

Endoskopischer Zugang zur Schädelbasis-
eine anatomische Betrachtung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

Scholl geb. Rütschlin, Sabrina

2015

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichtersteller: Privatdozent Dr. A. Kirschniak

2. Berichtersteller: Professor Dr. F. A. Granderath

Für Daniel

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	6
1 Einleitung	7
1.1 Mikrochirurgie in der Neurochirurgie – Historischer Rückblick.....	7
1.2 Endoskopische Verfahren in der Neurochirurgie.....	8
1.3 Endoskopie in der Neurochirurgie: Historischer Rückblick	8
1.3.1 Endoskopische Therapie des Hydrocephalus.....	9
1.3.2 Intrakranielle Zysten und Tumore	11
1.3.3 Mikrochirurgische Assistenz	13
1.3.4 Endoskopische Hypophysenchirurgie	14
1.3.5 Extrakranielle neuroendoskopische Interventionen	14
1.4 Instrumente / Neuroendoskope und Arbeitsinstrumente.....	15
1.5 Zugangsplanung in der Neuroendoskopie.....	17
1.6 Klassische Zugänge in der Neurochirurgie.....	17
1.6.1 Der retrosigmoidale intradurale suprameatale Zugang	23
1.6.2 Anatomie der hinteren und mittleren Schädelgrube.....	23
1.6.3 Der supraorbitale endoskopische Zugang (anterolateraler Zugang)	26
1.6.4 Anatomie der vorderen Schädelgrube.....	26
1.7 Fragestellung.....	29
2 Material und Methoden	30
2.1 Material.....	30
2.1.1 Anatomische Präparate	30
2.1.2 Technische Ausstattung	32
2.2 Methoden	34
2.2.1 Beschreibung des anatomischen Zugangs	35
2.2.2 Beschreibung des retrosigmoidalen Zugangs.....	37
2.2.3 Reihenuntersuchung.....	38
2.2.4 Beschreibung des anterolateralen Zugangs.....	40
3 Ergebnisse.....	41
3.1 Ergebnisse für den anatomischen Zugang zur hinteren Schädelgrube	41
3.2 Ergebnisse für den retrosigmoidalen Zugang	45
3.2.1 Ergebnisse für die 25° Optik	46
3.2.2 Ergebnisse für die 70° Optik.....	49

3.3	Ergebnisse für die Reihenuntersuchung.....	54
3.4	Ergebnisse für den anterolateralen Zugang.....	57
3.5	Ergebnisse für die Gefäßfüllung / Darstellung der Vena petrosa.....	64
4	Diskussion	69
5	Zusammenfassung.....	77
6	Anhang	79
6.1	Tabellen	79
6.2	Abbildungen, Tabellen und Diagramme.....	81
7	Literaturverzeichnis	84
8	Danksagung	88

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
A.I.C.A.	Arteria cerebelli anterior inferior
CN I	N. olfactorius
CN II	N. opticus
CN III	N. oculomotorius
CN IV	N. trochlearis
CN V	N. trigeminus
CN VI	N. abducens
CN VII	N. facialis
CN VIII	N. vestibulocochlearis
CN IX	N. glossopharyngeus
CN X	N. vagus
CN XI	N. accessorius
CN XII	N. hypoglossus
N.	Nervus
Proc.	Processus
S.C.A.	A. cerebelli superior
V.	Vena

1 Einleitung

1.1 Mikrochirurgie in der Neurochirurgie – Historischer Rückblick

Die ersten Operationen mit einem monokularen Mikroskop erfolgten bereits im 19. Jahrhundert, allerdings sollte es bis 1922 dauern bis das erste biokuläre Mikroskop bei einer Operation des schwedischen HNO-Arztes Holmgren zum Einsatz kam [10]. Insgesamt wurde die Weiterentwicklung in den frühen Anfängen maßgeblich durch HNO-Chirurgen vorangetrieben. So brachte der Amerikaner House diese Technik zunehmend voran. Die ersten Einsatzgebiete waren die Mittelohrchirurgie (Tympanoplastik), die durch die mikrochirurgische OP-Technik eine Revolution erfuhr [39]. Auch in Deutschland wurde diese Technik ab 1949 von dem HNO-Chirurgen Wullstein (Würzburg) eingesetzt [83].

Die Neurochirurgie sollte noch einige Jahre brauchen, um die Mikrochirurgie für sich zu entdecken. So wurde das OP-Mikroskop erstmals 1957 in den USA von dem Neurochirurgen Theodore Kurze [55] genutzt. In Deutschland kam diese Technik 1963 zum ersten Mal durch Friedrich Loew (Homburg/Saar) bei einer Bandscheibenoperation zum Einsatz [83].

In Europa erfolgte die konsequente Weiterentwicklung der mikroskopischen OP-Technik durch den türkischen Neurochirurgen M. G. Yasargil, einem Schüler des Schweizer Neurochirurgen Krayenbühl. Dieser erlernte die Technik Mitte der 1960er Jahre in den USA bei Donaghy [49] und brachte sie danach nach Zürich, auch um sie weiterzuentwickeln. Yasargil wiederum entwarf auch mikrochirurgische Instrumente, vor allem ist er der maßgebliche Initiator der Entwicklung der modernen neurochirurgischen Mikroskoptechnik.[84].

Heute ist die Mikrochirurgie aus der modernen Neurochirurgie nicht mehr wegzudenken.

Ein Grundproblem der chirurgischen Disziplinen, die Neurochirurgie ist hier nicht ausgenommen, besteht in der Tatsache, dass man auf dem Weg zu den pathologischen Gewebsstrukturen durch gesundes Gewebe hindurch oder daran vorbei präparieren muss.

Hier kann die Mikrochirurgie einen deutlich atraumatischeren und exakteren Weg zum Zielgebiet bieten, als mit bloßem Auge möglich wäre. Das Risiko gesundes Gewebe zu schädigen kann also minimiert werden.

Die Mikrochirurgie stellte alsbald den Standard der neurochirurgischen Verfahren dar [82]. Allerdings strebten die Verfahren zu immer weiteren minimal invasiveren Möglichkeiten. Somit war der Weg zu den neuroendoskopischen Verfahren geebnet.

1.2 Endoskopische Verfahren in der Neurochirurgie

In anderen Fachbereichen, wie zum Beispiel der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde oder der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie, gehört die Endoskopie am Schädel zum festen Diagnostik- und Therapierepertoire. So werden operative Eingriffe an den Nasennebenhöhlen fast nur noch endoskopisch durchgeführt [71]. Die endoskopischen Eingriffe in der Neurochirurgie kommen vor allem in der Behandlung des Hydrozephalus, bei intrakraniellen Zysten, Tumoren der Hypophyse, sowie intrakraniellen Raumforderung und als assistierendes Verfahren bei Aneurysmen zum Einsatz [37].

1.3 Endoskopie in der Neurochirurgie: Historischer Rückblick

Die Endoskopie in der Neurochirurgie ist ein relativ neues Verfahren. Ihre Anfänge reichen ins Jahr 1910 zurück. Damals operierte Viktor Darwin Lespinasse, ein Urologe aus Chicago, ein Neugeborenes mit Hydrozephalus endoskopisch am Ventrikelsystem [37]. Er gilt somit als Begründer der Neuroendoskopie, obwohl er diesen Fall nie publizierte, sondern nur Kollegen vorstellte. Allerdings sollte es noch 13 Jahre dauern bis William J. Mixer, ein Neurochirurg, die erste erfolgreiche endoskopische Ventrikulostomie bei einem

Kind mit obstruktivem Hydrozephalus durchführte [16]. Auch Dandy und Fay, ebenfalls Neurochirurgen, publizierten in diesem Jahr ihre neuroendoskopischen Eingriffe. Damals mangelte es noch an geeigneten Instrumenten, so dass die endoskopischen Operationen am Gehirn eher zu den Raritäten gehörten. Mit dem Fortschritt der Technik änderte sich dies allerdings. Die Entwicklung miniaturisierter Instrumente und Endoskope schritt maßgeblich in den Jahren 1985 bis 1990 voran [37]. Heute gehören endoskopische Eingriffe zum Standard in der Neurochirurgie, jedoch werden die Indikationen immer noch sehr eng gestellt [33].

1.3.1 Endoskopische Therapie des Hydrozephalus

Liquor wird in den Plexus choroidei vor allem des 1. und 2. Seitenventrikels, aber auch des 3. und 4. Ventrikels sezerniert. Nach Durchfluss der Seitenventrikel, fließt der Liquor über den 3. und 4. Ventrikel in die Cisterna cerebellomedullaris und somit in den äußeren Liquorraum. Dort wird er von den Arachnoidalzotten im Bereich der Spinalnervenausstritte resorbiert. Die zirkulierende Liquormenge beim Erwachsenen beträgt etwa 150ml. Pro Tag werden etwa 650ml Liquor produziert, somit wird die Gesamtmenge pro 24h ungefähr dreimal ausgetauscht [50].

Bei Resorptionsstörungen, Verschlüssen zwischen den einzelnen Liquorräumen oder einer Überproduktion von Liquor, kann es zur Entwicklung eines Hydrozephalus kommen (Abbildung 1). Ursachen können hier entzündliche Prozesse (zum Beispiel Hirnhautentzündungen), Einblutungen ins Liquorsystem, Tumore (unter anderem Plexustumore), Erhöhung des Hirndrucks selbst (beispielsweise durch Blutungen), angeborene oder frühkindliche Fehlbildungen des Gehirns, aber auch pränatale Infektionen des Gehirns sein. Bei erhöhtem Hirndruck wird eine frühestmögliche Entlastung durch Liquorableitung angestrebt. Dies erfolgt meist mittels eines Shunts, der den Liquor in die Bauchhöhle oder in den Vorhof des rechten Herzens ableitet. Eine weitere mögliche Therapieform ist die Ventrikulostomie, bei der operativ

der Boden der Ventrikel eröffnet wird, um den Liquor in die basalen Zisternen abzuleiten. Die Durchführung dieses Verfahrens ist mittlerweile neuroendoskopisch möglich [27].

Der Vorteil der neuroendoskopische Behandlung des Hydrozephalus ist die Wiederherstellung der natürlichen Liquorableitungswege. Der Einsatz von Fremdmaterial kann so vermieden werden. Durch die endoskopische Drittventrikulostomie (EVT) entfallen die häufigen Komplikationen, die mit einem Shunt-System verbunden sind, wie etwa Dysfunktionen, Thrombosierung, Infektion, Überdrainage und Schlitzventrikelsyndrom [34]. Nach neueren Studien konnten sogar primär mit Shunt versorgte Patienten mit mehrfacher Shundysfunktion erfolgreich endoskopisch behandelt werden. Die Neuroendoskopie stellt daher eine echte Alternative zur Shunt-Behandlung dar. Allerdings sind nicht alle Hydrozephalusformen für eine neuroendoskopische Behandlung geeignet, die besten Erfolgsaussichten hat der tumorbedingte Verschlusshydrozephalus mit Aquäduktstenose oder Verlegung des 4.Ventrikels, gefolgt von der idiopathischen Aquäduktstenose. Die Prognose für den posthämorrhagischen und postmeningitischen Hydrozephalus, sowie den Normaldruckhydrozephalus ist etwas schlechter [25]. Ein Testverfahren zur sicheren Erfolgsvoraussage der endoskopischen Ventrikulostomie existiert bisher noch nicht.

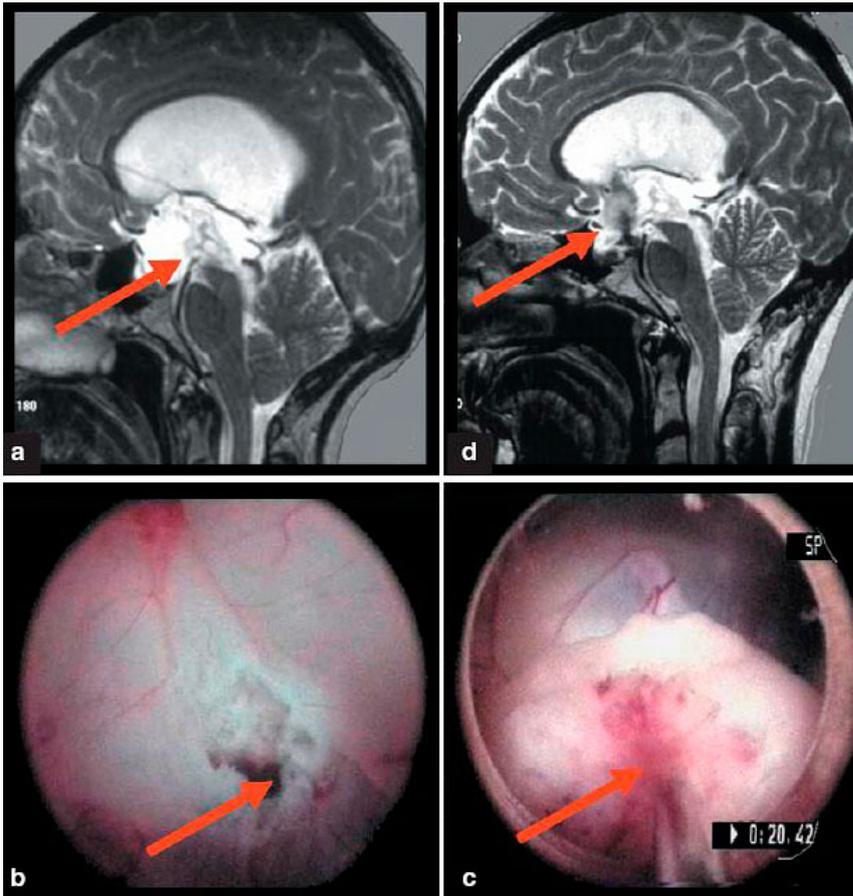


Abbildung 1: niedriggradiges Astrozytom im hinteren Teil des 3. Ventrikels. a) das präoperative MRT zeigt einen durch den Tumor erzeugten Verschlusshydrozephalus des 3. Ventrikels; b) endoskopische Tumorbioptie; c) Drittventrikulostomie; d) postoperatives MRT mit deutlichem „flow void“ -Phänomen, Liquorabfluss in die Fossa interpenducularis; (Quelle: Hellwig et al: Endoskopische Verfahren in der Neurochirurgie[37])

1.3.2 Intrakranielle Zysten und Tumore

Des Weiteren eignen sich intrakranielle Zysten besonders für die Neuroendoskopie. Die Möglichkeit zur endoskopischen Entleerung, Fensterung oder Ausräumung ergibt sich vor allem bei Kolloid-, Arachnoidal- und Pinealzysten [37]. In einer kombinierten Therapie zusammen mit mikrochirurgischer Resektion, Radiotherapie und adjuvanter medikamentöser Behandlung, findet auch die Endoskopie ihren Platz in der Therapie von zystischen Kraniopharyngeomen, dysontogenetischen Tumoren, Gliomen und Metastasen.

Aufgrund ihrer intraventrikulären Lokalisation bieten sich Kolloidzysten für die Anwendung der Neuroendoskopie an (siehe auch Abbildung 2) [32]. Arachnoidalzysten weisen eine vielfältige intrakranielle Lokalisation auf. Sie sind meist aber in Nachbarschaft des Ventrikelsystems oder der intrakraniellen Zisternen gelegen und bieten sich dann für neuroendoskopische Verfahren an. Besonders geeignet sind die suprasellären Arachnoidalzysten. Operationsindikation stellt hier das Vorliegen symptomatischer Zysten mit durch Hirndruck verursachten Kopfschmerzen oder Auftreten neurologischer Symptome dar [78]. Die neuroendoskopischen Verfahren können auch in Kombination mit mikrochirurgischen Verfahren angewendet werden.

Die postoperativen Ergebnisse der Neuroendoskopie sind hierbei mit der Mikrochirurgie vergleichbar, wesentlich ist die Normalisierung des intrakraniellen Druckes durch Anschluss der Zyste an die ableitenden Liquorwege [37].

Auch in der Therapie solider intrakranieller Tumore kommt die Neuroendoskopie zur Anwendung. Bei der Biopsie diagnostisch unklarer solider Raumforderungen im Ventrikelbereich bieten sich deutliche Vorteile gegen über der stereotaktischen Biopsie. Die Biopsie kann unter direkter Sicht durchgeführt werden, statt „blind“ wie bei der Stereotaxie. Die Vorteile kommen besonders bei Pinealistumoren im hinteren Anteil des 3. Ventrikels oder aber im Bereich der Foramen Monroi zum Tragen. So können ventrikuläre Gefäße und funktionell wichtige Strukturen geschont werden. Im Falle eines tumorbedingten Verschlusshydrozephalus, kann in der gleichen Sitzung eine Drittventrikulostomie oder eine Stent-Einlage zwischen Seitenventrikel und 3. Ventrikel oder 3. und 4. Ventrikel durchgeführt werden.

Die komplette Tumorentfernung mit neuroendoskopischen Verfahren ist stark abhängig von der Tumorgöße. Bei Entfernung von Tumoren über 2cm bieten endoskopische Verfahren keinen Vorteil, weil sie zu zeitaufwendig sind [37].

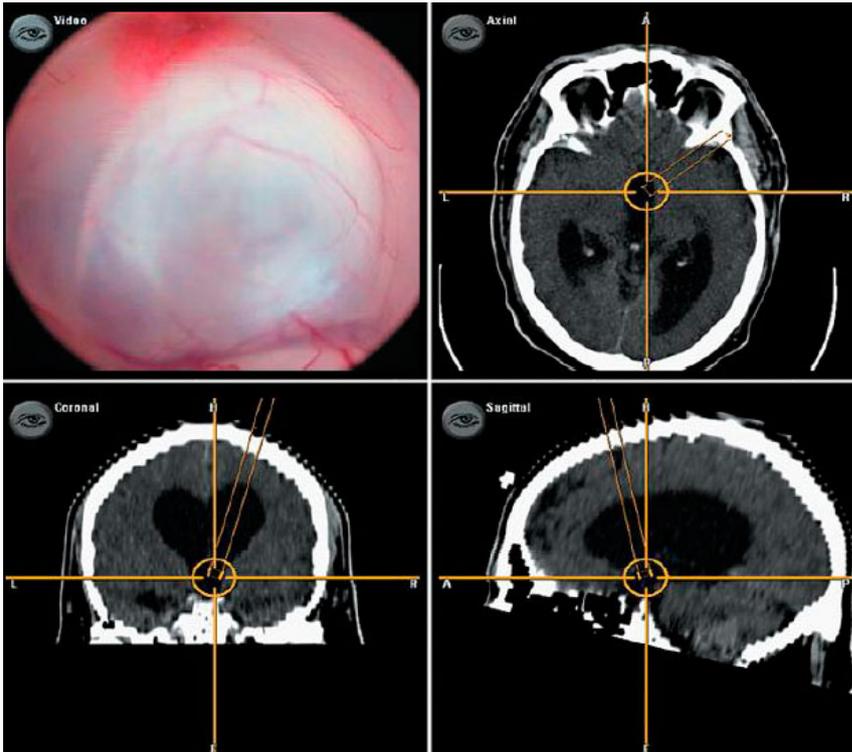


Abbildung 2: navigationsgestützte Neuroendoskopie, Bestimmung der Trajektorie zur Zielregion und intraoperative dreidimensionale Kontrolle des Zugangsweges, in diesem Fall zu einer Kolloidzyste im Foramen Monroi. (Quelle: Hellwig et al: Endoskopische Verfahren in der Neurochirurgie [37])

1.3.3 Mikrochirurgische Assistenz

Als mikrochirurgische Assistenz bietet die Endoskopie vor allem bei Operationen von Aneurysmen, mikrovaskulären Dekompressionen und Kleinhirnbrückenwinkelprozessen deutliche Vorteile. Prozesse können beinahe von allen Seiten inspiziert werden. Als klinisches Beispiel seien hier Kleinhirnbrückenwinkelprozessen und die in der Nachbarschaft gelegene Vena petrosa superior genannt. So könnten z.B. mögliche Kollateralen der Vena petrosa superior inspiziert werden. Der akute intraoperative Verschluss der Vena petrosa kann zu venösen Stauungen mit Konsequenz eines Hirnstamm bzw. Kleinhirnodems unterschiedlichen Ausmaßes, sowie zu hämorrhagischen Infarkten in Hirnstamm und /oder Kleinhirn führen[26]. Bei Ausbildung von Kollateralen allerdings, scheint die Durchtrennung der Vena petrosa ohne

Folgen zu bleiben [63]. Die Endoskopie bietet also vor Durchtrennung der Vene eine genaue Inspektion des Situs.

1.3.4 Endoskopische Hypophysenchirurgie

1962 war Guiot der Erste, der ein Endoskop für die Hypophysenchirurgie verwendete [29]. Im Laufe der Zeit gewann diese Technik für die Adenomresektion erheblich an Bedeutung. Allerdings kann man hier auch noch nicht von einem standardisierten Verfahren sprechen. Der Zugang, meist transnasal/transsphenoidal, ist einfach, schnell und komplikationsarm. Dank dem Fortschreiten der Technik stehen genug Instrumente zur Verfügung, um in dem doch beengten Gebiet effizient arbeiten zu können. Allerdings sollte der Operateur ebenfalls den mikrochirurgischen transsphenoidalen Zugang beherrschen, um im Falle von schwierigen anatomischen oder operativen Verhältnissen von der Endoskopie auf die Mikrochirurgie wechseln zu können. Hier liegen ebenso keine Langzeitergebnisse zur endoskopischen Adenomresektion vor, so dass eine abschließende Bewertung nicht möglich ist. Erste Publikationen zeigen jedoch einige Vorteile wie Verkürzung der Operationszeit, geringeres postoperatives Trauma, Verringerung der intra- und postoperativen Komplikationen und kürzere postoperative Liegezeit [9].

1.3.5 Extrakranielle neuroendoskopische Interventionen

Im Bereich der Wirbelsäule wurden in den letzten Jahren zahlreiche endoskopische Verfahren entwickelt [54]. Verschiedene Systeme ermöglichen über den endoskopischen Zugang über das Foramen intervertebrale sowohl subligamentär sequestrierte, frei sequestrierte, intraforaminale, mediolaterale, mediale und im Spinalkanal nach cranial oder caudal luxierte Sequester zu entfernen. Bisher unklar bleibt allerdings, ob die endoskopischen Verfahren im

Langzeitverlauf gegenüber mikrochirurgischem Vorgehen bessere Ergebnisse zeigen.

Endoskopische Karpaltunneloperationen allerdings sind mittlerweile standardisiert. Sie werden alternativ zu makrochirurgischen Verfahren angewendet. Die Indikation zur endoskopischen Spaltung des Retinakulum flexorum besteht bei Patienten mit klinisch und elektrophysiologisch nachgewiesenem Karpaltunnelsyndrom. Kontraindikationen hierfür sind ein zu enger Karpaltunnel oder vorausgegangene Operationen in diesem Bereich. Obwohl nur wenig randomisierte Daten vorliegen und die endoskopische Methode wegen häufiger Komplikationen in der Kritik steht [33], zeigen sich die Vorteile der endoskopischen Methode in einem besseren kosmetischen Ergebnis, früherer Belastbarkeit der operierten Hand und geringeren postoperativen Schmerzen im Vergleich zur herkömmlichen offenen Methode [37].

1.4 Instrumente / Neuroendoskope und Arbeitsinstrumente

Mittlerweile stehen viele verschiedene Neuroendoskope mit unterschiedlichen optischen Eigenschaften zur Verfügung [36]. Für das bimanuelle Arbeiten auf engstem Raum sind zwei Arbeitskanäle nötig, sowie zusätzlich ein Saug- und Spülkanal (Abbildung 3). Gerade hier findet die Gradwanderung zwischen optimaler chirurgischer Intervention und möglichst kleinem Zugangsweg und somit geringen Trauma für das Hirnparenchym, statt. Standard sind daher derzeit Neuroendoskopdurchmesser von 3 und 6mm, da über sich 8mm Durchmesser kein Vorteil mehr gegenüber der mikrochirurgischen Operationstechnik bietet. Zusätzlich sind verschiedene Optiken nötig, um den Situs optimal einsehen zu können. Große Aktionsradien wie zum Beispiel in der Laparoskopie sind hier nämlich nicht möglich [35].

Trotz des geringen Durchmessers der Neuroendoskope, sind bei neuroendoskopischen Eingriffen an Frühgeborenen oder Säuglingen noch

dünnere Endoskope von Nöten, da sich sonst am Zugang perkutane Liquorfisteln bilden können. Daher werden hier Endoskope mit dem Durchmesser von 2 bis 3mm und mit zwei Arbeitskanälen verwendet.

Noch dünner können die Endoskope, die als mikrochirurgische Assistenz verwendet werden, konzipiert sein. Hier kann auf die Arbeitskanäle verzichtet werden, daher sind diese Endoskope ultradünn [28]. Sie können den Operationssitus dort einsehen, wo das Operationsmikroskop aufgeben muss.

Um optimal neuroendoskopisch arbeiten zu können, sind folgende Basisinstrumente unerlässlich: bipolare Schneide- und Koagulationsmikroinstrumente, Mikroscheren, sowie Fass- und Biopsiezangen [35].



Abbildung 3: als Beispiel für endoskopische Devices hier das Ventrikuloskop nach Hellwig mit mehreren Arbeits- und Saugkanälen, (Quelle: Hellwig et al: Endoskopische Verfahren in der Neurochirurgie [37])

1.5 Zugangsplanung in der Neuroendoskopie

Die Zugangsplanung, konkret Bohrlochlokalisierung, Bestimmung des Zugangsweges und des Zielpunktes, kann entweder stereotaktisch [76] oder über Neuronavigation [77] erfolgen. Vorteil der Neuronavigation gegenüber der Stereotaxie ist der größere Spielraum für den Operateur, da das Endoskop nicht am Stereotaxiering fixiert ist. Daher entspricht die Kombination aus Neuronavigation und Neuroendoskopie heute dem operativen Standard. Ausnahme bildet die neuroendoskopische Behandlung des ausgeprägten Hydrocephalus. Hier kann auf die Neuronavigation verzichtet werden, da die Punktion des Ventrikelsystems keine Schwierigkeiten bereitet und die intraoperative Orientierung an anatomischen Landmarken erfolgt [37].

1.6 Klassische Zugänge in der Neurochirurgie

Die klassischen Zugänge in der Neurochirurgie [64] lassen sich in fünf Hauptgruppen unterteilen:

- 1) Zugänge zu den oberflächlichen Großhirnhemisphären
- 2) Zugänge zur Hirnbasis
- 3) Zugänge zur Darstellung der Mittellinie und der mediale Oberfläche der Großhirnhemisphären
- 4) Zugänge für die frontale oder okzipitale Lobektomie
- 5) Zugänge für die temporale Exploration

ad 1) Zugänge zu der Großhirnoberfläche sollten über der Läsion lokalisiert und ausreichend groß angelegt werden, um genügend Platz zu haben.

