

**Aus der
Klinik für Neurochirurgie
Universitätsklinikum des Saarlandes
Homburg/Saar
Direktor: Prof. Dr. med. Joachim Oertel**

**EINE RETROSPEKTIVE ANALYSE
KOMBINierter INTRAVENTRIKULÄRER
NEUROENDOSKOPISCHER EINGRIFFE**

**DISSERTATION
ZUR ERLANGUNG DES GRADES EINES DOKTORS DER MEDIZIN
DER MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES
2024**

**vorgelegt von Caroline Jeanette Diehl, geb. Emmerich
geboren am 04.08.1989 in Frankfurt**

Tag der Promotion: 18. März 2025

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Matthias Hannig

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Joachim Oertel
Prof. Dr. med. Matthias Glanemann

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
1. Zusammenfassung	1
1.1. Deutsche Fassung	1
1.2. Summary	2
2. Einleitung.....	3
2.1. Historische Entwicklung der endoskopischen Neurochirurgie.....	3
2.2. Anatomie des Ventrikelsystems	4
2.2.1. Plexus chorioideus.....	5
2.2.2. Boden des dritten Ventrikels.....	6
2.2.3. Fornix cerebri.....	6
2.2.4. Endoskopische Anatomie	7
2.3. Diagnostik und Therapie	8
2.3.1. Neuronavigation.....	8
2.3.2. Intraventrikuläre Neuroendoskopie	8
2.4. Krankheitsbilder im Bereich des Ventrikelsystems.....	9
2.4.1. Hydrocephalus.....	9
2.4.2. Hydrocephalus occlusus.....	9
2.4.3. Hydrocephalus malresorptivus	10
2.4.4. Normaldruck-Hydrocephalus	10
2.4.5. Hirntumoren	11
2.4.6. Zysten	13
2.4.7. Aquäduktstenose	14
2.4.8. Angeborene Fehlbildungen.....	15
2.5. Neuroendoskopie heute	15
2.6. Zielsetzung der Arbeit.....	17

3. Material und Methoden	18
3.1. Patientenkollektiv	18
3.2. Instrumente	18
3.3. Operationstechnik	19
3.3.1. Allgemeine Operationsvorbereitungen	19
3.3.2. Operationstechnik der Ventrikulozisternostomie	20
3.3.3. Operationstechnik der endoskopischen Tumorbiopsie/-resektion	21
3.3.4. Operationstechnik der endoskopischen Zystenfensterung/-resektion	22
3.3.5. Operationstechnik der Aquäduktoplastie	23
3.3.6. Kombination endoskopischer Ventrikeleingriffe	23
3.4. Definitionen	25
3.4.1. Fornixläsion	25
3.4.2. Blutung	26
3.4.3. Postoperative Defizite	26
3.4.4. Operationserfolg	26
3.5. Einschlusskriterien	27
3.6. Aspekte der Auswertung	27
3.6.1 ETV-Success-Score	28
3.7. Datenauswertung und Statistik	29
4. Ergebnisse	30
4.1. Patientenkollektiv	30
4.2. Übersicht über Pathologien und Eingriffe	31
4.3. Präoperative Symptome	34
4.4. Resultate	36
4.4.1. Intraoperative Resultate	36
4.4.2. Postoperative Resultate	38
4.5. Komplikationen	38
4.5.1. Intraoperative Auffälligkeiten	38

4.5.2. Postoperative Komplikationen	40
4.6. Eingriffe bei Kindern	44
4.7. Eingriffe mit zwei Zugängen.....	45
4.8. Fallbeispiel	46
5. Diskussion	49
5.1. Ventrikulozisternostomien	49
5.2. Aquäduktplastien und Aquäduktstents	50
5.3. Tumorbiopsien/Tumorresektionen	51
5.4. Zystenresektionen.....	53
5.5. Fornixverletzungen	53
5.6. Planung des Operationszugangs	54
5.7. Komplikationen	55
5.8. Untergruppe Kinder	59
5.9. Limitationen der Arbeit	59
5.10. Zusammenfassung.....	60
5.11. Ausblick	60
6. Literaturverzeichnis	61
7. Publikation.....	68
8. Danksagung	69
9. Lebenslauf	70
10. Anhang.....	71
10.1. Abbildungsverzeichnis	71
10.2. Tabellenverzeichnis	72
10.3. Auswertungsbogen.....	73

1. Zusammenfassung

1.1. Deutsche Fassung

Einleitung: Die intraventrikuläre Neuroendoskopie ist heute ein gängiges Verfahren. Durch zunehmende Erfahrung werden auch gute Ergebnisse in der Kombination von endoskopischer Ventrikulozisternostomie (ETV) und Tumorbiopsie erzielt. Andere Kombinationsverfahren und intraoperative Komplikationen werden in der Literatur jedoch nur in geringer Fallzahl erwähnt. In dieser Studie werden die Ergebnisse verschiedener kombinierter neuroendoskopischer Verfahren innerhalb eines Eingriffs aus über 20 Jahren beschrieben.

Methoden: Es wurde eine retrospektive Analyse der Daten von intraventrikulären neuroendoskopischen Eingriffen zwischen 1993 und 2015 aus drei verschiedenen neurochirurgischen Zentren durchgeführt. In die Studie eingeschlossen wurden alle Patienten, die sich einer Kombination von mindestens zwei intraventrikulären neuroendoskopischen Eingriffen innerhalb einer Intervention unterzogen, z.B. Ventrikulozisternostomie, Zystenfensterung, Tumoreingriff oder Aquäduktoplastie.

Ergebnisse: 138 Fälle mit insgesamt über 300 Verfahren erfüllten die Einschlusskriterien. Die häufigsten Kombinationen waren ETV und Tumorbiopsie (n=40); ETV und Aquäduktoplastie/-stents (n=30); ETV und Zystenfensterung (n=21). Die Komplikationsrate lag bei 9,4% bei einer Gesamtmorbidität von 1,4% und einer Mortalität von 0,7%. Die Fornixkontusion war eine der häufigsten intraoperativen Komplikationen (12,3%). Eine Shuntunabhängigkeit wurde in 83,3% der Fälle mit hydrocephalen Symptomen erreicht.

Diskussion: Die intraventrikuläre Neuroendoskopie bietet die Möglichkeit, verschiedene intrakranielle Eingriffe minimalinvasiv miteinander zu kombinieren. Diese Studie zeigt in einer großen Fallzahl, dass eine Kombination von Eingriffen ähnliche Risiken wie ein einzelnes neuroendoskopisches Verfahren birgt und nicht zu einer höheren Morbidität oder Mortalität führt. Tumorbiopsien und Eingriffe im Bereich des Aquädukt führen häufiger zu intra- und postoperativen Komplikationen.

1.2. Summary

Objective: Intraventricular neuroendoscopy is nowadays a common procedure. Increasing experience leads to good results also in the combination of endoscopic third ventriculostomy (ETV) and tumor biopsy. However, other combined procedures and intraoperative complications are mentioned in the literature only in a small number of cases. In this study, results of various combined neuroendoscopic procedures within one setting from more than 20 years are described.

Methods: A retrospective analysis of data from intraventricular neuroendoscopic procedures between 1993 and 2015 in three different Departments of Neurosurgery was performed. All patients undergoing a combination of at least two intraventricular endoscopic procedures, e.g. third ventriculostomy, cyst fenestration, tumor surgery or aqueductoplasty within one setting, were included.

Results: One hundred and thirty-eight cases with a total of over 300 procedures fulfilled the inclusion criteria. The most frequent combinations were ETV and tumor biopsy (n=40); ETV and aqueductoplasty/-stenting (n=30); ETV and cyst fenestration (n=21). The complication rate was 9.4% with an overall morbidity of 1.4% and mortality of 0.7%. The most common intraoperative complication was a fornix contusion (12.3%). Shunt independency was achieved in 83.3% of cases with hydrocephalic symptoms.

Conclusion: Intraventricular neuroendoscopy offers the possibility to combine different intracranial procedures in a minimally invasive way. The presented study shows in a large number of cases that a combination of procedures entails a similar risk as a single neuroendoscopic procedure and does not lead to higher morbidity or mortality. Tumor biopsies and procedures in the aqueduct area are more often associated with intraoperative and postoperative complications.

2. Einleitung

2.1. Historische Entwicklung der endoskopischen Neurochirurgie

Die Endoskopie ist heute ein weltweit anerkanntes und praktiziertes Verfahren zur Diagnostik und Therapie mit geringer Invasivität. Das erste Endoskop wurde Anfang des 19. Jahrhunderts von Philip Bozzini entwickelt und von Antonin Desormeaux 1855 weiterentwickelt. Im Jahre 1879 stellte Maximilian Nitze das erste Zystoskop vor (Hsu W. et al. 2009), das Anwendung in der urologischen Untersuchung fand. In der Neurochirurgie hielt die Endoskopie ihren Einzug zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Im Jahr 1910 destruierte der Urologe Victor Lespinasse mit Hilfe eines Zystoskops den Plexus Chorioideus bei einem Kind mit Hydrocephalus (Grunert et al. 2009). Walter Dandy, der als „father of neuroendoscopy“ gilt (Hsu et al. 2009), führte die erste Ventrikuloskopie durch und entfernte mit einem Zystoskop den Plexus Chorioideus (Dandy et Blackfan 1913). 1923 perforierte William Mixer erstmals den Boden des dritten Ventrikels mit einem Urethroskop. Temple Fay und Francis Grant machten im selben Jahr die ersten Bilder vom Inneren des Ventrikelsystems; auch sie nutzten ein Zystoskop (Hsu et al. 2009). Durch diese Eingriffe konnte die Durchführbarkeit von Ventrikeleingriffen gezeigt werden. Das Mortalitätsrisiko war jedoch hoch (Ling et al. 2013; Grunert et Oertel 2011). Die Endoskope waren starr, groß und die Sicht schlecht (Fukushima et al. 1973). Dies führte dazu, dass die Neuroendoskopie klinisch an Bedeutung verlor; insbesondere nach Entwicklung eines ableitenden Ventil-Shuntsystems zur Behandlung des Hydrocephalus in den 50er Jahren (Grunert et al. 2009). In den kommenden Jahrzehnten entwickelten unter anderem Harold Hopkins und Karl Storz das Endoskop weiter (Cockett et Cockett 1998). Sie nutzten Stablinsen, welche die Bildqualität verbesserten. Durch deren Verwendung konnte die Lichtquelle deutlich optimiert und eine mit Fiberglas eingeschleuste externe Halogen-Lichtquelle eingesetzt werden. Später wurde Xenonlicht, eine Kaltlichtquelle verwendet. Nach der Entwicklung der digitalen Bildübertragung in den 1980er Jahren wurde die Videodokumentation des operativen Eingriffs möglich. Dies erfolgte anfangs auf

Videobändern, später durch digitale Aufzeichnung. Heute werden LED-Lichtquellen verwendet und die Kameras können in full-HD übertragen. Da diese technischen Fortschritte der neuen Generation von Neurochirurgen weitere Optionen und Anwendungsmöglichkeiten boten, konnte das Morbiditäts- und Mortalitätsrisiko gesenkt werden. Es kam zur erneuten Anwendung der Neuroendoskopie, was auch eine steigende Anzahl von Publikationen seit den 1980er Jahren zeigt (Hopf et al. 1999; Schroeder et al. 1996; Grunert et al. 2009, Oertel et al. 2009). Es eröffneten sich auch neue Möglichkeiten für Eingriffe: heute werden intraventrikulär gelegene Tumore und Zysten neuroendoskopisch biopsiert und auch reseziert (Grunert et al. 2009). Durch die endoskopische Ventrikulozisternostomie und Aquäduktoplastie mit Stentimplantation bestehen heute für Patienten mit Hydrocephalus occlusus wieder sichere Alternativen zu einem liquorableitenden Shuntsystem. Dieses findet bei anderen Formen des Hydrocephalus weiterhin Anwendung trotz Risiken wie Ventilversagen, Überdrainage und Shuntinfektionen (Stone et al. 2013; Reddy et al. 2012; Park et al. 2015).

2.2. Anatomie des Ventrikelsystems

Das Ventrikelsystem besteht aus vier Ventrikeln. Die paarig angelegten Seitenventrikel befinden sich im Großhirn und sind über die Foramina Monroi mit dem dritten Ventrikel verbunden, welcher im Diencephalon liegt. Der durch das Mittelhirn verlaufende Aquädukt ist die Verbindung zwischen drittem und viertem Ventrikel. Der im Rhombenzephalon liegende vierte Ventrikel ist über die paarig angelegten Foramina Luschkae und das median gelegene Foramen Magendi mit dem äußeren Liquorraum, dem Subarachnoidalraum verbunden (Trepel, Neuroanatomie, Elsevier-Verlag 2008).

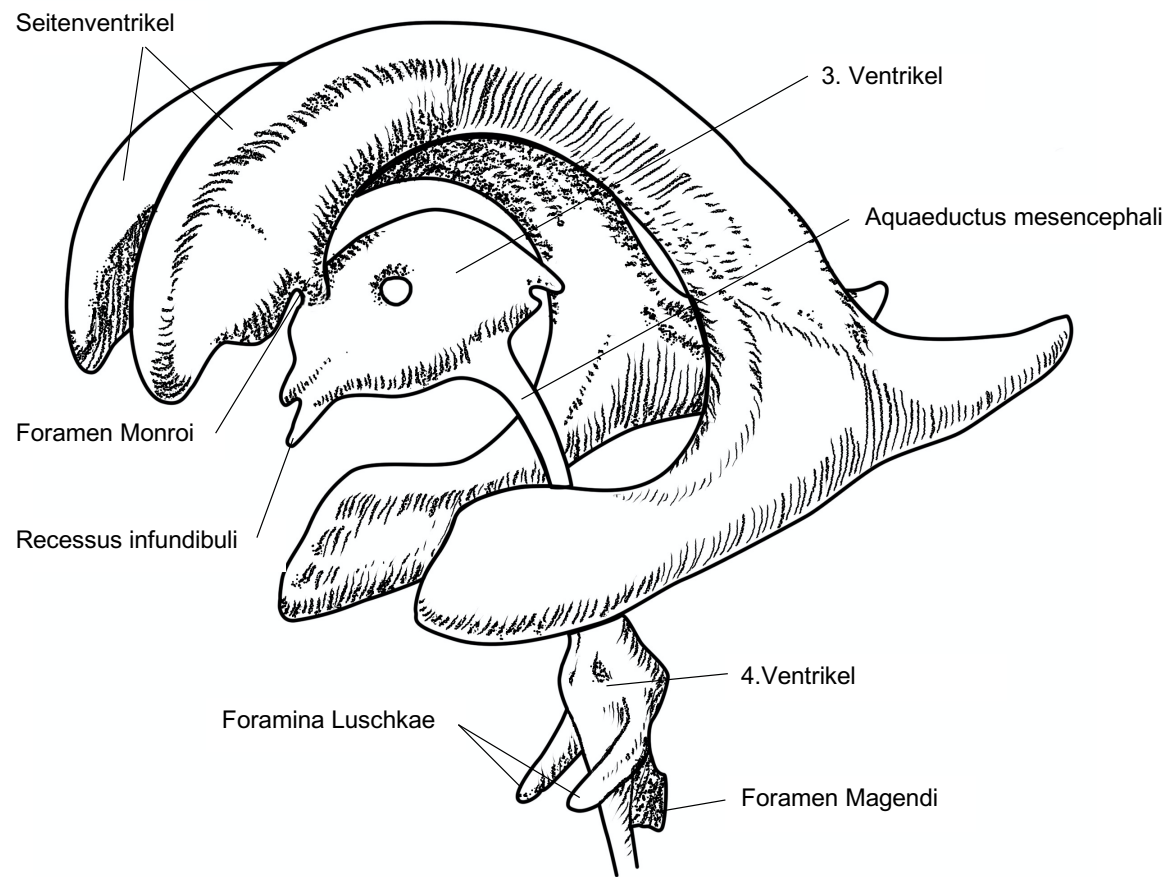


Abb.1: Ventrikelsystem (Illustration freundlicherweise überlassen von Rüdiger Koop, Universitätsklinikum des Saarlandes)

2.2.1. Plexus chorioideus

Die Plexus chorioidei sind blumenkohlartig aussehende, gut durchblutete arterio-venöse Gefäßkonvolute aus spezialisierten Gliazellen. Sie sind Teil der Blut-Liquor-Schranke und dienen der Entgiftung des Liquors. Sie befinden sich sowohl in den Seitenventrikeln als auch am Dach des dritten und vierten Ventrikels und bilden täglich etwa 500 ml Liquor cerebrospinalis. Dieser ist ein Ultrafiltrat des Blutes. Er ist wasserklar, enthält wenige Zellen (ca. 4 Zellen/ μ l, davon bis zu 3 Lymphozyten/ μ l) und etwa 120 - 500 mg/l Protein (Trepel, Neuroanatomie, Elsevier-Verlag 2008).

