lang J: *Praktische Anatomie. Ein Lehr- und Hilfsbuch der anatomischen Grundlagen ärztlichen Handelns. 1. Bd., Teil 1 Kopf. Teil B Gehirn- und Augenschädel.* Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1979

Larson et al. 2002: Larson TC 3rd, Aulino JM, Laine FJ (2002): Imaging of the glossopharyngeal, vagus, and accessory nerves. *Semin Ultrasound CT MR.* 23 (3): 238- 55

Leblanc 2001: Leblanc A : *Encephalo- Peripheral Nervous System;* Springer- Verlag, Berlin Heidelberg New York, 2001

Lell et al. 2003: Lell M, Schmid A, Stemper B, Maihöfner C, Heckmann JG, Tomandl BF (2003): Simultaneous involvement of third and sixth nerve in a patient with Lyme disease. *Neuroradiology* 45(2):85-7

Lemmerling et al. 1999: Lemmerling M, De Praeter G, Mortelé, Vyt S, Vanzielegem B, Coolens D, Kunnen M (1999): Imaging of the normal pontine cisternal segment of the abducens nerve, using three- dimensional constructive interference in the steady state MRI. *Neuroradiology* 41 (5): 384- 6

Linn et al. 2009 a: Linn J, Peters F, Moriggl B, Naidich TP, Brückmann H, Yousry I (2009): The jugular foramen: Imaging strategy and detailed anatomy at 3 T. *Am J Neuroradiol* 30: 34-41

Linn et al. 2009 b: Linn J, Moriggl B, Schwarz F, Naidich TP, Schmid DU, Wiesmann M, Brückmann H, Yousry I (2009): Cisternal segments of the glossopharyngeal, vagus, and accessory nerves: detailed magnetic resonance imaging-demonstrated anatomy and neurovascular relationships. *J Neurosurg* 110(5): 1026-41

Marinkovic et al. 1996: Marinkovic S, Gibi H, Zelic O, Nikodijevic I (1996): The neurovascular relationships and the blood supply of the trochlear nerve: surgical anatomy of its cisternal segment. *Neurosurgery* 38 (1):161- 9

Mark et al. 1992: Mark AS, Blake P, Atlas SW, Ross M, Kolsky M (1992): Gd- DTPA enhancement of the cisternal portion of the oculomotor nerve on MR imaging. *Am J Neuroradiol* 13 (5): 1463- 1470

Marsot-Dupuch et al. 2000: Marsot-Dupuch K, Gallouedec G, Bousson V. Bonneville F, Vidailhet M, Tubiana JM (2000): Facial palsy, enhancement of cranial nerves and Lyme disease. *J Radiol* 81 (1): 43- 5

Mugler und Brookeman 1990 a: Mugler JP 3rd, Brookeman JR (1990 a): Rapid three- dimensional T1- weighted MR imaging with the MP- RAGE sequence. *J Magn Reson Imaging* 1 (5): 561- 7

Mugler und Brookeman 1990 b: Mugler JP 3rd, Brookeman JR (1990 b): Three- dimensional magnetization- prepared rapid gradient- echo imaging (3D MP RAGE). *Magn Reson Med* 15 (1): 152- 7

Mugler und Brookeman 1993: Mugler JP 3rd, Brookeman JR (1993): Three- dimensional magnetic resonance imaging. United States Patent 5245282

Netter 1997: Netter FH: Atlas der Anatomie des Menschen; Novartis AG, Basel/ Schweiz 1997

Neuhuber 2004: Neuhuber W: Hirnnerven (Nn. craniales); in Benninghoff/ Drenckhahn: Anatomie, Band 2, 16. Auflage, Elsevier GmbH, Urban & Fischer Verlag, München 2004.
Kapitel 12.10 : 547- 565

Nielsen et al. 2006: Nielsen K, Rostrup E, Frederiksen JL, Knudsen S, Mathiesen HK , Hanson LG, Paulson OB (2006): Magnetic Resonance Imaging at 3.0 Tesla Detects More Lesions in Acute Optic Neuritis Than at 1,5 Tesla. *Invest Radiol* 41 (2) : 76- 82