Normalerweise werden diese Zugänge komplett hinter der Haarlinie angelegt.
(Abbildung 4)

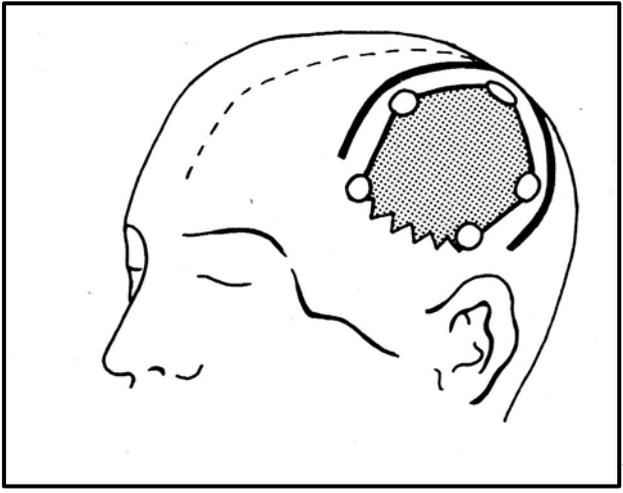


Abbildung 4: Zugang zur Grosshirnoberfläche, Hautschnitt und Position der Bohrlöcher mit Kraniotomie (Quelle Schmideck HH, Saunders [64])

ad 2) Zugänge zur Darstellung der Schädel- bzw. Hirnbasis finden Anwendung in der chirurgischen Therapie von Meningeomen, Hypophysenadenomen und intrakraniellen Aneurysmen. Der Zugang wird hier entweder frontal oder frontotemporal gewählt. Hierzu ist es nötig, dass der Hautlappen in der anterioren Mittellinie bis auf Höhe des Sinus frontalis und temporal bis auf Höhe des Arcus zygomaticus gezogen wird. Die Präparation erfolgt bis zur Oberkante der Orbita, um die Kraniotomie auf einer Höhe mit der Fossa anterior durchführen zu können. Dadurch kann die Retraktion des Gehirns so gering wie möglich gehalten werden. (Abbildung 5)

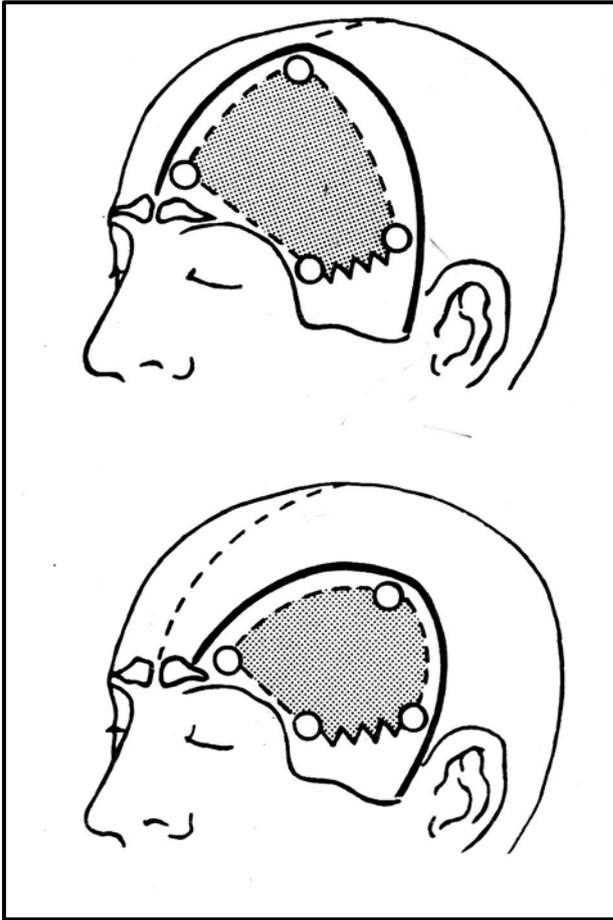


Abbildung 5: Zugänge zur Schädel- und Hirnbasis, Hautschnitt und Position der Bohrlöcher mit Kraniotomie (Quelle Schmideck HH, Saunders [64])

ad 3) Zugänge in der Mittellinie finden Anwendung bei parasagittalen oder Falx- Meningeomen und bei um das Corpus callosum gelegenen Aneurysmen. Hierbei ist es wichtig, sowohl den Hautschnitt, als auch Schnittkante im Knochen sehr präzise entlang der Mittellinie zu führen. Bereits ein kleiner Knochenüberhang kann zu erheblichen operativen Schwierigkeiten führen. Grundsätzlich kommt es beim Ablösen der Dura vom Knochen in der Mittellinie zu venösen Blutungen, die aber dank moderner Anästhesieverfahren nicht allzu stark sind. Allerdings können erhebliche Blutungen bei parasagittalen oder Falx Meningeomen auftreten. Scharfe Knochenkanten im anterioren Bereich können zu Problemen führen, da dort beim Gebrauch von elektrischen Werkzeugen die Dura einreißen kann (Abbildung 6).

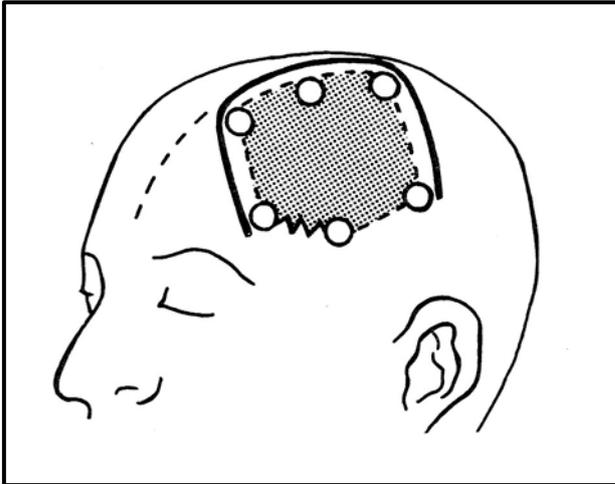


Abbildung 6: Zugang zur Mittellinie, Hautschnitt und Position der Bohrlöcher mit Kraniotomie (Quelle Schmideck HH, Saunders [64])

ad 4) Zugänge für die frontale und okzipitale Lobektomie reichen von der Mittellinie bis zur Schädelbasis. Die Schnittführung erfolgt hier von frontal, bzw. okzipital entlang der Mittellinie und zieht dann nach unten in die anteriore bzw. posteriore Temporalregion. Diese Zugänge sind eine Kombination aus dem Zugang zur Mittellinie und dem Zugang zur Schädelbasis. Wenn die Mittellinie nicht erreicht wird, ergeben sich bei der Präparation Schwierigkeiten im medialen Anteil. Wird die Schädelbasis nicht erreicht, ergeben sich gleichermaßen Schwierigkeiten im Bereich der Orbita bei der frontalen Lobektomie und im Bereich des Tentoriums bei der okzipitalen Lobektomie (Abbildung 7).

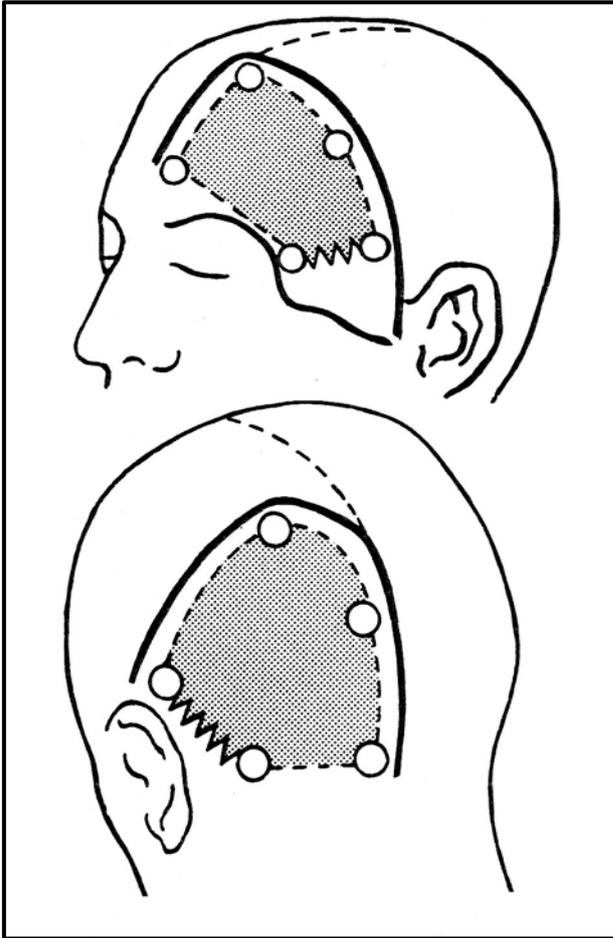


Abbildung 7: Zugänge für die frontale und okzipitale Lobektomie, Hautschnitt und Position der Bohrlöcher mit Kraniotomie (Quelle Schmideck HH, Saunders [64])

ad 5) Zugänge zur Darstellung der Temporallappen müssen sorgfältig geplant werden, um so viel wie möglich der Temporalregion darzustellen. Sonst fällt der Zugang mehr parietal als temporal aus. Es gibt zwei Möglichkeiten der Schnitfführung. Bei Typ 1 beginnt der Schnitt am Jochbeinbogen, direkt vor dem Ohr, um die Arteria temporalis superficialis zu schonen, läuft in einem Bogen nach oben frontal und verläuft dann schräg über die Stirn nahe der Mittellinie. An beiden Enden muss die Inzision lang genug gewählt werden, um den Hautlappen umklappen zu können. Dies ist für die Darstellung des äußeren Endes des Keilbeinflügels nötig. Bei Typ 2 beginnt die Schnitfführung am Jochbeinbogen, 1cm vor dem Tragus des Ohres, so dass sie vor der Arteria temporalis superficialis liegt. Der Schnitt läuft nun in einer langen Kurve bis

etwa 2cm oberhalb des äußeren Endes der Augenbraue, von hier aus wieder in einem Bogen rückläufig Richtung Ohr. Dieser Zugang kann nach hinten so weit wie gewünscht erweitert werden. Liegt der Schnitt allerdings tiefer als 2cm oberhalb der Augenbraue, läuft man Gefahr den Stirnast des Nervus facialis zu verletzen. Der Nervus facialis kann weiterhin geschädigt werden, wenn die Zugänge tiefer als der Jochbeinbogen gehen. Als Folge kann eine Lähmung resultieren. Ebenso sollte auf den Erhalt der Arteria temporalis superficialis geachtet werden, da bei Durchtrennung Nekrosen des vorderen Anteils des Hautlappens resultieren können (Abbildung 8).

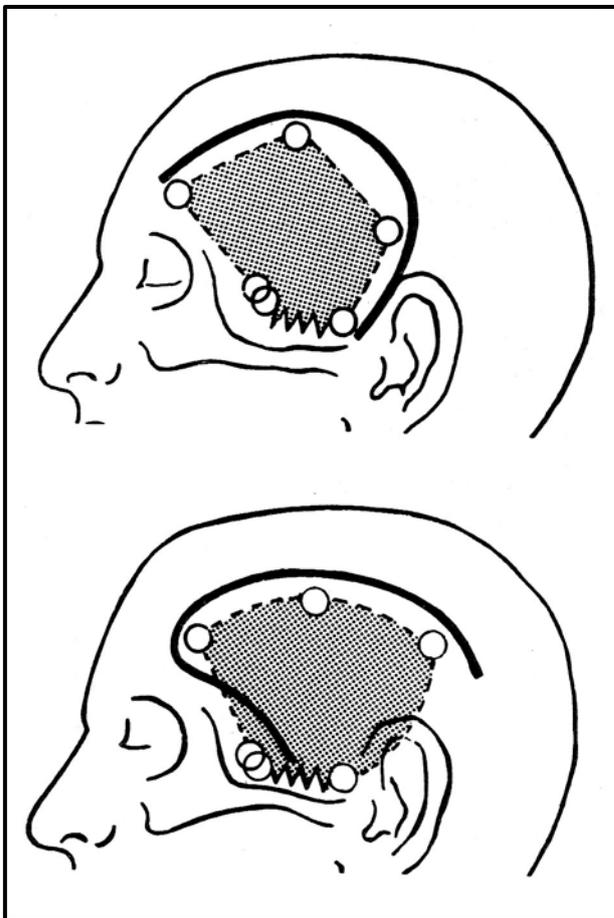


Abbildung 8: Zugänge zur Temporalregion, Hautschnitt und Position der Bohrlöcher mit Kraniotomie (Quelle Schmideck HH, Saunders [64])

1.6.1 Der retrosigmoidale intradurale suprameatale Zugang

Läsionen, die sowohl die hintere als auch mittlere Schädelgrube betreffen, können über verschiedene Zugänge erreicht werden [1, 2, 8, 11, 12, 30, 44, 62, 63, 68-70]. Diese hängen maßgeblich von der Lokalisation und Art des Tumors ab. Der retrosigmoidale intradurale suprameatale Zugang [18] wird genutzt um Tumore zu entfernen, die sich bis zum Cavum Meckeli und zur mittleren Schädelgrube erstrecken [56, 63, 70]. Dieser Zugang erlaubt die Darstellung des Nervus opticus und des Nervus oculomotorius, der supraclinoidalen Arteria carotis interna und der kommunizierenden hinteren Arterien; Ein großer Vorteil beim Vorliegen von großen Tumoren. Die Darstellung der Strukturen wird beim endoskopisch assistierten suprameatalen Zugang auch noch gewährleistet, wenn der Tumor eine minimale Verschiebung von neurovaskulären Strukturen verursacht hat. Die Anatomie der hinteren Schädelgrube ist wird nun im folgendem beschrieben.

1.6.2 Anatomie der hinteren und mittleren Schädelgrube

Das suprameatale Tuberkel ist ein knöcherner Höcker auf der hinteren Oberfläche der Pars petrosa des Os temporale. Nach inferior begrenzt durch den Meatus acusticus internus, nach superior durch den Margo superior partis petrosae, nach medial durch die Impressio trigeminalis und den darunter liegenden Knochenanteil und nach lateral durch den über dem hinteren Rand des Meatus acusticus internus gelegenen Knochen. Entsprechend den Daten von Seoane und Rhoton, misst sein medio-lateraler und superior-inferiorer Durchmesser im Mittel 11,0mm und 5,2mm, mit einer mittleren Höhe von 4,1mm [70]. Die umgebenden neurovaskulären Strukturen sind der VII und VIII Hirnnerv, Nervus facialis und Nervus vestibulocochlearis, die in den Meatus acusticus internus an seinem unteren Rand, meist begleitet durch die Arteria cerebelli anterior inferior und die Arteria labyrinthi, eintauchen. Der obere

Rand wird durch den Sinus petrosus superior und seine drainierenden Venen begrenzt.

Die Venae petrosae unterteilen sich, je nachdem ob sie in den Sinus petrosus superior oder inferior münden, in die Vena petrosa superior oder inferior. Die V. petrosae superiores gehören zu den größten und am häufigsten angetroffenen Venen der hinteren Schädelgrube. Die V. petrosa inferior besteht aus einzelnen kleinen Brückenvenen.

Die V. petrosa wird entweder durch den terminalen Anteil einer einzigen Vene gebildet oder durch einen gemeinsamen Stamm verschiedener Venen. Hierbei besteht diese Vereinigung am häufigsten aus den Venae pontinae transversae und pontotrigeminalen Venen, dem gemeinsamen Stamm der lateralen Gruppe oberer Hemisphärenvenen, sowie aus den Venen der pontocerebellären Fissur und des mittleren Kleinhirnstiels [58].

Die Venae petrosae superiores lassen sich in eine laterale, intermediale und mediale Gruppe unterteilen, je nach Lage zum Meatus acusticus internus. Die intermediäre Gruppe mündet oberhalb des Meatus acusticus internus in den Sinus sagittalis superior, die mediale Gruppe bezeichnenderweise medial, sowie die laterale Gruppe lateral des Meatus [58]. Nach cranial begrenzt das Tentorium die Fossa posterior. Der Nervus trochlearis zieht von der Dorsalfläche des Hirnstamms im Subarachnoidalraum zur Schädelbasis herab, wo er am Rand des Tentoriums in die Dura eintritt und weiter durch die laterale Wand des Sinus cavernosus verläuft. Das Cavum Meckeli, der Nervus trigeminus und die Arteria cerebelli superior liegen medial und oberhalb des suprameatalen Tuberkels. Die Fasern des Nervus abducens treten am Unterrand der Brücke oberhalb der Pyramide aus und verlaufen vom Sulcus bulbopontinus zum Dorello-Kanal. Der gemeinsame Schenkel des oberen und unteren Bogens liegt versteckt in den knöchernen Strukturen des Felsenbeins auf der lateralen Seite des Tuberkels. Der Saccus endolymphaticus und der Aquaeductus vestibuli liegen unterhalb des Zielgebietes.

Die Sella turcica, das Zentrum der Schädelbasis, ist lokalisiert im posteromedialen Anteil der mittleren Schädelgrube und eng umgeben von den

folgenden neurovaskulären Strukturen: das Chiasma opticum ist auf dem oberen Anteil des Diaphragma sellae gelegen, der Sinus cavernosus formt ihre laterale Begrenzung, beinhaltend den intracavernosen Anteil der Arteria carotis interna und die Hirnnerven III, IV, V, VI. Kranial ist sie von Strukturen des Diencephalons und dem dritten Ventrikel umgeben. Die Zisternen, welche die hintere mit der mittleren Schädelgrube verbinden, sind die unpaarigen Cisterna quadrigeminalis und Cisterna interpeduncularis und die paarigen Cisterna cruralis und Cisterna ambiens. Die Cisterna interpeduncularis befindet sich zwischen der Fossa interpeduncularis und dem Dorsum sellae [65] und grenzt posterior an die Cisterna pontis, anterior an die Cisterna chiasmatica und lateral an die Cisterna ambiens, Cisterna cruralis und Cisterna carotis [57, 82]. Der Nervus oculomotorius verläuft anterolateral entlang der lateralen Grenze der Cisterna interpeduncularis um den Sinus cavernosus zu erreichen. Die Arteria basilaris tritt, von unten die Membrana mesencephalica durchbrechend, in diese Zisterne ein, gibt die Arteria cerebelli superior [41] ab und teilt sich in die Arteriae cerebri posteriores (PCA). Die, die Cisterna interpeduncularis kreuzenden Venen sind die medianen Venae pontomesencephalicae anteriores, die parallel zum Nervus oculomotorius verlaufen, die Vena communicans posterior, die die vorher genannte mit den Venae pedunculares verbindet und die Vena sulci pontomesencephalici [58].

Die Cisterna cruralis liegt lateral der Cisterna interpeduncularis und anterolateral zu den Pedunculi cerebri. Sie wird lateral vom Uncus, medial vom Pedunculus cerebri, sowie der Membrana cruralis und nach oben vom Tractus opticus begrenzt. Die PCA (posterior cerebral artery), die Arteriae choroidales anteriores und die medialen Arteriae choroidales posteriores verlaufen durch die Cisterna cruralis [57, 80]. Die Cisterna ambiens wird medial durch das Mesencephalon, nach superior durch den Thalamus und nach lateral, auf der Höhe des Tentoriums vom Gyrus parahippocampalis begrenzt. Zusätzlich zu den oben beschriebenen Strukturen, die in der Cisterna cruralis verlaufen, ziehen durch die Cisterna ambiens die Arteria cerebelli superior (SCA), die Vena basalis Rosenthal und der Nervus trochlearis [65, 80].

Abbildung 9 zeigt zur Verdeutlichung die Durchtrittsstellen von Nerven und Gefäßen durch die innere Schädelbasis.

1.6.3 Der supraorbitale endoskopische Zugang (anterolateraler Zugang)

Der Zugang zu Tumoren der vorderen Schädelgrube erforderte traditionell eine weite Eröffnung des Operationsfeldes, zusammen mit einer anhaltenden Retraktion des Lobus frontalis oder potentiellen entstellenden transfacialen Zugängen. Diese Zugänge unterwerfen den Patienten unerwünschter neurologischer und kosmetischer Morbidität [4, 5, 67, 72]. Mit der Einführung von stufenweise weniger invasiven Zugängen wurden intrakranielle Tumore mit craniofacialer Beteiligung zugänglicher für en-bloc Resektionen mit einem Minimum an schädlichen Konsequenzen. Der supraorbitale endoskopische Zugang [24, 43, 52, 81] ist geeignet für Läsionen im Bereich der Fossa cranii anterior, der suprasellären und parasellären Region. Behandelt werden können so Meningeome, Craniopharyngeome, Hypophysenadenome mit extrasellärer Ausdehnung und andere variable supratentorielle Pathologien. Der Einsatz von Endoskopie erlaubt durchweg die Darstellung kritischer Strukturen ohne die Notwendigkeit eines bicoronalen Hautlappens, einer bifrontalen Osteotomie oder Retraktion des Gehirns.

1.6.4 Anatomie der vorderen Schädelgrube

Am Boden der vorderen Schädelgrube, dicht neben der Mittellinie, treten die Nervi olfactorii durch die Öffnungen der Lamina cribrosa zum Riechkolben. Des Weiteren zieht durch die Lamina cribrosa die Arteria ethmoidalis anterior, die ein Abgang der Arteria ophthalmica ist. Der Nervus opticus zieht durch den Canalis nervi optici in die Schädelhöhle, begleitet von der Arteria ophthalmica. Rostral der Lamina cribrosa entspringt die Falx cerebri an der Crista galli,

welche mit der Falx die rechte Fossa cranii von der linken trennt. Die hintere Begrenzung ist die Ala minor des Os sphenoidale, dessen hinterster Punkt der Processus clinoides anterior darstellt. Die Fossa cranii anterior enthält den Lobus frontalis des Grosshirns [50].

Abbildung 9 zeigt zur Verdeutlichung die Durchtrittsstellen von Nerven und Gefäßen durch die innere Schädelbasis.

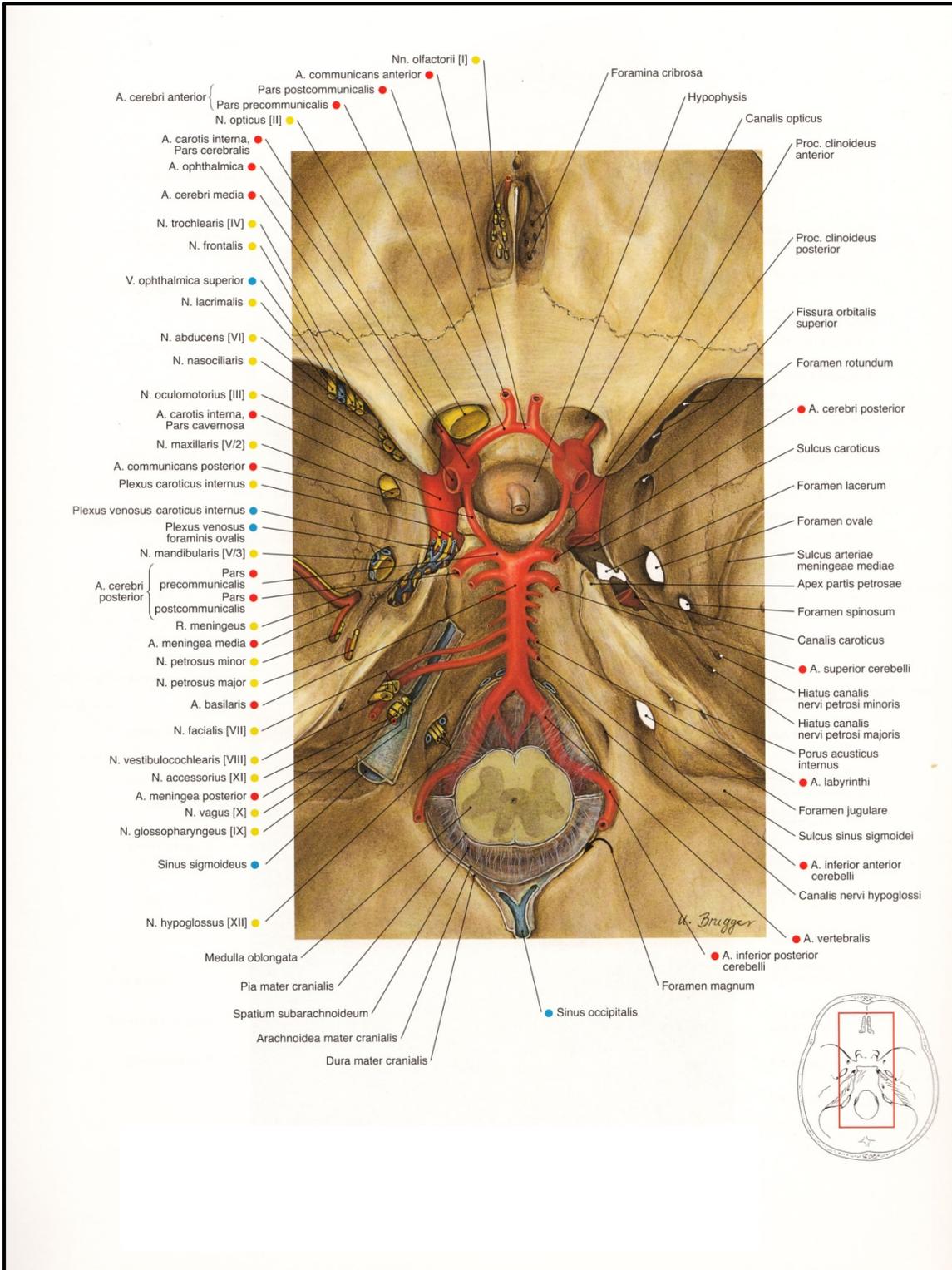


Abbildung 9: Durchtrittsstellen von Gefäßen und Nerven durch die innere Schädelbasis (Quelle Sobotta, Band 1, Abb 490, Urban & Fischer)

1.7 Fragestellung

Die Endoskopie findet in immer mehr Bereichen der Neurochirurgie Anwendung. Allerdings gibt es hier, wie oben ausgeführt, keine standardisierten Verfahren und oft keine ausreichende Datenlage, die die Vorteile dieses Verfahrens im Vergleich zur Mikrochirurgie eindeutig beweisen.

Die Anatomie der Schädelbasis ist sehr komplex und die räumlichen Verhältnisse sehr begrenzt. Die Endoskopie bietet den Vorteil auf geringstem Raum, einen größtmöglichen Einblick auf die Strukturen zu erhalten. Dies wird durch den Einsatz von verschiedenen Optiken noch erweitert.

Hieraus ergeben sich folgende Fragestellungen zur Erörterung am anatomischen Präparat:

1. Ist eine endoskopische Exploration an der Schädelbasis über verschiedene neurochirurgische Zugänge machbar?
- 2a. Welche Strukturen sind sichtbar?
- 2b. Welche Strukturen sind mit verschiedenen Optiken sichtbar?
3. Gibt es Unterschiede in der Darstellung zwischen verschiedenen Optiken?
4. Lassen sich Gefäße selektiv, am Beispiel der Vena petrosa superior, mit farbigen Silikon füllen und so ihre Abflusswege darstellen?

2 Material und Methoden

2.1 Material

2.1.1 Anatomische Präparate

Für die Untersuchungen an der Schädelbasis wurden 10 anatomische Präparate verwendet. Die Körperspender verfügten sich schriftlich und freiwillig zu Lebzeiten für die Wissenschaft am Anatomischen Institut der Universität Tübingen.

Die Fixierung der Präparate erfolgte entweder nach Tutsch (Formalinfixierung) oder nach Lang (Alkohol-Glycerol Fixierung).

Die Gefäßfüllung zur Darstellung der Vena petrosa erfolgte mit einem Silikonfarbegermisch.

Im Folgenden sollen kurz die beiden Fixierungen und die Gefäßfüllung beschrieben werden.

Formalinfixierung nach Tutsch

Die Formalinfixierung wurde von H. Tutsch [79], ehemaliger Präparator am Anatomischen Institut der Universität Tübingen, entwickelt. Sie besteht zu 44% aus Alkohol, zu 27% aus Glycerin, zu 6% aus Formalin, zu 4% aus Lysoformin und zu 19% aus Wasser. Der durchschnittliche Verbrauch pro Fixierung liegt bei 25 Litern. Die Fixationslösung wird mit 0,3bar Druck über die Arteria femoralis durch das Gefäßsystem gepumpt. Hände und Füße müssen allerdings oftmals nachfixiert werden. Danach lagert das Präparat für mindestens 6 Monate in einem Kühlungssystem (Thalheimer Wand). Durch diese lange und aufwendige Fixierung soll eine optimale Konservierung des Gewebes und Vermeidung von Schimmelbildung erreicht werden. Hierbei handelt es sich um die Standardfixierung für den Präparierkurs.

Alkohol-Glycerol Fixierung nach Lang

Die Alkohol-Glycerol –Fixierung nach Lang stammt aus Zürich [59]. Nach ihr wurden die Präparate Nummer 2 und 6 fixiert.