2.2.2. Boden des dritten Ventrikels

Der Boden des dritten Ventrikels wird dorsal von den paarigen Corpora mamillaria begrenzt, welche sich am vorderen Ende des Fornix befinden und zum limbischen System gehören. Rostral befindet sich der Recessus infundibuli, eine trichterförmige Aussackung über dem Hypophysenstiel und das Chiasma opticum. Zu beiden Seiten wird er vom Hypothalamus begrenzt. Zwischen diesen Strukturen befindet sich eine dünne Membran. Dicht unter dieser Membran verläuft die Arteria basilaris.

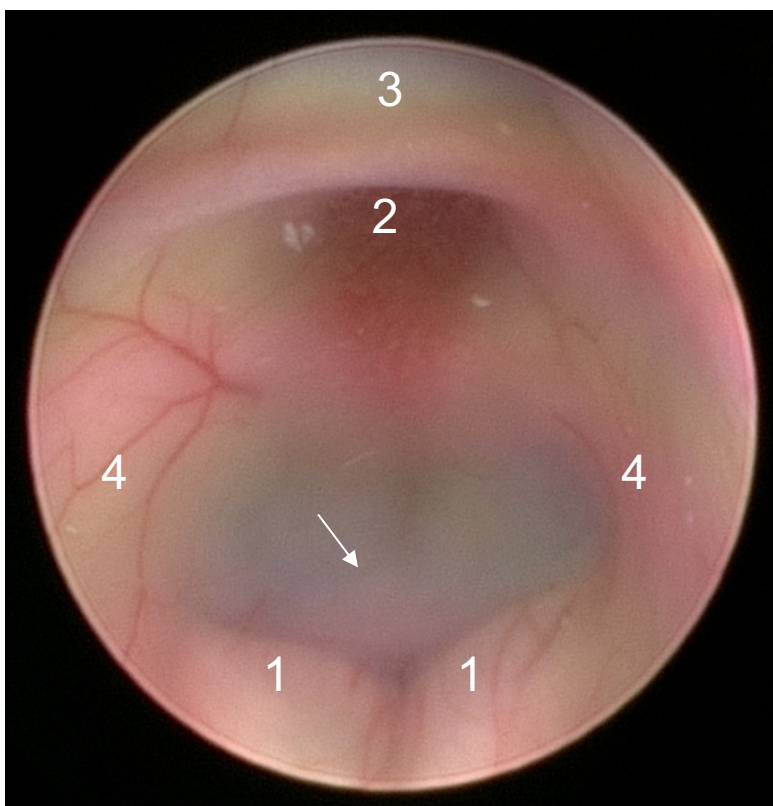


Abb.2: Endoskopische Ansicht mit Blick auf den Boden des 3. Ventrikels, 1: Corpora mamillaria, 2: Recessus infundibuli, 3: Chiasma opticum, 4: Hypothalamus, Pfeil: durchscheinende Arteria basilaris

2.2.3. Fornix cerebri

Der Fornix cerebri ist eine Faserbahn des limbischen Systems. Er entspringt dem Hippocampus und vereinigt sich unterhalb des Balkens mit dem der Gegenseite. Dadurch werden rechte und linke Hirnhälfte miteinander verbunden. Von dort verläuft er oberhalb des dritten Ventrikels zur vorderen Kommissur, teilt sich dort

wieder und zieht zu den Corpora mamillaria. Der Fornix ist Teil des sogenannten Papez-Neuronenkreises, der eine entscheidende Rolle bei der Gedächtnisfunktion spielt. Eine Verletzung des Fornix kann Auswirkungen auf die Übertragung von Kurzzeit- zu Langzeitgedächtnis haben (Trepel, Neuroanatomie, Elsevier-Verlag 2008).

2.2.4. Endoskopische Anatomie

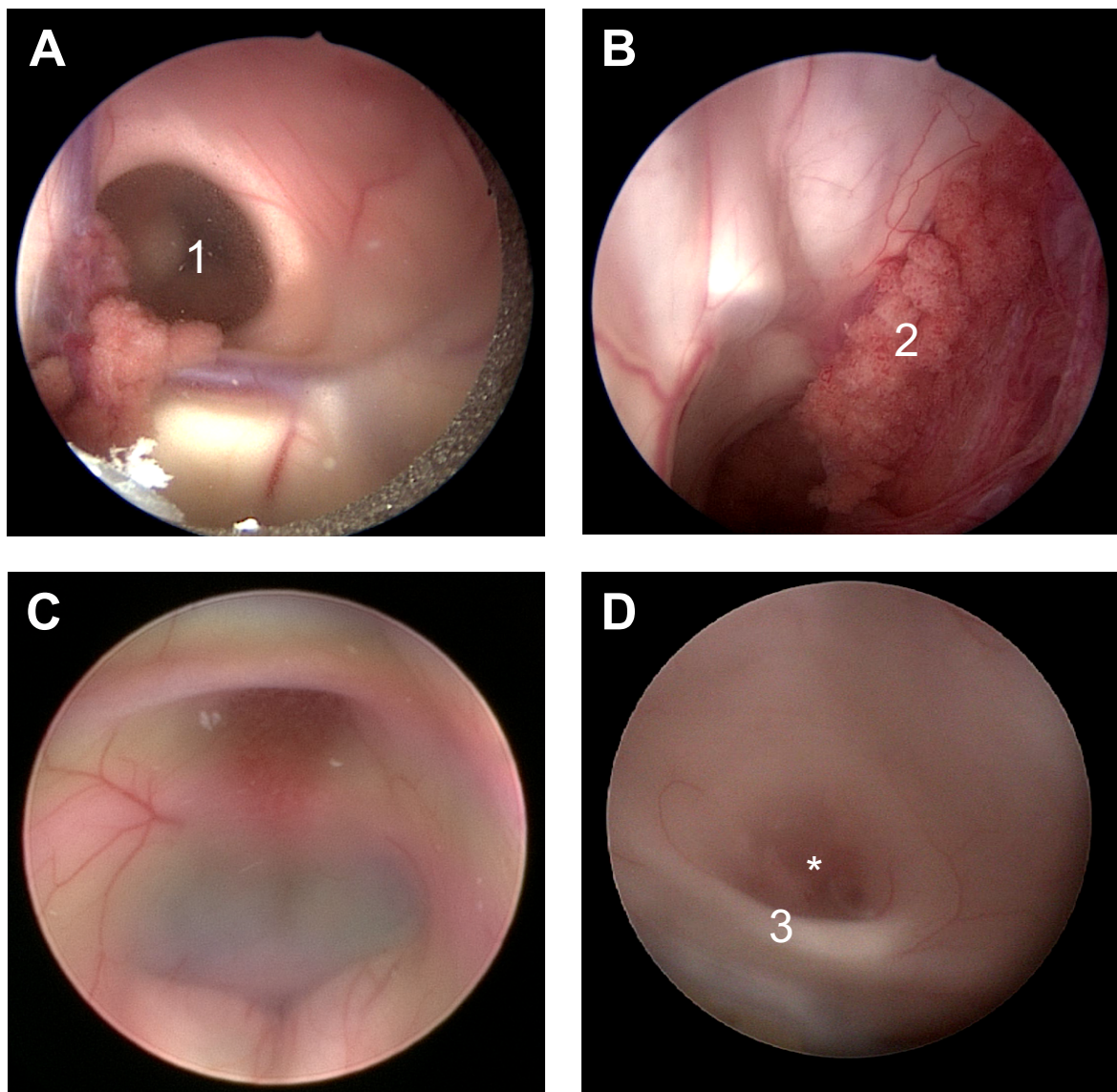


Abb.3: Endoskopische Anatomie des Ventrikelsystems, A: Blick durch den rechten Seitenventrikel auf das Foramen Monroi (1), B: Inspektion des Seitenventrikels mit gewinkelter Optik (Vorderhorn mit Plexus chorioideus (2)), C: Blick durch das Foramen Monroi auf den Boden des 3. Ventrikels (vgl. Abb.2), D: Inspektion des Aquädukts mit gewinkelter Optik (Commissura posterior (3), Aquädukt (*))

2.3. Diagnostik und Therapie

2.3.1. Neuronavigation

Eine präoperative Planung des optimalen Zugangs, sowie eine genauere räumliche Orientierung während einer Operation ist heute durch die Neuronavigation möglich. Sie ist ein computergestütztes Verfahren, das mithilfe von Bildgebung wie CT und MRT eine dreidimensionale Rekonstruktion des Operationsgebietes erstellt. Diese wird dann durch ein Koordinatensystem mit dem des Patienten in Deckung gebracht. Dadurch ist es dem Operateur möglich die genaue Position der Instrumente im Operationsgebiet zu erkennen. In Folge dessen kann eine möglichst geringe Traumatisierung umgebender Strukturen erreicht werden. Dies ist insbesondere in Gehirnarealen wichtig, die der Sprachfunktion oder Motorik dienen. Auch in schwer zugänglichen Bereichen, wie der Schädelbasis oder kleinen, tiefliegenden Läsionen ist die Neuronavigation hilfreich (Wirtz 1998; Schroeder et al. 2001).

2.3.2. Intraventrikuläre Neuroendoskopie

Die Endoskopie nutzt vorbestehende Hohlräume und ermöglicht es somit minimalinvasiv diagnostisch und therapeutisch aktiv zu werden. Dies macht man sich auch im Ventrikelsystem zu Nutzen. Hier gelegene Raumforderungen bedürfen meist einer Biopsie, um eine Diagnose zu sichern und die optimale Therapie einzuleiten. Ein endoskopisch entnommenes Gewebestück kann mittels Schnellschnitt direkt untersucht werden. Je nach Art, Größe und Lokalisation des Tumors kann dieser mit Hilfe des Endoskops dann in gleicher Operation komplett reseziert werden. Auch bei Liquorflussstörungen aufgrund einer Engstelle oder Raumforderung kann das Endoskop therapeutisch zum Einsatz kommen. Dies ist beispielsweise durch Aufdehnen der Engstelle, Einsetzen eines Shunts oder durch Schaffung eines Umgehungskreislaufs mithilfe einer Ventrikulozisternostomie oder Fensterung der Lamina terminalis oder des Septum pellucidum möglich.

2.4. Krankheitsbilder im Bereich des Ventrikelsystems

Im Folgenden werden einige häufige Krankheitsbilder im Bereich des Ventrikelsystems sowie deren Therapiemöglichkeiten erläutert.

2.4.1. Hydrocephalus

Der Hydrocephalus ist meist durch eine Erweiterung der Liquorräume in Folge einer Druckerhöhung gekennzeichnet, die Folge einer Zirkulationsstörung des Liquor cerebrospinalis ist. Eine Therapieoption des Hydrocephalus kann einerseits die Schaffung eines Umgehungskreislaufs durch die Versorgung mit einem ventrikuloatrialen (VA) Shunt, einem ventrikuloperitonealen (VP) Shunt oder durch die endoskopische Ventrikulozisternostomie sein. Andererseits kann bei einer umschriebenen Stenose des Aquädukts auch der natürliche Abflussweg wiederhergestellt werden. Hier ist die Aquäduktoplastie, eine Aufdehnung der Engstelle, eine mögliche Therapie. Zusätzlich kann hier auch ein Stent eingesetzt werden. Einen Stent nutzt man unter anderem auch bei einem isolierten vierten Ventrikel, wenn es beispielsweise durch chronische Überdrainage zu Verklebungen im Aquädukt kommt und dadurch kein Anschluss mehr an das Ventrikelsystem besteht (Fritsch et al. 2004, Schulz et al. 2012).

2.4.2. Hydrocephalus occlusus

Der Hydrocephalus occlusus ist durch eine Störung des Liquorabflusses im Sinne einer Verlegung bedingt. Diese befindet sich häufig an einer anatomischen Engstelle wie dem Aquädukt oder dem Foramen Monroi. Ursache für eine Obstruktion in diesem Bereich können Tumoren, Zysten, angeborene Anomalien, Infektionen oder Blutungen sein. Häufig können erhöhte Liquordruckwerte von weit über 20 mmHg gemessen werden. Bei schnell wachsenden Prozessen zeigt sich meist eine akute Symptomatik mit Zeichen des erhöhten Hirndrucks wie Kopfschmerzen, Übelkeit, Stauungspapille und Bewusstseinstörung. Bei langsamerem Wachstum können diese Symptome geringer ausgeprägt sein oder fehlen. Bei Kleinkindern kann der erhöhte Hirndruck aufgrund der unverschlossenen

Suturen zur Größenzunahme des Kopfes führen. In der Bildgebung mittels Magnetresonanztomographie (MRT) sind bei einem Hydrocephalus occlusus massiv erweiterte Liquorräume mit periventrikulärer Liquordiapedese zu erkennen.

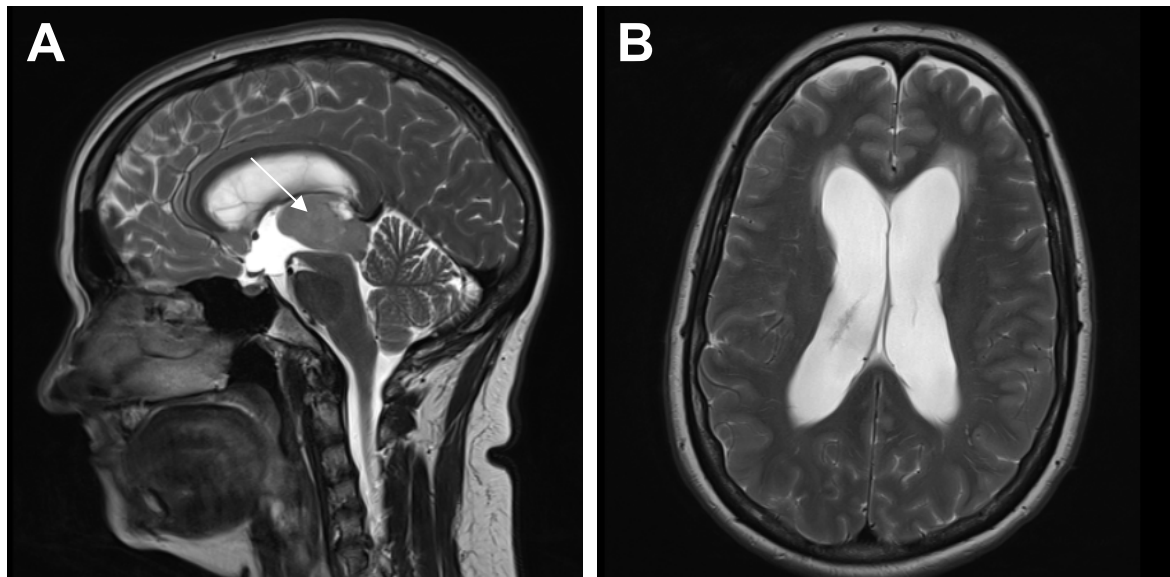


Abb.4: Hydrocephalus bei Tumor im Thalamusbereich bei einer 50-jährigen Patientin, A: Tumor im Thalamusbereich (Pfeil) im MRT T2-gewichteten Sagittalschnitt, B: erweiterte Ventrikel mit Liquordiapedese bei Liquoraufstau im MRT T2-gewichteten Axialschnitt

2.4.3. Hydrocephalus malresorptivus

Bei einem Hydrocephalus malresorptivus ist die Resorption des Liquors durch die Arachnoidalzotten gestört. Eine Verklebung dieser Granulationes arachnoidales kann durch Blutungen im Subarachnoidalraum oder Infektionen verursacht werden. Dies hat ein Ungleichgewicht zwischen Liquorproduktion und -resorption zur Folge, woraus ein erhöhter Hirndruck resultiert.

2.4.4. Normaldruck-Hydrocephalus

Der Normaldruck-Hydrocephalus (NPH) hingegen weist meist normale oder nur leicht erhöhte Liquordruckwerte auf, wobei die Ventrikel trotzdem erweitert sind. Klinisch kann sich die sogenannte Hakim-Trias zeigen. Zu dieser gehören eine kleinschrittige, breitbasige Gangstörung, eine Demenz und eine Harninkontinenz. Häufig zeigen sich jedoch nicht alle dieser Symptome. Zur Diagnostik dient hier das

Ablassen von Liquor durch eine Lumbalpunktion, woraufhin sich das Gangbild verbessern sollte. Dann wird meist ein Shuntsystem implantiert. Die Endoskopie spielt hier in der Behandlung meist eine zweitrangige Rolle, da meist keine Pathologie in der Anatomie der Liquorwege zugrunde liegt (Shaw et al. 2016, Kang et al. 2018). In Einzelfällen wird ein Ansprechen beschrieben, größere Fallserien oder Studien sind noch ausstehend (Tudor et al. 2015).