Ono et al. 2004: Ono K, Arai H, Endo T, Tsunoda A, Sato K, Sakai T, Makita J (2004): Detailed MR Imaging Anatomy of the Abducent Nerve: Evagination of CSF into Dorello Canal. *Am J Neuroradiol* 25: 623-6

Röttgen et al. 2005: Röttgen R, Haltaufderheide K, Schröder RJ, Lorenz M, Herzog H, Neumann F, Lehmkuhl L, Winter L, Felix R, Bruhn H (2005): Auswirkungen der Feldstärke bei der standardisierten Kernspintomographie des Gehirns am Beispiel der Darstellung von Hirnnerven und Gefäßen in den basalen Zisternen: Vergleich zwischen 1, 5 Tesla und 3,0 Tesla. *Fortschr Röntgenstr* 177: 530- 5

Runge et al. 2005: Runge VM, Nitz WR, Schmeets SH, Desai NK (2005): The Physics of Clinical MR Taught Through Images. Thieme, New York 2005

Shenouda et al. 2005: Shenouda EF, Moss TH, Coakham HB (2005): Cryptic cerebellopontine angle neuroglial cyst presenting with hemifacial spasm. *Acta Neurochir (Wien)* 147: 787- 9

Thiel und Gleissner 2006: Thiel E, Gleissner B (2006): Meningeosis neoplastica. *Dtsch Arztebl* 103 (39): 2559- 65

Trepel 1999: Trepel M: Neuroanatomie- Struktur und Funktion; 2. Auflage, Urban & Fischer Verlag, München 1999

Tronnier et al. 2002: Tronnier VM, Rasche D, Hamer J, Kunze S (2002): Neurochirurgische Therapie der Gesichtsnuralgien. Schmerz 16 (5): 404- 11

Umansky et al. 1991: Umansky F, Elidan J, Valarezo A (1991): Dorello´s canal: a microanatomical study. J Neurosurg 75 (2): 294- 8

Villain et al. 1993: Villain M, Segnarbieux F, Bonnel F, Aubry I, Arnaud B (1993): The trochlear nerve: anatomy by microdissection. Surg Radiol Anat 15 (3): 169- 73

Weishaupt et al. 2006: Weishaupt D, Köchli VD, Marincek B: Wie funktioniert MRI? 5. Auflage, Springer Medizin Verlag, Heidelberg 2006

Williams et al. 2003: Williams LS, Schmalfuss IM, Siström CL, Inoue T, Tanaka R, Seoane ER, Mancuso AA (2003): MR Imaging of the Trigeminal Ganglion, Nerve and Perineural Vascular Plexus: Normal Appearance and Variants with Correlation to Cadaver Specimens. Am J Neuroradiol 24: 1317- 23

Yagi et al. 2005: Yagi A, Sato N, Taketomi A, Nakajima T, Morita H, Koyama Y, Aoki J, Endo K (2005): Normal Cranial Nerves in the Cavernous Sinuses: Contrast- Enhanced Three- Dimensional Constructive Interference in the Steady State MR Imaging. Am J Neuroradiol 26 (4): 946- 50

Yousry et al. 1999: Yousry I, Camelio S, Wiesmann M, Schmid UD, Moriggl B, Brückmann H, Yousry TA (1999) : Detailed magnetic resonance imaging anatomy of the cisternal segment of the abducent nerve: Dorello`s canal and neurovascular relationships and landmarks. J Neurosurg 91 (2): 276- 83

Yousry et al. 2000: Yousry I, Camelio S, Schmid UD, Horsfield MA, Wiesmann M, Brückmann H, Yousry TA (2000): Visualization of cranial nerves I- XII: Value of 3D CISS and T2- weighted FSE sequences. Eur Radiol 10: 1061- 7