Sie besteht zu 71,5% aus Alkohol, zu 28,3% aus Glycerin und zu 0,2% aus Lysoformin. Der durchschnittliche Verbrauch pro Fixierung liegt hier bei 15-17 Litern. Nach erfolgter Fixierung wird das Präparat mit etwas Fixierlösung in einen Foliensack eingeschweißt. Dort lagert es für etwa 6 Wochen. Diese Fixierung erlaubt den Erhalt von Gewebeeigenschaften und teilweise Gewebefarben.

Gefäßfüllung

Für die Füllung des Venensystems wurde 100ml Silikonfarbe mit folgender Zusammensetzung verwendet: 96g Silikon, 2,27g Pigment blau oder rot, 76,8g Silikonöl und 3,56g Härter. Die Füllung erfolgte über den Sinus petrosus superior beidseits mittels 10ml Spritze mit Dreiwegehahnsystem zur Verlängerung unter endoskopischer Sicht mit manuellem Druck. Die Aushärtungszeit betrug 3 Wochen. Nachfixierung des entnommenen Präparates für weitere 2 Wochen in 4% Formalinlösung. Die Zusammensetzung der Farbe und die Lagerungszeiten basieren auf Erfahrungswerten.

Verwendung der Präparate

Die Exploration des anterolateralen Zugangs, des retrosigmoidalen Zugangs, sowie des anatomischen Zugangs erfolgte an den Präparaten Nummer 1 bis 6.

Für die Reihenuntersuchung des retrosigmoidalen Zugangs wurden vier Präparate verwendet, somit acht Seiten untersucht. Diese Präparate wurden wie bereits beschrieben formalinfixiert. Es handelt sich hierbei um die Präparate der Nummern 7, 8, 9 und 10.

Für die Gefäßfüllung wurden die Präparate 2, 4, 6, 7 und 8 verwendet

Im Anhang befindet sich eine Tabelle, die eine Aufschlüsselung der Präparate nach Alter, Geschlecht und Todesursache zeigt (Tabelle 1). Eine weitere Tabelle zeigt ein Beispielbild pro Präparat und untersuchter Seite (Tabelle 3).

2.1.2 Technische Ausstattung

Für die Endoskopie am Schädel wurden eine starre 5mm 25° Optik der Firma Richard Wolf (Knittlingen, Deutschland) und eine starre 5mm 70° Optik der Firma Smith&Nephew GmbH (Hamburg, Deutschland) verwendet. Der Endoskopieturm stammt von der Firma Richard Wolf GmbH (Knittlingen, Deutschland). Die Bohrungen wurden mit einem high-speed-drill der Firma Zeppelin Medical Instruments vorgenommen.

Zur Präparation wurde des Weiteren das Operationsmikroskop OPMI Pro Magis von Carl Zeiss verwendet. Abbildung 10 zeigt das Setting bestehend aus Endoskopieturm (Abbildung 10A) und Operationsmikroskop (Abbildung 10B).

Die Dokumentation erfolgte mit digitalen Aufnahmesystemen wie Mini – DV (Sony) und einer Videoworkstation zur Digitalisierung der DV- Bänder und Bearbeitung des Videomaterials (Software Adobe Premiere Pro), sowie Bearbeitung der Bilder (Adobe Photoshop CS2). Die Erstellung der Grafiken erfolgte mit Adobe Illustrator CS2 und Corel Draw X5.

Die Vermessung der Vena petrosa erfolgte mit einer handelsüblichen digitalen Schieblehre.



Abbildung 10A:Setting mit Endoskopieturm



Abbildung 10B: Setting mit Operationsmikroskop und Videoturm

2.2 Methoden

Die endoskopische Darstellung der Schädelbasis erfolgte über drei verschiedene Zugänge, die im Folgenden beschrieben werden. Der anatomische Zugang stellt eine großzügige Erweiterung des okzipitalen Zugangs, wie er in der Neurochirurgie verwendet wird, dar. Das Augenmerk liegt hier auf gute Darstellbarkeit der Strukturen, weniger auf die schonende Zugangsweise. Nach Exploration über den anatomischen Zugang wurden in den weiteren Schritten für die Darstellung der hinteren Schädelbasis der retrosigmoidale Zugang verwendet, um möglichst operationsrealistische Verhältnisse darstellen zu können.

Für den Bereich vordere Schädelgrube wurde der anterolaterale Zugang, wie er auch in der Neurochirurgie Anwendung findet, gewählt.

Die Gefäßfüllung erfolgte wie bereits oben beschrieben. Nach der Aushärtungszeit von 3 Wochen wurde zunächst über den anatomischen oder retrosigmoidalen

Zugang die hintere Schädelbasis dargestellt. Nach Abschluss des endoskopischen Rundganges wurde der Inhalt der hinteren Schädelgrube in toto reseziert und für 2 Wochen in 4% Formalin nachfixiert. Schlussendlich erfolgte die Vermessung der Vena petrosa und 3D Fotografie am nachfixierten Präparat.

2.2.1 Beschreibung des anatomischen Zugangs

Die Darstellung der hinteren Schädelbasis erfolgt zum einen über den anatomischen Zugang. Die Präparate werden flach auf dem Bauch gelagert, der Kopf über den Rand des OP-Tisches hyperflektiert. Nach großzügiger Hautinzision wird die Kopfschwarte mit angrenzender Muskulatur stumpf von der Schädelkalotte gelöst. Mit einer Oszillatorsäge wird nun ein Knochendeckel ausgesägt (Abbildung 11), vorsichtiges Ablösen von der Dura, ohne sie zu beschädigen. Die Eröffnung des Schädels erfolgt also als Teilkalottektomie. Nach Herausnahme des Knochendeckels ist nun die geschlossene Dura, darunter der Okzipitallappen, das Tentorium und das Kleinhirn sichtbar (Abbildung 12). Als letzter Schritt erfolgt die Eröffnung der Dura (Abbildung 13) unter Erhaltung der Falx und des Tentoriums. Nun kann das Kleinhirn mittels eines Kleinhirnspatel nach medial verdrängt werden um den nötigen Platz für das Einbringen der Optik zu schaffen.

Die folgenden Abbildungen dokumentieren den anatomischen Zugang am Beispiel des Präparates Nummer 2. Bei diesem Präparat erfolgte zusätzlich die Gefäßfüllung wie beschrieben mit dem Silikonfarbegermisch.

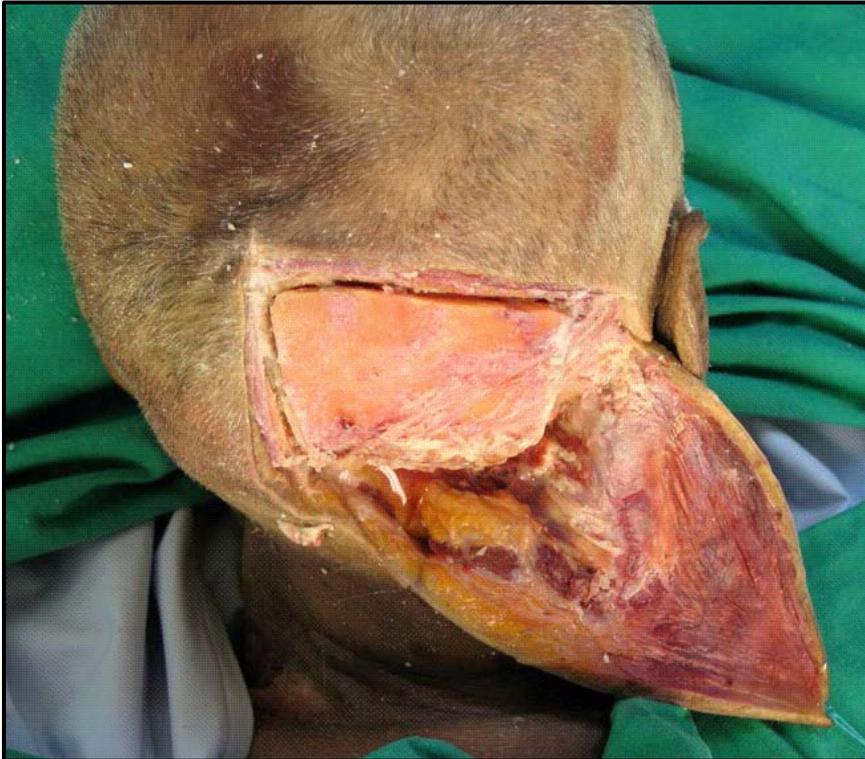


Abbildung 11: Nach Hautschnitt und Präparation erfolgt das Ausschälen des Knochendeckels. Zur leichteren Orientierung wurden die Abbildungen gedreht.



Abbildung 12: Entnahme des Knochendeckels, darunter die noch geschlossene Dura

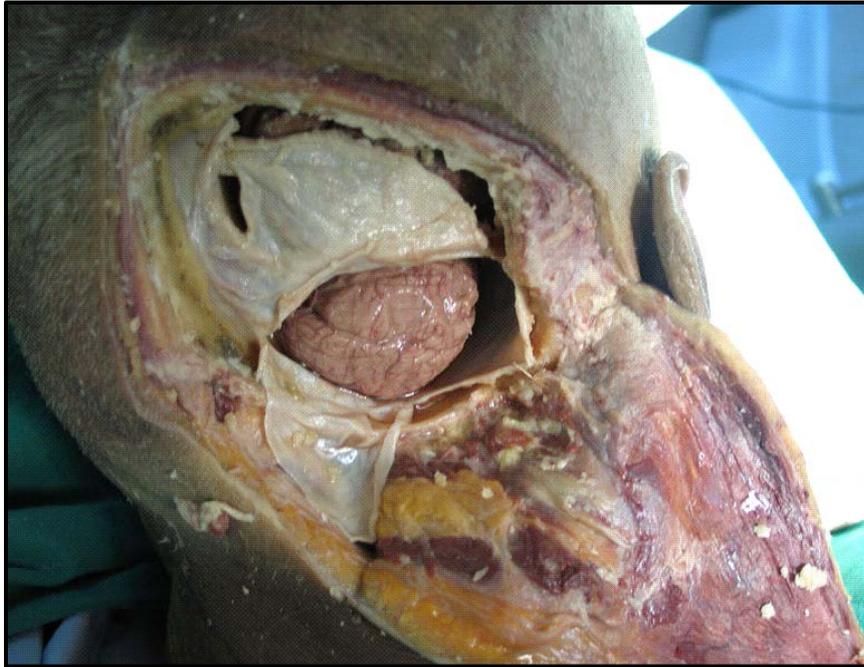


Abbildung 13: Eröffnung der Dura

2.2.2 Beschreibung des retrosigmodalen Zugangs

Für den retrosigmodalen Zugang [60, 61, 63] werden die Präparate flach auf dem Bauch gelagert, der Kopf hierbei über den Rand des OP- Tisches hyperflektiert. Ein C-förmiger Hautschnitt wird in der Retromastoid-Region gesetzt. Nach Präparation in die Tiefe, bei der der Musculus semispinalis capitis, der Musculus sternocleidomastoideus, sowie Teile des Musculus trapezius abgesetzt werden und nach Freilegung des Schädelknochens, erfolgt nun die Kraniotomie. Hierzu ist die ungefähre Darstellung des Sinus sigmoideus notwendig (Abbildung 14). Nach der Kraniotomie wird die Dura C-förmig eröffnet, die Suturen dienen hierbei als Halt für die Duralappen. Anschließend wird das Kleinhirn mit Hilfe eines Kleinhirnspatels nach medial gedrängt, um den nötigen Platz zu schaffen.

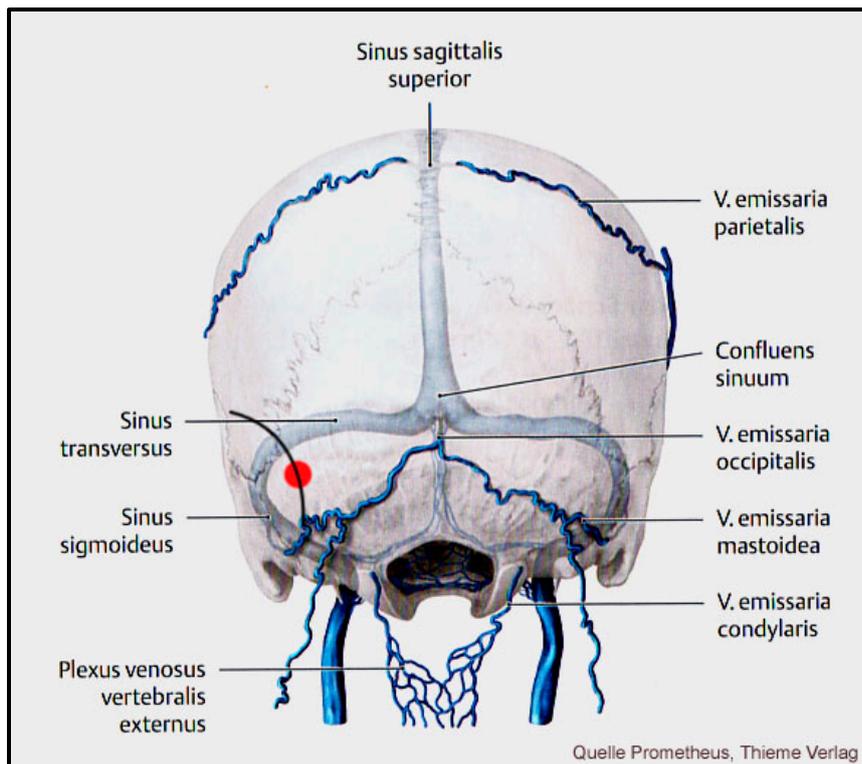


Abbildung 14: retrosigmoidalen Zugang: Hautschnitt in der retrosigmoid Region (schwarze Linie) und Position der Kraniotomie im Verhältnis zum Sinus transversus und Sinus sigmoideus (roter Punkt). (Abbildung modifiziert, Quelle Prometheus, Thieme Verlag)

2.2.3 Reihenuntersuchung

Die Reihenuntersuchung zum Vergleich der 25° Optik mit der 70° Optik wurden die Präparate Nummer 7 bis 10 verwendet. Der Vergleich erfolgt über den oben beschriebenen retrosigmoidalen Zugang. Zuerst wird die 25° Optik eingebracht, danach auf der gleichen Seite zum Vergleich die 70° Optik. Beurteilt werden die Erreichbarkeit folgender Strukturen der hinteren und mittleren Schädelgrube, sowie eventuell auftretende Probleme.

Es werden die wichtigsten Strukturen der hinteren und mittleren Schädelgrube in der folgenden Tabelle (Tabelle 2) zusammengefasst, um diese im direkten Vergleich beurteilen zu können.

Tabelle 2: Strukturen der hinteren und mittleren Schädelgrube, die beim Vergleich der Optiken erreicht werden wollen

Hintere Schädelgrube	Struktur
<i>Hirnnerven</i>	N. accessorius
	N. trigeminus
	N. vestibulocochlearis
	N. facialis
<i>Arterien</i>	A. basilaris
	A. cerebelli anterior inferior (A.I.C.A.)
	A. cerebelli superior (S.C.A.)
	A. cerebri posterior
	A. labyrinthi
<i>Venen</i>	Sinus petrosus superior
	Vena petrosa superior
Mittlere Schädelgrube	Struktur
<i>Hirnnerven</i>	N. abducens
	N. trochlearis
	N. oculomotorius

2.2.4 Beschreibung des anterolateralen Zugangs

Für den anterolateralen Zugang [43] werden die Präparate auf dem Rücken gelagert. Weit lateral des Foramen supraorbitale wird der Hautschnitt in der Augenbraue gesetzt. Nach Präparation in die Tiefe erfolgt dann die Kraniotomie (Abbildung 15) oberhalb des Processus zygomaticus des Os frontale an der Linea temporalis. Hierbei gilt zu beachten, dass eine zu medial gesetzte Kraniotomie den Sinus frontalis, sowie eine zu tief gesetzte Kraniotomie die Orbita eröffnen könnte.

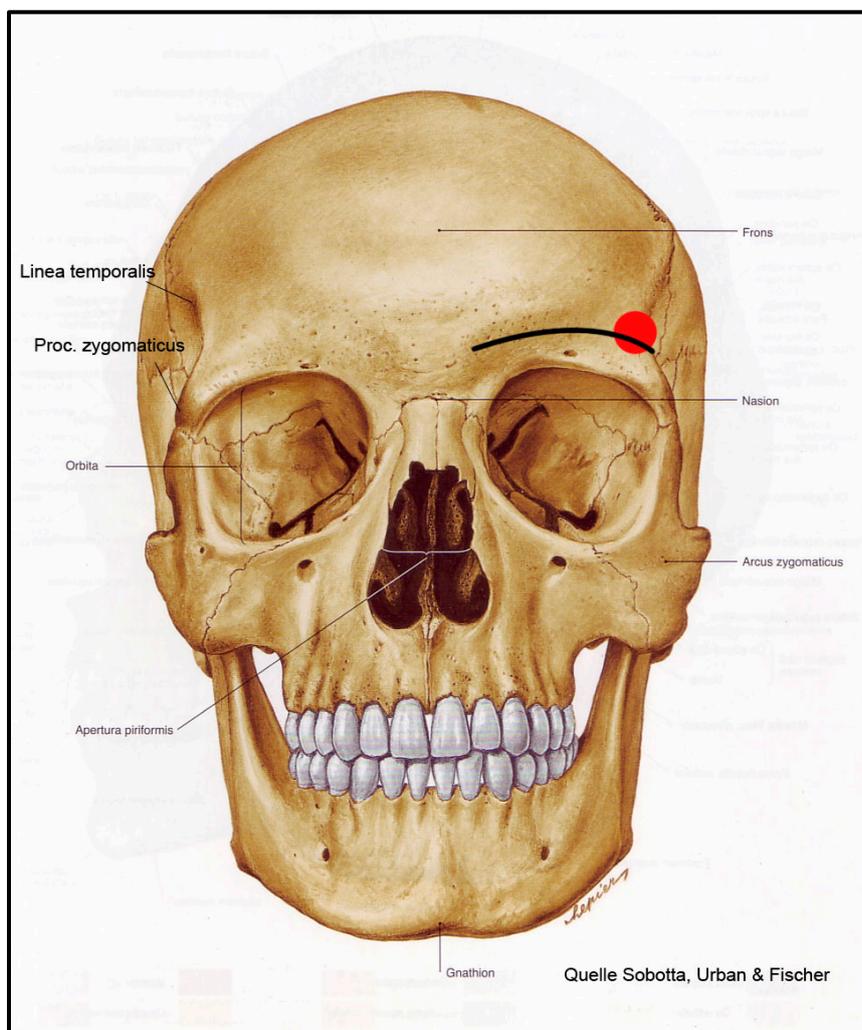


Abbildung 15: der anterolaterale Zugang: Hautschnitt in der Augenbraue (schwarze Linie) und Position des Bohrloches (roter Punkt), im Verhältnis zum Processus zygomaticus und der Linea temporalis (Abbildung modifiziert, Quelle Sobotta , Urban & Fischer)

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse für den anatomischen Zugang zur hinteren Schädelgrube

Der anatomische Zugang, wie bereits beschrieben, stellt eine sehr großzügige Erweiterung des in der Neurochirurgie verwendeten okzipitalen Zugangs [64] dar. Dieser Zugang bietet den nötigen Platz um die Strukturen der hinteren und mittleren Schädelgrube gut darstellen zu können. Allerdings ist er alles andere als minimal-invasiv.

Aufgrund der authentischeren Fixationseigenschaften von Alkohol-Glycerol wurden für diesen Zugang die Präparate Nummer 2 und 6 ausgewählt. Zusätzlich erfolgte bei diesen Präparaten auch die Gefäßfüllung mit Silikonfarbegermisch.

Nach Präparation des anatomischen Zugangs wird das Kleinhirn mit einem Spatel retrahiert, dann die 25° Optik einbracht. Die Präparation, bzw. die Retraktion des Kleinhirns wird durch die Fixationseigenschaften der Alkohol-Glycerol Fixierung erschwert. Das Hirngewebe ist sehr weich und kann durch unsachte Interventionen leicht zerstört werden. Der Kleinhirnspatel hinterlässt nach Entfernung deutliche Spuren auf dem Kleinhirn.

Abbildung 16 zeigt eine graphische Darstellung des Blickwinkels mit dem Endoskop über den anatomischen Zugang zum besseren Verständnis der nachfolgenden Endoskopiebilder.

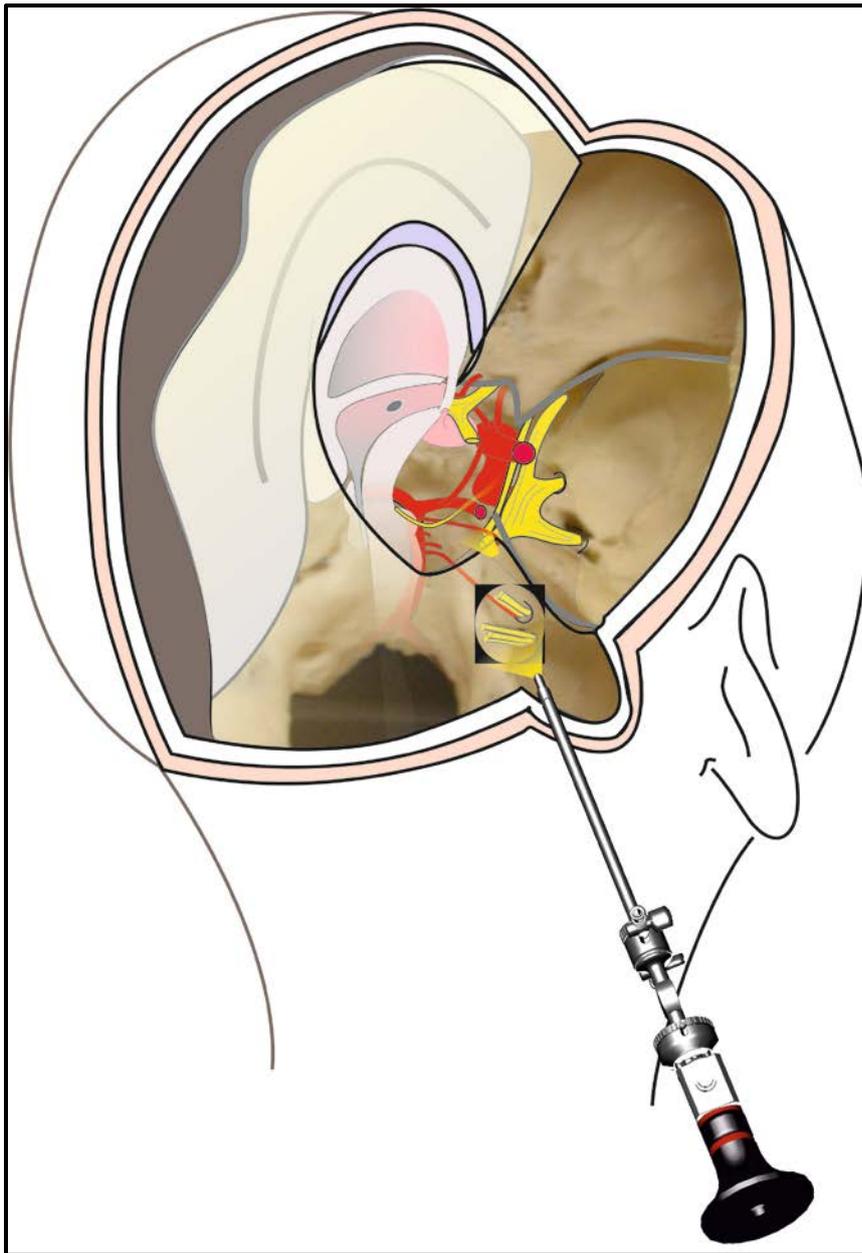


Abbildung 16: graphische Darstellung des anatomischen Zugangs und Blickrichtung des Endoskops, Fokus hier auf den Nervus vestibulocochlearis und den Nervus facialis, die kaudalen Hirnnerven und die Arteria labyrinthi.

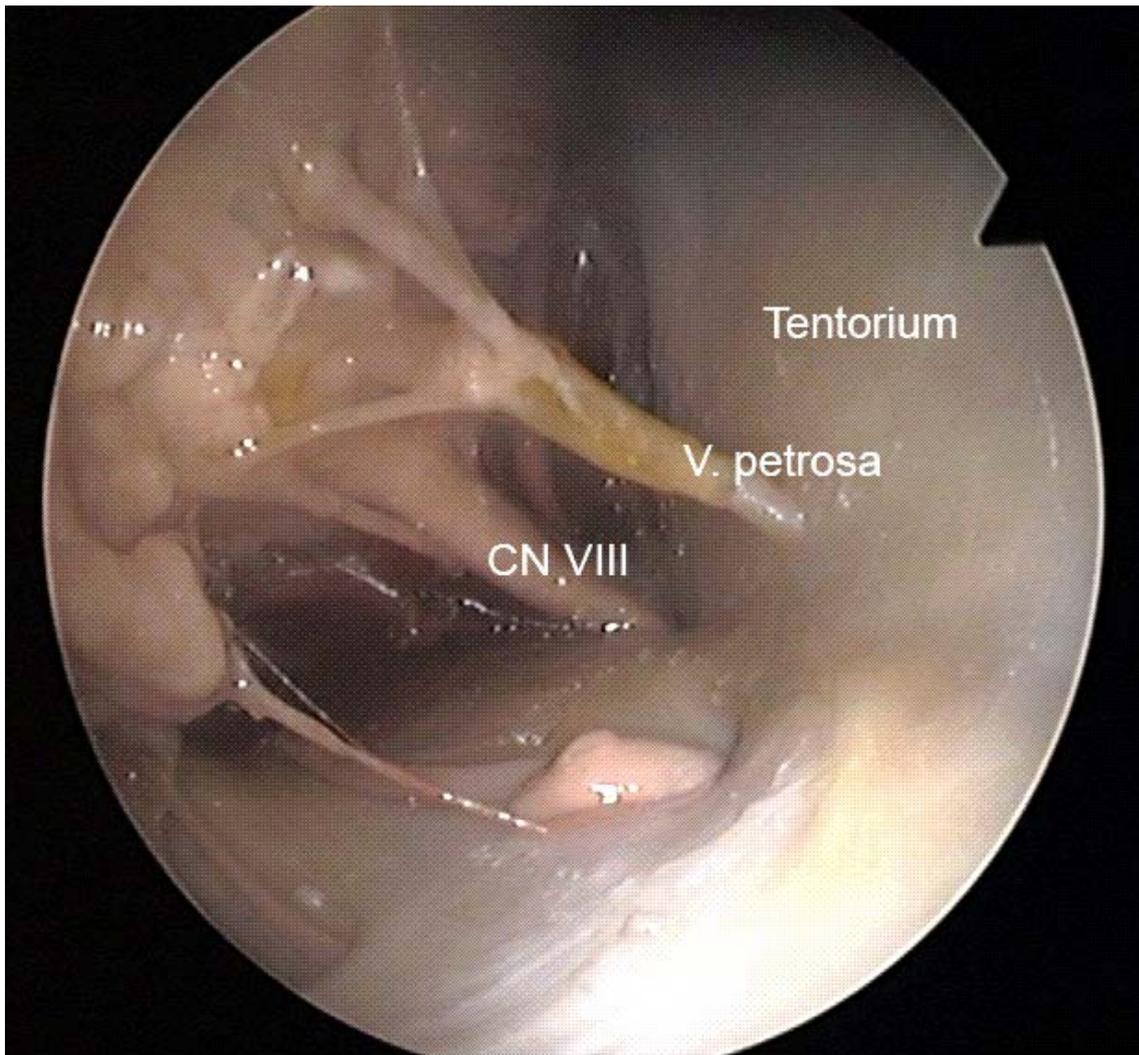


Abbildung 17: Blick von rechts: Endoskopie mit der 25° Optik über den anatomischen Zugang.