2.4.5. Hirntumoren

Durch die Raumforderung eines Tumors können Stauungssymptome wie Übelkeit, Erbrechen und eine Stauungspapille auftreten. Je nach Lokalisation des Tumors kann es auch zu einer Wesensveränderung, Bewusstseinsstörungen, Hirnnervenausfällen oder einer hormonellen Entgleisung kommen. Oft macht sich ein Hirntumor auch durch einen erstmalig auftretenden epileptischen Anfall bemerkbar. Zur histologischen Abklärung der Dignität spielt die Biopsie eine wichtige Rolle. Diese kann sowohl endoskopisch, als auch stereotaktisch oder mikrochirurgisch erfolgen. Ein Vorteil der endoskopisch durchgeführten Biopsie im Vergleich zur stereotaktischen Biopsie ist, dass ein im Schnellschnitt histologisch gesicherter Tumor manchmal noch in gleicher Operation endoskopisch reseziert werden kann. Im Vergleich zur mikrochirurgischen Technik bietet sie den Vorteil einer geringeren Invasivität. Allerdings muss je nach Tumorgöße oder -invasivität manchmal auf ein offenes Verfahren gewechselt werden. Je nach Art des Tumors kann therapeutisch auch eine Bestrahlung des Schädels oder eine Chemotherapie notwendig sein. Hier kann beispielsweise über den endoskopischen Zugang ein Reservoir implantiert werden, welches eine intraventrikuläre Applikation von Zytostatika ermöglicht. Außerdem besteht hierüber die Möglichkeit später eine Liquorpunktion durchzuführen. Häufige hirneigene Tumoren im Erwachsenenalter sind Astrozytome. Sie zählen zu den Gliomen und werden von der WHO in vier Schweregrade unterteilt. Zu WHO Grad II zählt das niedrig-maligne diffuse Astrozytom. Es betrifft oft junge Erwachsene und kann spontan zu einem anaplastischen Astrozytom fortschreiten, das von der WHO in Grad III eingeteilt wird. Dieses wiederum kann sich zu einem Glioblastom (WHO Grad IV) entwickeln. Die Tumoren können aber jeweils auch de novo entstehen. Das Glioblastom macht

10-15% aller intrakraniellen Tumoren aus und 50-60% der Astrozytome. Es ist der bösartigste und beim Erwachsenen am häufigsten auftretende hirneigene Tumor; er kann jedoch auch Kinder betreffen. Als nicht-hirneigene Tumoren finden sich beim Erwachsenen Metastasen peripherer Tumoren wie des Bronchial- oder Mammakarzinoms (Berlit 2014; Tonn et al. 2010). Das zu WHO Grad I gehörende, meist gutartig verlaufende pilozytische Astrozytom ist am häufigsten bei Kindern anzutreffen. Es wächst langsam und gut umschrieben, meist in der hinteren Schädelgrube. Astrozytische Tumoren machen insgesamt ca. 30-35% der kindlichen Hirntumore aus. Der häufigste maligne Hirntumor im Kindesalter ist das Medulloblastom, welches zu den embryonalen Tumoren (ca. 15-20% der Hirntumoren im Kindesalter) zählt und ebenfalls in der hinteren Schädelgrube wächst. Tumoren des Choroidplexus finden sich ebenso vermehrt bei Kindern (2-3%); bei Kleinkindern unter zwölf Monaten machen sie 13% der Tumoren aus. Meist treten gutartige Papillome, seltener atypische Tumoren oder Choroidplexus-Karzinome auf. Viele kindliche Hirntumoren haben nach operativer Entfernung eine recht gute Prognose. Gegebenenfalls wird anschließend eine Chemotherapie oder Bestrahlung durchgeführt (Sinzig 2008; Tonn et al. 2010, Gadner et al. 2006).

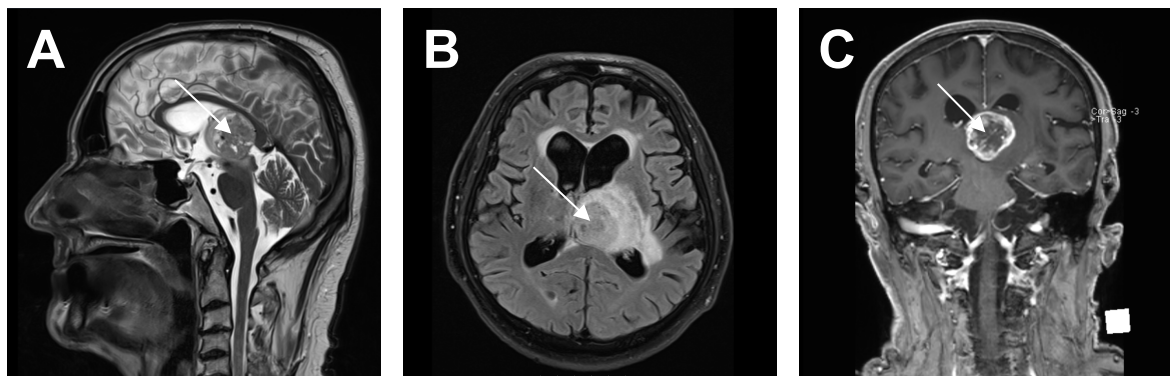


Abb.5: Glioblastom im 3. Ventrikel bei einem 82-jährigen Patient: A: MRT T2-gewichteter Sagittalschnitt; B: MRT T1-gewichteter Axialschnitt mit Kontrastmittel, C: MRT T1-gewichteter Coronarschnitt mit Kontrastmittel

2.4.6. Zysten

Auch Zysten können Hirnnervenausfälle oder Stauungssymptome wie Kopfschmerzen, Übelkeit, Erbrechen und Bewusstseinsstörungen hervorrufen. Es kann auch zu Einschränkungen der Konzentration und des Gedächtnisses kommen. Gelegentlich werden Zysten jedoch auch zufällig bei einer Computer- oder Magnetresonanztomographie entdeckt.

Kolloidzysten sind benigne Tumore, die gehäuft im dreißigsten und vierzigsten Lebensjahrzehnt klinisch manifest werden. Ihr Zysteninhalt kann muzin-, gelatineartig oder knorpelähnlich sein. Oft sind sie im dritten Ventrikel lokalisiert und werden durch eine Verlegung des Foramen Monroi symptomatisch. So können sie durch eine plötzliche Blockierung des Liquorabflusses akut lebensbedrohlich werden. Daher sollte eine symptomatische Kolloidzyste immer entfernt werden. Dies geschieht mittels endoskopischer oder mikrochirurgischer Operationstechnik. Nach vollständiger Entfernung treten Rezidive selten auf (Richards et Ballard 2008; Hoffman et al. 2013).

Eine Arachnoidalzyste ist eine angeborene Liquoransammlung zwischen den arachnoidalen Blättern der Hirnhaut. Je nach Größe und Lokalisation kann sie raumfordernd wirken und die Liquorzirkulation beeinträchtigen, was sich oft durch Kopfschmerzen äußert. Klinisch auffällig wird sie meist im Kindes- und jungen Erwachsenenalter. Bei Auftreten von Symptomen, einer Gefährdung der Liquorzirkulation oder auf Wunsch des Patienten kann die Zyste entfernt werden. Asymptomatische Arachnoidalzysten müssen nicht therapiert werden, gegebenenfalls werden sie regelmäßig kontrolliert (Raju et al. 2016).

Epidermoidzysten sind angeboren und im vierten Ventrikel oder Kleinhirnbrückenwinkel gelegen. Aufgrund ihres langsamen Wachstums werden sie meist im mittleren Lebensalter durch eine Größenzunahme symptomatisch. Die Therapie besteht in der Resektion (Uhlenbrock et Forsting 2007; Hossini et al. 2012).

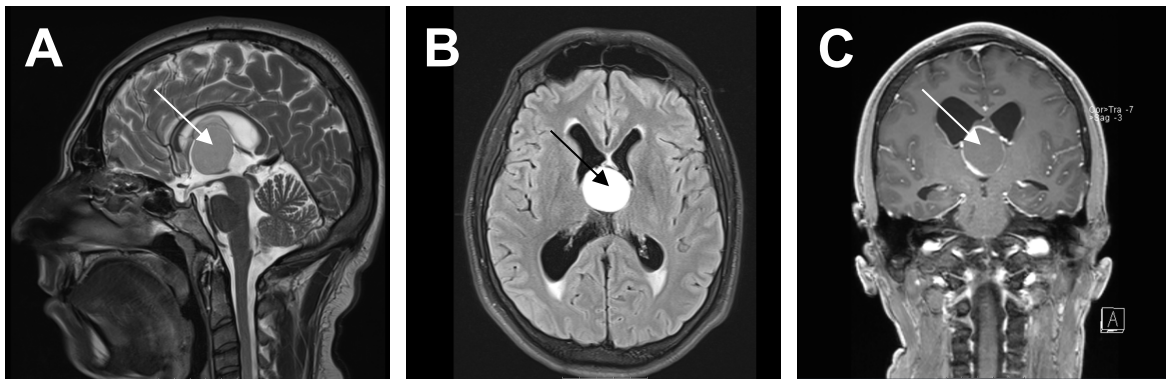


Abb.6: Kolloidzyste im 3. Ventrikel bei einem 31-jährigen Patient: A: MRT T2-gewichteter Sagittalschnitt; B: MRT T1-gewichteter Axialschnitt, C: MRT T1-gewichteter Coronschnitt mit Kontrastmittel

2.4.7. Aquäduktstenose

Eine Verlegung des Aquädukts kann sowohl von Tumoren oder Zysten verursacht werden, als auch postinfektiös oder posthämorrhagisch bedingt sein. In manchen Fällen ist die Stenose auf eine angeborene Verengung zurückzuführen. Durch die Obstruktion des Aquädukts – einer physiologischen Engstelle – wird der Liquorfluss vom dritten in den vierten Ventrikel behindert. Dies führt zu einem Liquoraufstau mit entsprechender Stauungssymptomatik. Eine Therapieoption ist hier die Aquäduktoplastie, bei der der Aquädukt für den Liquorfluss wieder durchgängig gemacht wird und dann durch einen Stent offen gehalten wird (Abb.7). Eine Alternative stellt die Ventrikulozisternostomie dar, bei der die Stenose im Aquädukt belassen und stattdessen ein direkter Umgehungskreislauf vom dritten Ventrikel zum Subarachnoidalraum geschaffen wird.



Abb.7: Aquäduktstent bei isoliertem 4. Ventrikel (3D-Rekonstruktion)

2.4.8. Angeborene Fehlbildungen

Zu einer Obstruktion mit konsekutivem Hydrocephalus kann es auch bei der Arnold-Chiari-Malformation kommen. Entweder durch eine zu kleine hintere Schädelgrube oder einen Tiefstand der Kleinhirntonsillen bis in das Foramen magnum bedingt, kommt es bei der Arnold-Chiari-Malformation zu einer Behinderung des Liquorflusses zwischen cerebralen und spinalen Liquorräumen. Auch eine Verlagerung des Kleinhirnwurms kann zur Kompression des vierten Ventrikels und des Hirnstamms führen. Diese Fehlbildung kann isoliert auftreten, kommt aber oft in Kombination mit einer Spina bifida oder einer Syringomyelie vor. Gleichzeitig kann es auch zu einer Aquäduktstenose kommen. Die Therapie kann in einer Erweiterung des kraniozervikalen Überganges oder in einer Resektion der Kleinhirntonsillen bestehen. Dadurch soll der Liquorfluss in den Wirbelkörperkanal verbessert werden (Pillay et al. 1991).

Eine weitere angeborene Anomalie ist das Dandy-Walker-Syndrom. Dieses ist gekennzeichnet durch eine Hypoplasie des Kleinhirnwurmes und eine zystische Erweiterung des vierten Ventrikels. Oft ist auch der Aquädukt stark eingengt. Neben Ataxie, Muskelhypotonie und kognitiven Entwicklungsstörungen kann es auch hier zu einem Hydrocephalus kommen. Eine Heilung ist nicht möglich. Die Therapie besteht in der Verbesserung des Liquorabflusses. Dieser kann durch verschiedene Verfahren gewährleistet werden: Die Fensterung zystischer Membranen, die Ventrikulozisternostomie und die Implantation eines Shuntsystems (Hu et al. 2011; Russ et al. 1989).

2.5. Neuroendoskopie heute

Endoskopische intrakranielle Eingriffe gelten heute als anerkanntes, sicheres Verfahren mit geringer Invasivität (Schroeder et al. 2004). Die endoskopische Ventrikulozisternostomie gilt heute als Goldstandard zur Behandlung einer Abflussstörung im Ventrikelsystem. Sowohl bei jüngeren, als auch bei älteren Patienten können hohe Erfolgsraten bei der Behandlung des Hydrocephalus occlusus erzielt werden (Niknejad et al. 2015; Schroeder et al. 2002; Bouras et

Sgouros 2011, Vulcu et al. 2015). Vorteile einer Ventrikulozisternostomie gegenüber einem Shuntsystem sind eine geringere Revisionsrate; diese wird in der Literatur für Shunts mit bis zu über 80% angegeben. Ursachen hierfür liegen in einer Obstruktion, Überdrainage oder in einem erhöhten Infektionsrisiko durch das Einbringen von Fremdmaterial. Auch die Eröffnung des Abdomens und damit verbundene Komplikationen werden durch das endoskopische Verfahren vermieden (Stone et al. 2013; Reddy et al. 2012; Park et al. 2015). Weitere Anwendungsgebiete der Neuroendoskopie sind Aquäduktplastien bei Aquäduktstenosen oder isoliertem vierten Ventrikel. Eine gleichzeitige Implantation eines Stents ist hier ebenfalls möglich (Fritsch et al. 2004; Schroeder et al. 2004; Schulz et al. 2012; Antes et al. 2016). Auch bei der Behandlung von intra- oder paraventrikulär gelegenen Hirntumoren hat die Neuroendoskopie heute einen großen Stellenwert. So können entsprechend gelegene Tumoren minimalinvasiv und unter Sicht biopsiert werden. Ein Vorteil gegenüber der stereotaktischen Biopsie liegt in der Möglichkeit eine Blutstillung durchzuführen. Außerdem besteht die Option den Tumor teilweise oder auch ganz zu resektieren. So gelten endoskopische Tumorbiopsien und -resektionen (Miwa et al. 2015) ebenso wie Zystenfensterungen (Cinalli et al. 2010; Hugelshofer et al. 2016) bei Erwachsenen und auch bei Kindern als gute und sichere Verfahren mit niedriger Komplikationsrate, Morbidität und Mortalität (Schroeder et al. 2004; Oertel et al. 2009). Immer häufiger werden heute auch verschiedene Eingriffe miteinander kombiniert (Somji et al. 2016). Beispielsweise kann bei einer endoskopischen Tumorbiopsie gleichzeitig eine durch Tumorobstruktion bedingte Liquorflussstörung behandelt werden. Sowohl eine Ventrikulozisternostomie als auch eine Sicherstellung des Liquorabflusses durch z.B. einen Stent im Aquädukt ist mit einer Tumorbiopsie kombinierbar.

2.6. Zielsetzung der Arbeit

Durch die technischen Weiterentwicklungen und nicht zuletzt durch zunehmende Erfahrung der Operateure mit endoskopischen Verfahren ist heute eine Kombination aus verschiedenen Operationstechniken möglich. In der Literatur finden sich nur wenige multizentrische Studien und Erfahrungsberichte über die Kombination einzelner intraventrikulärer endoskopischer Techniken und auf Details zu intraoperativen Komplikationen wird nur wenig eingegangen. In dieser Arbeit liegt der Schwerpunkt auf der Kombination verschiedener neuroendoskopischer intraventrikulärer Eingriffe. In erster Linie wurden hier Ventrikulozisternostomien kombiniert mit Tumorbiopsien bzw. -resektionen, Zystenfensterungen und Aquäduktplastien durchgeführt; in einigen Fällen erfolgten aber auch Kombinationen mit Septostomien, Foraminotomien und Entfernungen von Blutkoageln.

In dieser Arbeit soll ein besonderes Augenmerk auf intraoperative Komplikationen gelegt werden, da diese in der Literatur häufig nicht im Detail aufgeführt wurden. Aufzuführen sind hier Verletzungen von anatomischen Strukturen, wie Fornix, Aquädukt und Hirnnerven, oder intraoperativ aufgetretene Blutungen. Damit in Verbindung steht auch das postoperative Outcome mit der Frage nach transienten und persistierenden Defiziten im Sinne von Hirnnervenausfällen, Paresen, hormonellen Störungen und der Shuntabhängigkeit. Auch unmittelbar postoperative Komplikationen wie Infektionen der Wunde, Meningitiden und Nachblutungen wurden erfasst. Es wird eruiert, ob die Kombination bestimmter neuroendoskopischer Ventrikeleingriffe mit einem erhöhten Risiko für Komplikationen oder mit vermehrtem Therapieversagen verbunden ist. Die Raten werden mit den publizierten Komplikationsraten der vorherigen Serien der eigenen Arbeitsgruppe, sowie anderer internationaler Zentren und Arbeitsgruppen verglichen.

3. Material und Methoden

3.1. Patientenkollektiv

Die Grundlage für diese Arbeit waren retrospektiv erhobene Daten zu neuroendoskopischen intraventrikulären Eingriffen. Sie stammten seit 2011 aus dem neurochirurgischen Zentrum der Universität des Saarlandes, Homburg und wurden ergänzt durch retrospektiv erhobene Daten aus dem Zeitraum von Januar 1993 bis September 2008 aus den neurochirurgischen Zentren Greifswald (Ernst-Moritz-Arndt-Universität) und Hannover (KRH Klinikum Nordstadt).