Yousry et al. 2002 a: Yousry I, Moriggl B, Dieterich M, Naidich TP, Schmid UD, Yousry TA (2002a): MR Anatomy of the Proximal Cisternal Segment of the Trochlear Nerve: Neurovascular Relationships and Landmarks. Radiology 223: 31- 8

Yousry et al. 2002 b: Yousry I, Moriggl B, Schmid UD, Wiesman M, Fesl G, Brückmann H, Naidich TP, Yousry TA (2002 b): Detailed anatomy of the intracranial segment of the hypoglossal nerve: neurovascular relationships and landmarks on magnetic resonance imaging sequences. J Neurosurg 96(6): 1113- 22

Yousry et al. 2004: Yousry I, Muacevic A, Olteanu- Nerbe V, Naidich TP, Yousry TA (2004): Exophytic pilocytic astrocytoma of the brain stem in an adult with encasement of the caudal cranial nerve complex (IX-XII): presurgical anatomical neuroimaging using MRI. *Eur Radiol* 14 (7): 1169- 73

Yousry et al. 2005: Yousry I, Moriggl B, Schmid UD, Naidich TP, Yousry TA (2005): Trigeminal Ganglion and its Divisions: Detailed Anatomic MR Imaging with Contrast- Enhanced 3D Constructive Interference in the Steady State Sequences. *AJNR Am J Neuroradiol* 26: 1128- 35

7 Verzeichnis der Abkürzungen und Fachausdrücke

A. = Arteria

Abb. = Abbildung

AP= Austrittspunkt

CD-ROM= Compact Disc-Read Only Memory

CGL= Corpus geniculatum laterale

CISS= Constructive-Interference-in-Steady-State

CNR= Contrast-to-Noise-Ratio/ Kontrast-zu-Rausch-Verhältnis

CSF= Cerebro Spinal Fluid/ Cerebro Spinale Flüssigkeit

DICOM= Digital Imaging and Communications in Medicine

2D= zweidimensional

3D= dreidimensional

FOV= Field-Of-View

Ggl. = Ganglion

HN= Hirnnerv

iPAT2= integrated Parallel Acquisition Techniques (mit Beschleunigungsfaktor 2)

JPEG= Joint Photographic Experts Group

Lig. = Ligamentum

M. = Musculus

MP-RAGE= Magnetization-Prepared–Rapid-Gradient-Echo

MPR= Multiplanare Rekonstruktion/ Multiplanare Reformation

MRT= Magnetresonanztomographie

MW= Mittelwert

N. = Nervus

NBD= Nachbearbeitungsdauer

NBZ= Nachbearbeitungszeit

Ncl.= Nucleus

Nn. = Nervi

Pixels= Picture Elements

R.= Ramus

SA= Standardabweichung

S.C.= Sinus cavernosus

SNR= Signal-to-Noise-Ratio/ Signal-zu-Rausch-Verhältnis

Tab.= Tabelle

T1= longitudinale Relaxationszeit

T2= transversale Relaxationszeit

TE= Echozeit/ Echoausleseverzögerung

TFL= Turboflash

TI= Inversionszeit

TIR= Turbo-Inversion Recovery

TIRM= Turbo-Inversion Recovery Magnetude

TOF- MRA= Time-Of-Flight-Magnetic-Resonance-Angiography

TR= Repetitionszeit

TSE= Turbo-Spin- Echo

USB= Universal-Serial-Bus

Voxels= Volume Elements

w= weighted/ gewichtet

Auf der Grundlage der vorliegenden Arbeit entstand folgende Veröffentlichung:

Larsen J, Brüggemann AK, Helms G, Knauth M (2006): Hirnnerven-anatomie mittels Volumen-Sequenzen bei 3 Tesla-Optimierung von Schichtführung und Kontrast.

Vortrag im Rahmen des 87. Deutschen Röntgenkongresses, 24.- 27. Mai 2006, Berlin.

- Einverständniserklärung MR-Untersuchung (Proband) -

- Fassung 21.09.2005 -

Einverständniserklärung zur Magnetresonanz-Untersuchung

MR-Forschung in der Neurologie und Psychiatrie

Bereich Humanmedizin - Georg-August-Universität Göttingen

Name, Vorname:.....