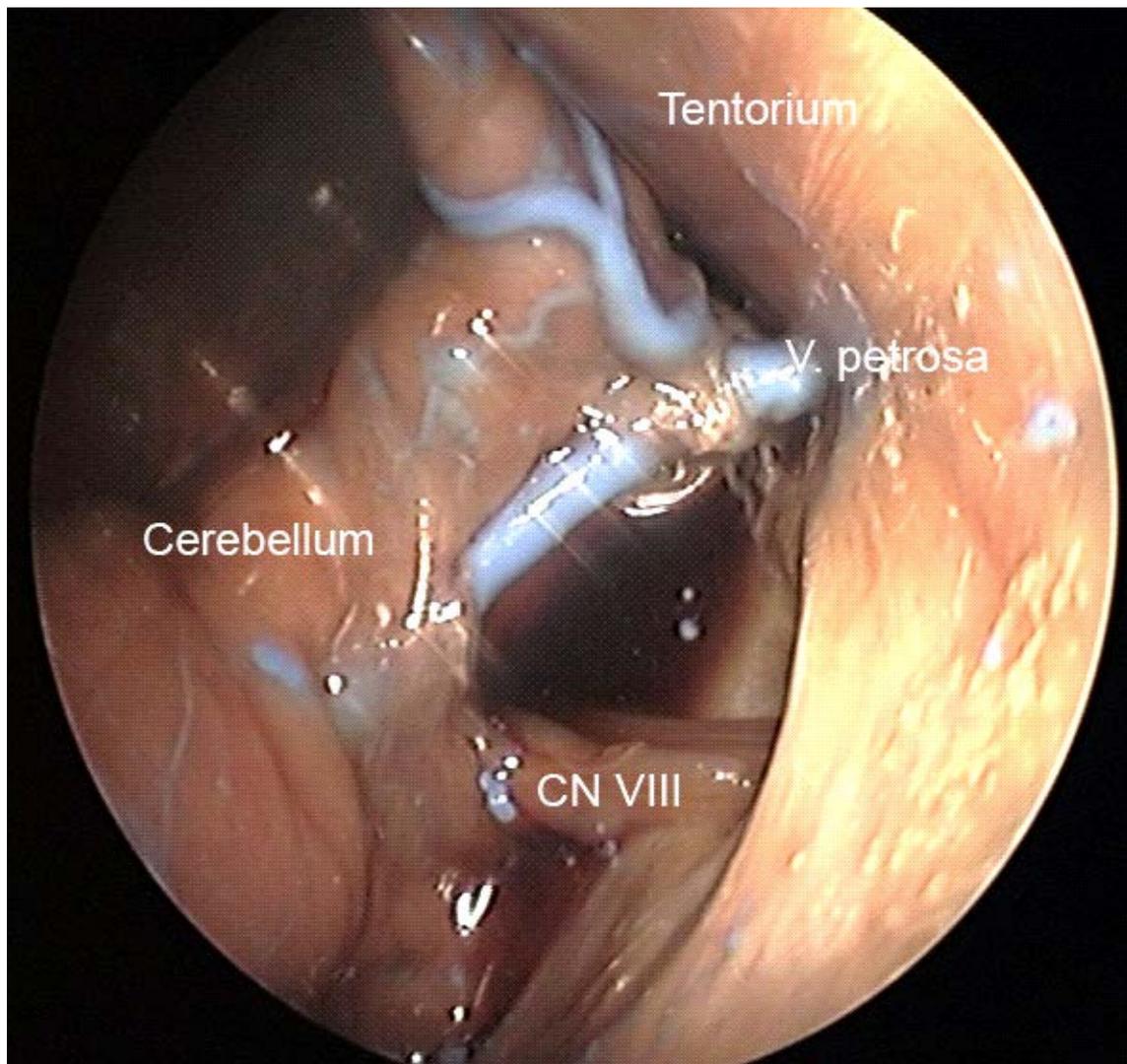


Abbildung 18: Blick von rechts: anatomischer Zugang am anderen Präparat mit Silikonvenenfüllung

Nach Einspiegeln wird der Nervus vestibulocochlearis eingestellt. Mit ihm zieht die Arteria labyrinthi und der Nervus facialis in den Porus acusticus internus. Im Hintergrund des Nervus vestibulocochlearis sieht man die Arteria cerebelli inferior anterior, die beim Einspiegeln abgerissen wurde. In der Tiefe lässt sich der Nervus trigeminus darstellen (in Abbildung 17 nicht dargestellt). Die Vena petrosa superior zeigt sich hier bestehend aus 4 Anteilen [58], und mündet in den Sinus petrosus superior. Beim Spiegeln Richtung Hirnstamm lassen sich die caudalen Hirnnerven (CN IX, X, XI), welche zum Foramen jugulare ziehen, darstellen (links unten in der Abbildung 17)

3.2 Ergebnisse für den retrosigmoidalen Zugang

Wie bereits beschrieben wird zunächst mit der 25° Optik über den retrosigmoidalen Zugang eingegangen. Nach dem endoskopischen Rundgang erfolgt derselbe mit einer 70° Optik. Zum Schluss werden die Ergebnisse aus beiden Rundgängen in der Reihenuntersuchung verglichen.

Abbildung 19 zeigt wiederum die graphische Darstellung des Blickwinkels mit dem Endoskop über den retrosigmoidalen Zugang zum besseren Verständnis der nachfolgenden Endoskopiebilder.

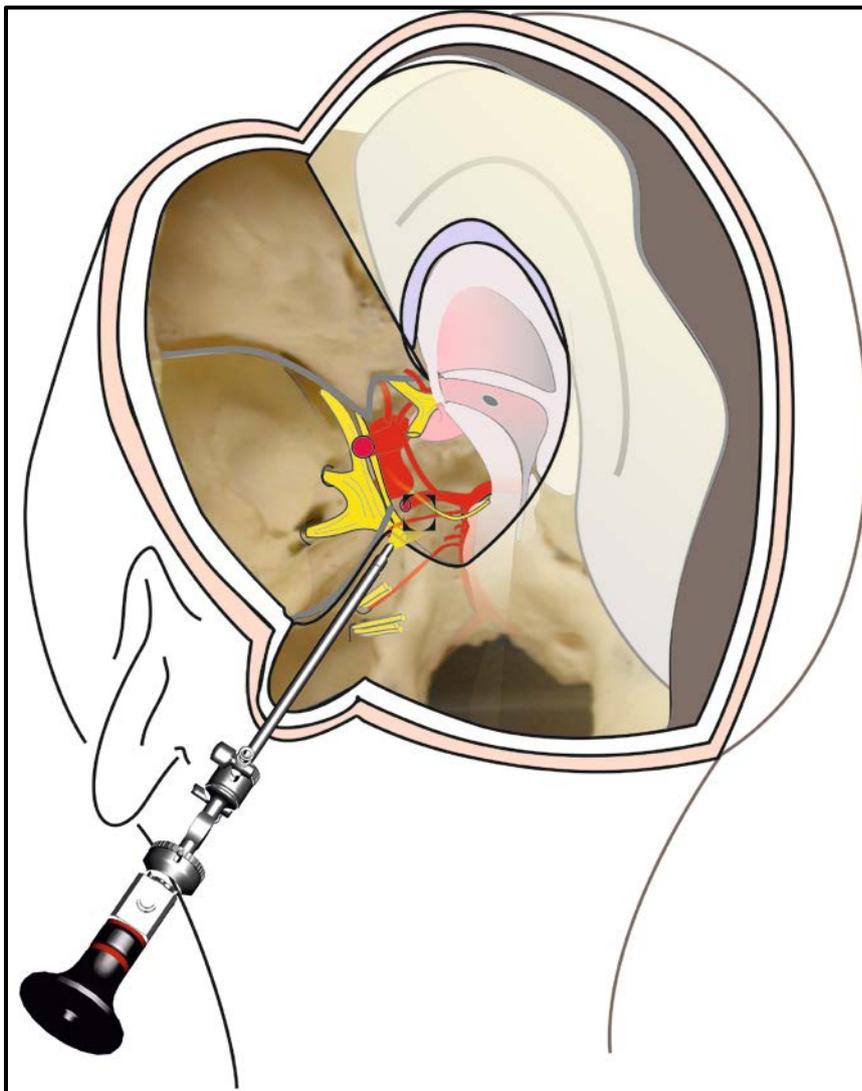


Abbildung 19: graphische Darstellung des retrosigmoidalen Zugangs und Blickrichtung des Endoskops, Fokus hier auf den Nervus trigeminus, die Arteria cerebelli superior und die Arteria cerebri posterior.

3.2.1 Ergebnisse für die 25° Optik

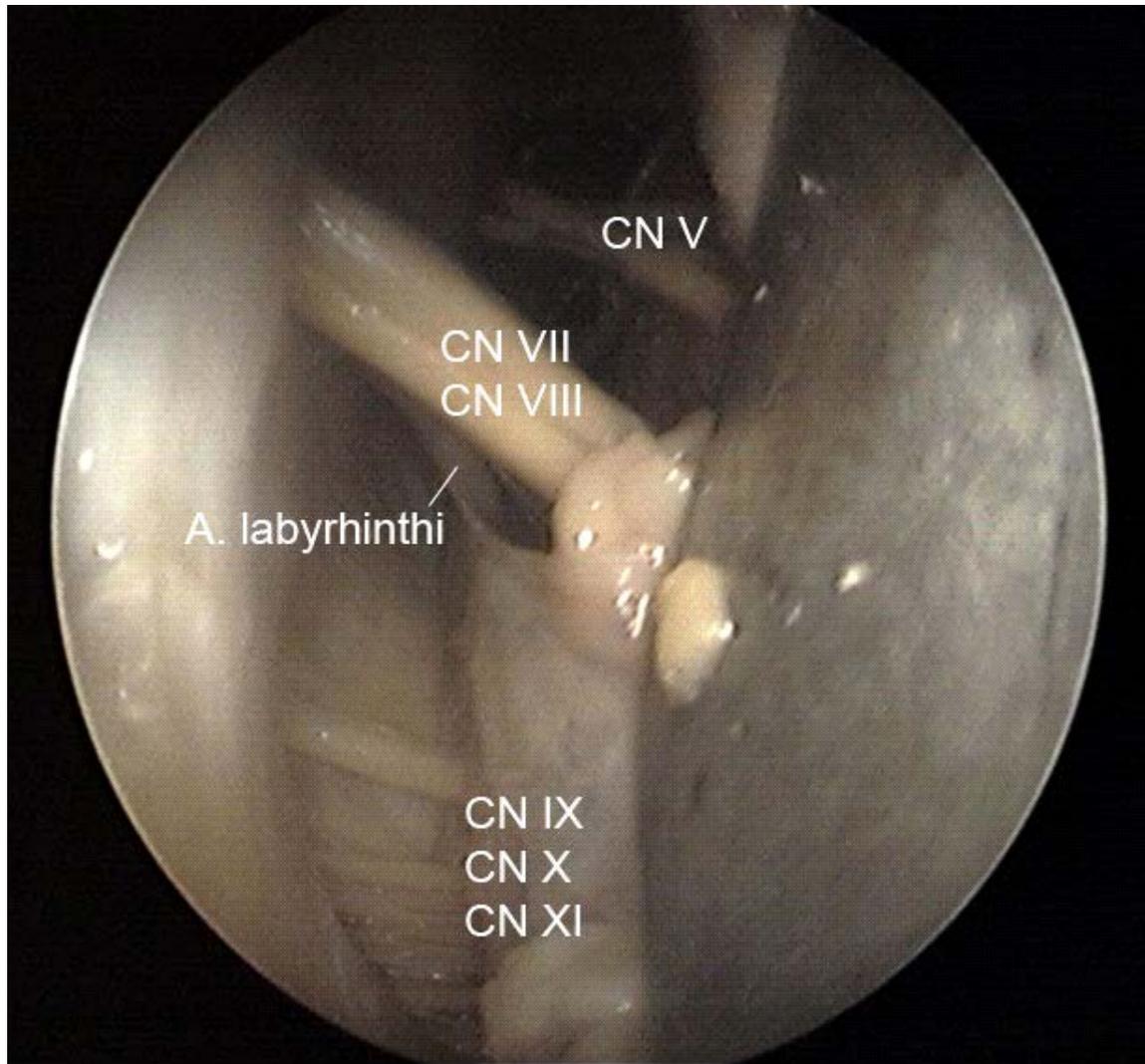


Abbildung 20: Blick von links. Einspiegeln, hierbei sieht man die caudalen Hirnnerven (CN XI, CN X, IX), CN VIII und CN VII mit der Arteria labyrinthi, im Hintergrund den CN V.

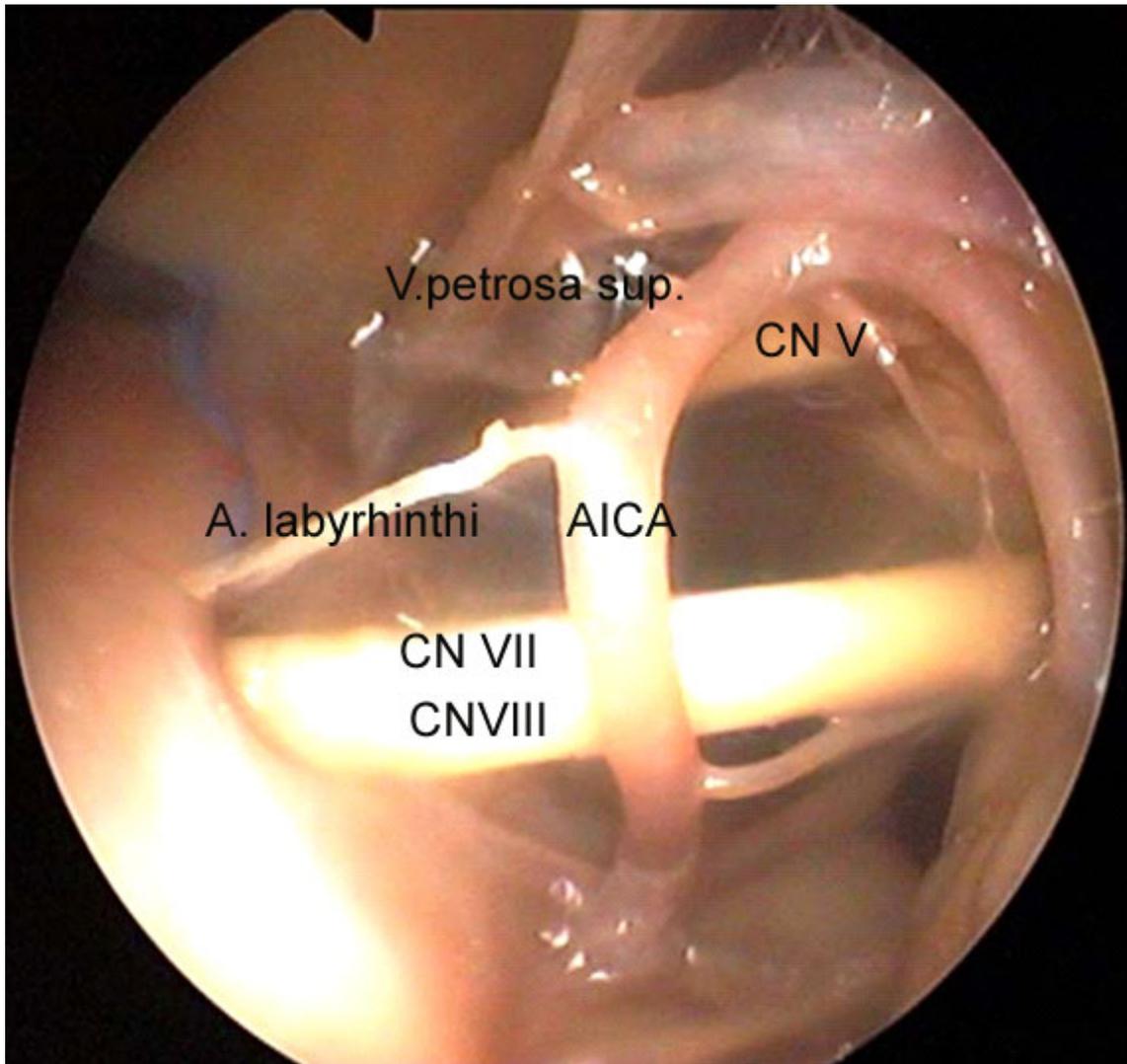


Abbildung 21: Blick von links: Im Vordergrund stellen sich der CN VIII, der CN VII mit der darüber ziehenden A.I.C.A. dar. Aus ihr entspringt als Variante die Arteria labyrinthi, die normalerweise aus der Arteria basilaris entspringt. Im Hintergrund zeigen sich der CN V, die Vena petrosa superior, die in den Sinus petrosus superior mündet.

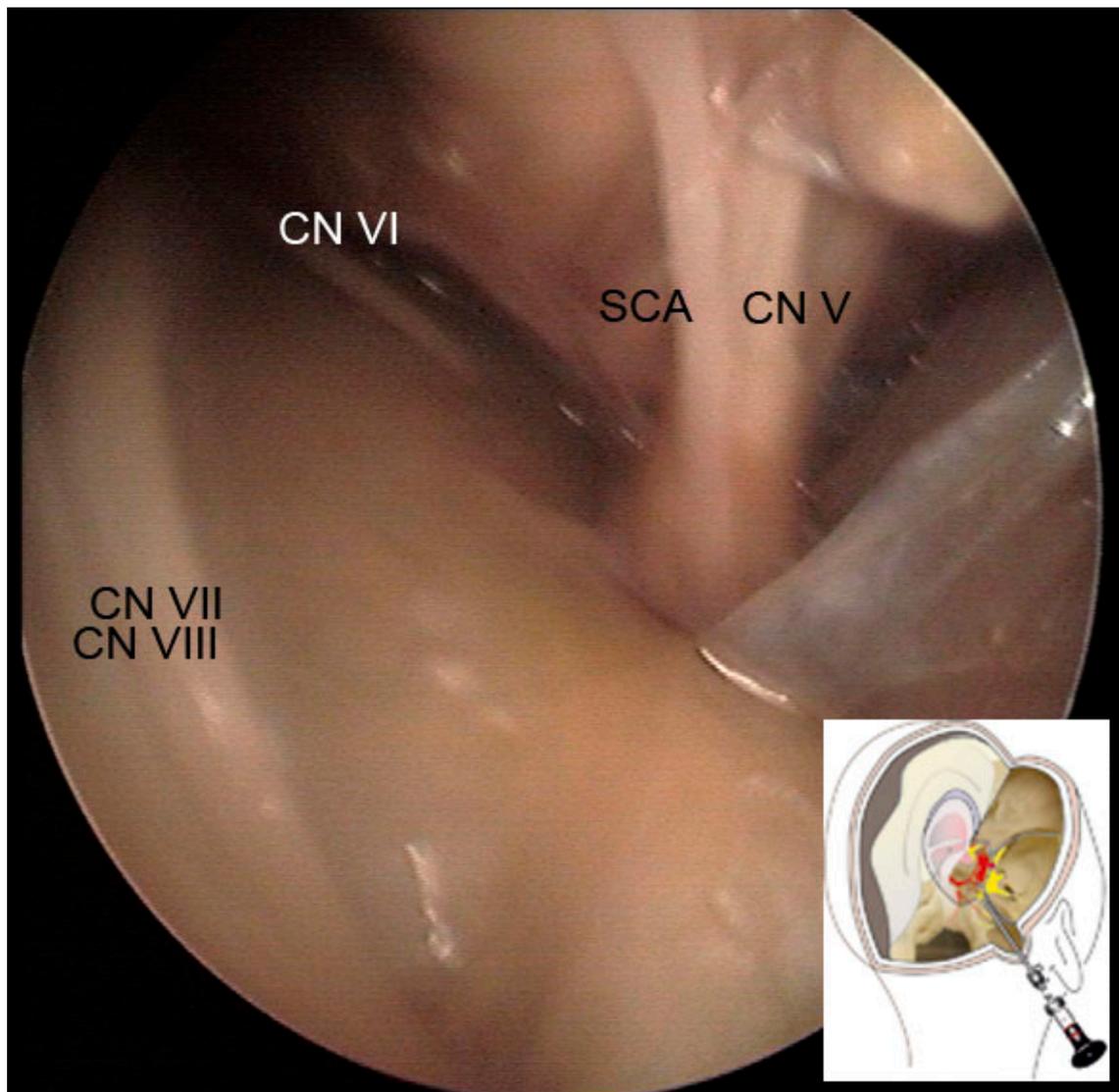


Abbildung 22: Blick von rechts. Im Bildrand der CN VII und der CN VIII, der CN V mit der SCA, von der eine Schlinge erkennbar ist. Der CN VI zieht in den Dorello Kanal. Das Icon im rechten unteren Bildrand zeigt eine Spiegelung der Abbildung 19. Zur besseren Orientierung sei auf diese verwiesen.

Zusammenfassend können mit der 25° Optik über den retrosigmoidalen Zugang die Hirnnerven N. trigeminus (CN V), N. abducens (CN VI), Nervus facialis (CN VII), Nervus vestibulocochlearis (CN VIII), Nervus glossopharyngeus (CN IX), Nervus vagus (CN X), Nervus accessorius (CN XI), sowie die Arterien Arteria cerebelli anterior inferior (A.I.C.A.) Arteria labyrinthi und die Vena petrosa superior mit Sinus petrosus superior dargestellt werden.

3.2.2 Ergebnisse für die 70° Optik

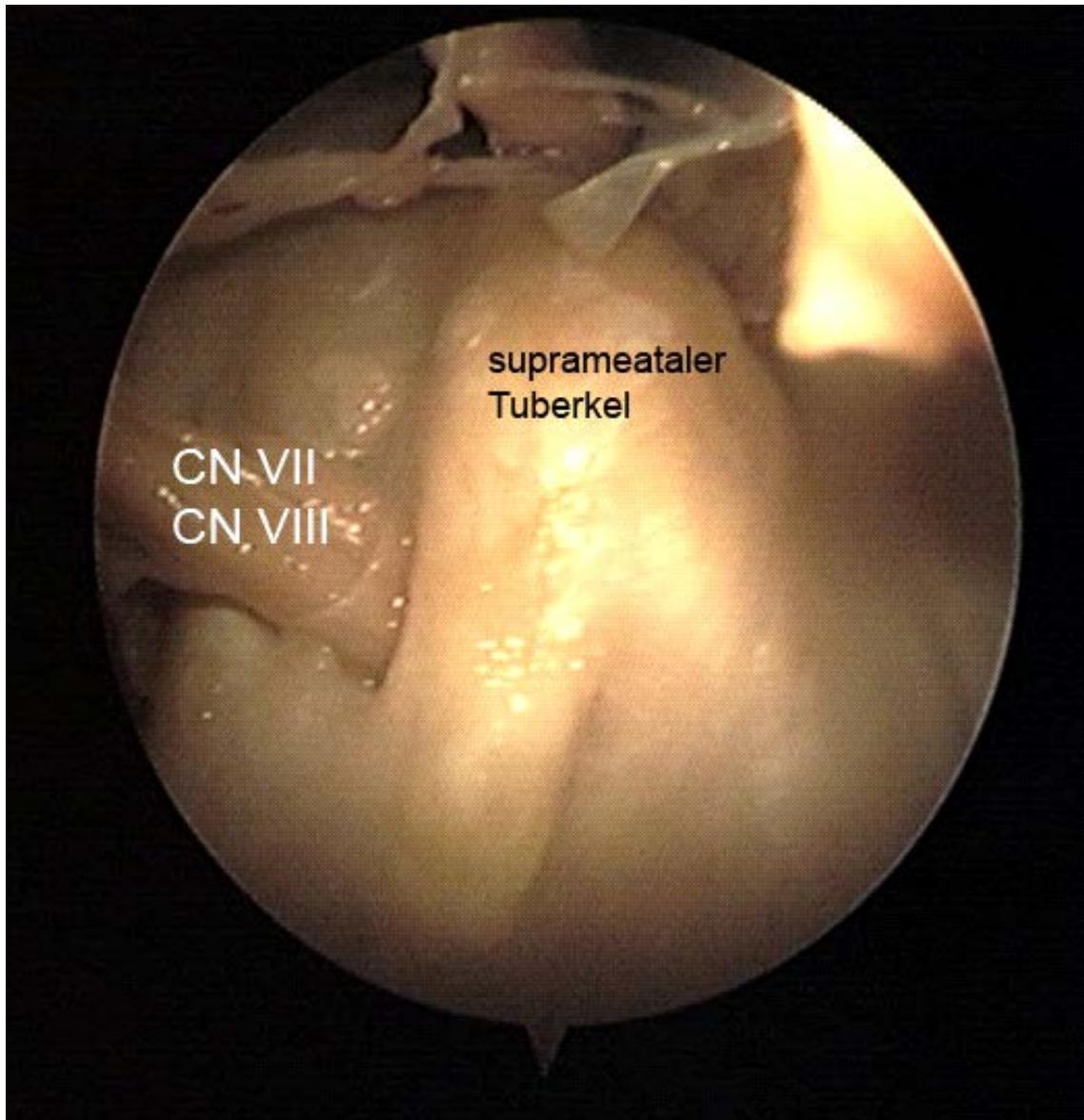


Abbildung 23: Blick von rechts: Einstellen des CN VII und des CN VIII. Sicht auf den suprameatalen Tuberkel, von dort aus erfolgt die weitere Exploration

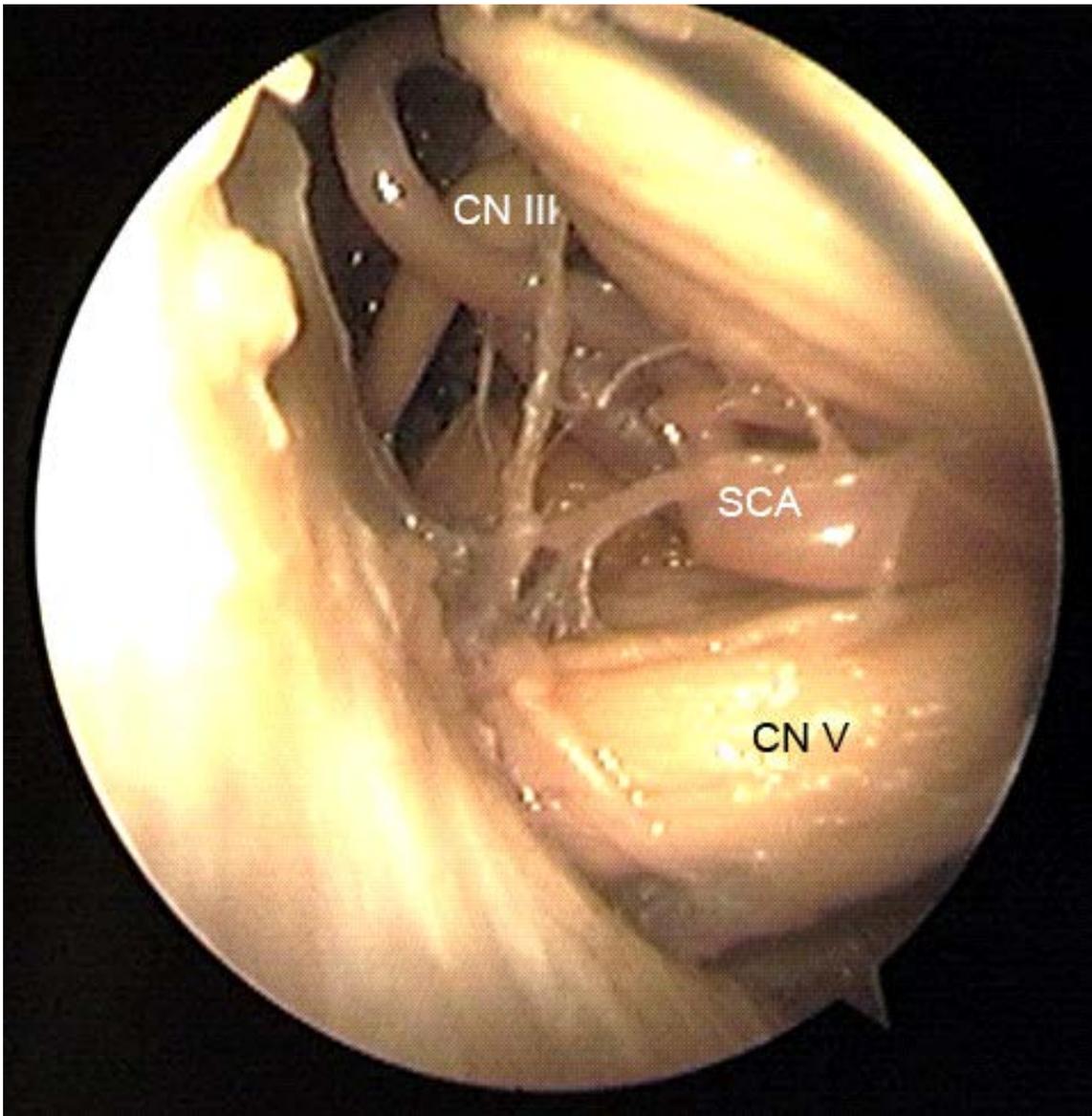


Abbildung 24: Blick von rechts auf den CN V, den CN III und die SCA.