3.2. Instrumente

Die neuroendoskopischen Eingriffe wurden mit dem GAAB I oder GAAB II Neuroendoscopy Set (Karl Storz GmbH, Deutschland) durchgeführt. Das Endoskop besteht aus einer Lichtquelle, einer Fiberglas-Lichtleitung und einer Optik. Es gibt verschiedene Optiken zwischen 0° und 90°, um einen genauen Überblick über das Operationsgebiet zu gewährleisten. Sie werden über einen Operationsschaft, der durch ein Haltesystem fixiert ist, eingeführt. Auch ein flexibles Endoskop steht zur Verfügung. Die Weitwinkel-Geradeausblick-Optik 6° mit eingebauter Fiberglas-Lichtleitung und Arbeitskanal bietet die Möglichkeit verschiedene Instrumentarien einzubringen: Es gibt bipolare oder unipolare Elektroden zur Koagulation von Gewebe oder Gefäßen. Verschiedene Zangen dienen der Probeexzision oder auch der Ventrikulostomie. Auch Scheren, Ballonkatheter oder Faszangen können eingebracht werden. Das Bild wird über eine Kamera auf einen Bildschirm übertragen. Früher wurde es auf VHS-Kassetten aufgezeichnet, heute wird es digital in full-HD festgehalten.

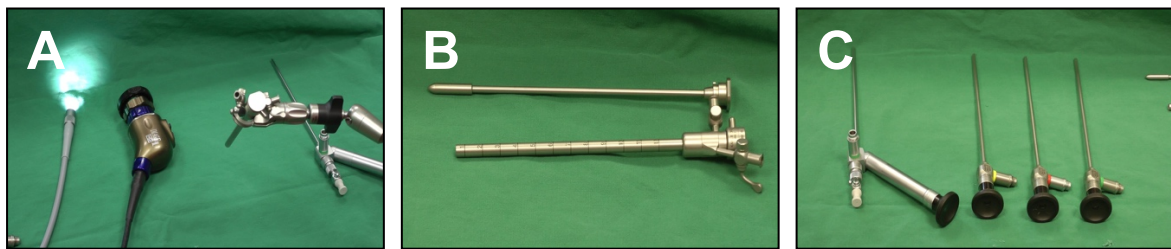


Abb.8: Beispiel eines Endoskop-Sets nach Gaab zur intraventrikulären Neuroendoskopie: A: Lichtleiter, Kamera, Haltesystem; B: Trokar; C: Arbeitsoptik, gewinkelte Optiken

3.3. Operationstechnik

3.3.1. Allgemeine Operationsvorbereitungen

Präoperativ wird mittels Bildgebung (CT oder MRT) der optimale Zugangsweg geplant und gegebenenfalls eine Neuronavigation eingerichtet. So kann für jede Kombination von Eingriffen ein optimaler Zugang ermittelt werden. Wenn bereits präoperativ feststeht, dass die Eingriffsgebiete über einen einzelnen Zugang nicht erreicht werden können, ohne größere Strukturdefekte zu verursachen, werden zwei separate Bohrlöcher geplant. Die neuroendoskopischen intraventrikulären Operationen finden in Intubationsnarkose statt. Der Patient wird auf dem Rücken gelagert und sein Kopf leicht anteflexiert in der Mayfield-Klemme fixiert. Diese gewährleistet durch in den Schädelknochen gebohrte Dorne eine feste Position des Kopfes. Bei Kleinkindern werden aufgrund der dünnen Schädelkalotte alternativ Bandagen verwendet. Das Operationsgebiet wird rasiert, desinfiziert und steril abgedeckt. Anschließend wird ein Hautschnitt gesetzt, ein Galea-Periost-Lappen präpariert, mit einem Bohrer ein Loch in die Schädelkalotte gebohrt und die Dura inzidiert. Die genaue Position des Bohrlochs variiert je nach Eingriff und wird präoperativ anhand der Bildgebung genau geplant. Dann wird der Trokar senkrecht bis zur Punktion des Ventrikelsystems eingeschoben. Durch den Trokar wird die 0°-Optik in das Ventrikelsystems eingebracht. Unter Sicht kann der Trokar dann weiter zum geplanten Eingriffsgebiet vorgeschoben werden. Die spezifische Vorgehensweise ausgewählter einzelner Eingriffe wird im Folgenden genauer erläutert. Nach erfolgtem Eingriff findet das Zurückziehen des Trokars unter Sicht statt. Dabei können die passierten Strukturen nochmals auf ihre Kontinuität

untersucht werden. Ist der Trokar entfernt, kann die Dura mit dem Galea-Periost-Lappen, der als Infektionsbarriere dient, verschlossen werden. Zuletzt erfolgen Subkutannaht, Hautnaht bzw. -tackern, Desinfektion, und das Abkleben mit einem Pflaster. Perioperativ bekommt der Patient immer eine intravenöse antibiotische Prophylaxe mit 1,5 g Cefuroxim und/oder 600 mg Clindamycin. Postoperativ erfolgt eine 24-stündige Überwachung auf der Intensiv- oder Intermediate Care-Station. Je nach Komplexität des Eingriffs und des postoperativen Zustands des Patienten erfolgt zusätzlich ein Neuromonitoring. Vor Verlegung auf Normalstation wird eine CT-Untersuchung des Schädels durchgeführt zum Ausschluss von Nachblutungen.

3.3.2. Operationstechnik der Ventrikulozisternostomie

Bei der Ventrikulozisternostomie wird das Bohrloch am Kocher-Cushing-Punkt gebohrt. Dieser ist etwa 2,5 cm von der Mittellinie entfernt und 12-13 cm dorsal des Nasion vor der Koronarnaht gelegen. Bei kombinierten Eingriffen kann es hier zu Abweichungen kommen. Nach Verschieben des Trokars in den Seitenventrikel stellt sich das Foramen Monroi dar. Der Seitenventrikel wird mit verschiedenen Optiken auf Größe und Pathologien inspiziert. Anschließend wird der Trokar unter Sicht durch das Foramen Monroi bis in den dritten Ventrikel vorgeschoben. Es werden die Landmarken am Boden des dritten Ventrikels aufgesucht; dies sind die Corpora mamillaria und der Recessus infundibuli (Abb.9 A). Mit Hilfe der Arbeitsoptik wird dann unter Sicht in der Mitte eines gedachten Dreiecks zwischen diesen Strukturen eine Koagulation der Membran mit der Bipolar-Koagulationselektrode durchgeführt (Abb.9 B). Danach wird ein Ballonkatheter in die geschaffene Öffnung eingeführt. Dieser wird mit Natriumchlorid-Lösung gefüllt, wodurch die Öffnung vorsichtig aufgedehnt wird (Abb.9 C). Hier ist ein behutsames Vorgehen wichtig, um die Arteria basilaris nicht zu verletzen, die direkt unterhalb dieser Membran verläuft. Denn eine Verletzung derselben kann über eine starke Blutung bis hin zum Tod des Patienten führen. Anschließend wird das Stoma mit der 0°-Optik inspiziert (Abb.9 D), um eine eventuell vorhandene weitere Membran, die sogenannte Liljequistmembran, auszuschließen. Ist solch eine Membran vorhanden, muss sie durchtrennt werden, um eine ungehinderte Liquorzirkulation sicherzustellen.

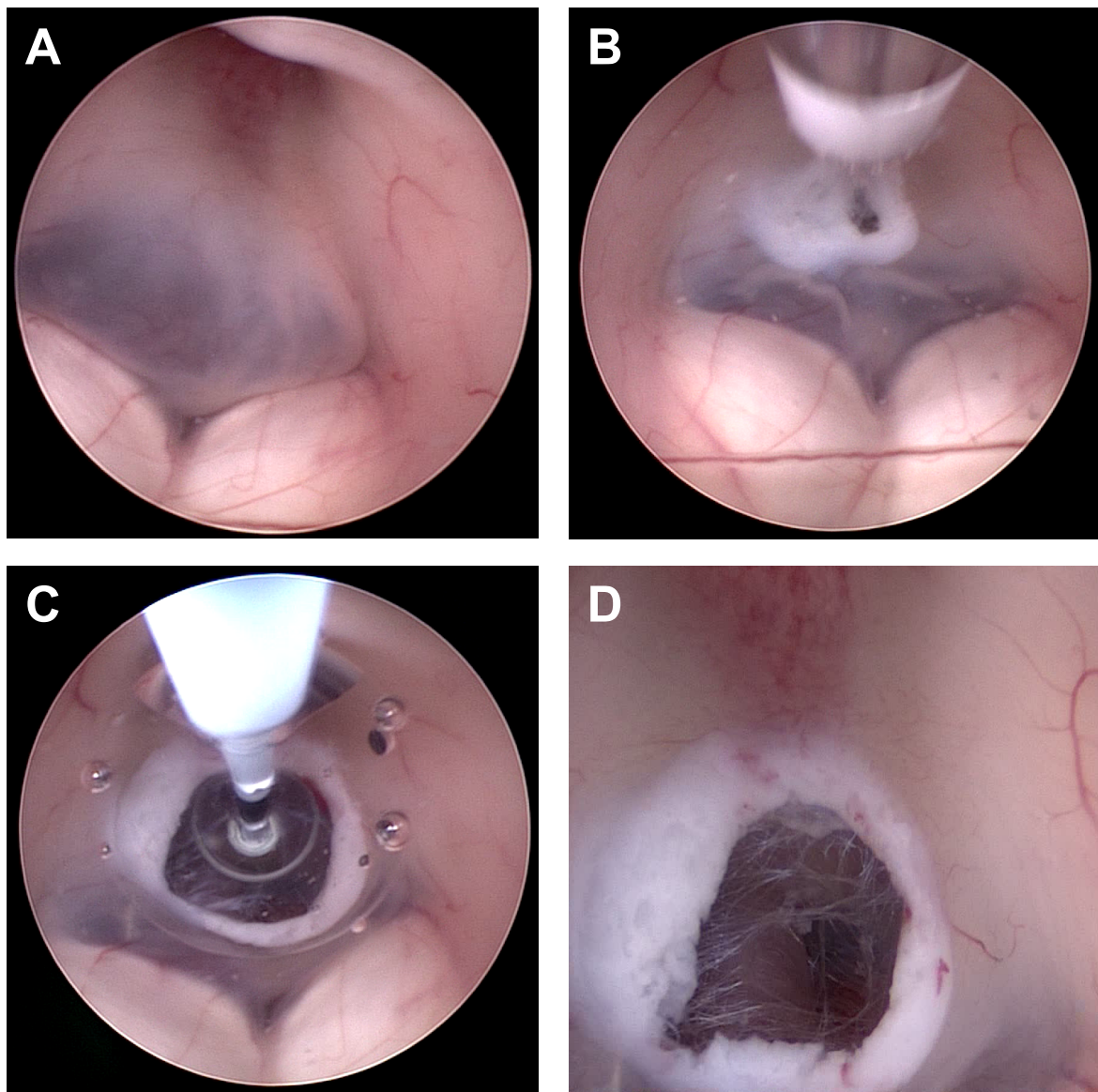


Abb.9: Vorgehen bei einer Ventrikulozisternostomie, A: Blick durch das Foramen Monroi auf den Boden des 3. Ventrikels, B: Koagulation der Membran mit der Bipolar-Koagulationselektrode, C: Erweiterung der Öffnung mit dem Ballonkatheter, D: Inspektion der Öffnung mit Sicht auf die Arteria basilaris

3.3.3. Operationstechnik der endoskopischen Tumorbiopsie/-resektion

Bei einer Tumorbiopsie oder -resektion wird präoperativ die genaue Lokalisation des Tumors mittels CT oder MRT bestimmt. Mit Hilfe der Neuronavigation kann gegebenenfalls das Auffinden der Struktur erleichtert und die genaue Position der Instrumente bestimmt werden. Die Lokalisation des Bohrlochs hängt von der Lage des Tumors ab. Zur Entnahme einer Biopsie stehen verschiedene Biopsiezangen

zur Verfügung. Das entnommene Gewebe wird im Schnellschnitt in der Pathologie untersucht. Abhängig von der Größe und Lage des Tumors kann dieser daraufhin in derselben Operation teil- oder komplett reseziert werden. Hierzu stehen verschiedenen Techniken zur Verfügung wie die Piecemeal-Technik, die zirkuläre Präparation oder eine Entfernung in toto. Auch eine Ultraschall-Zertrümmerung und Absaugung mit einem endoskopischen Ultraschall-Aspirator (CUSA®, Söring®) ist möglich (Cinalli et al. 2017, Oertel et al. 2008). Ist der Tumor stark vaskularisiert, werden zuvor Gefäße mit einer Koagulationselektrode verödet, um das Risiko einer Blutung zu verringern oder eine Blutung zu stoppen. Eine leichte Blutung sistiert häufig beim Zuwarten von selbst. Kommt es zu einer für die Sicht relevanten Blutung, kann durch vermehrtes Spülen die Sicht wieder optimiert werden (Oertel et al. 2022).

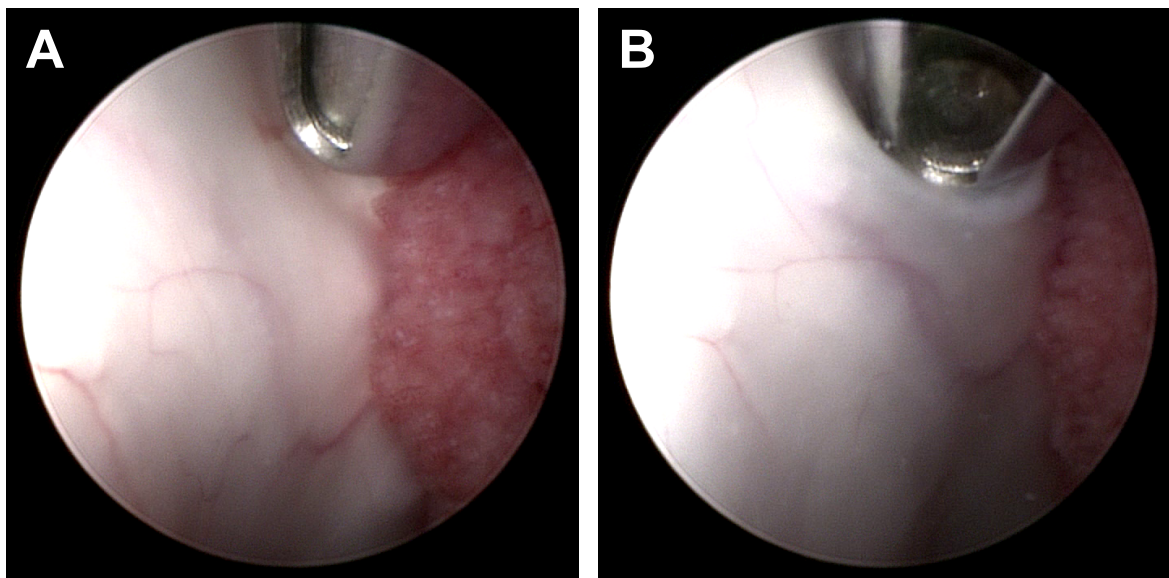


Abb.10: Vorgehen bei einer Tumorbiopsie, A: Tumorbiopsie mit Sedan-Sonde; rechts im Bild Plexus chorioideus; B: geöffnete Sedan-Sonde

3.3.4. Operationstechnik der endoskopischen Zystenfensterung/-resektion

Ähnlich zur Tumorbiopsie ist auch das Vorgehen bei einer Zystenfensterung oder Zystenresektion. Auch hier wird die Struktur aufgesucht, eine Probe entnommen und für einen Schnellschnitt zur Pathologie geschickt. Die Zystenwand wird gefenstert, um ihren Inhalt abzusaugen oder gegebenenfalls vollständig reseziert um ein Rezidiv zu verhindern.

3.3.5. Operationstechnik der Aquäduktoplastie

Bei einer Aquäduktoplastie wird das Bohrloch weiter rostral gewählt als bei einer Ventrikulozisternostomie, um einen besseren Zugang zum Aquädukt zu haben. Dazu wird der Hautschnitt an der Haargrenze zur Stirn gemacht und die Kopfhaut bis zur Stirn unterminiert, um ein ansprechendes kosmetisches Ergebnis zu erzielen. Zur besseren Erreichbarkeit des Aquädukts wird gegebenenfalls auch ein flexibles Endoskop verwendet. Der Aquädukt wird unter Umständen mithilfe eines Ballonkatheters aufgeweitet. Bei Bedarf wird auch ein Stent zur dauerhaften Schienung implantiert, um einem erneuten Verschluss vorzubeugen (Antes et al. 2016, Schroeder et al. 2012).