Ich,....., wurde von einem Mitarbeiter der Forschergruppe „MR-Forschung in der Neurologie und Psychiatrie“ vollständig über Wesen, Bedeutung und Tragweite der Magnetresonanz-Untersuchung aufgeklärt. Ich habe den Aufklärungstext gelesen und verstanden. Ich hatte die Möglichkeit, Fragen zu stellen, und habe die Antworten verstanden und akzeptiere sie. Ein Mitarbeiter der Forschergruppe „MR-Forschung in der Neurologie und Psychiatrie“ hat mich über die mit der Teilnahme an der Untersuchung verbundenen Risiken und den möglichen Nutzen informiert.

Ich hatte ausreichend Zeit, mich zur Teilnahme an dieser Untersuchung zu entscheiden und weiß, dass die Teilnahme **freiwillig** ist. Ich weiß, dass ich jederzeit und ohne Angaben von Gründen diese Zustimmung widerrufen kann, ohne dass sich dieser Entschluß nachteilig auf eventuell spätere ärztliche Behandlungen auswirken wird.

Ich weiß, dass ich gegen Schäden, die aufgrund der Untersuchung entstehen, versichert bin.

Mir ist bekannt, dass meine persönlichen Daten in verschlüsselter Form gespeichert werden. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass die im Rahmen der Magnetresonanz-Untersuchung von mir erhobenen Daten für die Entwicklung und Anwendung von Verfahren in der biomedizinischen Forschung genutzt und verarbeitet werden dürfen. Mir ist bekannt, dass mein Name, mein Geburtsdatum, mein Gewicht, mein Geschlecht, meine Telefonnummer und meine Adresse in einer Kartei der MR-Forschergruppe der Georg-August-Universität Göttingen gespeichert werden. Die Messdaten werden getrennt hiervon aufbewahrt. Ihre Verwendung erfolgt in namentlich nicht kenntlicher Form. Bilddaten, die auf einer eventuell ausgehändigten CD gespeichert sind, dürfen nicht für diagnostische Zwecke genutzt werden.

Ich erkläre mich weiterhin damit einverstanden, dass diese Messdaten gegebenenfalls auch mit bereits früher von mir erhobenen Daten verwendet, für zukünftige Forschungsvorhaben der Arbeitsgruppe benutzt sowie im Falle einer Zusammenarbeit der Arbeitsgruppe mit anderen medizinwissenschaftlichen Forschergruppen, z.B. der Universitäten oder Max-Planck-Institute, diesen übermittelt werden dürfen.

Mir ist bekannt, daß ich mein Einverständnis zur Speicherung der personenbezogenen Daten jederzeit widerrufen kann, und daß ich Auskunft über die gespeicherten Daten erhalten kann.

Auf Wunsch erhalte ich eine Kopie des Informationsblattes und dieser Einwilligungserklärung. Ich erkläre hiermit meine freiwillige Teilnahme an dieser Untersuchung.

Ort/Datum:..... Unterschrift (Testperson):.....

Ort/Datum:..... Unterschrift (Untersucher):.....

- Fragebogen MR-Untersuchung -

- Fassung 21.09.2005 -

Untersuchung: Magnetresonanz-Tomografie oder Spektroskopie

MR-Forschung in der Neurologie und Psychiatrie

Bereich Humanmedizin - Georg-August-Universität Göttingen

Name, Vorname:.....

Sehr verehrte Teilnehmerin, sehr verehrter Teilnehmer,

für bestimmte Risikogruppen, z.B. Personen mit Metallteilen im Körper (Implantaten), besteht im Magnet-Bereich eine z.T. erhebliche Gefahr.

Lesen Sie sich deshalb zu Ihrer eigenen Sicherheit diesen Fragebogen gründlich durch und beantworten Sie gewissenhaft alle Fragen. Wenn Sie sich nicht sicher sind oder eine Frage nicht verstehen, wenden Sie sich bitte an einen Mitarbeiter. Unterschreiben Sie anschließend den Fragebogen und lassen Sie sich von einem Mitarbeiter einweisen, bevor Sie den Magnet-Bereich betreten.