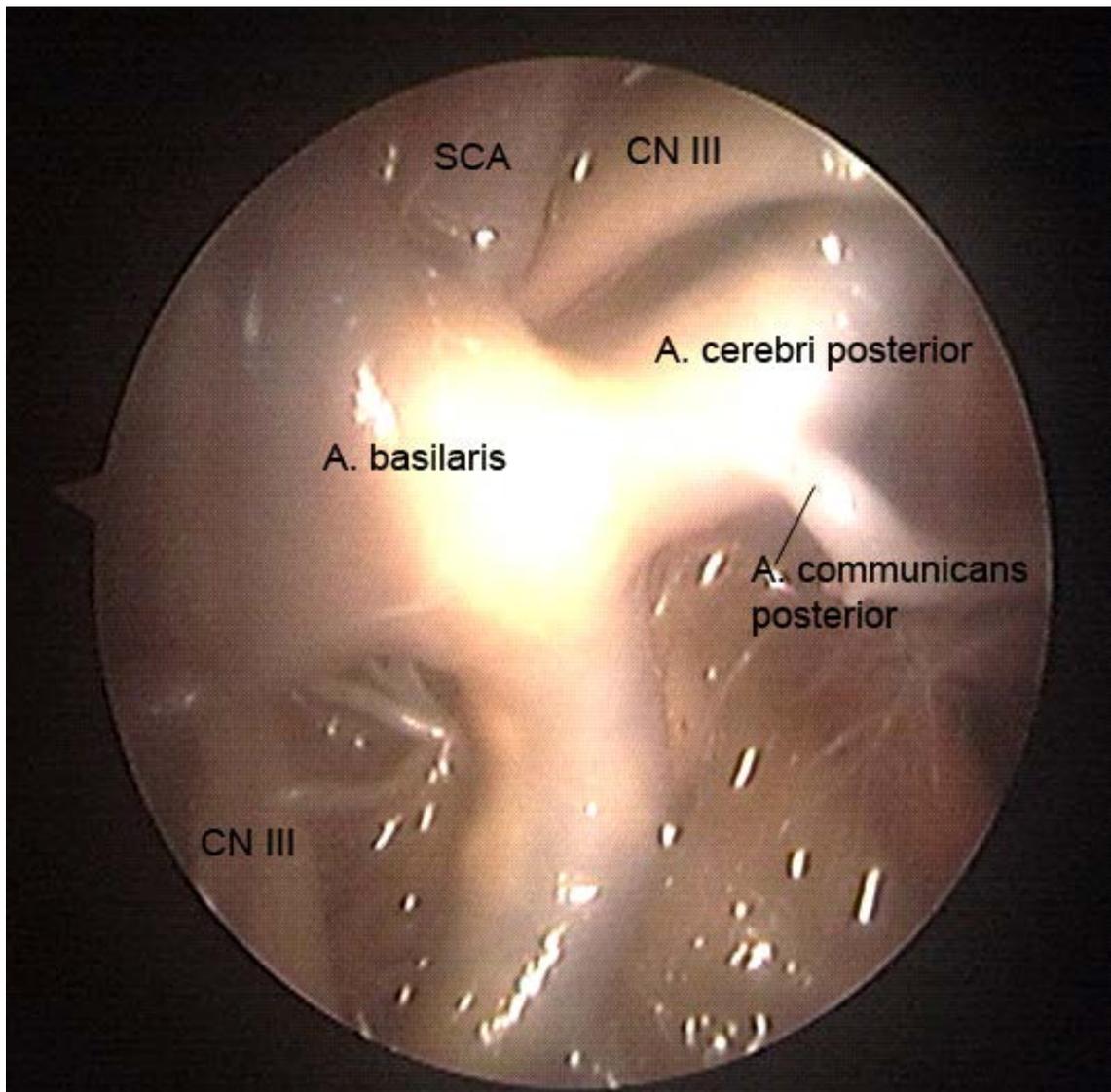


Abbildung 25: Blick von links: Die Arteria basilaris zweigt sich in die beiden Arteriae cerebri posteriores auf. Aus ihr entspringen die Arteriae communicantes posteriores. Im unteren Teil des Bildes zeigt sich der linke CN III, im oberen Teil der CN III der rechten Seite, eingerahmt von der SCA.

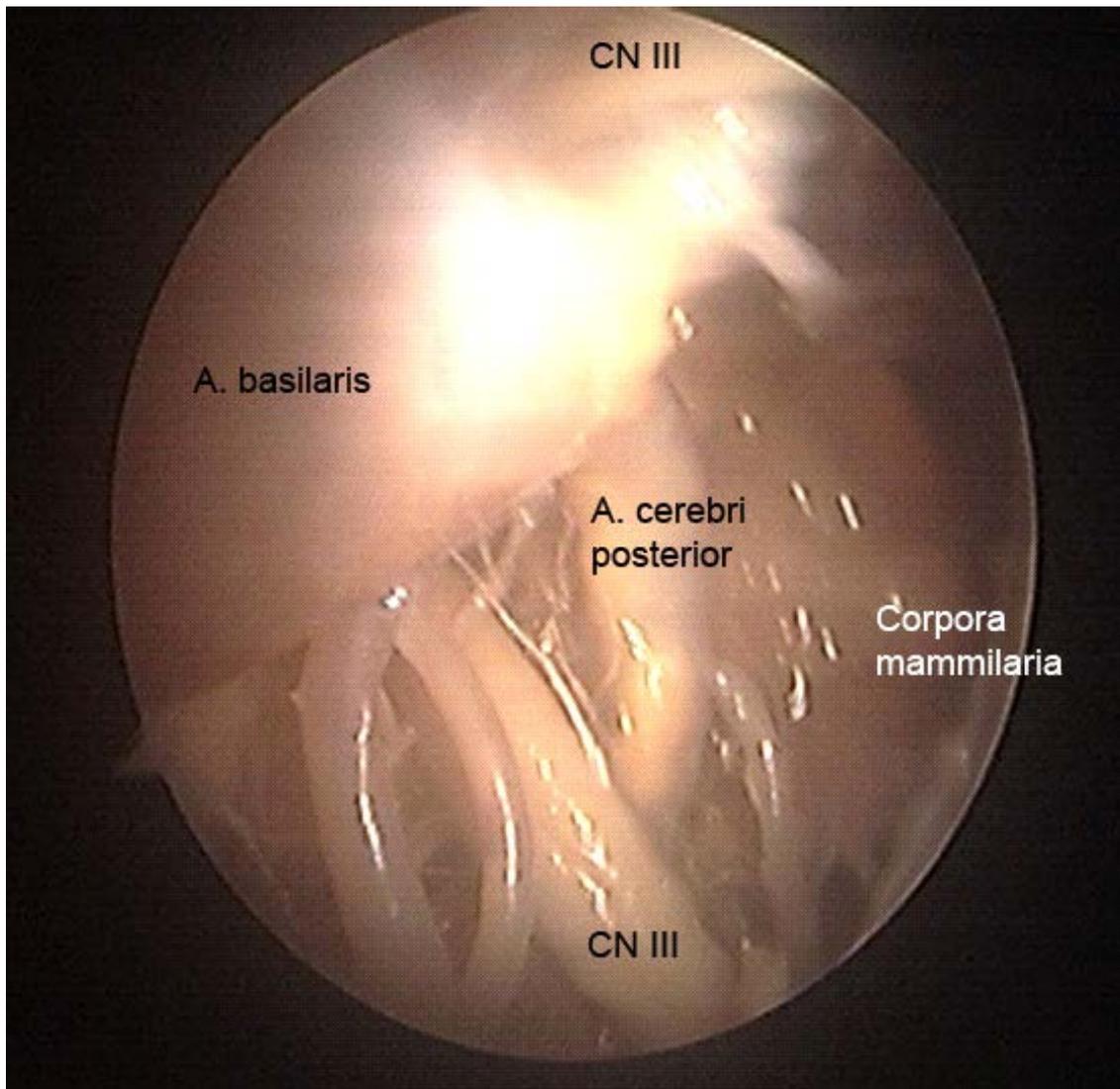


Abbildung 26: Blick von links auf den CN III beider Seiten, die Arteria basilaris mit der Arteria cerebri posterior und auf die Corpora mammilaria des Diencephalon.

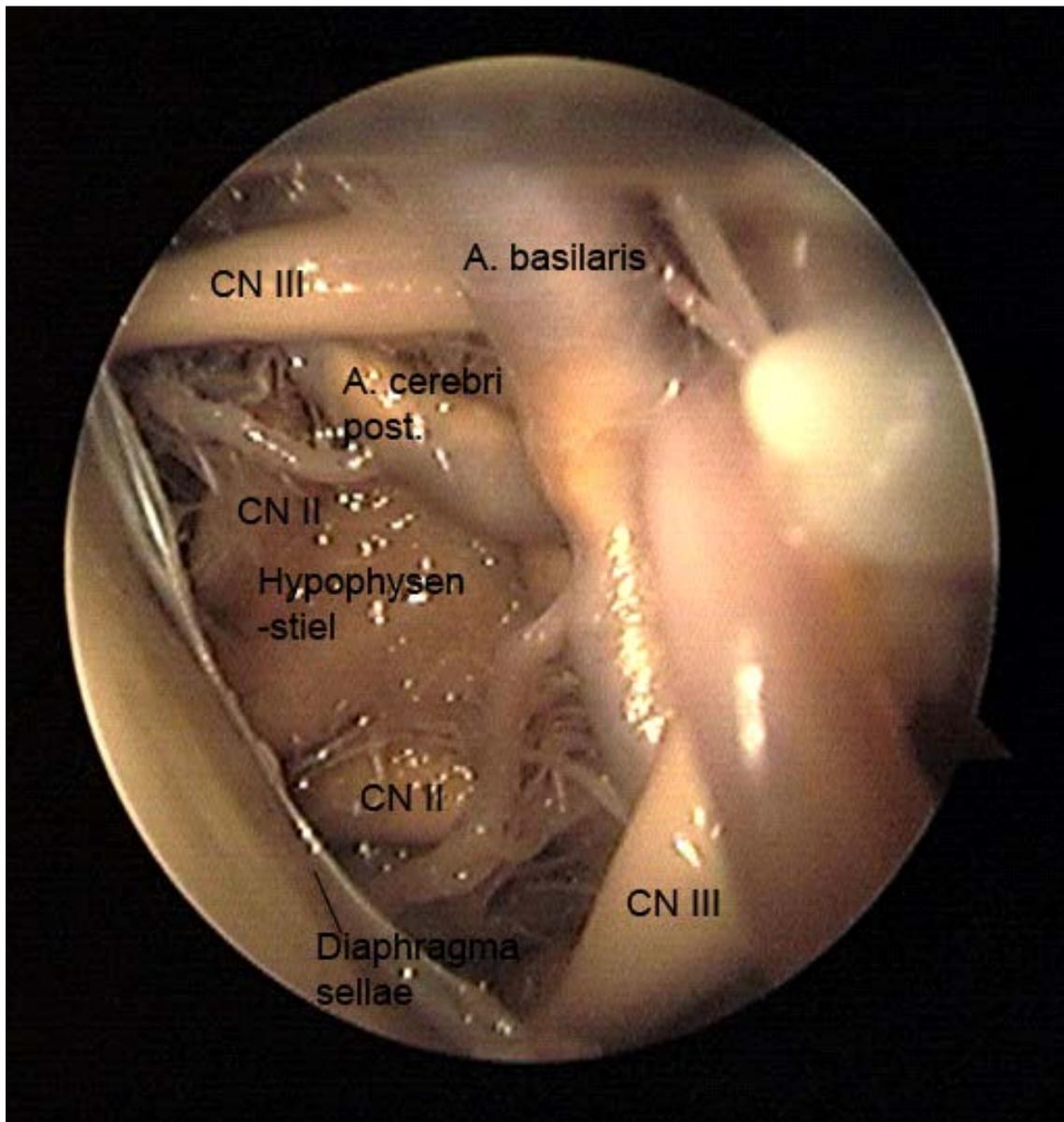


Abbildung 27: Blick von rechts: Im Diencephalon lassen sich der Hypophysenstiel mit den beiden Nervi optici (CN II) darstellen. Darunter zeigt sich das Diaphragma sellae. Die Arteria basilaris teilt sich in die beiden Arteriae cerebri posteriores, eingerahmt von den Arteriae cerebelli superiores, zeigen sich die beiden CN III.

Zusammenfassend können mit der 70° Optik über den retrosigmoidalen Zugang die Hirnnerven N. trigeminus (CN V), N. abducens (CN VI), Nervus facialis (CN VII), Nervus vestibulocochlearis (CN VIII), Nervus glossopharyngeus (CN IX), Nervus vagus (CN X), Nervus accessorius (CN XI), sowie die Arterien Arteria cerebelli anterior inferior (A.I.C.A.) Arteria labyrinthi und die Vena petrosa superior mit Sinus petrosus superior dargestellt werden.

Im Diencephalon lassen sich mit der 70° Optik zusätzlich die Nervi optici (CN II), der Hypophysenstiel, die Arteria basilaris mit ihren Abgängen und die beiden Nervi oculomotorii (CNIII), sowie die Corpora mammilaria gut darstellen.

Ein direkter Vergleich beider Optiken erfolgt in der Reihenuntersuchung.

3.3 Ergebnisse für die Reihenuntersuchung

Vergleich der 25° mit der 70° Optik über den retrosigmoidalen Zugang

Für die Reihenuntersuchung wurden, wie bereits im Material und Methoden Teil beschrieben, vier formalinfixierte Präparate verwendet.

Zuerst wird über den retrosigmoidalen Zugang die 25° Optik eingebracht. Zur Orientierung wird der Nervus vestibulocochlearis und der Nervus facialis eingestellt. Von diesem Punkt aus erfolgt die weitere Exploration. Nach Abschluss des Rundganges nun die 70° Optik eingebracht und wie zuvor versucht die Strukturen darzustellen.

Die nachfolgenden Diagramme 1-3 zeigen die Häufigkeit der dargestellten Strukturen im Vergleich beider Optiken bei einer Gesamtzahl von acht Seiten.

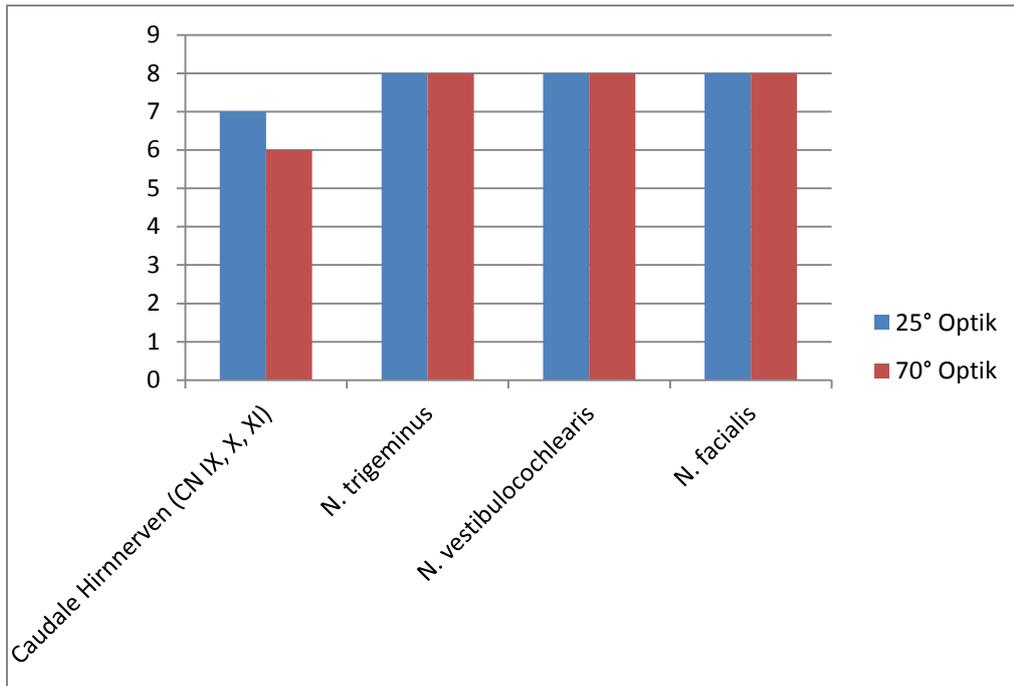


Diagramm 1: Hintere Schädelgrube Hirnnerven

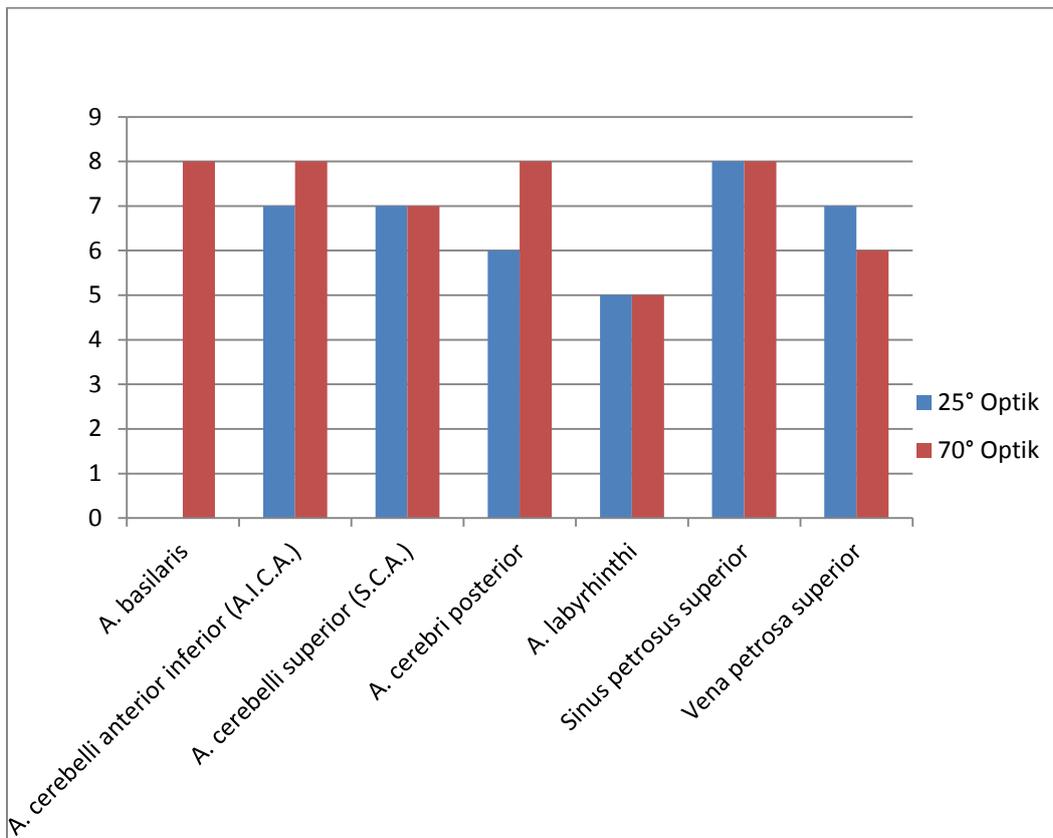


Diagramm 2: Hintere Schädelgrube Arterien und Venen

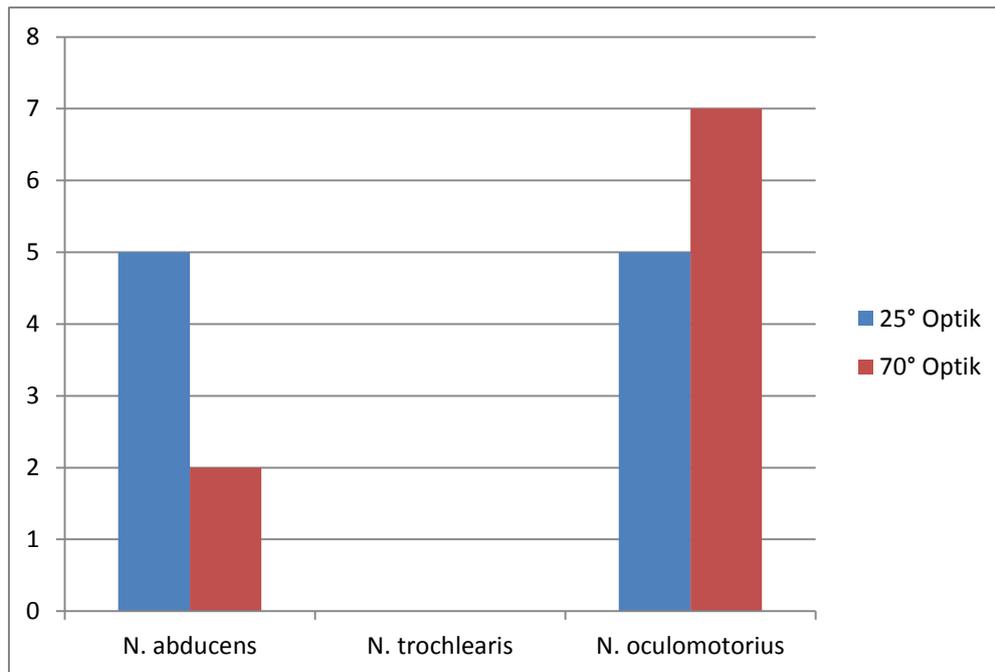


Diagramm 3: mittlere Schädelgrube Hirnnerven

Der Nervus vestibulocochlearis und der Nervus facialis dienen als Ausgangspunkt für die endoskopische Exploration. Daher konnten sie mit beiden Optiken in allen Fällen dargestellt werden. Der nächste Orientierungspunkt ist der Nervus trigeminus. Auch er konnte mit beiden Optiken in allen Fällen aufgesucht werden. Im Bereich des Porus acusticus internus mündet die Vena petrosa superior in den Sinus petrosus superior. Es wurde versucht, die Vena petrosa superior mit ihrer Einmündung in den Sinus darzustellen, was bei der 25° Optik in 7 von 8 Fällen und mit der 70° Optik in 6 von 8 Fällen gelang. Von dort aus wird nun die Arteria basilaris aufgesucht, die mit der 25° Optik nicht darstellbar und mit der 70° Optik unter Drehung der Optik in allen Fällen darstellbar war. Aus der Arteria basilaris gehen von caudal nach rostral folgende Gefäße ab: Arteria inferior anterior cerebelli, Arteria labyrinthi, Arteria superior cerebelli und Arteria cerebri posterior. Diese wurden nacheinander aufgesucht und dargestellt: Die Arteria inferior anterior cerebelli konnte mit der 25° Optik in 7 von 8 Fällen und mit der 70° Optik auf jeder Seite dargestellt werden.

Die Arteria labyrinthi konnte aufgrund ihres variablen Verlaufes, zum Teil hinter dem Nervus facialis / Nervus vestibulocochlearis und somit nicht sichtbar, mit beiden Optiken jeweils 5 von 8 Seiten dargestellt werden.

Die Arteria superior cerebelli war gut darstellbar, nur jeweils in einem Fall mit beiden Optiken nicht sichtbar. Somit war sie jeweils auf 7 Seiten mit beiden Optiken sichtbar.

Die Arteria cerebri posterior konnte mit der 25° Optik bei 6 Seiten und mit der 70° Optik bei 8 Seiten dargestellt werden.

Es zeigte sich, dass vor allem die Arteria basilaris mit ihren Abgängen mit der 70° Optik besser eingesehen werden konnte. Hier zeigten sich sowohl der Nervus okulomotorius sowie die Gefäßabgänge der gespiegelten Seite, als auch die der Gegenseite.

Es wurde nun weiter bis in die mittlere Schädelgrube vorgespiegelt. Der Nervus okulomotorius konnte mit der 25° Optik 5mal und mit der 70° Optik 7 von 8 Fällen dargestellt werden. Der Nervus trochlearis hingegen konnte weder mit der 25° noch mit der 70° Optik dargestellt werden. Der Nervus abducens konnte mit der 25° Optik bei 5 Seiten und mit der 70° Optik bei 2 Seiten gesehen werden. Die 70° Optik wird sehr nah an den Clivus geschoben, daher liegt sie auf dem Nervus abducens, weswegen er schwer eingesehen werden kann.

Mit der 70° Optik konnten im Diencephalon die Corpora mammillaria, das Chiasma opticum, das Diaphragma sellae, sowie der Hypophysenstil dargestellt werden.

3.4 Ergebnisse für den anterolateralen Zugang

Der anterolaterale (supraorbitale endoskopische) Zugang

An Präparat Nummer 5 wird rechtsseitig der anterolaterale Zugang, wie zuvor beschrieben, präpariert [43] und die 25° Optik eingebracht.

Abbildung 28 zeigt wiederum die graphische Darstellung des Blickwinkels mit dem Endoskop über den anterolateralen Zugang zum besseren Verständnis der nachfolgenden Endoskopiebilder.