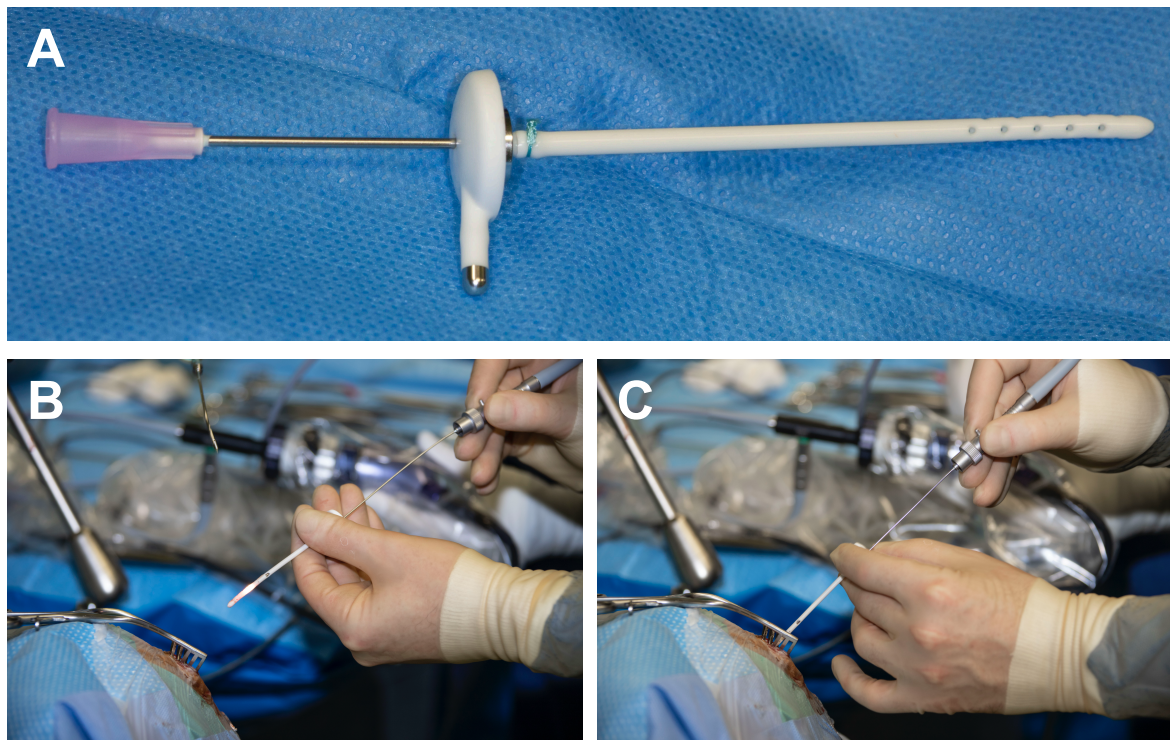


Abb.11: Implantation eines intraventrikulären Stents mit Hilfe des Shuntscope

3.3.6. Kombination endoskopischer Ventrikeleingriffe

Bei einer Kombination von zwei oder mehr Eingriffen muss das Bohrloch so gewählt werden, dass beide Operationsgebiete bestmöglich erreicht werden können. Meist wird die gemittelte Trajektorie zwischen den für den jeweiligen Eingriff optimalen

Stellen gewählt. Ist dies nicht möglich ohne dabei wichtige Strukturen wie beispielsweise den Fornix zu verletzen, besteht teilweise noch die Möglichkeit ein flexibles Endoskop zu verwenden. In anderen Fällen müssen zwei Zugangswege gewählt werden. Die Planung erfolgt präoperativ anhand von CT- oder MRT-Aufnahmen, die auch hier für die Neuronavigation genutzt werden können. Manchmal zeigt sich auch erst intraoperativ, dass das Operationsgebiet über den geplanten Zugang nicht vollständig erreicht werden kann; dann wird erst intraoperativ die Entscheidung für einen zusätzlichen Zugang getroffen.

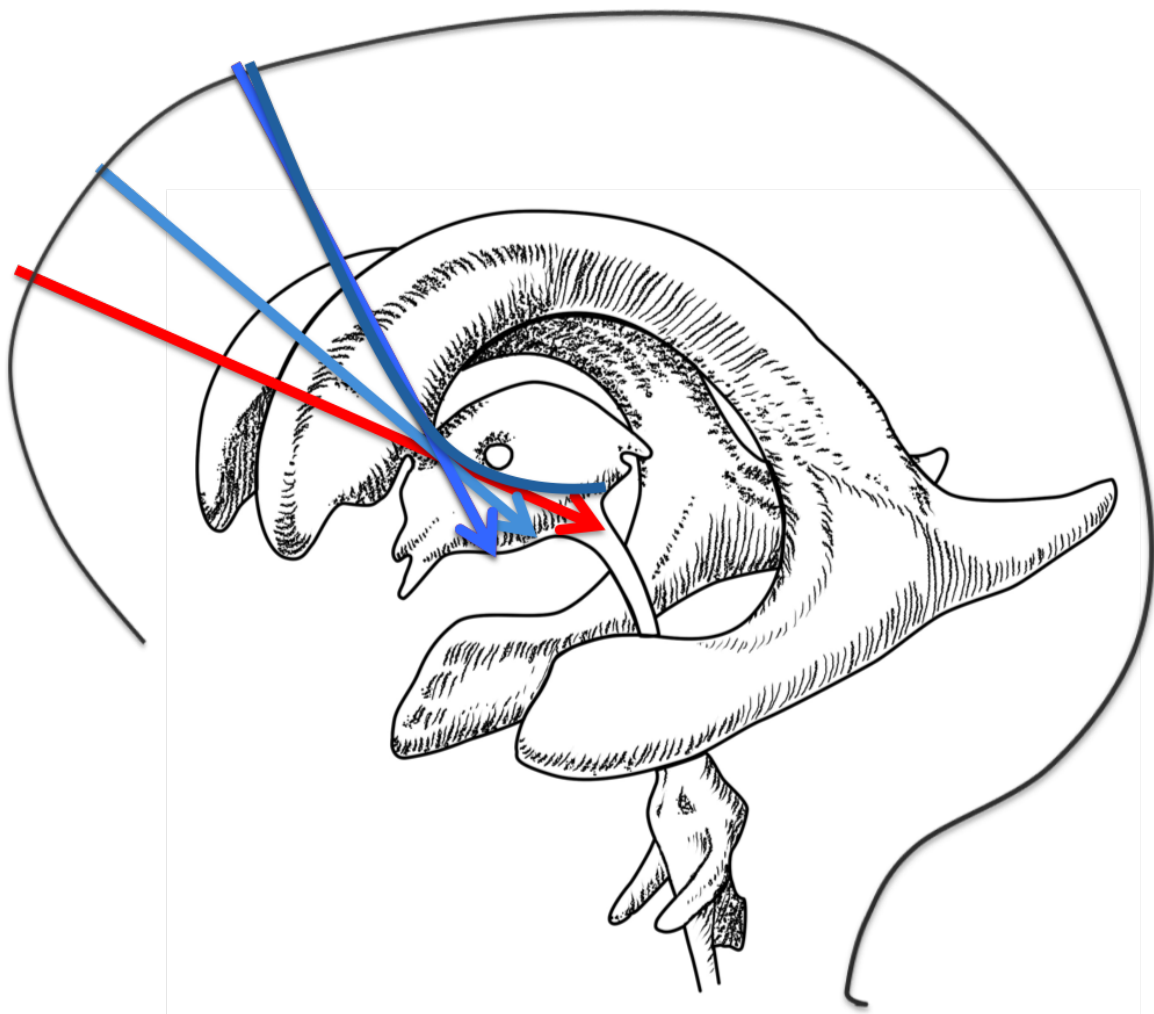


Abb.12: Alternativen bei der Zugangswahl für eine ETV kombiniert mit einer Aquäduktoplastie: Zugang über 2 Bohrlöcher mit optimalem Zugang für eine Aquäduktoplastie (roter Pfeil) und optimalem Zugang für eine ETV (dunkelblauer Pfeil); gewählter Zugang für einen Eingriff über ein Bohrloch (hellblauer Pfeil) oder mit flexiblem Endoskop (dunkelblauer Bogen). Illustration freundlicherweise überlassen von Rüdiger Koop, Universitätsklinikum des Saarlandes.

3.4. Definitionen

3.4.1. Fornixläsion

Anhand der Videodokumentation konnte eine intraoperative Verletzung des Fornix festgehalten werden. Es wurde eine selbst festgelegte Unterteilung in drei Schweregrade vorgenommen: als Kontusion wurde eine leichte Unterblutung der Struktur gewertet (Grad I); davon unterschieden wurden ein leichter, jedoch aktiver Austritt von Blut (Grad II) und ein Strukturverlust, bei dem ganze Teile der Struktur ausgestanzt wurden (Grad III).

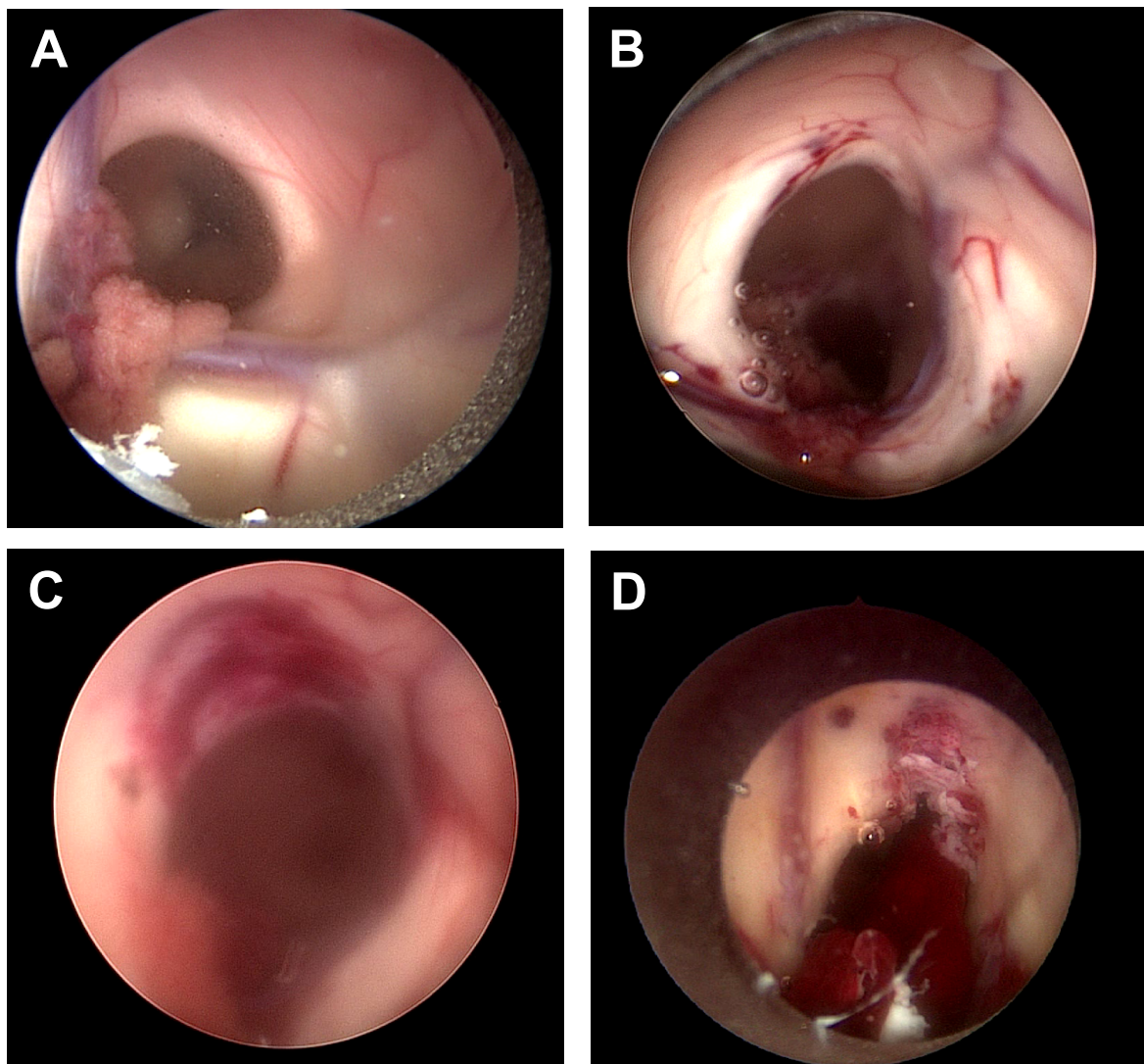


Abb.13: Einteilungsgrade einer Fornixkontusion, A: intakter Fornix, B: Fornixkontusion mit leichter Unterblutung (Grad I), C: Fornixläsion mit leichtem aktiven Blutaustritt und konfluierenden Einblutungen (Grad II), D: Fornixläsion mit Strukturverlust (Grad III) (Oertel et al. 2017)

3.4.2. Blutung

Während Biopsien oder Resektionen sind leichte Blutungen meist unvermeidbar. Diese sind in den meisten Fällen durch Spülung oder Koagulation zu kontrollieren. Als intraoperative Komplikation wurden daher nur unerwartete oder prolongierte Blutaustritte gewertet, die eine Änderung des operativen Vorgehens, d.h. einen Verfahrenswechsel oder den Abbruch der Operation zur Folge hatten.

3.4.3. Postoperative Defizite

Postoperative Defizite wurden als Morbidität gewertet, wenn sie länger als einen Monat postoperativ persistierten. Transiente postoperative Defizite, die sich innerhalb eines Monats zurückbildeten, wurden auf die intraoperative Manipulation zurückgeführt und nicht als Morbidität gewertet. Auch abakterielles Fieber ohne Keimnachweis wurde häufig in den ersten Tagen (72 Stunden) nach intra-ventrikulären Eingriffen beobachtet, was auf die intraoperative Spülung zurückzuführen ist. Daher wurde dies, wie auch in anderen Studien, nicht als Komplikation gewertet (Beems et Grotenhuis 2004, Zhao et al. 2013). Epidurale Hämatome wurden als postoperative Komplikation erfasst, es besteht bei begrenzter Ausdehnung jedoch keine Revisionsindikation, sodass sie lediglich kontrolliert werden. Auch erfasst wurden postoperative Liquoristeln, Wundinfektionen oder Meningitiden.

3.4.4. Operationserfolg

Der Erfolg einer Ventrikulozisternostomie wurde anhand dessen beurteilt, ob weitere Eingriffe zur Wiederherstellung der Liquorzirkulation durchgeführt werden mussten. Dies konnte einerseits eine erneute Ventrikulozisternostomie sein oder andererseits eine Operation zur Implantation eines Shuntsystems. War einer dieser Folgeeingriffe notwendig, galt dies als Versagen der Ventrikulozisternostomie. Eine Biopsie galt als erfolgreich, wenn die Probe nachweislich aus der mit Neuronavigation bestimmten Region entnommen und/oder ein histologisches Ergebnis gesichert werden konnte. Eine erfolgreiche Zystenfensterung lag vor,

wenn bildmorphologisch eine Reduktion der Raumforderung und/oder ein Rückgang der Symptome dokumentiert werden konnte. Der Erfolg einer Aquäduktoplastie wurde teils mittels Zisternographie überprüft. Hier musste postoperativ eine wiederhergestellte Kommunikation zwischen den Liquorräumen vorliegen. Ansonsten zeigte eine Volumenabnahme der Ventrikelräume einen wiederhergestellten Abfluss über den Aquädukt.

3.5. Einschlusskriterien

Zu den Einschlusskriterien dieser Studie gehörte die Kombination von mindestens zwei intraventrikulären neuroendoskopischen Eingriffen. Darunter fielen in den meisten Fällen die Ventrikulozisternostomie, die Zystenfensterung/-resektion, die Tumorbiopsie/-resektion und die Aquäduktoplastie - mit und ohne Stent-implantation. Weitere Eingriffe waren unter anderem die Septostomie, die Foraminotomie, die Entfernung von Blutkoageln und das Entfernen eines liegenden Katheters. Eine Einschränkung bezüglich des Alters wurde nicht vorgenommen.

3.6. Aspekte der Auswertung

Die Datenerhebung erfolgte retrospektiv anhand des Operationsplans. Die Daten wurden anhand von Arztbriefen, Operationsberichten und Videos erfasst. Anonymisiert dokumentiert wurden unter anderem allgemeine Angaben wie Alter, Geschlecht und Diagnose. Präoperative Auffälligkeiten wie Kopfschmerzen, Übelkeit und Erbrechen, Hirnnervenausfälle, Paresen und eine zuvor bestehende Shuntabhängigkeit konnten anhand von Arztbriefen festgehalten werden. Auch Angaben zu postoperativ aufgetretenen Infektionen, einer postoperativen Shuntabhängigkeit, sowie zu neurologischen Ausfällen, wie z.B. der Hirnnerven, wurden so dokumentiert. Prä- und postoperativ durchgeführte Bildgebung im Sinne von CT- oder MRT-Untersuchungen wurde zur Beurteilung der Ventrikelweite und des Auftretens von postoperativen Blutungen herangezogen. Von Bedeutung waren auch die Art des Eingriffs, die Dauer der Operation, die Verwendung einer Neuronavigation und das histologische Ergebnis einer Biopsie. Großes Interesse

lag in intraoperativ auftretenden Komplikationen wie Blutungen oder Strukturverletzungen. Diese Daten wurden den Operationsberichten und Videodokumentationen entnommen. Die Auswertung der Videoaufzeichnungen wurde separat auf hierfür erstellten Auswertungsbögen festgehalten. Dabei wurde besonders auf intraoperativ auftretende Komplikationen, Blutungen und Sichtverhältnisse, sowie verwendete Optiken und die Identifikation von anatomischen Strukturen geachtet. Die Patienten wurden nach zugrundeliegenden Pathologien wie Tumoren, Zysten, Aquäduktstenosen oder anderen Pathologien in Gruppen eingeteilt. In der Auswertung wurde auf das intra- und postoperative Auftreten einer Komplikation, sowie auf die Art einer Komplikation bei den jeweiligen kombinierten neuroendoskopischen Eingriffen geachtet. Diese wurden sowohl mit Daten zu einzelnen, als auch zu kombinierten Eingriffen aus der Literatur verglichen.