Magnetische Datenträger (z.B. Disketten) und Karten mit Magnetstreifen (z.B. Kreditkarten) sollten nicht mit in den Magnet-Bereich genommen werden, da sie gelöscht werden könnten.

Achtung: der Magnet ist immer an!

Bitte Zutreffendes ankreuzen!

1	Sind Sie Träger eines elektromagnetisch beeinflussbaren Implantates oder Körperhilfsmittels, z.B. Herzschrittmacher, Defibrillator, Hörgerät, Medikamentenpumpe (z.B. für Insulin), Neurostimulator, Implantat mit Magnetventil (z.B. künstlicher Darmausgang)? Wenn ja: welche?.....	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
---	--	---

Zutritt zum Untersuchungsraum

Wichtig: Aufgrund des sehr starken Magnetfeldes (etwa 60000faches Erdmagnetfeld) dürfen keinerlei Gegenstände oder Geräte, die aus Metall sind oder Metall enthalten könnten, mit in den Untersuchungsraum genommen werden. Legen Sie solche Gegenstände und Geräte (z.B. Mobiltelefone, Münzen, Kugelschreiber, Schlüssel, Haarspangen, Uhren, Schmuck, Brillen, Gürtel, Hörgeräte, Funkrufempfänger) unbedingt vorher ab, da sie in der Nähe des Magneten zu gefährlichen Geschossen werden können! Ein 5-Cent-Stück würde z.B. mit mehr als 100 km/h in den Tunnel des Magneten fliegen! Sollten Sie metallische oder metallhaltige Gegenstände mit in den Untersuchungsraum nehmen wollen besprechen Sie dies unbedingt vorher mit einem Mitarbeiter der MR-Forschergruppe!

Betreten Sie den Untersuchungsraum nur nach Aufforderung durch das Personal!

2	Wurden Sie schon einmal an Kopf oder Herz operiert? Wenn ja: warum?.....	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
3	Befinden sich an oder auf Ihrem Körper Metallteile oder metallhaltige Geräte (z.B. Prothesen, Elektroden, Katheter, Langzeit-EKG, Bestrahlungsquellen, Akupunkturnadeln, Piercing)? Wenn ja: welche?.....abnehmbar? Ja Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein

bitte wenden!

4	Befinden sich in Ihrem Körper Metallteile oder Implantate, die z.B. bei einer Operation oder Verletzung mit einem metallischen Fremdkörper in Ihren Körper gelangt sind (z.B. Prothesen, künstliche Gelenke oder Herzklappen, Gefäßverschlüsse oder -erweiterungen, chirurgische Clips, Knochenschrauben oder -platten, Spirale, Shunts, Katheter, Elektroden, Spulen, Bestrahlungsquellen, Granatsplitter, Projektile)? Wenn ja: welche?.....	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
5	Tragen Sie magnetisch fixierte Implantate (z. B. Zahnprothesen, Glasauge)?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
6	Haben Sie beruflich oder privat mit der Verarbeitung von Metallen zu tun?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
7	Tragen Sie (außer Amalgam-Füllungen) Zahnersatz, Brücken oder Zahnklammern/-spangen? Wenn ja: welche?.....abnehmbar? Ja Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
8	Leiden Sie unter einer schweren Krankheit der Atemwege, des Herz-Kreislaufsystems oder des Bewegungssystems (z.B. Asthma, Herzschwäche, Herzrhythmusstörungen, Lähmungen)? Wenn ja: welche?.....	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
9	Leiden Sie unter Diabetes oder einem Anfallsleiden (z.B. Epilepsie)?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
10	Neigen Sie zu Klaustrophobie, Schwindel- oder Panikanfällen?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
11	Wird bei Ihnen zurzeit eine Strahlen- oder Chemotherapie durchgeführt?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
12	Leiden Sie an Schluckbeschwerden?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
13	Leiden Sie unter Allergien? Wenn ja: welche?.....	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
14	Sind Sie auf lebenswichtige Medikament angewiesen?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
15	Nehmen Sie zurzeit regelmäßig Medikamente (z.B. Aspirin, Insulin, Anabolika)? Wenn ja: welche?.....	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
16	Sind Sie tätowiert oder haben Sie ein permanentes Makeup?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
17	Haben Sie in den letzten 24h Medikamente oder Alkohol zu sich genommen? Wenn ja: wann und welche/wie viel?.....	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
18	Wurde bei Ihnen in den letzten 3 Tagen eine MR-Untersuchung durchgeführt? Wenn ja: welches Körperteil und ungefähre Dauer?.....	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein

Nur von Frauen auszufüllen:

19	Besteht die Möglichkeit, dass Sie schwanger sind?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
20	Tragen Sie eine Kupferspirale?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein

Ich habe diese Information und alle mich betreffenden Fragen verstanden und nach bestem Wissen wahrheitsgemäß beantwortet.

Datum:..... Unterschrift:.....

----- wird vom Personal ausgefüllt -----

Untersuchung unbedenklich

Untersuchung NUR mit: Pulsoxymeter EKG Atemgurt siehe Bemerkungen

KEINE Untersuchung möglich!

Bemerkungen:.....

Name, Vorname:.....

Datum:..... Unterschrift:.....

Danksagung

Ich danke besonders Herrn Prof. Dr. med. M. Knauth für die Anregung und die Möglichkeit, diese Arbeit in seiner Abteilung durchführen zu dürfen und für seine Beratung bei der Umsetzung.

Herrn Dr. med. J. Larsen danke ich für die Ermutigung, dieses Thema zu untersuchen und für seine Unterstützung in der Versuchsphase.

Für sein Engagement bei der Planung und Durchführung der Untersuchungen, für die Bewältigung technischer und struktureller Probleme und für sein immer für meine Fragen „offenes Ohr“ danke ich Herrn PD Dr. rer. nat. G. Helms.

Ich danke Herrn PD Dr. rer. nat. P. Dechent für die Möglichkeit, die Untersuchungen in seiner Abteilung durchführen zu dürfen.

Ich danke Herrn Prof. Dr. med. Knauth, Herrn Dr. med. Larsen und Herrn PD Dr. rer. nat. Helms dafür, dass sie ermöglicht haben, dass aus dem Thema dieser Arbeit eine Veröffentlichung im Rahmen eines Vortrages entstehen konnte.

Ich danke Frau P. Holz, ohne die die Durchführung dieser Arbeit undenkbar gewesen wäre.

Mein Dank gilt den Probanden, die sich für die Untersuchungen zur Verfügung gestellt haben.

Für ihr unermüdliches Engagement beim Korrekturlesen, danke ich Frau Bettina Schulze und meinem Mann Tobias Brüggemann.

Ich danke meinen Kindern Benjamin und Laura- Sophie und meinem Ehemann Tobias für Ihre Geduld und Ihr Verständnis für die vielen am Computer verbrachten Stunden.

Lebenslauf der Verfasserin

Am 17.08.1976 wurde ich in Dannenberg an der Elbe geboren.

Heute lebe ich mit meinem Mann Tobias Brüggemann, unserem 2003 geborenen Sohn Benjamin Thadäus und unserer 2006 geborenen Tochter Laura-Sophie in Kassel.

Nachdem ich in Soltau 1996 mein Abitur ablegte, begann ich eine Fotografenausbildung, die ich Anfang 2000 mit der Gesellenprüfung abschloss.

Ich studierte Humanmedizin an der Universität Göttingen von 2000 bis 2006, an der Universität Marburg von 2006 bis 2010.

Meine Dissertation fertigte ich in der Abteilung für Neuroradiologie der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen von 2005 bis 2010 an. Im Frühjahr 2010 schloss ich mein Studium mit dem 3.Staatsexamen ab.