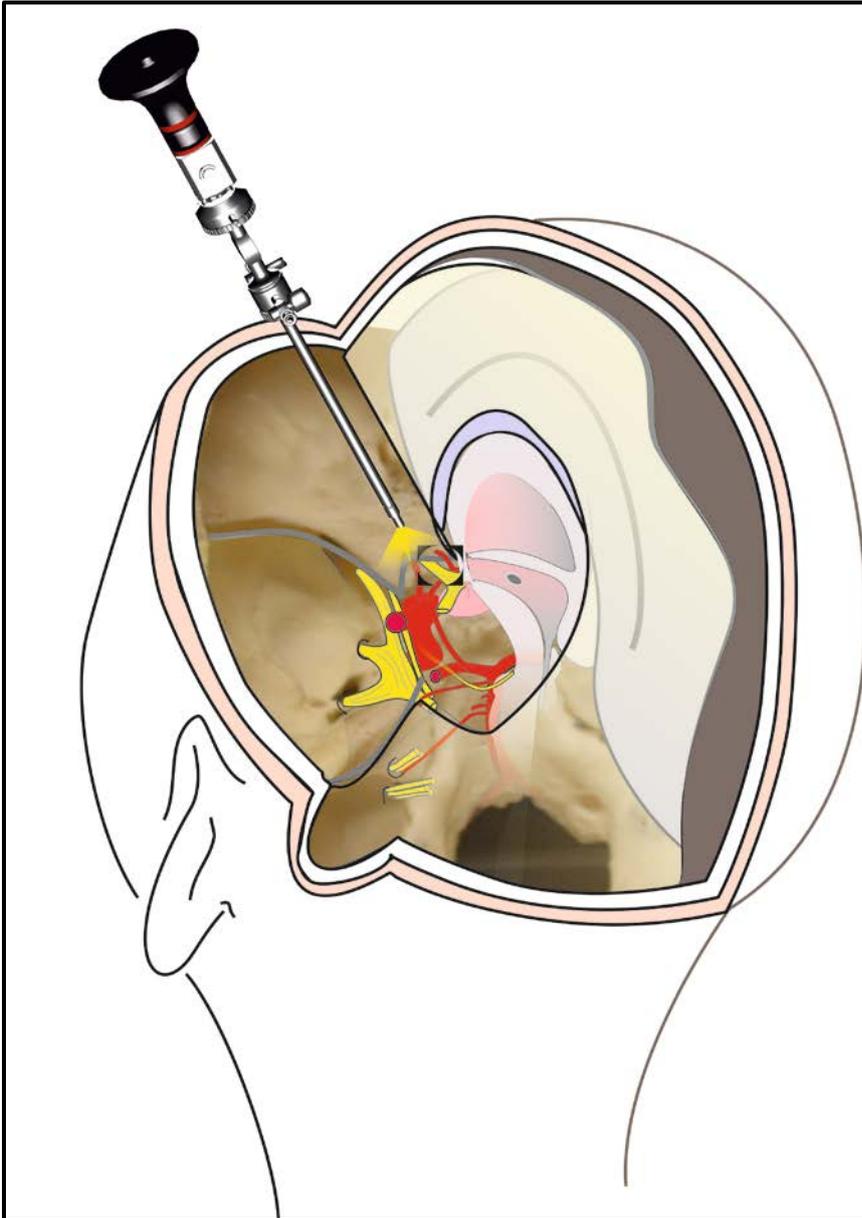


Abbildung 28: graphische Darstellung des anterolateralen Zugangs und Blickrichtung des Endoskops, Fokus hier auf die Nervi optici und die Arteria carotis mit ihren Abgängen.

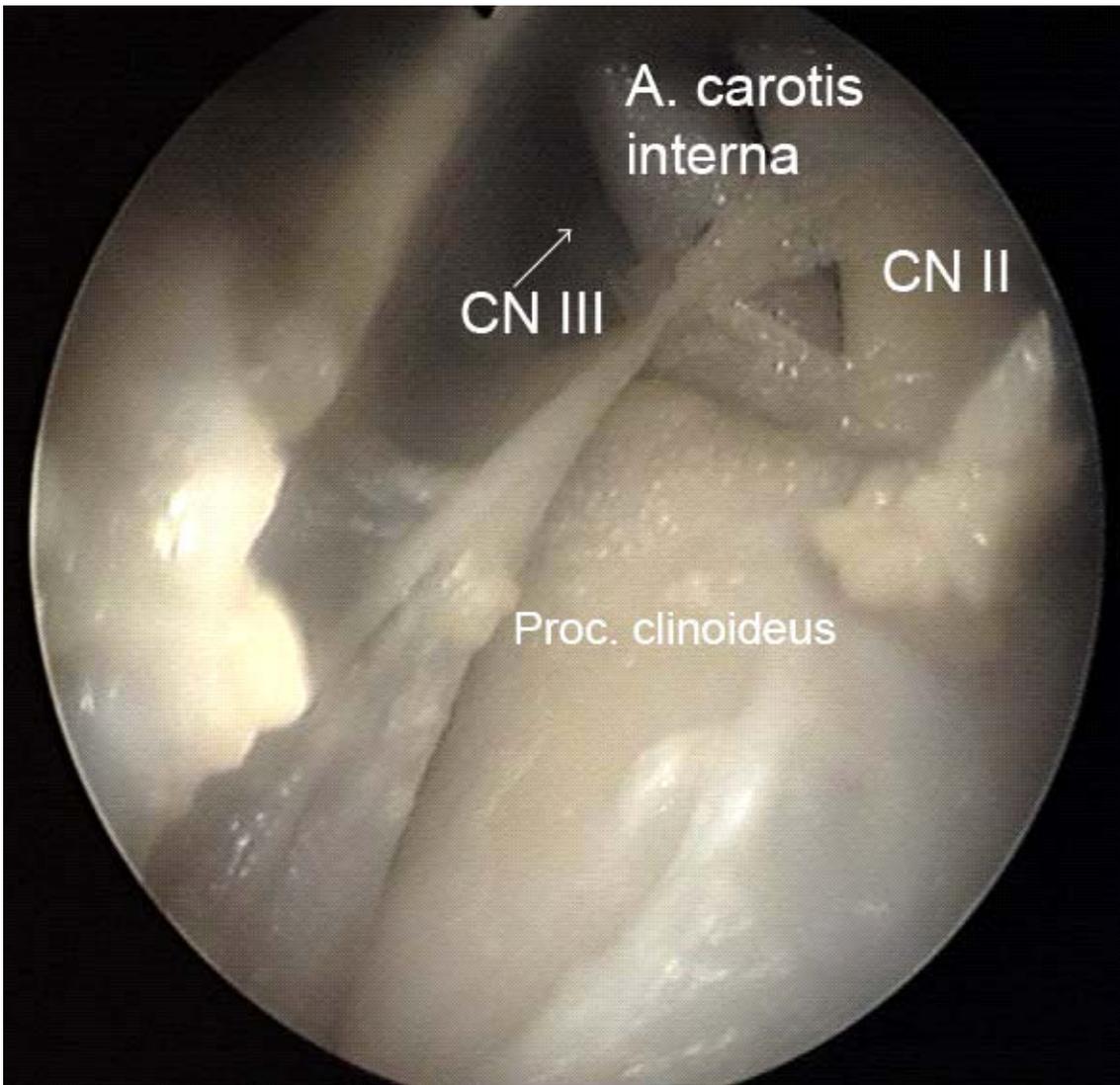


Abbildung 29: Blick von rechts auf den CN II, CN III, die Arteria carotis interna und den Proc. clinoides.

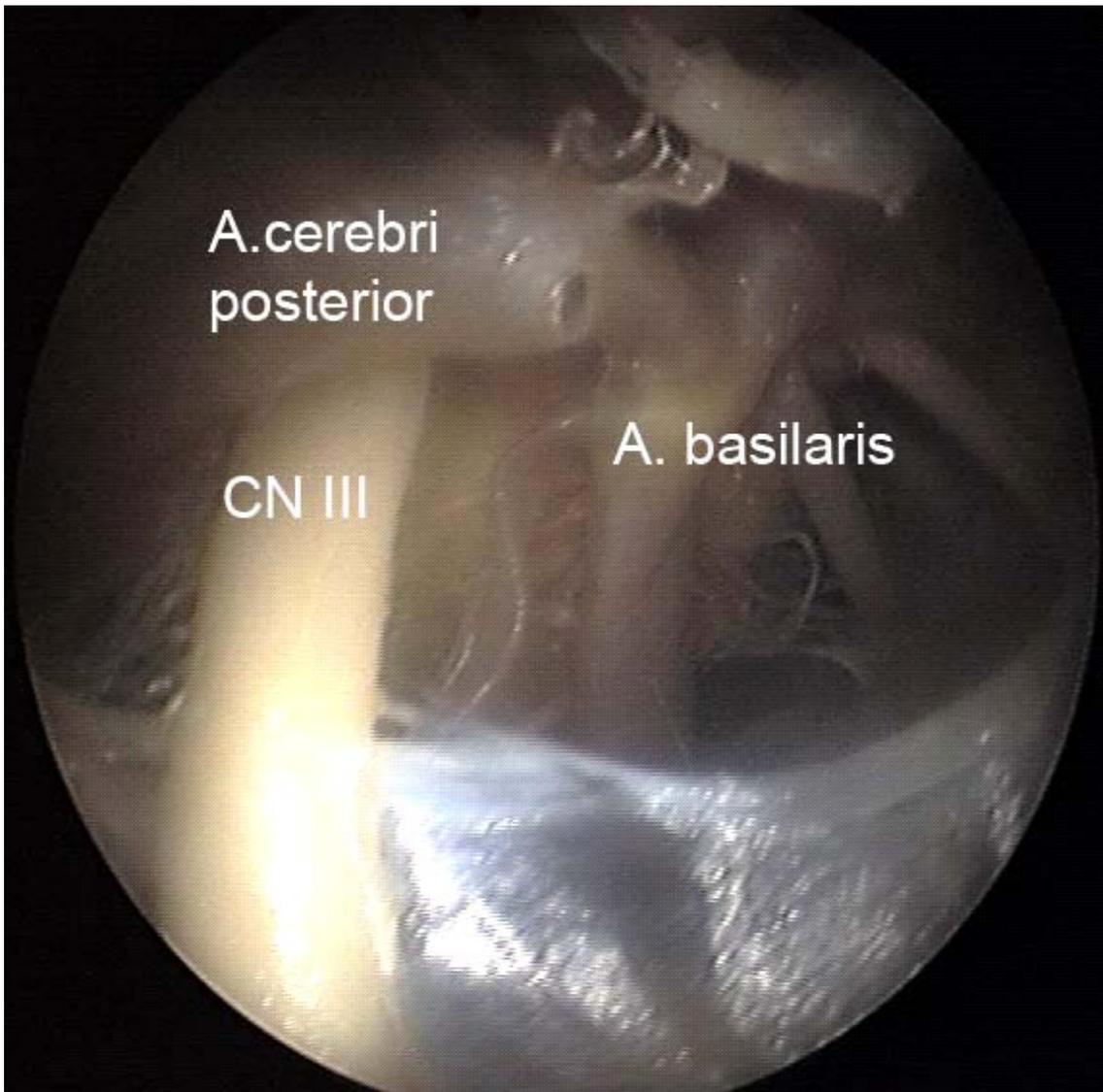


Abbildung 30: Blick von rechts: CN III, Arteria basilaris, Arteria cerebri posterior, abgerissene Arteria cerebelli superior rechts

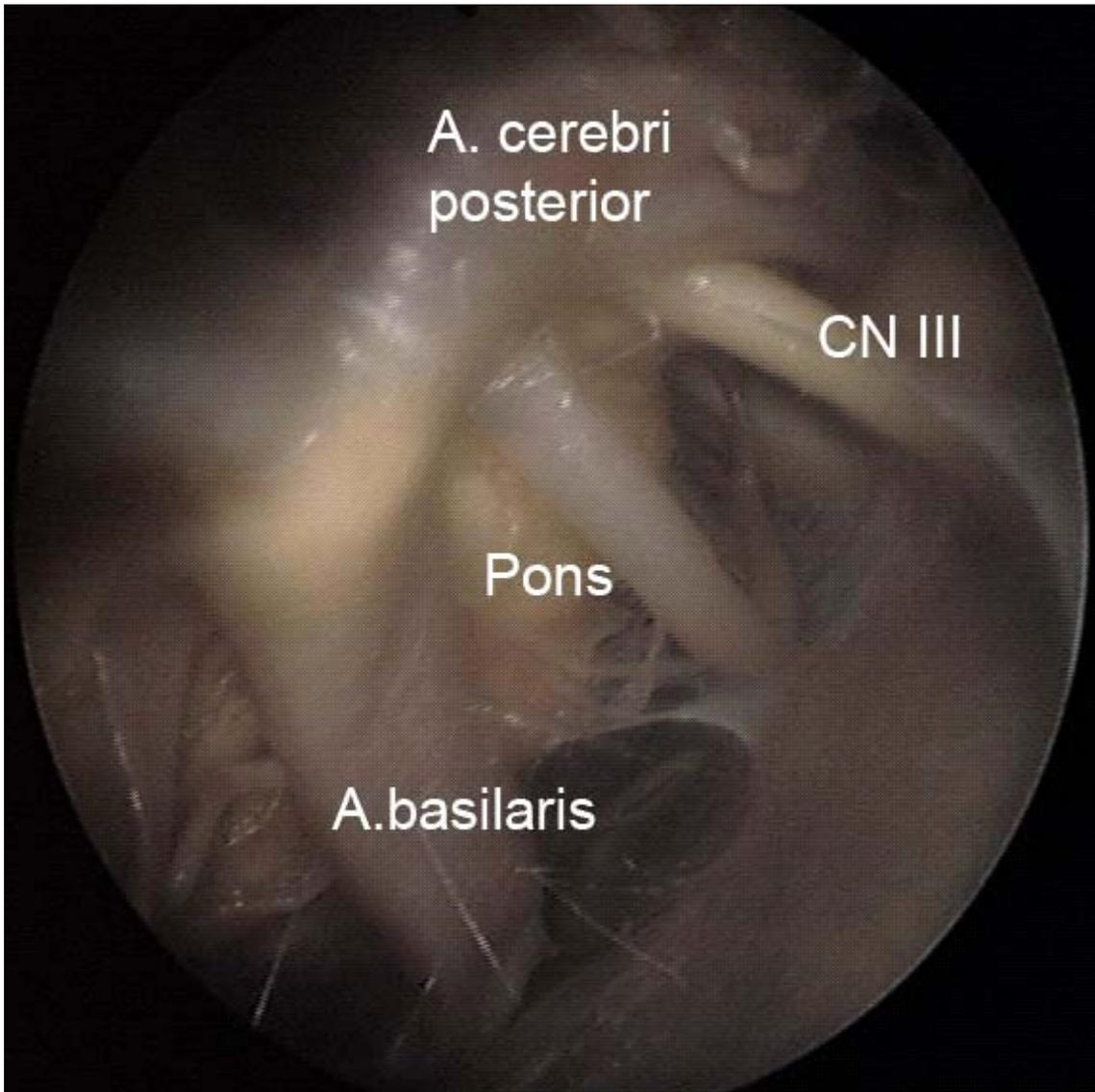


Abbildung 31: Blick von rechts: CN III der Gegenseite, Pons, Arteria basilaris

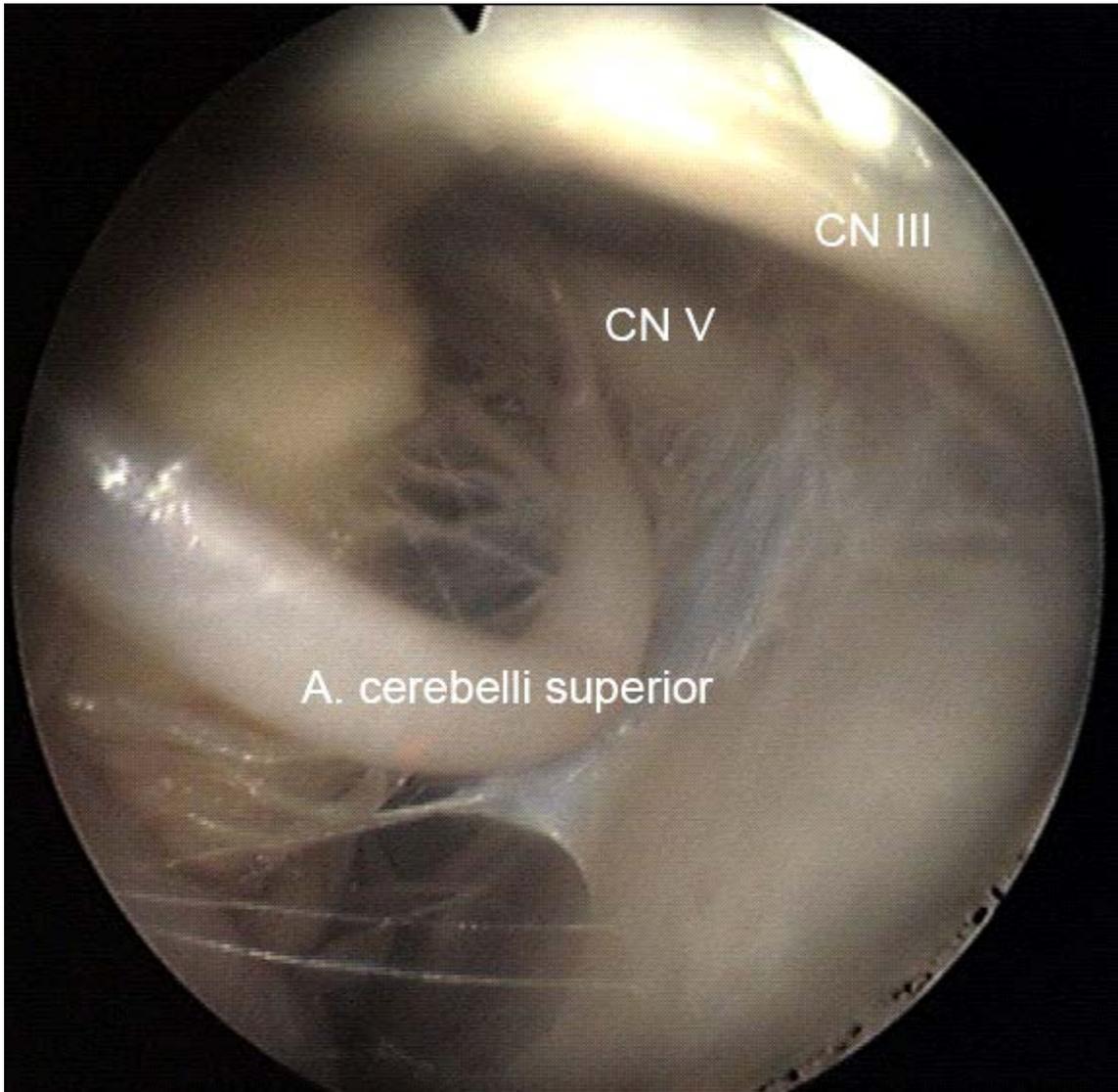


Abbildung 32: Blick von rechts: CN V der Gegenseite, CN III der Gegenseite, Arteria superior cerebelli (Gegenseite).

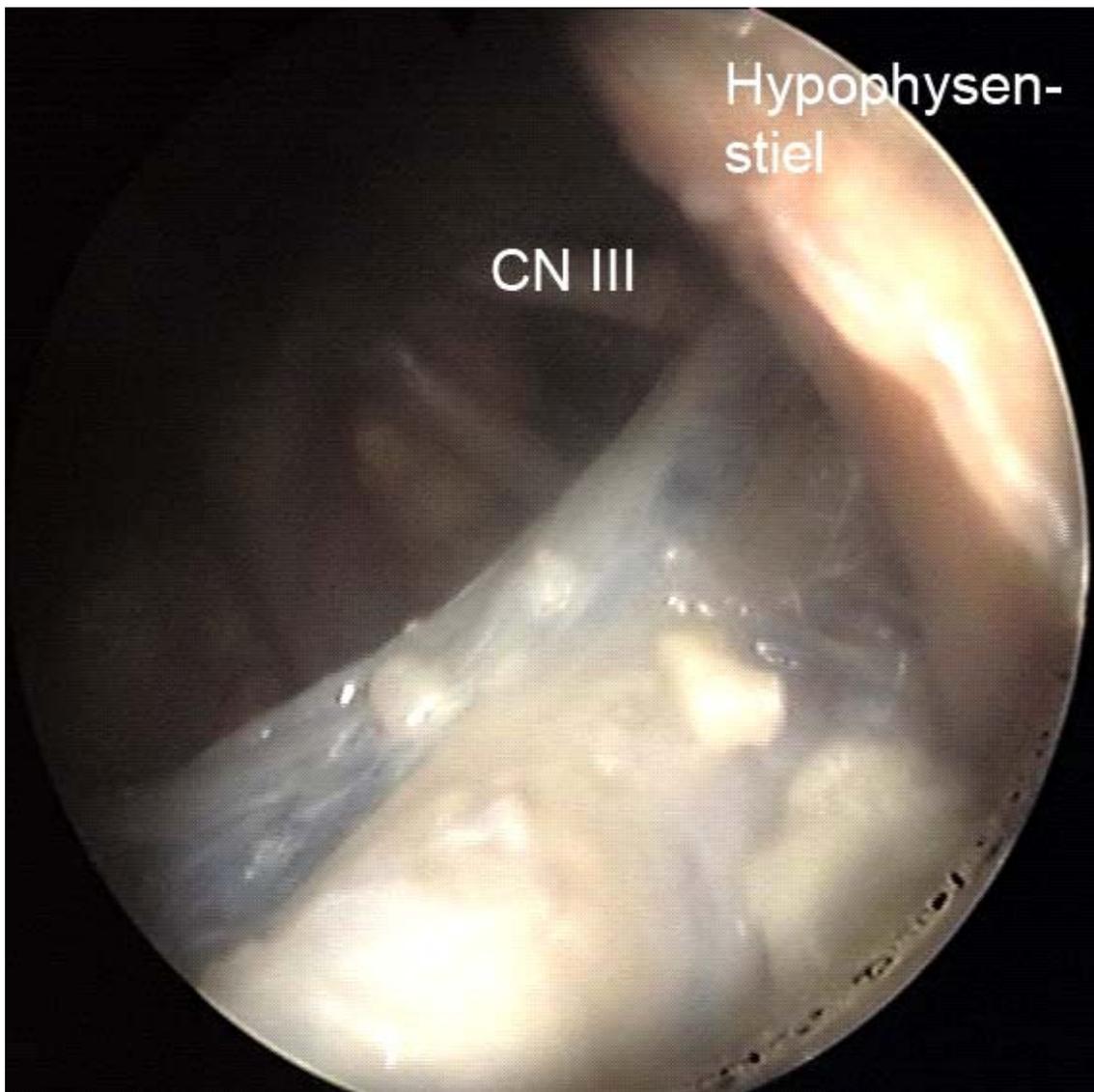


Abbildung 33: Blick von rechts: Hypophysenstiel, CN III der linken Seite, im Hintergrund Arteria basilaris

Beim vorsichtigen Vorspiegeln erscheint als erstes der Processus clinoides anterior, medial davon der rechte Nervus opticus, dahinter die Arteria carotis interna, beim weiteren Vorspiegeln folgt der Nervus oculomotorius der rechten Seite (Abbildung 29).

Beim weiteren Vorgehen in die Tiefe lässt sich nun die Arteria basilaris mit abgehender Arteria cerebri posterior darstellen (Abbildung 30). Die darüber liegende Pons ist gut sichtbar. Mit einem leichten Schwenk auf die Gegenseite lassen sich nun sowohl die linke Arteria cerebri posterior, als auch der linke Nervus oculomotorius gut einstellen (Abbildung 31). Nun wird weiter in die Tiefe vorgegangen, auf der linken Seite erscheint nun der Nervus trigeminus und als Abgang der Arteria cerebri

posterior die Arteria cerebelli superior (Abbildung 32), was eine Variante darstellt. Normalerweise entspringt sie aus der Arteria basilaris

Gut darstellen lassen sich die Gefäßabgänge des ventralen Hirnstamms zu beiden Seiten. Beim Zurückziehen des Endoskops erhält man einen Blick auf den Hypophysenstiel mit darüber liegendem Chiasma opticum, das allerdings kaum und nur verschwommen sichtbar ist (Abbildung 33).

3.5 Ergebnisse für die Gefäßfüllung / Darstellung der Vena petrosa

Die Gefäßfüllung erfolgte wie bereits im Teil Material/ Methoden beschrieben. Die Abbildung 34 zeigt eine Darstellung der Vena petrosa superior mit im Hintergrund verlaufendem CN V. Weiterhin konnten mit der 25° Optik schön der CN VII und CN VIII sowie die A.I.C.A. mit der daraus entspringenden A. labyrinthi dargestellt werden.

Insgesamt konnten 6 Seiten an 3 Präparaten untersucht werden. Die Vena petrosa superior konnte in allen Fällen dargestellt werden. Nach der Klassifikation von Matsushima et al [51] zeigte sich hier viermal der intermediäre und jeweils einmal der mediale und laterale Typ je nach Lage zum Meatus acusticus internus. Die Anzahl der Zuflüsse war variabel, dreimal bestand sie aus zwei, zweimal aus drei und einmal aus vier Venen. Die Vermessung dieser Venen ergab einen äußeren Durchmesser von 1,57-2,12mm für die Vene der cerebellopontinen Fissur, 0,65-1,28mm für die Vena transversa pontina, 1,12-1,27mm für die anteriore laterale marginale Vene, 0,71 -1,98mm für die pontotrigeminalen Venen, 0,88–1,3mm für die Venen des mittleren Kleinhirnstiels und 1,25–1,32mm für die oberen Hemisphärenvenen. Die Gefäßfüllung konnte auf der kontralateralen Seite nicht nachgewiesen werden, so dass es hier wohl keine Anastomose besteht. Die ipsilateralen Anastomosen in das tiefe supratentorielle venöse System waren allerdings bei allen untersuchten Seiten farbig gefüllt. Ebenso konnte eine Füllung des Plexus basilaris nachgewiesen werden.

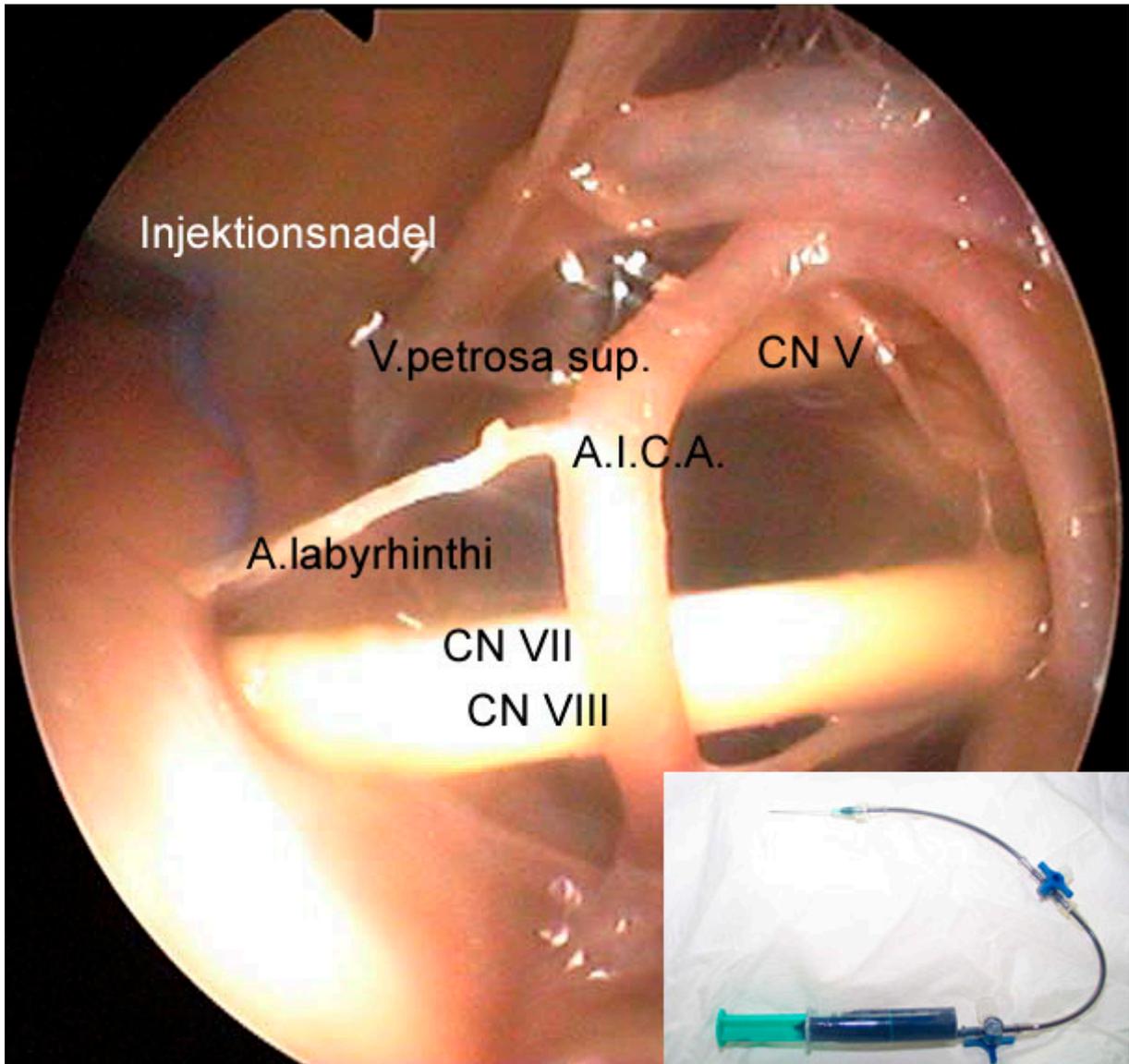


Abbildung 34: Blick von links mit der 25° Optik. Unter Sicht wird die Injektionsnadel in den Sinus petrosus superior eingebracht (Injektionseinheit rechts unten im Bild) und unter endoskopischer Kontrolle mit manuellem Druck eine retrograde Füllung der Vena petrosa superior vorgenommen. Dargestellt werden der CN VII/VIII mit der A.I.C.A. und der daraus abgehenden A. labyrinthi. Im Hintergrund zeigt sich der CN V und die V. petrosa superior.