3.6.1 ETV-Success-Score

Zur präoperativen Evaluation der Erfolgsrate einer Ventrikulozisternostomie (ETV) bei Kindern wurde anhand vieler Studien der sogenannte ETV-Success-Score (ETVSS) entwickelt. Mit diesem lässt sich die 6-Monats-Erfolgsrate einer ETV für ein Kind mit Hydrocephalus anhand von Alter, Ätiologie des Hydrocephalus und vorangegangenen Shunt-Operationen berechnen. Dabei gibt die erreichte Punktezahl annähernd die Prozentzahl an, wie hoch der ETV-Erfolg nach 6 Monaten einzuschätzen ist (Warf et al. 2010). Auch in dieser Studie wurde der ETV-Success-Score herangezogen, um die Wahrscheinlichkeiten eines Shuntversagens bei Kindern besser einschätzen zu können.

Punktezahl	Alter	Ätiologie	präoperative Shunt-Abhängigkeit
0	<1 Monat	postinfektiös	ja
10	1 Monat bis <6 Monate		nein
20		Myelomeningozele, intraventrikuläre Blutung, nicht-tektaler Tumor	
30	6 Monate bis <1 Jahr	Aquäduktstenose, tektaler Tumor, andere	
40	1 Jahr bis <10 Jahre		
50	≥10 Jahre		

Tab.1: Berechnung des ETV-Success-Scores (ETVSS)

3.7. Datenauswertung und Statistik

Die erfassten Daten wurden tabellarisch mit dem Programm Microsoft EXCEL festgehalten. Die statistische Auswertung und graphische Darstellung erfolgte mit Hilfe des Programms SigmaStat (SPSS Inc. Chicago, IL, USA). Die Analyse innerhalb der Gruppen erfolgte mittels Chi-Quadrat-Test. Die Analyse von Zusammenhängen zwischen den verschiedenen Gruppen erfolgte mittels Varianzanalyse (ANOVA). Eine statistische Signifikanz wurde bei $p < 0,05$ angenommen.

4. Ergebnisse

4.1. Patientenkollektiv

In der Zeit von April 1993 bis Oktober 2016 wurden 138 kombinierte neuroendoskopische intraventrikuläre Eingriffe bei 136 Patienten durchgeführt. Davon waren 73 männliche Patienten und 63 weibliche Patienten. Die Eingriffe wurden sowohl bei Kindern, als auch bei Erwachsenen durchgeführt. Das Patientenalter reichte von 3 Monaten bis zu 82 Jahren; im Mittel lag es bei 37 Jahren. Bei Kindern vor dem vollendeten 18. Lebensjahr fanden insgesamt 42 neuroendoskopische Operationen statt, was einem Anteil von 30,4% entspricht. Darunter erfolgten 4 Operationen bei Kindern unter einem Jahr (2,9%). 91,3% der Patienten stellten sich mit einem hydrocephalen Liquoraufstau vor. Als ursächliche Pathologien zeigten sich meist Tumoren, Zysten und Aquäduktstenosen. Daher erfolgte eine Unterteilung in vier Gruppen: Patienten mit Tumorleiden, Patienten mit Zysten, Patienten mit Aquäduktstenosen und Patienten mit anderen zugrundeliegenden Krankheitsbildern, wie beispielsweise Fehlbildungen oder Blutungen. Bei Betrachtung der Krankheitsbilder zeigte sich ein altersabhängiges Auftreten von Tumoren. Diese wiesen zwei Häufigkeitsgipfel auf: der eine lag im Kindesalter (0-20 Jahre) und der andere im Erwachsenenalter ab 40 Jahren. Zysten fanden sich hingegen über alle Altersklassen verteilt, ebenso wie Aquäduktstenosen. Andere auftretende Pathologien waren bei Kindern vermehrt Fehlbildungen, bei Erwachsenen Blutungen (Abb.14). Zwischen den unterschiedlichen Gruppen bestand in der Altersverteilung keine statistische Signifikanz ($p=0,453$).

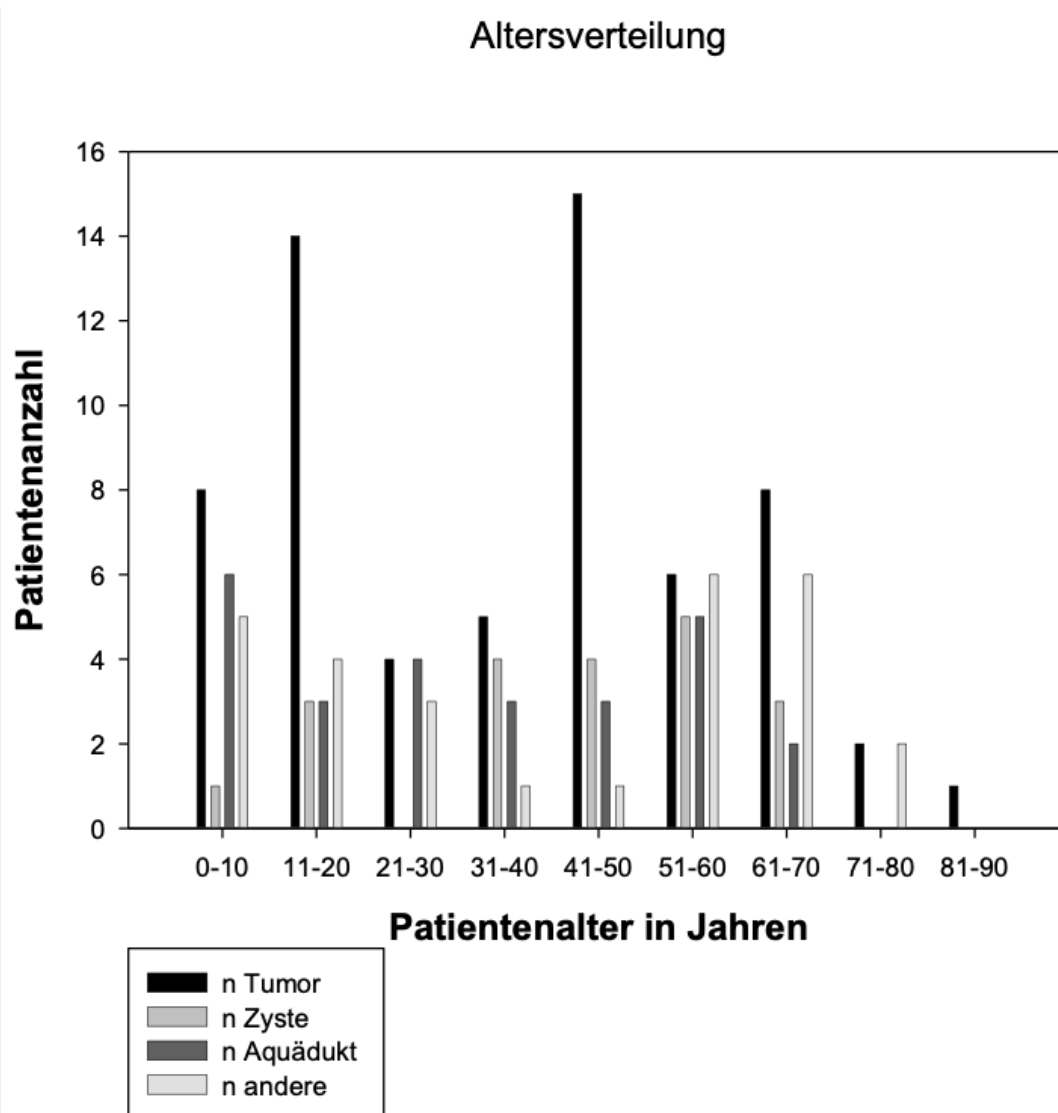


Abb.14: Altersverteilung der zugrundeliegenden Pathologien

4.2. Übersicht über Pathologien und Eingriffe

Aufgetretene Pathologien waren in 64 Fällen Tumore (46,4%), in 20 Fällen Zysten (14,5%), in 27 Fällen Aquäduktanomalien (19,6%) und in 29 Fällen (21%) lagen andere Pathologien wie z.B. eine intrazerebrale Blutung oder Fehlbildungen zugrunde. Die durchgeführten Eingriffe sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Sie umfassten: 109 Ventrikulozisternostomien, 52 Tumorbiopsien, 13 Tumoresektionen, 32 Zystenfensterungen, 8 Zystenresektionen, 35 Aquäduktoplastien (davon 15 mit Aquädukt-Stentimplantation), 24 Septostomien, 13 Blutkoagel-

entfernungen, 9 Katheterentfernungen, 5 Foramen-Monroi-Stents, 8 Foraminotomien und 5 Seitenventrikelzisternostomien. Die Anzahl der jeweiligen verschiedenen Kombinationen von Eingriffen sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Art des endoskopischen Eingriffs	Anzahl der durchgeführten Operationen	Anteil in %
Ventrikulozisternostomien	109	79,0
Tumorbiopsien	52	37,7
Tumorresektionen	13	9,4
Zystenfensterungen	32	23,2
Zystenresektionen	8	5,8
Aquäduktoplastien	35	25,4
davon Aquädukt-Stentimplantation	15	10,7
Septostomien	24	17,4
Blutkoagelentfernungen	13	9,4
Katheterentfernungen	9	6,5
Foramen-Monroi-Stents	5	3,6
Foraminotomien	8	5,8
Seitenventrikelzisternostomien	5	3,6

Tab.2: Verteilung der endoskopischen Eingriffe

	ETV	Tumorbiopsie	Tumorsektion	Zystenfensterung	Zystenresektion	Aquäduktplastie/ Stent	Septostomie	Koagel- entfernung	Katheter- entfernung	Foramen-Monroi- Stent	Foraminotomie	Seitenventrikel- zisternostomie
ETV		40	7	21	6	30	6	13	8	2	6	1
Tumorbiopsie	40		2	10	-	3	11	1	1	3	1	2
Tumorsektion	7	2		-	-	4	5	-	-	1	-	2
Zystenfensterung	21	10	-		7	-	4	-	1	-	4	-
Zystenresektion	6	-	-	7		-	1	-	1	-	2	-
Aquäduktplastie/Stent	30	3	4	-	-		2	-	1	-	1	-
Septostomie	6	11	5	4	1	2		1	1	4	1	4
Koagelentfernung	13	1	-	-	-	-	1		-	-	-	-
Katheterentfernung	8	1	-	1	1	1	1	-		-	3	-
Foramen-Monroi-Stent	2	3	1	-	-	-	4	-	-		-	-
Foraminotomie	6	1	-	4	2	1	1	-	3	-		1
Seitenventrikel- zisternostomie	1	2	2	-	-	-	4	-	-	-	1	

Tab.3: Kombinationen der neuroendoskopischen Eingriffe (Oertel et al. 2017)

4.3. Präoperative Symptome

Präoperativ klagten insgesamt 62,3% der Patienten über Kopfschmerzen. In 34% traten Übelkeit und Erbrechen, in 31,9% Störungen in der Bewegungskoordination und in 29% eine Minderung der Gedächtnisleistung auf. 33,3% der Patienten wiesen präoperativ Bewusstseinsstörungen auf, 11,6% hatten eine Parese.

Das häufigste Symptom bei Patienten mit Tumorleiden waren Kopfschmerzen (64,1%), gefolgt von Übelkeit und Erbrechen (39,1%). 80% der Patienten mit Zysten litten präoperativ an Kopfschmerzen, 55% hatten Beschwerden bei der Bewegung und Koordination. Bewusstseinsstörungen traten am häufigsten bei Patienten mit anderen Pathologien wie Blutungen oder Fehlbildungen auf (58,6%). 48,3% hatten hier bereits andere Ventrikeleingriffe vor dem studienrelevanten, kombinierten Eingriff (Abb.15).

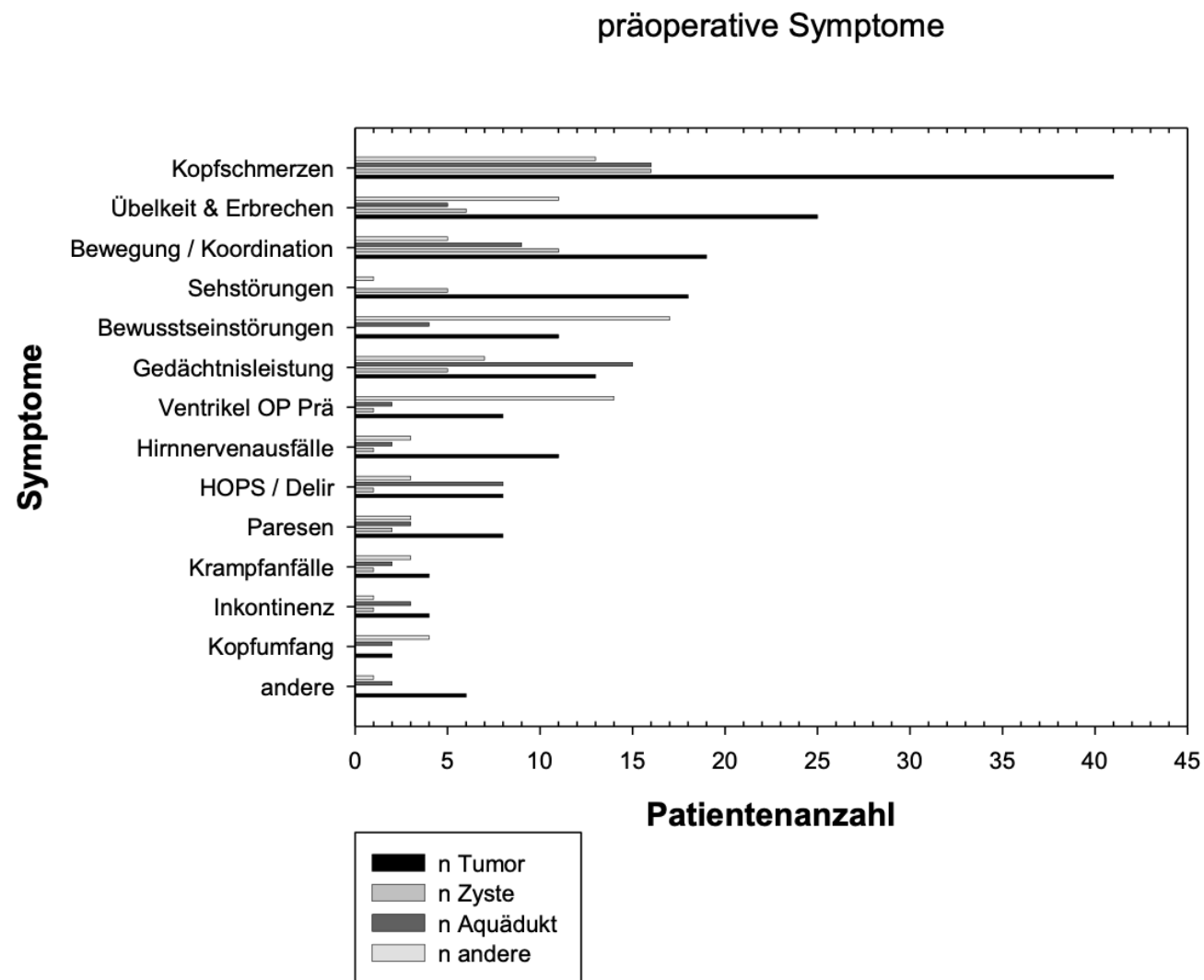


Abb.15: präoperativ dokumentierte Symptome

4.4. Resultate

4.4.1. Intraoperative Resultate

Die Operationsdauer variierte je nach Komplexität des Eingriffs zwischen 25 Minuten und 228 Minuten. Im Mittel waren es 76 Minuten. Zwischen Eingriffen an Tumoren, Zysten, dem Aquädukt oder bei anderen zugrundeliegenden Pathologien zeigte sich jedoch kein signifikanter Unterschied in der Operationsdauer ($p=0,333$). In 42 Fällen wurde eine Neuronavigation verwendet. Dies war insbesondere bei Patienten mit Tumorleiden oder Zysten der Fall. Seit 2011 wurde die Neuronavigation insgesamt häufiger verwendet. In 24 Fällen, insbesondere bei Eingriffen am Aquädukt, wurde außerdem ein flexibles Endoskop verwendet.