Für die folgenden Abbildungen bitte eine 3D Brille verwenden.

Abbildung 35 zeigt die ventrale Ansicht (A) und die ventro-laterale Ansicht (B) der linken Vena petrosa mit ihren Ästen. Die Venen wurden hier mit rotem Silikon gefüllt.

Abbildung 36 zeigt die rechte Vena petrosa, hier Silikonfüllung in blau.

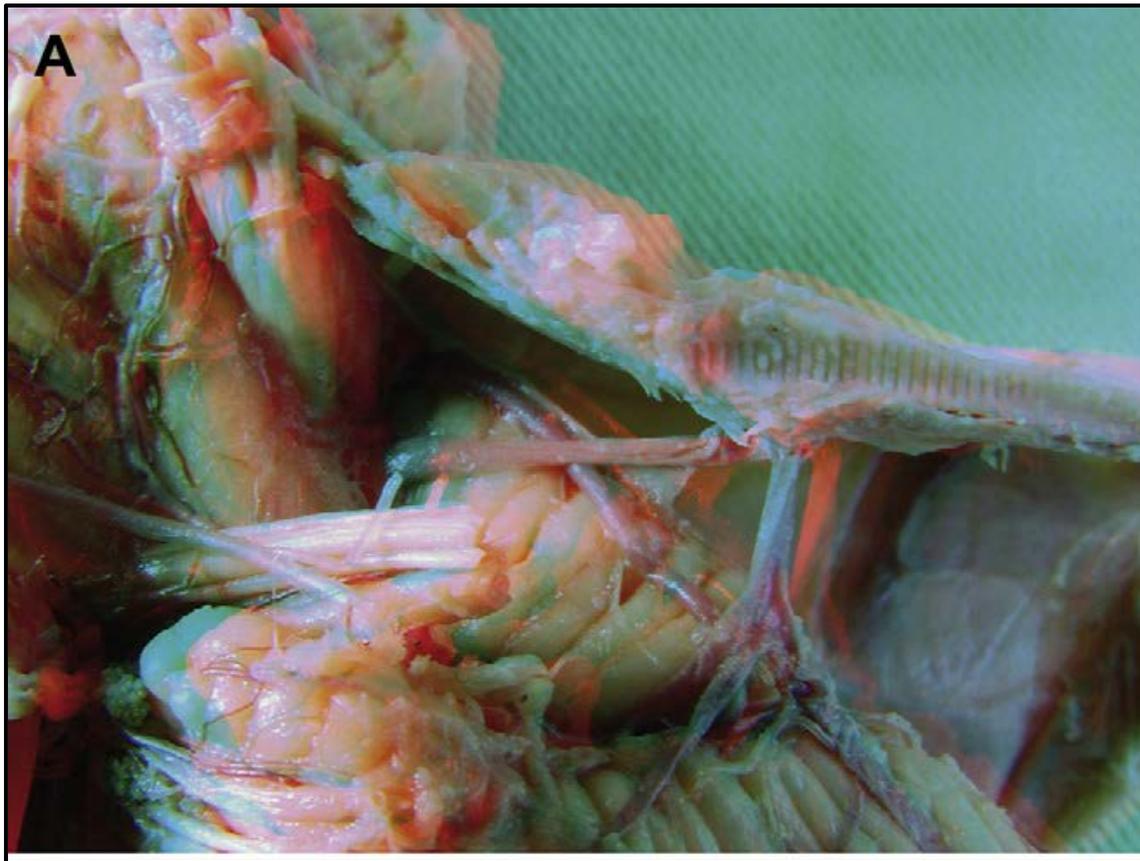


Abbildung 35A: 3D Fotografie der Vena petrosa superior sinistra, ventrale Ansicht.



Abbildung 35B: 3D Fotografie der Vena petrosa superior sinistra, ventro-laterale Ansicht

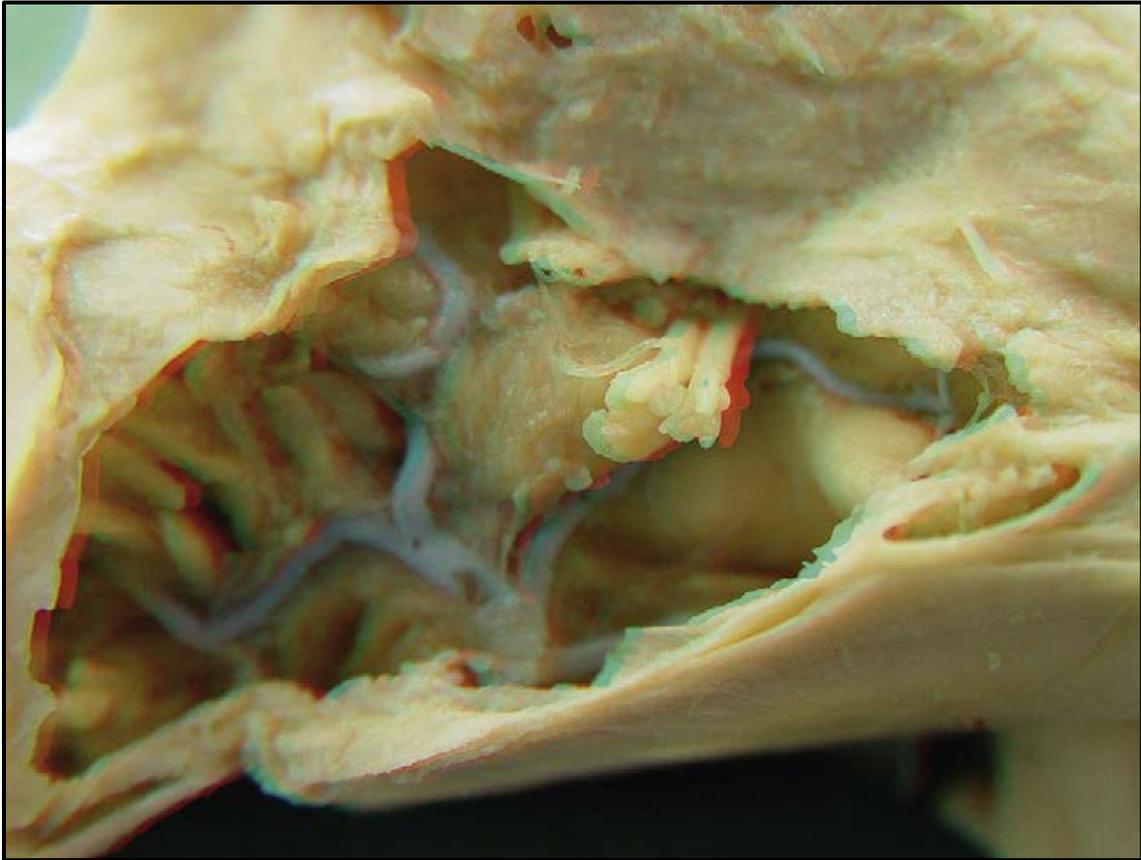


Abbildung 36: 3D Fotografie der Vena petrosa superior dextra und ihrer Äste, Füllung mit blauem Silikon

4 Diskussion

Im Zuge der fortschreitenden Technisierung ist die Neuroendoskopie weiter auf dem Vormarsch. Die Möglichkeiten intrakranielle Strukturen mit dem OP-Mikroskop zu verfolgen ist aufgrund der technischen Gegebenheiten limitiert. Ein „Blick um die Ecke“ ist schlichtweg nicht machbar. Hier zeigt sich der Vorteil der Endoskopie. Mittlerweile wird zwischen „endoscope-controlled microsurgery“ und „endoscopic-assisted neurosurgery“ unterschieden [38]. Bei der „endoscope-controlled microsurgery“ wird unter endoskopischer Sicht mit mikrochirurgischen Standardinstrumenten operiert, während bei „endoscopic-assisted neurosurgery“ sowohl Endoskopie als auch Mikroskopie während der Operation zum Einsatz kommen. Die endoskopische Neurochirurgie erlaubt operative Interventionen durch integrierte Arbeitskanäle. Wird allerdings das Endoskop begleitend zur Visualisierung verwendet, dient es nur zum endoskopischen Rundgang.

Der Beginn unserer Studie lag bereits im Jahre 2004. Im Fokus des Interesses lag die Vena petrosa superior und deren Bedeutung in der Neurochirurgie. Zugrunde lagen vor allem die möglichen postoperativen Komplikationen nach intraoperativer Verletzung der Vene. So werden in verschiedenen Studien Komplikationsraten von 7% (schwerere Komplikationen) bis 23% (leichtere Komplikationen) beschrieben [46]. Die Erhaltung der Vena petrosa zeigt also einen deutlichen Einfluss auf das postoperative Outcome. Um das zu Erreichen schien eine Modifizierung der Operationstechniken und eine adäquate Planung von Nöten. Daher haben wir uns der Basis zugewandt, nämlich der Anatomie der hinteren Schädelgrube und der Darstellbarkeit der dort befindlichen Strukturen mit Hauptaugenmerk auf die Vena petrosa und deren Versorgungsgebiete. Die Zugangsplanung erfolgte über klassische neurochirurgische Zugänge. Da die Vena petrosa sehr oft bei Operationen über den retrosigmoidalen intraduralen suprameatalen Zugang verletzt wird, stand dieser Zugang hier also besonders im Fokus. Zusätzlich wurde ein anatomischer Zugang, der eine großzügige Erweiterung des okzipitalen Standardzuganges darstellt, verwendet. Hiervon versprochen wir uns zunächst eine bessere Übersicht. Über diesen Zugang wurden die Strukturen der hinteren Schädelgrube mit dem OP Mikroskop dargestellt. Um eine bessere Sichtbarkeit der Vena petrosa superior und

deren Drainagegebiete zu erreichen wurde zusätzlich eine Füllung mit einem Silikonfarbegermisch vorgenommen. Von Interesse waren hierbei besonders potentielle kontralaterale Anastomosen. Da der Blickwinkel über das Mikroskop sehr eingeschränkt war, kam nun hier die Endoskopie zum Einsatz. Hiermit gelang es die Vena petrosa und ihre Abflüsse in situ zu verfolgen. Letztendlich konnte bei dieser Studie keine Anastomose zur kontralateralen Seite nachgewiesen werden [22]. Eine aktuelle anatomische Studie zeigt einen ähnlichen Versuchsaufbau wie bereits wir im Jahr 2004. An 7 Präparaten wurde das Gefäßsystem mit Silikonfarbegermisch gefüllt und mittels OP Mikroskop und 2 starren Endoskopen (0° und 30°) eine mikrovaskuläre Dekompression simuliert. Hierbei wurde zwischen mikrochirurgisch und endoskopisch-assistierter Dekompression unterschieden. Die endoskopisch-assistierte Dekompression schnitt hierbei deutlich besser ab. Die endoskopisch-assistierte Dekompression bietet die Möglichkeit der Mobilisation und Visualisierung der Gefäßschlinge ohne die Vena petrosa superior durchtrennen zu müssen [73].

Aus dem Versuch die Vena petrosa durch verschiedene Silikonfüllungen darzustellen und endoskopisch zu verfolgen, entwickelte sich schnell die Frage nach der Darstellbarkeit verschiedener anatomischer Strukturen über neurochirurgische Standardzugänge mit dem Endoskop. Aufgrund der Komplexität der Strukturen rückte so die Vena petrosa immer mehr in den Hintergrund. Im Laufe der Jahre entstanden auf diesem Wege eine Reihe von Publikationen mit Fragestellungen aus diesem Bereich. 2007 veröffentlichten Ebner et al eine Studie an drei formalinfixierten Präparaten, bei der über den retrosigmoidalen Zugang eine anatomische Betrachtung mit einem starren 25° 5mm Endoskop durchgeführt wurde. Hierbei war sogar eine Darstellung bis in die mittlere Schädelgrube möglich [18]. Dieser Zugang ist weniger invasiv als andere Zugänge zur Schädelbasis, die mit einer höheren Morbidität assoziiert sind [74].

Dadurch angespornt wurde unser Vorgehen erweitert [19]. Im Hauptfokus stand hierbei wieder der retrosigmoidale intradurale suprameatale Zugang. An mittlerweile 10 Präparaten und 20 untersuchten Seiten wurde über diesen Zugang eine Darstellung der mittleren Schädelgrube vorgenommen. Der Zugang erfolgte mikrochirurgisch mit dem Zeiss OPMI PRO Magis und in Ergänzung endoskopisch mit dem bereits beschriebenen 5mm 25° Endoskop, die Bohrung durch das suprameatale Tuberkel erfolgte mit einem high-speed-drill der Firma Zeppelin

Medical Instruments. Mikroskopisch bietet der retrosigmoidale intradurale suprameatale Zugang über das Cavum Meckeli eine optimale Erreichbarkeit zu den in der mittleren Schädelgrube gelegenen Strukturen, teilweise sogar zu dem posterior gelegenen Anteil des Sinus cavernosus. Allerdings ist der Arbeitsbereich hier sehr eng. Somit kann bei fehlender signifikanter Verlagerung der neurovaskulären Strukturen ein endoskopisch-assistiertes Vorgehen die Erreichbarkeit deutlich optimieren. Klinisch bedeutsam ist dieser Zugang vor allem für die Mikrochirurgie petroclivaler Meningiome oder Trigemini neurinome, die sich oft von der hinteren bis zur mittleren Schädelgrube ausdehnen [63].

Bisher wurde somit immer begleitend eine 5mm 25° Optik verwendet. Basierend hierauf erweiterte sich die Fragestellung recht schnell. Sind mit anderen Optiken andere Strukturen sichtbar? Oder sind andere Strukturen häufiger sichtbar? Es wurde sich daher bei gleichbleibendem Durchmesser der Optik für eine signifikant abweichende Gradzahl entschieden. Die 70° Optik kam somit zum Einsatz. Schnell wurde hier deutlich, dass bei diesem „Blick um die Ecke“ ein hohes technisches Geschick von Nöten ist. Bei den ersten Versuchen an den Präparaten haben einige wichtige anatomische Strukturen gelitten oder wurden beschädigt. Die 25° Optik lässt sich wesentlich leichter handhaben und ermöglicht eine leichtere Orientierung. Zumal die meisten in der Endoskopie tätigen Chirurgen diesen Blickwinkel gewohnt sind. Bei der 70° Optik können unvorsichtige Manöver schnell fatale Folgen haben. Allerdings ließen sich auch Strukturen sehr gut darstellen, die mit der 25° Optik nicht zur Darstellung kamen. Vor allem zu nennen ist hier die Arteria basilaris. Der Nervus trochlearis konnte aber weder mit der 25° noch mit der 70° Optik dargestellt werden. Zusammenfassend kann hier bei relativ kleiner Fallzahl gesagt werden, dass mit der 70° Optik die Strukturen besser und öfter dargestellt werden konnten. Ebenso bietet sich ein weiterer Einblick in das Diencephalon als mit der 25° Optik. Nachteilig gestaltet sich das Einspiegeln mit der 70° Optik deutlich schwieriger. Es erfordert hier sehr viel Übung und technisches Geschick um nicht benachbarte Strukturen zu verletzen.

Ebner et al [20, 21] gehen Jahre später noch einen Schritt weiter und vergleichen die bekannten starren Endoskope mit einem Prototyp eines starren 4mm Endoskops der Firma Karl Storz (EndActive, Karl Storz, Tuttlingen, Germany). Dieses verfügt über eine Kamera/Chip Einheit an der Spitze des Endoskops und erlaubt über einen am

Griff angebrachten Joystick einen Blickwinkel von 160°. Aufgrund seiner kompakten Maße (Gesamtlänge 18cm mit einem Gewicht von 70g) kann es wie ein Stift in der Hand gehalten werden. Eine zusätzliche Lichtquelle ist nicht erforderlich, so dass sich nur ein Kabel an der Rückseite des Endoskops befindet. In der Studie von Ebner et al wurde unter anderem der retrosigmoidale Zugang zur hinteren Schädelgrube verwendet. Ähnlich wie in unserem Fall wurden auch hier formalin- und alkoholfixierte Präparate verwendet. Die herkömmlichen Standardendoskope erlauben zwar den „Blick um die Ecke“, haben aber den Nachteil eines doch sehr begrenzten Blickwinkels. In einer Studie [20] wurden Standardendoskope mit 0°, 45° und 70° mit einem variablen Endoskop verglichen. Hier zeigte sich, dass alle Strukturen nur mit dem variablen Endoskop gesehen werden konnten, allerdings in Kombination aller starren Endoskope konnten ebenfalls alle Strukturen dargestellt werden. Die starren Endoskope untereinander ergänzten sich also. Betrachtet man allerdings hierbei die Dauer mit der man die anatomische Checkliste abarbeitet, ist das variable Endoskop deutlich schneller. Eine Weiterentwicklung dessen stellt der bereits beschriebene Prototyp des EA (EndActive) dar [21]. Allerdings handelt es sich auch hier um einen Prototyp, der technisch noch nicht ganz ausgefeilt ist. In einer aktuellen Studie wurde das EA (EndActive) bereits in der endoskopischen Drittventrikulostomie, die mittlerweile zum neuroendoskopischen Standard gehört [13, 14], am anatomischen Präparat erprobt. Hierbei konnte der gesamte dritte Ventrikel eingesehen werden, so dass der Prototyp des EA in Zukunft gut in das Konzept der EVT passen kann [17].

Auch die endoskopische mikrovaskuläre Dekompression zählt mittlerweile zu den häufig angewandten neuroendoskopischen Eingriffen. Das beweist die Zunahme der Publikationen zum Thema im Laufe der Jahre [6, 42, 48, 75]. Eine neue Studie aus dem Jahr 2013 beweist die Neuroendoskopie als sichere und effektive Methode zur mikrovaskulären Dekompression [31]. Aufgetretene Komplikationen standen nicht im direkten Zusammenhang mit der Endoskopie. Der nächste Schritt wird sicher die rein endoskopische Therapie von Kleinhirnbrückenwinkeltumoren sein [31]. Ebenso schreitet die Neuroendoskopie als assistierendes Verfahren voran. Als Beispiel sei hier die Resektion von Meningiomen an der Schädelbasis erwähnt. Tumoranteile, die mit dem OP Mikroskop eventuell unentdeckt geblieben wären, können so visualisiert werden. Ebenso kann die Größe des Zugangs aufgrund der guten Sicht so klein wie möglich gehalten werden [66]. Erfolge konnten auch bei der Entfernung von

Epidermoid Zysten in der hinteren Schädelgrube verzeichnet werden. Auch hier kam die Endoskopie als assistierendes Verfahren zum Einsatz [23].

Da sich der Fokus zumeist auf den retrosigmoidalen intraduralen suprameatalen Zugang und somit auf die Strukturen der hinteren und mittleren Schädelgrube beschränkte, haben wir uns zusätzlich mit der Anatomie der vorderen Schädelgrube beschäftigt. Den Standardzugang stellt der supraorbitale endoskopische (anterolaterale) Zugang dar. Auch hier stellten wir uns die Frage, ob eine endoskopische Exploration möglich ist und wenn ja, welche Strukturen überhaupt gesehen werden können. Es wird am Präparat schnell deutlich, dass sich mit der 25° Optik eine sehr gute Sicht herstellen lässt. Auch hier ist natürlich beim Rundgang Vorsicht geboten, dennoch lassen sich schnell der Nervus opticus und die Arteria carotis interna sowie der Nervus oculomotorius darstellen. Im Verlauf der Exploration lassen sich sogar die Strukturen der Gegenseite darstellen. Klinisch bietet die endoskopische Exploration dem Patienten so intraoperativ große Vorteile: In einer Studie aus dem Jahre 2005 von Kabil et al [43] wurde dieser Zugang bei 24 Patienten angewendet, die an Pathologien wie Meningiomen, Craniopharyngiomen, Hypophysenadenomen und anderen supratentoriellen Pathologien erkrankt waren. Die Endoskopie bietet beim Rundgang die Darstellung aller kritischen Strukturen, so dass man auf eine Erweiterung im Sinne eines bicoronalen Lappens, einer bifrontalen Osteotomie oder Retraktion des Gehirns verzichten konnte. In dieser Studie konnten die meisten Pathologien vollständig ohne perioperative Komplikation reseziert werden. Für den Patienten bedeutet das neben einer Verringerung der Morbidität auch ein exzellentes kosmetisches Ergebnis. Der Hautschnitt lässt sich in der Augenbraue verstecken, der Nervus frontalis, die Arteria temporalis superficialis, der Nervus supraorbitalis, sowie die Arteria supraorbitalis konnten hier geschont werden. Die Mini-Kraniotomie ist weit genug vom Sinus frontalis entfernt, daher das Risiko von Infektionen deutlich gemindert. Da die Spitze des Endoskopes sich direkt an der Pathologie befindet, ist eine größere Retraktion des Hirngewebes nicht nötig, dieses wiederum bleibt aufgrund des kleinen Zugangs weitestgehend durch Knochen und Dura geschützt. Das wiederum bedeutet eine deutliche Minimierung der möglichen Folgeschäden für den Patienten. Der anterolaterale (supraorbitale) Zugang ist also in Kombination mit modernen Anästhesietechniken, Liquordrainage und mikrochirurgischen Techniken ein sicherer Zugang zur Behandlung von Tumoren der vorderen Schädelgrube und der parasellaren Region. Ein genaues anatomisches

Verständnis ist allerdings auch hier von Nöten, um unnötige Beeinträchtigungen für den Patienten wie zum Beispiel Taubheit durch Verletzung des Nervus supraorbitalis oder supratrochlearis zu vermeiden. Durch immer bessere Methoden in der Bildgebung können Läsionen bereits in früheren Stadien, und somit bei geringerer Größe, erkannt und therapiert werden. Daher ist dieser minimalinvasive Zugang besonders interessant geworden. Kabil et al [43] sehen daher den anterolateralen (supraorbitalen) Zugang als ideal für Pathologien der vorderen Schädelgrube sowie der suprasellären und parasellären Region. Allerdings ist auch dieser Zugang nur für Neurochirurgen geeignet, die sowohl Erfahrung mit endoskopischen als auch den konventionellen Operationstechniken haben. Dass dieser Zugang weiterhin aktuell und eine Alternative zum populären endonasalen Zugang ist, zeigt eine Publikation aus dem Jahr 2013, in der 10 Patienten komplikationslos und mit exzellenten kosmetischen Ergebnissen operiert wurden [47]. Mittlerweile wird mit neuen Techniken wie der Piezochirurgie über diesen Zugang operiert [40].

Die endoskopische Neurochirurgie hat in den letzten Jahren eine rasante Weiterentwicklung, auch durch immer neue technische Möglichkeiten, erfahren. Wo früher das Mikroskop den Goldstandard und eine hohe technische Weiterentwicklung darstellte [83], kam langsam im Rahmen der fortschreitenden Technisierung das Endoskop hinzu. Zunächst nur als begleitendes Beiwerk, das noch ganz am Anfang der technischen Entwicklung stand, mauserte sich das Endoskop immer mehr als eigenständiges Instrument, das durch seine immensen Vorteile bestechen konnte [38]. Die Einsetzbarkeit des Endoskops war vorerst auch durch seine technischen Gegebenheiten begrenzt [16]. Werden die Endoskope nur für den diagnostischen Rundgang eingesetzt, so können sie ultradünn sein. Für das Operieren mit dem Endoskop sind mindestens zwei Arbeitskanäle, sowie ein separater Saug- und Spülkanal nötig. Standard sind mittlerweile Endoskopdurchmesser von 3-6mm, da sich über 8mm kein Vorteil mehr gegenüber der Mikrochirurgie bietet [37]. Der Durchmesser limitiert daher mitunter die operativen Möglichkeiten. Große Aktionsradien wie bei der Laparo- oder Arthroskopie sind in der Neuroendoskopie nicht möglich. Mittlerweile wird weiter an der Verbesserung des technischen Aufbaus der Endoskope gefeilt. Bisher mit separater Kameraeinheit versehen, die oftmals im Handling behinderte, geht der Trend weiter zu modernen Kamera/Chip Einheiten, die direkt in das Endoskop integriert werden. Einen Prototyp haben hier Ebner et al entwickelt [21]. Dieser Prototyp ist auch ein weiterer Schritt in der technischen

Entwicklung der Neuroendoskopie. Studien wie unsere haben solche Entwicklungen weiter auf den Weg gebracht. Auch Ebner et al [18, 20, 21] haben mit anatomischen Studien begonnen, um sich später mit der Weiterentwicklung und Prototypen von Endoskopen zu beschäftigen. Die Endoskopische Exploration der Schädelbasis als anatomische Betrachtung war daher ein wichtiger Schritt auf diesem Weg und hat letztendlich auch zur Publikation geführt. Der Weg der Neuroendoskopie ist sicher noch nicht zu Ende und man wird in den nächsten Jahren sehen, durch welche technischen Fortschritte sich weitere Möglichkeiten für dieses Gebiet der Neurochirurgie eröffnen.

Insgesamt wird auch endoskopisch die Anatomie nicht neu erfunden. Ebenso bieten sich nicht völlig neue Blickwinkel oder neue Strukturen. Allerdings erfolgte im Laufe der Jahre eine stetige Verbesserung der endoskopischen Technik.

Die Endoskopie bietet aber nicht nur auf klinischer Ebene viele Vorteile. So ist sie sicherlich ein denkbar gutes Instrument für die Lehre. In unserem Fall konnten intrakranielle Strukturen in ihrem Verlauf dargestellt werden, die sonst bei der normalen Präparation im Rahmen des Präparierkurses beschädigt oder zerstört werden. Aber auch im normalen Operationssitus liegen einige Strukturen im Verborgenen. Die Endoskopie eröffnet daher den Studenten und auch Ärzten einen anderen Einblick in die Topographie. Wir haben die Neuroendoskopie bereits vereinzelt in den Curricula der Vorlesungsreihe Klinische Anatomie angewendet. Dass an anderer Stelle die Endoskopie in der Lehre bereits sehr erfolgreich war, zeigt die Veröffentlichung eines Atlas der endoskopisch-chirurgischen Anatomie für die Laparoskopie, Gastroskopie und Koloskopie [45]. Dieses Kurzlehrbuch zeigt in Zusammenschau mit auf der CD beigefügten Videos die endoskopische Anatomie im topographischen Zusammenhang. Hier wurden unter anderem laparoskopisch anatomische Strukturen präpariert und dargestellt. Diese Blickwinkel bieten sich sonst intraoperativ nicht. Mithilfe der Präparationen am anatomischen Präparat erschließen sich die topographisch- anatomischen Zusammenhänge. Anhand des Kapitels Leber und Gallenblase sollen kurz die didaktischen Möglichkeiten erwähnt werden. Nach einer kurzen Einführung über Lagerung und Zugänge werden anatomische Grundlagen erörtert. Es folgt der diagnostische Rundgang mit dem Endoskop. Dieser erfolgt wie intraoperativ. Allerdings zeigt sich nun die Besonderheit der endoskopischen Anatomie: relevante Strukturen und Gefäße wurden präpariert

und in den Abbildungen teils farblich zusätzlich hervorgehoben. Das Zusammenspiel aus Grafik mit dem endoskopischen Bild und der anatomischen Darstellung erlaubt so eine sehr gute Orientierung. Zusätzlich kann auf eine Videosequenz zurückgegriffen werden. Intraoperativ sind solche Blickwinkel nur schwerlich zu ermöglichen [45].