Die Biopsien konnten in allen Fällen erfolgreich durchgeführt werden. Eine Diagnose konnte in 93,8% direkt durch das histologische Ergebnis erfolgen. Bei vier Patienten war nach Rücksprache mit der Pathologie kein eindeutiges Gutachten möglich, weshalb in diesen Fällen eine zweite Biopsie erfolgte. Das histologische Ergebnis der Tumore zeigte: 27 Astrozytome (davon 6 Glioblastome), 4 Kraniopharyngeome, 4 Gliosen, sowie jeweils 3 Medulloblastome, Metastasen eines Bronchialkarzinoms, Ependymome und Germinome. Vereinzelt traten auch Lymphome, Pineoblastome, ein Hypophysenadenom, ein Neuroblastom, ein Neurinom, ein Melanom, ein PNET (primitive neuroectodermal tumor), ein Meningeom, ein meningeales Sarkom, ein diffuses Gliom und eine Sarkoidose auf. Die Probeentnahme der Zysten zeigte 7 Kolloidzysten und 3 Pinealiszysten (Tabelle 4).

histologischer Befund	Anzahl	Anteil in %
Astrozytom	27	45,0
davon Glioblastome	6	10,0
Kraniopharyngeom	4	6,7
Gliose	4	6,7
Medulloblastom	3	5,0
Metastasen (Bronchialkarzinom)	3	5,0
Ependymom	3	5,0
Germinom	3	5,0
Lymphom	2	3,3
Pineoblastom	2	3,3
Hypophysenadenom	1	1,7
Neuroblastom	1	1,7
Neurinom	1	1,7
Melanom	1	1,7
PNET (primitive neuroectodermal tumor)	1	1,7
Meningeom	1	1,7
meningeales Sarkom	1	1,7
diffuses Gliom	1	1,7
Sarkoidose	1	1,7
Kolloidzysten	7	70,0
Pinealiszysten	3	30,0

Tab.4: histologische Ergebnisse der Biopsien

4.4.2. Postoperative Resultate

Bei 21 der 31 Patienten mit präoperativer Bewusstseinsstörung kam es unmittelbar postoperativ zu einer Verbesserung der Vigilanz. Zum Zeitpunkt des operativen Eingriffs hatten 17 Patienten ein Shunt-System implantiert. Davon litten 7 Patienten (41,2%) an einer Infektion des Shunt-Systems. Bei zwei weiteren Patienten war der Shunt bereits in einer vorherigen Operation entfernt worden. Nach erfolgreichem Eingriff wurde bei 35,3% der präoperativ shuntabhängigen Patienten eine Shunt-unabhängigkeit erreicht. Bei den übrigen - präoperativ shuntfreien - Patienten kam es zu einer folgenden Shuntabhängigkeit bei 8,3% der Patienten. Dies waren 5 Patienten mit intraventrikularem Tumor, 2 Patienten mit Aquäduktstenose und ein Patient mit Hydrocephalus malresorptivus. Eine shuntunabhängige Symptommfreiheit wurde bei 83,3% (126 Patienten) mit initialen Symptomen eines Hydrocephalus erzielt. Insgesamt war bei 11 Patienten (8,1%) ein zweiter neuroendoskopischer Eingriff notwendig. In 5 Fällen waren dies Patienten mit Aquäduktstenose oder isoliertem vierten Ventrikel. Nur ein Patient mit einer Kolloidzyste benötigte einen zweiten neuroendoskopischen Eingriff.

4.5. Komplikationen

4.5.1. Intraoperative Auffälligkeiten

Insgesamt traten bei 26 Patienten (18,8%) intraoperative Besonderheiten auf, die jedoch nicht alle eine klinische Relevanz im Sinne von postoperativen Symptomen hatten. In vier Fällen kam es intraoperativ zu Blutungen (2,9%), zwei bei Patienten mit Tumorleiden, zwei während Zystenresektionen. Bei 5 Patienten (3,6%) kam es zu einer Kontusion bzw. Schädigung eines Hirnnerven. Bei diesen Patienten traten postoperativ entsprechende Hirnnervenausfälle auf. Diese waren in 3 Fällen transient (1 Trochlearisparese, 2 Okulomotoriusparesen), bei zwei Patienten persistierten die Beschwerden. Die persistierenden Hirnnervenausfälle waren eine Okulomotoriusparese und ein Patient mit persistierenden Doppelbildern, bei dem es intraoperativ außerdem zu einer Aquäduktläsion gekommen war. Zu Strukturschäden am Aquädukt kam es insgesamt bei zwei Patienten (1,5%) während einer

Aquäduktoplastie.

In 17 Fällen (12,3%) kam es zu Verletzungen des Fornix am Foramen Monroi. Diese unterteilten sich in leichte Kontusionen mit Unterblutung in 11 Fällen, leichte aktive Blutungen in 2 Fällen und grobe Strukturverluste bei 4 Patienten (Abb. 16). Die Verletzungen traten meist bei Patienten mit Tumoren oder Zysten im hinteren Teil des dritten Ventrikels auf. Nur vier der Patienten mit Fornixverletzungen zeigten auch postoperative Auffälligkeiten, die alle transient waren (1 transiente Hemiparese, 2 transiente Okulomotoriusparesen (bei einem der Patienten lag jedoch auch gleichzeitig eine Hirnnervenläsion vor), 1 transiente Doppelbilder). Bei 3 dieser Patienten zeigte sich das Foramen Monroi kleiner als 6 mm. Solch kleine Foramina lagen bei 11 Patienten (8%) vor. In 9 Fällen war dies auf eine Einengung durch einen Tumor oder eine Zyste zurückzuführen.

Die meisten intraoperativen Komplikationen (5 Fälle) traten bei der Kombination einer ETV mit einer Aquäduktoplastie oder einem Aquäduktstent auf. Am zweithäufigsten kam es bei der Kombination einer ETV mit einer Tumorbiopsie (3 Fälle) zu intraoperativen Komplikationen. Diese beiden Kombinationsvarianten waren auch die häufigsten durchgeführten Eingriffe (Tabelle 3). Intraoperative Komplikationen traten nicht vermehrt bei drei- oder mehrfach kombinierten Eingriffen auf.

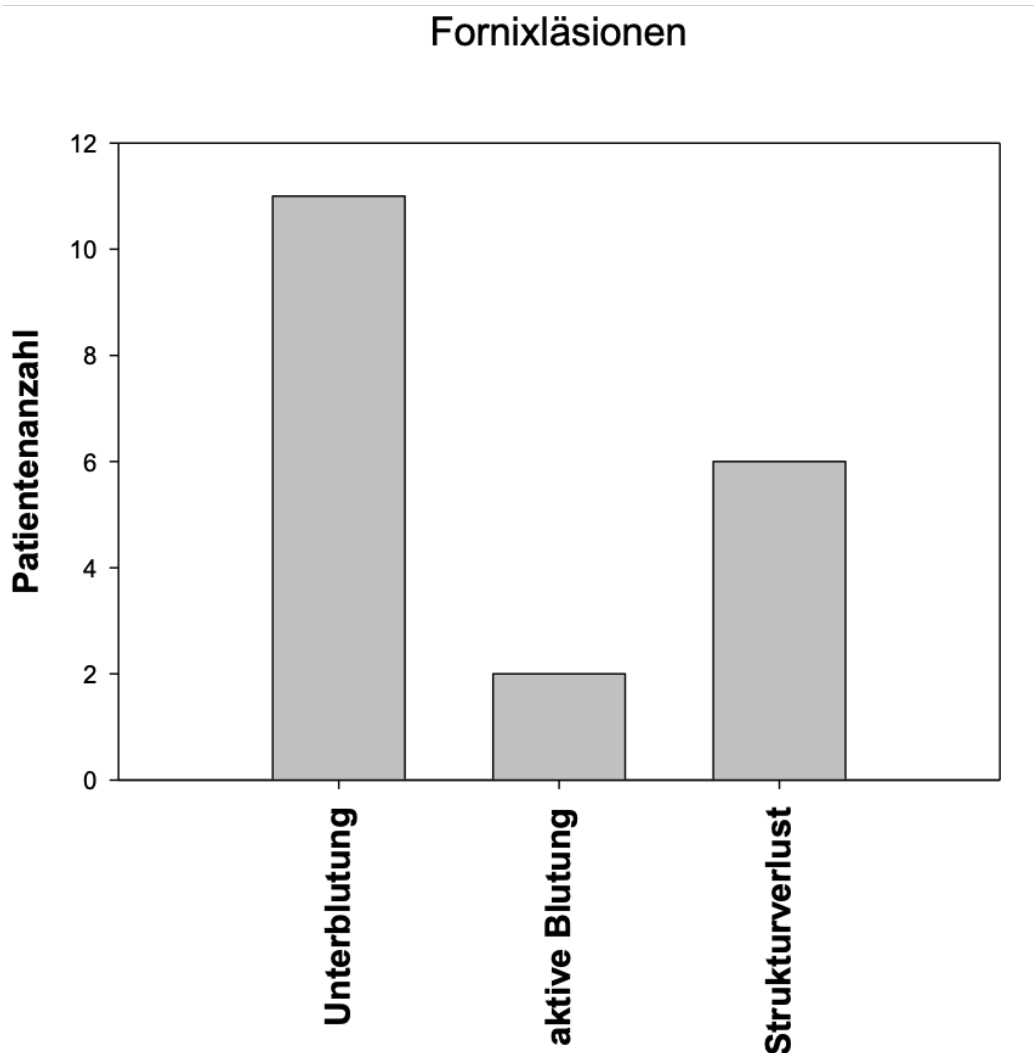


Abb.16: Verteilung der Fornixläsionen

4.5.2. Postoperative Komplikationen

Insgesamt kam es in 19 Fällen (13,8%) zu postoperativen Komplikationen. Diese sind in Tabelle 5 zusammengefasst. In 12 Fällen traten postoperativ transiente Defizite neu auf (2 Trochlearispareesen, 3 Okulomotoriuspareesen, 2 Hemiparesen, 2 Patienten mit Doppelbildern, 3 Durchgangssyndrome). Zu persistierenden Defiziten kam es bei 2 Patienten (1,4%): Bei einem Patienten persistierten eine Okulomotoriusparese und ein Diabetes insipidus, bei einem anderen Patienten persistierten Doppelbilder. Bei 3 Patienten (2,2%) traten Liquorfisteln auf. In 2 Fällen kam es zu einer Meningitis (1,4%). Eine Blutung wurde postoperativ bei 2 Patienten

festgestellt; es handelte sich um epidurale Hämatome. Zu Wundinfektionen kam es bei keinem der Patienten. Ein Patient mit intraoperativer Blutung bei Tumorexzision im Pons starb 10 Tage nach dem Eingriff (Mortalität 0,7%).

Wie auch schon bei den intraoperativen Komplikationen konnten bei der Kombination einer ETV mit einer Aquäduktplastie bzw. mit einem Aquäduktstent und bei der Kombination einer ETV mit einer Tumorbiose die meisten postoperativen Komplikationen verzeichnet werden. 8 der postoperativen Komplikationen traten bei der Kombination einer ETV mit einer Aquäduktplastie bzw. einem Aquäduktstent auf und 5 der postoperativen Komplikationen bei der Kombination einer ETV mit einer Biopsie. Diese beiden Kombinationsvarianten waren auch die häufigsten durchgeführten Eingriffe (Tabelle 3). Postoperative Komplikationen traten nicht vermehrt bei drei- oder mehrfach kombinierten Eingriffen auf.

Pat.-Nr.	Alter/Geschlecht	Ursache	präoperative Symptome	endoskopisches Verfahren	intraoperative Komplikationen	postoperative Komplikationen	Folge-Eingriffe
9	9 Jahre/M	Tumor	Übelkeit, Erbrechen, Kopfschmerzen	ETV Biopsie	-	Liquorfistel Meningitis	-
16	4 Monate/M	multilokulärer Hydrocephalus	vergrößerter Kopfumfang	ETV Aquäduktoplastie Septostomie	-	transiente Hemiparese	Shunt
24	3 Jahre/M	Neuroblastom	Übelkeit, Erbrechen, Kopfschmerzen, Somnolenz	ETV Aquäduktstent	-	Liquorfistel	Shunt
33	13 Jahre/W	Aquäduktstenose	Übelkeit, Erbrechen, Kopfschmerzen	ETV Aquäduktoplastie	Aquäduktläsion	transiente Trochlearisparese	-
41	9 Jahre/M	Aquäduktstenose	Kopfschmerzen, Gedächtnisstörung	ETV Aquäduktstent	Hirnnervenläsion	persistierende Okulomotoriusparese	ETV
44	17 Jahre/M	Shunt Dysfunktion	Kopfschmerzen, Übelkeit	ETV Katheterentfernung	-	Liquorfistel	Shunt
82	59 Jahre/W	Astrozytom	Kopfschmerzen, Ataxie	ETV Biopsie Septostomie	-	Hirnorganisches Psychosyndrom	-
86	65 Jahre/M	intraparenchymale Zyste	Kopfschmerzen, Ataxie, Doppelbilder	ETV Zystenfensterung	intraop. Blutung	Tod	-
95	66 Jahre/W	Aquäduktstenose	Kopfschmerzen, Ataxie, Gedächtnisstörung	ETV Aquäduktoplastie	Foramen-Monroi-Läsion	transiente Okulomotoriusparese	-
97	42 Jahre/M	Medulloblastom	Übelkeit, Erbrechen, Kopfschmerzen, Ataxie	ETV Biopsie	-	Hirnorganisches Psychosyndrom	Tumoresektion

Ergebnisse

101	33 Jahre/M	Arachnoidalzyste	Kopfschmerzen	Zystenfensterung, Katheterentfernung	Hirnnervenläsion, Foramen-Monroi- Läsion	transiente Okulomotoriusparese	Shunt
124	59 Jahre/M	Kolloidzyste	Kopfschmerzen, Ataxie, Gedächtnisstörung	Zystenresektion Septostomie	intraop. Blutung	-	-
127	60 Jahre/M	intraventrikuläre Blutung	Übelkeit, Erbrechen, Kopfschmerzen, Somnolenz	ETV Koagelentfernung	-	Meningitis	-
138	24 Jahre/M	Aquäduktstenose	Kopfschmerzen, Krampfanfälle	ETV Aquäduktoplastie	Foramen Monroi- Kontusion	transiente Doppelbilder	-
146	34 Jahre/M	Tumor Astrozytom	Kopfschmerzen	ETV Biopsie	Hirnnervenläsion	transiente Trochlearisparese	-
149	51 Jahre/M	Aquäduktstenose	Kopfschmerzen, Gedächtnisstörung	ETV Aquäduktoplastie	-	transiente Doppelbilder	-
161	35 Jahre/M	Astrozytom	Hemiparese, Gedächtnisstörung	Biopsie Aquäduktstent	-	Hirnorganisches Psychosyndrom	-
191	40 Jahre/M	Aquäduktstenose	Kopfschmerzen, Gedächtnisstörung, Krampfanfälle	ETV Aquäduktoplastie	Aquädukt- kontusion, Hirnnervenläsion	persistierende Doppelbilder	-
391	48 Jahre/M	Kraniopharyngeom	Somnolenz	Zystenfensterung Biopsie	intraop. Blutung	-	-
403	20 Jahre/W	Dandy-Walker- Malformation	Kopfschmerzen	ETV Zystenfensterung	Hirnnervenläsion	transiente Okulomotoriusparese	-
451	68 Jahre/W	Glioblastom	Hemiparese, Übelkeit, Erbrechen	ETV Biopsie Septostomie	intraop. Blutung	-	Tumorresektion
528	27 Jahre/M	Tumor anaplastisches Astrozytom	Kopfschmerzen, Ataxie, Übelkeit, Gedächtnisstörung	ETV Biopsie	Fornixläsion	transiente Hemiparese	Tumorresektion Shunt

Tab.5: Übersicht intra- und postoperativer Komplikationen (Oertel et al. 2017)

4.6. Eingriffe bei Kindern

Von den 138 neuroendoskopischen intraventrikulären Eingriffen fanden insgesamt 42 kombinierte Eingriffe bei 40 Kindern bis zum vollendeten 18. Lebensjahr statt (bei 2 Kindern jeweils 2 Eingriffe). Hiervon waren 4 Kinder zum Zeitpunkt der Operation jünger als ein Jahr. Die durchgeführten Eingriffe umfassten: 35 ETVs, 15 Tumorbiopsien, 3 Tumorresektionen, 8 Zystenfensterungen, 1 Zystenresektion, 12 Aquäduktplastien, davon 6 mit Stentimplantation, 7 Septostomien, 2 Blutkoagelentfernungen, 2 Katheterentfernungen, 1 Monroistent, 2 Foraminotomien, 2 Seitenventrikelzisternostomien (Tabelle 6). Die Operationsdauer lag im Mittel bei 73,9 Minuten. Eingriffe am Aquädukt dauerten im Durchschnitt 93,5 Minuten. Das histologische Ergebnis der Tumorbiopsien zeigte 4 Astrozytome Grad II, 2 Medulloblastome, 2 Germinome, 2 Gliosen und jeweils ein Hypophysenadenom, ein Neurinom, ein Ependymom, ein Glioblastom und ein pilozytisches Astrozytom (Grad I). 38 der 40 Kinder stellten sich mit hydrocephalen Symptomen vor. Davon hatten 7 Kinder ein Shunt-System implantiert (18,4%). Ein Kind litt an einer Shunt-Infektion. Bei einem anderen Kind war der Shunt aufgrund einer Peritonitis bereits zuvor entfernt worden. Im weiteren Verlauf bestand bei diesem Kind jedoch wieder eine Shuntabhängigkeit. Bei den zuvor shuntabhängigen Kindern konnte in 28,6% eine Shuntfreiheit erreicht werden. Bei 20% der zum Zeitpunkt des kombinierten Eingriffs shuntfreien Kinder kam es im Verlauf zu einer Shuntimplantation. Insgesamt wurde bei Eingriffen bei Kindern ein ETV-Erfolg von 65,7% erreicht. Aufgeschlüsselt nach dem ETV-Success-Score benötigten 12,5% der Kinder mit einem Score von 90 und 75% (3 von 4 Fällen) der Kinder unter 6 Monaten (Score von 40-50) im Verlauf eine Shuntimplantation. 6 der 17 Fornixverletzungen (35%) traten bei Kindern auf. Dies betraf also 14,3% der Kinder. Jedoch hatten diese Fornixverletzungen in keinem der Fälle eine postoperative Morbidität zur Folge. Alle 3 postoperativen Liquorfisteln traten bei Kindern auf. Eine der beiden Meningitiden trat bei einem Kind auf. Bei einem Jungen zeigte sich postoperativ eine transiente Hemiparese, bei einem anderen Jungen eine transiente Trochlearisparese. Lediglich eine Okulomotoriusparese bei einem 9-jährigen Jungen persistierte.