Die endoskopische Anatomie bietet weiterhin den großen Vorteil der Machbarkeitstudien. Park et al befassten sich so aktuell mit der transoralen endoskopischen Thyreoidektomie am anatomischen Präparat [53]. Auch wenn es sich hierbei sicher um ein vorerst experimentelles Vorgehen handelt, kann mit der klinischen Anatomie das Konzept NOTES (Natural orifice transluminal endoscopic surgery) weiterentwickelt werden. Aber auch bestehende Operationsverfahren und Instrumente profitieren von der klinischen Anatomie. Die transanale endoskopische Mikrochirurgie wurde bereits seit 1983 bei der Entfernung lokaler rektaler Tumore angewendet. Mit der Modifikation der Instrumente und der Technik konnte so durch Studien am anatomischen Präparat eine neue Möglichkeit zur Rektosigmoidresektion und colorektalen Anastomose geschaffen werden [7]. Natürlich bieten sich auch im Bereich der Arthroskopie genug Einsatzmöglichkeiten für die klinische Anatomie. Als Beispiel sei hier unter anderem eine Studie genannt, die sich mit der Rekonstruktion des hinteren Kreuzbandes befasst. Hierbei soll unter Berücksichtigung von Landmarken eine möglichst anatomisch korrekte Rekonstruktion erreicht werden [3]. Aber auch um sich die anatomischen Gegebenheiten zu verdeutlichen und später intraoperativ Strukturen schonen zu können, eignet sich die klinische Anatomie. Drakos et al befassten sich mit den umgebenden Strukturen nach Außenbandrekonstruktion am Sprunggelenk [15]. Ihre Studie zeigt besonders gefährdete Strukturen auf, die intraoperativ berücksichtigt werden sollten. Die aufgeführten Studien spiegeln nur einen geringen Anteil der endoskopischen Anatomie wieder. Mittlerweile ist sie in beinahe allen Fachdisziplinen ein wichtiges Instrument für Klinik, Forschung und Lehre geworden.

Allein das Anatomische Institut der Eberhard Karls Universität Tübingen verfügt mittlerweile über 11 Endoskopie-Türme mit unterschiedlichen Ausstattungen. Pro Jahr werden so nahezu 60 Kurse in unterschiedlichen Fachdisziplinen abgehalten.

Die Endoskopie bietet daher in Klinik, Forschung und Lehre ein interessantes und nicht mehr weg zu denkendes Tool, dessen Entwicklung sicher noch lange nicht am Ende angelangt ist.

5 Zusammenfassung

Die Neuroendoskopie ist ein relativ junges Verfahren in der Neurochirurgie. Sie wird aktuell als assistierendes Verfahren zusätzlich zur Mikrochirurgie oder als reines operatives Verfahren eingesetzt.

In unserer Arbeit haben wir uns am anatomischen Präparat mit der Fragestellung der Darstellbarkeit der neurovaskulären Strukturen über verschiedene endoskopische Zugänge beschäftigt. Weiterhin war die selektive Gefäßfüllung am Beispiel der Vena petrosa superior von Interesse. Verwendet wurden hier der anatomische Zugang, der eine großzügige Erweiterung des gängigen neurochirurgischen okzipitalen Zuganges darstellt, sowie der klassische retrosigmoidale intradurale suprameatale Zugang und als Zugang zur vorderen Schädelgrube der anterolaterale Zugang. Für den anatomischen Zugang wurden alkoholglycerol-fixierte Präparate, für die anderen Zugänge formalinfixierte Präparate verwendet. Es kam hierbei vornehmlich eine 5mm 25° Optik der Firma Richard Wolf, als auch für die Reihenuntersuchung im Vergleich eine 5mm 70° Optik der Firma Smith&Nephew zum Einsatz. Folgende Ergebnisse ließen sich herbei erzielen:

Über den retrosigmoidalen Zugang lassen sich mit der 25° Optik alle Strukturen bis auf die Arteria basilaris und den Nervus trochlearis gut darstellen. Die Arteria basilaris kann im Weitergehenden mit der 70° Optik dargestellt werden, nicht aber der Nervus trochlearis. Die Orientierung mit der 70° Optik gestaltet sich deutlich schwieriger.

Über den anterolateralen Zugang ist die endoskopische Exploration mit der 25° Optik bis zum Hypophysenstiel sehr gut möglich. Abschließend lässt sich sagen, dass die endoskopische Exploration der Schädelbasis gut möglich ist. Mit der 70° Optik konnte eine weitere Struktur dargestellt werden, allerdings ist die Orientierung deutlich schwieriger.

Die Vena petrosa und ihre drainierenden Venen wurden selektiv mit einem Silikonfarbegermisch gefüllt und ließen sich in allen Fällen gut darstellen. Der

Durchmesser dieser Venen ist sehr variabel. Allerdings konnte keine kontralaterale Anastomose nachgewiesen werden.

Die Endoskopie bietet also im Vergleich zur Mikroskopie eine sehr gute räumliche Darstellbarkeit der Strukturen. Allerdings erfordert sie großes Geschick bei ihrer Durchführung, da viele Strukturen leicht verletzt werden können. Somit werden die Indikationen wohl auch weiterhin eng gestellt werden. Allerdings findet über die Jahre eine zunehmende Entwicklung der technischen Möglichkeiten statt, so dass die Endoskope immer kleiner werden und durch Kamerachipeinheiten und zunehmende Flexibilität sich das Handling deutlich verbessert. Aber nicht nur in der Klinik bietet die Endoskopie viele Möglichkeiten, so erfolgt auch zunehmend die Verbreitung in Forschung und Lehre.

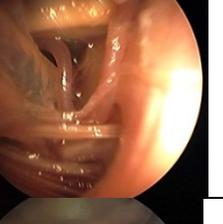
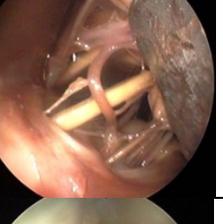
6 Anhang

6.1 Tabellen

Tabelle 1: zeigt eine Aufschlüsselung der Präparate nach Alter, Geschlecht (m= männlich, w=weiblich) und Todesursache. Größe und Gewicht konnten postmortem nicht erhoben werden.

Präparat Nummer	Alter (Jahre)	Geschlecht	Todesursache
1	81	m	Kammerflimmern
2	95	m	Multiinfarktsyndrom, Prostata Karzinom
3	81	w	Kammerflimmern
4	74	m	Aspirationspneumonie
5	76	m	Herztod, Leberzirrhose
6	95	w	Aspirationspneumonie
7	67	w	Koma hepaticum
8	87	w	Akute Herzrhythmusstörungen
9	96	w	Pneumonie
10	83	w	Apoplex, Herzinsuffizienz

Tabelle 3: Auflistung der Präparate mit Geschlecht, Fixierung und Beispielbild zu jeder untersuchten Seite. Die Präparate 7 bis 10 wurden zudem für die Reihenuntersuchung verwendet, bei Präparat 2,4,7 und 8 wurde zusätzlich eine Silikonfüllung der Gefäße vorgenommen.

Präparat Nummer	m/w	Fixierung	Rechte Seite	Linke Seite
1	m	Formalin		
2	w	Alkohol-Glycerol		
3	w	Formalin		
4	m	Formalin		
5	m	Formalin		
6	m	Alkohol-Glycerol		
7	w	Formalin		

8	w	Formalin		
9	w	Formalin		
10	w	Formalin		

6.2 Abbildungen, Tabellen und Diagramme

Tabelle 1 Auflistung der Präparate

Tabelle 2 anatomische Strukturen

Tabelle 3 Anhang

Diagramm 1-3 Ergebnisse der Reihenuntersuchung

Abbildung 1 niedriggradiges Astrozytom und Therapie

Abbildung 2 navigationsgestützte Neuroendoskopie bei Kolloidzyste

Abbildung 3 Ventrikuloskop nach Hellwig

Abbildung 4 Zugang zur Grosshirnoberfläche

Abbildung 5 Zugänge zur Schädel- und Hirnbasis

Abbildung 6 Zugang zur Mittellinie

Abbildung 7 Zugänge für die frontale und okzipitale Lobektomie

Abbildung 8 Zugänge zur Temporalregion

Abbildung 9 Durchtrittsstellen von Gefäßen und Nerven durch die innere Schädelbasis

Abbildung 10A	Setting mit Endoskopieturm
Abbildung 10B	Setting mit OP Mikroskop
Abbildung 11	Anatomischer Zugang Hautschnitt, Aussägen
Abbildung 12	Anatomischer Zugang Entnahme Knochendeckel
Abbildung 13	Anatomischer Zugang Eröffnung Dura
Abbildung 14	retrosigmoidaler Zugang
Abbildung 15	anterolateraler Zugang
Abbildung 16	graphische Darstellung des anatomischen Zugangs
Abbildung 17	anatomischer Zugang 25°
Abbildung 18	anatomischer Zugang 25° mit Venenfüllung
Abbildung 19	graphische Darstellung des retrosigmoidalen Zugangs
Abbildung 20	25° Optik retrosigmoidaler Zugang CN VII VIII V + caudale Hirnnerven
Abbildung 21	25° Optik retrosigmoidaler Zugang CN VII VIII AICA CN V
Abbildung 22	25° Optik retrosigmoidaler Zugang CN VII VIII V VI SCA
Abbildung 23	70° Optik retrosigmoidaler Zugang CN VII VIII suprameataler Tuberkel
Abbildung 24	70° Optik retrosigmoidaler Zugang CN V III SCA
Abbildung 25	70° Optik retrosigmoidaler Zugang CN III A basilaris PCA A communicans post SCA
Abbildung 26	70° Optik retrosigmoidaler Zugang CN III PCA A basilaris Corpora mammilaria
Abbildung 27	70° Optik retrosigmoidaler Zugang CN II Diaphragma sellae A basilaris PCA
Abbildung 28	graphische Darstellung des anterolateralen Zugangs
Abbildung 29	25° Optik anterolateraler Zugang CN II CN III A carotis int Proc clinoides
Abbildung 30	25° Optik anterolateraler Zugang CN III PCA A basilaris
Abbildung 31	25° Optik anterolateraler Zugang CN III Pons A basilaris
Abbildung 32	25° Optik anterolateraler Zugang CN V III SCA
Abbildung 33	25° Optik anterolateraler Zugang CN III Hypophysenstiel
Abbildung 34	Füllung der V. petrosa superior unter endoskopischer Sicht

Abbildung 35 3D Fotografie der V. petrosa superior sinistra, Füllung mit farbigem Silikon

Abbildung 36 3D Fotografie der V. petrosa superior dextra und ihrer Komponenten

7 Literaturverzeichnis

1. Al-Mefty, O., *Clinoidal meningiomas*. J Neurosurg, 1990. **73**(6): p. 840-9.
2. al-Mefty, O. and S. Ayoubi, *Clinoidal meningiomas*. Acta Neurochir Suppl (Wien), 1991. **53**: p. 92-7.
3. Anderson, C.J., et al., *Arthroscopically pertinent anatomy of the anterolateral and posteromedial bundles of the posterior cruciate ligament*. J Bone Joint Surg Am, 2012. **94**(21): p. 1936-45.
4. Arita, N., et al., *Surgical treatment of tumors in the anterior skull base using the transbasal approach*. Neurosurgery, 1989. **24**(3): p. 379-84.
5. Artico, M., et al., *The contribution of Davide Giordano (1864-1954) to pituitary surgery: the transglabellar-nasal approach*. Neurosurgery, 1998. **42**(4): p. 909-11; discussion 911-2.
6. Artz, G.J., et al., *Endoscopic vascular decompression*. Otol Neurotol, 2008. **29**(7): p. 995-1000.
7. Bhattacharjee, H.K., et al., *Transanal endoscopic microsurgery-based transanal access for colorectal surgery: experience on human cadavers*. J Laparoendosc Adv Surg Tech A, 2011. **21**(9): p. 835-40.
8. Bricolo, A.P., et al., *Microsurgical removal of petroclival meningiomas: a report of 33 patients*. Neurosurgery, 1992. **31**(5): p. 813-28; discussion 828.
9. Cappabianca, P., L.M. Cavallo, and E. de Divitiis, *Endoscopic endonasal transsphenoidal surgery*. Neurosurgery, 2004. **55**(4): p. 933-40; discussion 940-1.
10. Cawthorne, T., *Review of Surgery of Otosclerosis*. Proc R Soc Med, 1947. **40**(6): p. 320-8.
11. Cheung, S.W., et al., *Interconnecting the posterior and middle cranial fossae for tumors that traverse Meckel's cave*. Am J Otol, 1995. **16**(2): p. 200-8.
12. Delfini, R., et al., *Meningiomas of Meckel's cave*. Neurosurgery, 1992. **31**(6): p. 1000-6; discussion 1006-7.
13. Di Rocco, C., et al., *Prediction of outcome of endoscopic third ventriculostomy*. World Neurosurg, 2013. **80**(5): p. 509-11.
14. Di Rocco, F., et al., *Endoscopic third ventriculostomy and posterior fossa tumors*. World Neurosurg, 2013. **79**(2 Suppl): p. S18 e15-9.
15. Drakos, M., et al., *Proximity of arthroscopic ankle stabilization procedures to surrounding structures: an anatomic study*. Arthroscopy, 2013. **29**(6): p. 1089-94.
16. Duffner, F., et al., *[75 years after Dandy, Fay and Mixer--looking back on the history of neuroendoscopy]*. Zentralbl Neurochir, 1998. **59**(2): p. 121-8.
17. Ebner, F.H., et al., *Actual state of EndActive ventricular endoscopy*. Childs Nerv Syst, 2012. **28**(1): p. 87-91.
18. Ebner, F.H., et al., *Endoscope-assisted retrosigmoid intradural suprameatal approach to the middle fossa: anatomical and surgical considerations*. Eur J Surg Oncol, 2007. **33**(1): p. 109-13.
19. Ebner, F.H., et al., *Microsurgical and endoscopic anatomy of the retrosigmoid intradural suprameatal approach to lesions extending from the posterior fossa to the central skull base*. Skull Base, 2009. **19**(5): p. 319-23.
20. Ebner, F.H., et al., *Broadening horizons of neuroendoscopy with a variable-view rigid endoscope: an anatomical study*. Eur J Surg Oncol, 2010. **36**(2): p. 195-200.
21. Ebner, F.H., et al., *Developments in neuroendoscopy: trial of a miniature rigid endoscope with a multidirectional steerable tip camera in the anatomical lab*. Neurosurg Rev, 2012. **35**(1): p. 45-50; discussion 50-1.
22. Ebner, F.H., et al., *Petrosal vein occlusion in cerebello-pontine angle tumour surgery: an anatomical study of alternative draining pathways*. Eur J Surg Oncol, 2009. **35**(5): p. 552-6.

23. Ebner, F.H., et al., *Balancing the shortcomings of microscope and endoscope: endoscope-assisted technique in microsurgical removal of recurrent epidermoid cysts in the posterior fossa*. *Minim Invasive Neurosurg*, 2010. **53**(5-6): p. 218-22.
24. Frazier, C., *An approach to the hypophysis through the anterior cranial fossa*. *Ann Surg*, 1913. **7**: p. 145-150.
25. Gangemi, M., et al., *Endoscopic third ventriculostomy in idiopathic normal pressure hydrocephalus*. *Neurosurgery*, 2004. **55**(1): p. 129-34; discussion 134.
26. Gharabaghi, A., et al., *The impact of petrosal vein preservation on postoperative auditory function in surgery of petrous apex meningiomas*. *Neurosurgery*, 2006. **59**(1 Suppl 1): p. ONS68-74; discussion ONS68-74.
27. Gleixner, M., Wirth, *Neurologie und Psychiatrie*2006/07, Breisach: Medizinische Verlags- und Informationsdienste.
28. Grotenhuis, J.A., ed., *Endoscope-assisted Microneurosurgery. A Concise Guidebook*1998, Nijmegen: Uitgeverij Machaon.
29. Guiot G, R.J., Fourester M, Fournier A, *Une nouvelle technique endoscopique: Explorations endoscopiques intracraniennes*. *Presse Med*, 1963: p. 1225-8.
30. Hakuba, A., S. Nishimura, and B.J. Jang, *A combined retroauricular and preauricular transpetrosal-transtentorial approach to clivus meningiomas*. *Surg Neurol*, 1988. **30**(2): p. 108-16.
31. Halpern, C.H., S.S. Lang, and J.Y. Lee, *Fully endoscopic microvascular decompression: our early experience*. *Minim Invasive Surg*, 2013. **2013**: p. 739432.
32. Hellwig, D., et al., *Neuroendoscopic treatment for colloid cysts of the third ventricle: the experience of a decade*. *Neurosurgery*, 2003. **52**(3): p. 525-33; discussion 532-3.
33. Hellwig D, B.B., *Minimal invasive techniques for neurosurgery*1998, Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.
34. Hellwig, D., et al., *Endoscopic third ventriculostomy for obstructive hydrocephalus*. *Neurosurg Rev*, 2005. **28**(1): p. 1-34; discussion 35-8.
35. Hellwig, D., et al., *Application of new electrosurgical devices and probes in endoscopic neurosurgery*. *Neurol Res*, 1999. **21**(1): p. 67-72.
36. Hellwig D, R.T., Bertalanffy H, *Neuroendoscopic techniques in treatment of intracranial lesions*. *Minim Invasive Ther Allied Technol*, 1998. **7**: p. 123-35.
37. Hellwig D, T.W., Riegel T, Heinze S, Bertalanffy H, *Endoskopische Verfahren in der Neurochirurgie*. *Deutsches Ärzteblatt*, 2007. **104**(4): p. 185-91.
38. Hopf, N.J. and A. Perneczky, *Endoscopic neurosurgery and endoscope-assisted microneurosurgery for the treatment of intracranial cysts*. *Neurosurgery*, 1998. **43**(6): p. 1330-6; discussion 1336-7.
39. House, H.P. and W.F. House, *Transtemporal Bone Microsurgical Removal of Acoustic Neuromas. Historical Review and Problem of Acoustic Neuroma*. *Arch Otolaryngol*, 1964. **80**: p. 601-4.
40. Iacoangeli, M., et al., *Piezosurgery as a Further Technical Adjunct in Minimally Invasive Supraorbital Keyhole Approach and Lateral Orbitotomy*. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg*, 2014.
41. Iantosca, M.R., W.J. Hader, and J.M. Drake, *Results of endoscopic third ventriculostomy*. *Neurosurg Clin N Am*, 2004. **15**(1): p. 67-75.
42. Jarrahy, R., et al., *Fully endoscopic vascular decompression of the trigeminal nerve*. *Minim Invasive Neurosurg*, 2002. **45**(1): p. 32-5.
43. Kabil, M.S. and H.K. Shahinian, *Application of the supraorbital endoscopic approach to tumors of the anterior cranial base*. *J Craniofac Surg*, 2005. **16**(6): p. 1070-4; discussion 1075.
44. Kawase, T., et al., *Transpetrosal approach for aneurysms of the lower basilar artery*. *J Neurosurg*, 1985. **63**(6): p. 857-61.
45. Kirschniak, A., F. Granderath, and U. Drews, eds. *Endoskopisch- chirurgische Anatomie* 2010, Springer: Berlin Heidelberg.

46. Koerbel, A., et al., *Venous complications following petrosal vein sectioning in surgery of petrous apex meningiomas*. Eur J Surg Oncol, 2009. **35**(7): p. 773-9.
47. Koppe, M., et al., *Superior eyelid crease approach for transorbital neuroendoscopic surgery of the anterior cranial fossa*. J Craniofac Surg, 2013. **24**(5): p. 1616-21.
48. Lang, S.S., H.I. Chen, and J.Y. Lee, *Endoscopic microvascular decompression: a stepwise operative technique*. ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec, 2012. **74**(6): p. 293-8.
49. Link, T.E., et al., *Raymond M. P. Donaghy: a pioneer in microneurosurgery*. J Neurosurg, 2010. **112**(6): p. 1176-81.
50. Lippert, *Lehrbuch Anatomie 2000*: Urban & Fischer.
51. Matsushima, T., et al., *Microsurgical anatomy of the veins of the posterior fossa*. J Neurosurg, 1983. **59**(1): p. 63-105.
52. Menovsky, T., et al., *Endoscope-assisted supraorbital craniotomy for lesions of the interpeduncular fossa*. Neurosurgery, 1999. **44**(1): p. 106-10; discussion 110-2.
53. Park, J.O., et al., *Transoral endoscopic thyroidectomy via the tri-vestibular routes: results of a preclinical cadaver feasibility study*. Eur Arch Otorhinolaryngol, 2014.
54. Perez-Cruet, M.J., et al., *Microendoscopic lumbar discectomy: technical note*. Neurosurgery, 2002. **51**(5 Suppl): p. S129-36.
55. Rand, R.W. and P.J. Jannetta, *Micro-neurosurgery for aneurysms of the vertebral-basilar artery system*. J Neurosurg, 1967. **27**(4): p. 330-5.
56. Rhoton, A.L., Jr., *The cerebellopontine angle and posterior fossa cranial nerves by the retrosigmoid approach*. Neurosurgery, 2000. **47**(3 Suppl): p. S93-129.
57. Rhoton, A.L., Jr., *The posterior fossa cisterns*. Neurosurgery, 2000. **47**(3 Suppl): p. S287-97.
58. Rhoton, A.L., Jr., *The posterior fossa veins*. Neurosurgery, 2000. **47**(3 Suppl): p. S69-92.
59. Ryvkin, I.B.-. 2006: Tübingen. p. persönliches Statement, leitende Präparatin am Anatomischen Institut Universität Tübingen.
60. Samii, M., et al., *Surgery of petroclival meningiomas: report of 24 cases*. Neurosurgery, 1989. **24**(1): p. 12-7.
61. Samii, M., et al., *Surgical management of meningiomas originating in Meckel's cave*. Neurosurgery, 1997. **41**(4): p. 767-74; discussion 774-5.
62. Samii, M., et al., *Surgical treatment of trigeminal schwannomas*. J Neurosurg, 1995. **82**(5): p. 711-8.
63. Samii, M., M. Tatagiba, and G.A. Carvalho, *Retrosigmoid intradural suprameatal approach to Meckel's cave and the middle fossa: surgical technique and outcome*. J Neurosurg, 2000. **92**(2): p. 235-41.
64. Schmideck H H, S.W.H., *Operative neurosurgical techniques, indications, methods and results*. 3 ed 1995: Saunders. pp54-56.
65. Schneck, C., *Anatomy of the posterior cranial fossa*. Surgery of the Posterior Fossa, ed. T.R. Buchheit WA1979, New York: Raven Press.
66. Schroeder, H.W., A.K. Hickmann, and J. Baldauf, *Endoscope-assisted microsurgical resection of skull base meningiomas*. Neurosurg Rev, 2011. **34**(4): p. 441-55.
67. Sekhar, L.N., et al., *The extended frontal approach to tumors of the anterior, middle, and posterior skull base*. J Neurosurg, 1992. **76**(2): p. 198-206.
68. Sekhar, L.N., V.L. Schramm, Jr., and N.F. Jones, *Subtemporal-preauricular infratemporal fossa approach to large lateral and posterior cranial base neoplasms*. J Neurosurg, 1987. **67**(4): p. 488-99.
69. Sekhar, L.N., et al., *Operative exposure and management of the petrous and upper cervical internal carotid artery*. Neurosurgery, 1986. **19**(6): p. 967-82.
70. Seoane, E. and A.L. Rhoton, Jr., *Suprameatal extension of the retrosigmoid approach: microsurgical anatomy*. Neurosurgery, 1999. **44**(3): p. 553-60.
71. Singhal, P., et al., *Impact of Anatomical and Radiological Findings for Consideration of Functional Endoscopic Sinus Surgery*. Indian J Otolaryngol Head Neck Surg, 2012. **64**(4): p. 382-385.

72. Smith, R.R., C.T. Klopp, and J.M. Williams, *Surgical treatment of cancer of the frontal sinus and adjacent areas*. *Cancer*, 1954. **7**(5): p. 991-4.
73. Tang, C.T., N.B. Baidya, and M. Ammirati, *Endoscope-assisted neurovascular decompression of the trigeminal nerve: a cadaveric study*. *Neurosurg Rev*, 2013. **36**(3): p. 403-10.
74. Tatagiba, M., et al., *Management of petroclival meningiomas: a critical analysis of surgical treatment*. *Acta Neurochir Suppl*, 1996. **65**: p. 92-4.
75. Teo, C., P. Nakaji, and R.J. Mobbs, *Endoscope-assisted microvascular decompression for trigeminal neuralgia: technical case report*. *Neurosurgery*, 2006. **59**(4 Suppl 2): p. ONSE489-90; discussion ONSE490.
76. Tirakotai, W., et al., *The evolution of stereotactic guidance in neuroendoscopy*. *Childs Nerv Syst*, 2004. **20**(11-12): p. 790-5.
77. Tirakotai, W., et al., *Clinical application of neuro-navigation in a series of single burr-hole procedures*. *Zentralbl Neurochir*, 2004. **65**(2): p. 57-64.
78. Tirakotai, W., et al., *Neuroendoscopic surgery of intracranial cysts in adults*. *Childs Nerv Syst*, 2004. **20**(11-12): p. 842-51.
79. Tutsch, H., *[An odorless, well-preserving injectable solution for cadavers used in classes]*. *Anat Anz*, 1975. **138**(1-2): p. 126-8.
80. Ulm, A.J., et al., *Microsurgical approaches to the perimesencephalic cisterns and related segments of the posterior cerebral artery: comparison using a novel application of image guidance*. *Neurosurgery*, 2004. **54**(6): p. 1313-27; discussion 1327-8.
81. van Lindert, E., et al., *The supraorbital keyhole approach to supratentorial aneurysms: concept and technique*. *Surg Neurol*, 1998. **49**(5): p. 481-9; discussion 489-90.
82. Yarsagil, M., *Microneurosurgery*. Vol. Vol I. 1984, Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag. pp 25-53.
83. Yasargil, M.G., *Microsurgery: Applied to Neurosurgery*2006, Reprint of original tex from 1969: Thieme, Stuttgart.
84. Yasargil, M.G., *Editorial. Personal considerations on the history of microneurosurgery*. *J Neurosurg*, 2010. **112**(6): p. 1347.

8 Danksagung

Herrn PD Dr. med. Andreas Kirschniak danke ich für die jahrelange Betreuung. Er hat nie aufgegeben. Dankeschön!

Bei Herrn. Prof. Dr. med. Ulrich Drews möchte ich mich für die jahrelange gute Zusammenarbeit im anatomischen Institut bedanken.

Herrn. Dr. med. Thomas Shiozawa danke ich für sein jederzeit abrufbares anatomisches Wissen. Ohne Dich wäre ich oft verzweifelt!

Herrn Eugen Laukart danke ich sehr für seine Unterstützung im Bereich Informatik und Software. Seine Hilfe hat mir die Erstellung dieser Arbeit immens erleichtert.

Herrn Manfred Mauz danke ich besonders für die immens vielen Tassen Kaffee, die netten Schwätzchen zwischendurch und natürlich nicht zu vergessen für die Hilfe im Bereich Technik.

Ein großes Dankeschön geht an die Mitarbeiter des Anatomischen Institutes, besonders an Fr. Dr. Bensemman-Ryvkin und Fr. Steiner.

Herrn PD Dr. med. Florian Ebner danke ich für die Hilfe bei den ersten Präparationen und die Beantwortung neurochirurgischer Fragen.

Meinem Mann danke ich für die unzähligen Anstöße diese Arbeit nicht aufzugeben und zu einem erfolgreichen Abschluss zu bringen.

Zuletzt danke ich meinen Eltern, insbesondere meiner Mutter. Sie hat immer an mich geglaubt.