Art des endoskopischen Eingriffs	Anzahl der durchgeführten Operationen	Anteil in %
Ventrikulozisternostomien	35	83,3
Tumorbiopsien	15	35,7
Tumorresektionen	3	7,1
Zystenfensterungen	8	19,0
Zystenresektionen	1	2,4
Aquäduktoplastien	12	28,6
davon Aquädukt-Stentimplantation	6	14,3
Septostomien	7	16,8
Blutkoagelentfernungen	2	4,8
Katheterentfernungen	2	4,8
Foramen-Monroi-Stents	1	2,4
Foraminotomien	2	4,8
Seitenventrikelzisternostomien	2	4,8

Tab.6: Verteilung der endoskopischen Eingriffe bei Kindern

4.7. Eingriffe mit zwei Zugängen

Bei 8 Patienten wurde der Eingriff über zwei separate Bohrlöcher durchgeführt. Alle 8 Patienten litten an einem hydrocephalen Liquoraufstau; in allen Fällen erfolgte eine ETV. Präoperativ konnte anhand von Bildgebung bei 4 Patienten ein Tumor und bei 4 eine Zyste nachgewiesen werden. In 4 Fällen erfolgte eine Tumorbiopsie, bei einem Patienten zusätzlich eine Resektion des Tumors. Bei 3 der Patienten mit Zyste erfolgte eine Zystenfensterung, bei einem eine komplette Zystenresektion. Die Pathologie lag bei 2 Patienten im Aquädukt, bei 3 Patienten in der Pinealisregion, bei einem Patienten im Bereich der Vierhügelplatte, bei einem im dritten Ventrikel und bei einem supracerebellär. Dies zeigt, dass die Wahl von zwei

separaten Bohrlöchern insbesondere bei Pathologien im hinteren Teil des dritten Ventrikels erforderlich war. Die Operationsgebiete für die ETV und den weiteren Eingriff lagen ansonsten zu weit auseinander, um über einen Zugang problemlos erreicht werden zu können. Trotzdem kam es bei 4 der Patienten intraoperativ zu einer Fornixläsion, was jedoch keine postoperativen klinischen Folgen mit sich brachte.

4.8. Fallbeispiel

Der folgende Fall soll einen komplikationslosen neuroendoskopischen intra-ventrikulären Eingriff mit ETV, Septostomie und Tumorbiopsie bei Tumor im Thalamusbereich rechts mit obstruktivem Hydrocephalus erläutern.

Die 50-jährige Patientin stellte sich mit seit 4 Wochen bestehenden Sehstörungen mit Doppelbildern im Linksblick vor. Neurologisch zeigten sich sonst keine präoperativen Auffälligkeiten. Im durchgeführten MRT zeigte sich eine solitäre intraaxiale Raumforderung im Thalamus rechts, bis in das Mesencephalon reichend (43x34 mm), mit Kompression des dritten Ventrikels, sowie des Aquaeductus mesencephali und konsekutivem Liquoraufstau mit Liquordiapese.

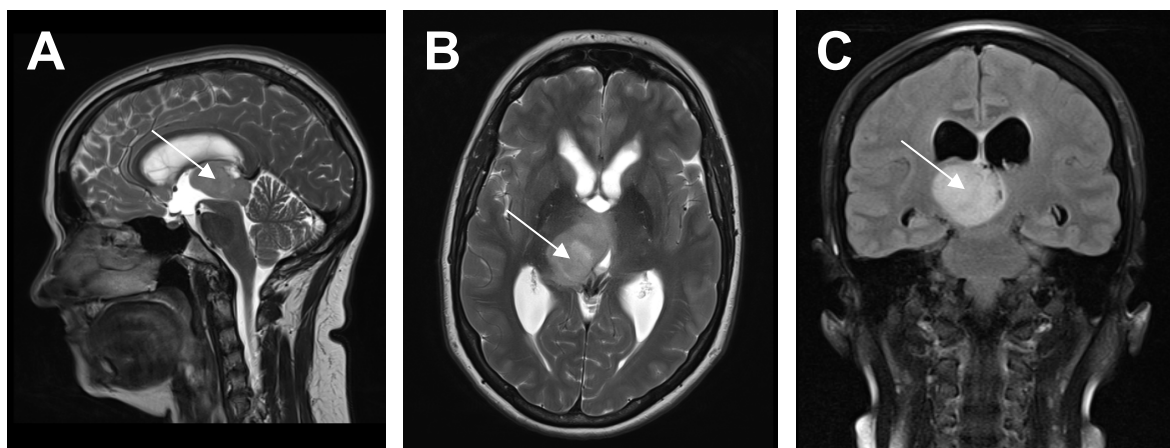


Abb.17: Tumor im Thalamusbereich, A: MRT T2-gewichteter Sagittalschnitt, B: MRT T2-gewichteter Axialschnitt, C: MRT T2-gewichteter flair Coronarschnitt

Die Operation erfolgte mithilfe der Neuronavigation. Der Zugang wurde, bei Pathologie im rechten Thalamusbereich, links frontal gewählt. Bei der Inspektion der Ventrikel zeigte sich ein Tumor im hinteren Anteil des dritten Ventrikels (Abb.17),

sowie ein komplett verschlossener Aquädukt. Es wurde eine endoskopische Ventrikulozisternostomie am Boden des dritten Ventrikels durchgeführt. Hierzu wurde mithilfe einer Bipolar-Koagulationselektrode die Membran eröffnet und mit dem Ballonkatheter erweitert. Daraufhin erfolgte die Septostomie. Hierfür wurde das Septum pellucidum erst mit der Bipolar-Koagulationselektrode eröffnet und dann auch mit einem Ballonkatheter erweitert (Abb.18). Die Tumorbiopsie erfolgte durch das Septum pellucidum hindurch mit einer Sedan-Sonde. Der Schnellschnitt zeigte den Befund eines diffusen Glioms. Die Operationsdauer lag bei 50 Minuten. Die Sicht war während der Operation klar, es kam zu keiner Strukturverletzung.

Am ersten postoperativen Tag wurde planmäßig eine CT durchgeführt. Hier zeigte sich keine größere Nachblutung, geringe Lufteinschlüsse im operativen Zugangsweg und ein noch unverändertes Bild des Liquoraufstaus. Postoperativ trat bei der Patientin eine Beschwerdebesserung der Sehstörungen auf. Es zeigten sich keine neuen neurologischen Defizite, keine Bewusstseinsstörungen, sowie eine reizfreie Wunde.

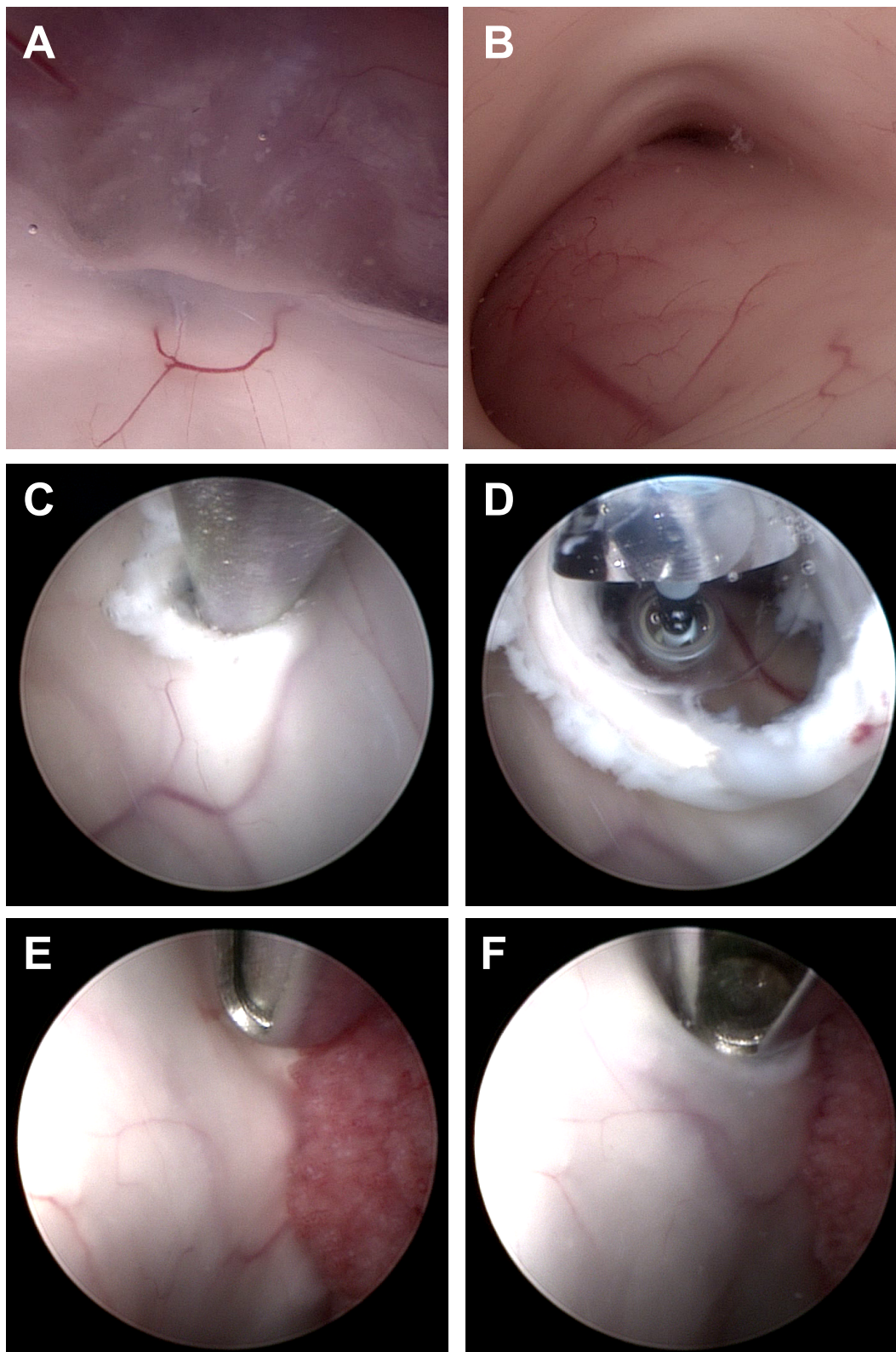


Abb.18: Neuroendoskopische Versorgung bei Tumor im Thalamusbereich rechts mit obstruktivem Hydrocephalus, A: Tumormembran im 3. Ventrikel, B: verschlossener Aquädukt, C: Septostomie, Bipolar-Koagulationselektrode, D: Septostomie, Erweiterung der Öffnung mit dem Ballonkatheter, E, F: Tumorbiopsie

5. Diskussion

5.1. Ventrikulozisternostomien

Der häufigste intraventrikuläre neuroendoskopische Eingriff ist die Ventrikulozisternostomie (ETV). Sie gilt als sicheres und effektives Behandlungsverfahren bei Hydrocephalus occlusus (Hellwig et al. 2005; Vulcu et al. 2015). Ihre Erfolgsrate wird in der Literatur zwischen 50-100% angegeben (Tabelle 7). Bei den erwachsenen Patienten lag die Erfolgsrate in dieser Studie bei 87,8% und bei den Kindern bei 65,7%. Die höhere Okklusionsrate bei Kindern steht unter anderem in Zusammenhang mit den sich noch verändernden Hirnstrukturen beim Wachstum und dem Verschluss der Suturen. Auch die Art des Hydrocephalus spielt eine maßgebliche Rolle. In einer Studie von Fritsch et al. 2005 konnte in einer kleinen Fallzahl bei Kindern unter 6 Monaten ein sehr guter ETV-Erfolg von 100% (4 Fälle) beim obstruktiven Hydrocephalus erzielt werden. Beim Hydrocephalus communicans lag die Erfolgsrate nur bei 10% und bei Myelomeningozele bei 50%. Auch in dieser Studie konnte gezeigt werden, dass bei höherem ETV-Success-Score im Verlauf weniger Shunts implantiert werden mussten. Nur 12,5% der Kinder mit einem Score von 90 benötigten im Verlauf einen Shunt. Dagegen erfolgte bei 75% (in 3 von 4 Fällen) der Kinder unter 6 Monaten im Verlauf eine Shunt-implantation (Score von 40-50).

Die schwerwiegendste Komplikation bei der ETV wäre eine Verletzung der Arteria basilaris, die durch den Subarachnoidalraum unter dem Boden des dritten Ventrikels verläuft. Eine Verletzung der Arteria basilaris ist sehr selten, endet aber oft letal. In der Literatur wird die Mortalität bei einer ETV mit unter 1% angegeben (Beems et Grotenhuis 2004; Schroeder et al. 2004). In dieser Studie kam es zu keiner solchen Verletzung. Auch eine Verletzung des Hypothalamus ist bei der Perforation am Boden des dritten Ventrikels möglich. Dies kann zum Beispiel zu einem Diabetes insipidus führen (Schroeder et al 2004). In dieser Studie gab es nur einen Patienten der bereits präoperativ an einem Diabetes insipidus litt. Zu postoperativ neu aufgetretenen Fällen kam es nicht.

Wenn sehr enge anatomische Verhältnisse vorliegen und das Risiko einer Verletzung der Arteria basilaris zu hoch ist, kann bei einer Liquorflussstörung alternativ auch eine Fensterung der Lamina terminalis erfolgen (Oertel et al. 2010). Die bekannteste Alternative zur ETV ist jedoch die seit den 1950er Jahren angewandte Implantation eines Shuntsystems. Bei Shuntsystemen sind trotz deutlicher Weiterentwicklung von Ventilen etc. häufig Revisionseingriffe und Folge-Operationen notwendig, da oft Dysfunktionen wie Über- oder Unterdrainage, Shuntversagen, Verwachsungen im Bauchraum oder Infektionen auftreten (Drake et al., 1998; Hanlo et al. 2003). Dennoch stellt ein Shuntsystem beim Hydrocephalus communicans und beim Normaldruck-Hydrocephalus die einzige Alternative dar und auch beim Hydrocephalus occlusus findet es noch Anwendung. Bei jedem Patienten müssen individuell Vor- und Nachteile abgewogen werden, um zu entscheiden welches das jeweils geeignete Verfahren ist.

Zusammenfassend konnte in der hier präsentierten Fallgruppe eine hohe Erfolgsrate erzielt werden und somit eine Shuntfreiheit für die Patienten erreicht werden. Dies korreliert mit den Vergleichsstudien aus der Literatur.

5.2. Aquäduktoplastien und Aquäduktstents

Aquäduktstenosen traten in allen Altersklassen mit einer ähnlichen Häufigkeit auf. Dies ist erklärbar durch ihre multiplen Ursachen. Sie können Tumore oder Zysten als Ursache haben, die durch ihre raumfordernde Eigenschaft zu einer Einengung bis hin zum Verschluss des Aquädukts führen können. Aber auch membranöse Verschlüsse, z.B. nach einer Infektion, können eine Aquäduktstenose verursachen. Gerade bei den Kindern lag die Ursache des Hydrocephalus hier in 25% der Fälle in einer Aquäduktstenose. Dies spiegelt sich auch in der Studie von Kulkarni et al. 2016 wieder. Auch dort war die Aquäduktstenose mit 24,8% eine der häufigsten Ursachen für eine ETV bei Kindern.

Bei Aquäduktstenosen ist die Aquäduktoplastie eine Alternative zur ETV, die sich in den letzten Jahrzehnten etabliert hat (Schroeder et al. 2004; Schulz et al. 2011), obwohl anfangs hohe Wiederverschlussraten von bis zu 50% auftraten (Ersahin et al. 2007; Schroeder et al. 2012). Durch das zusätzliche Einsetzen eines Stents,

insbesondere bei langstreckigen Stenosen, konnten die Verschlussraten gesenkt werden. Hiervon ist das Krankheitsbild eines isolierten vierten Ventrikels abzugrenzen. In diesem Fall ist eine Ableitung sowohl der Seitenventrikel, des dritten Ventrikels und des vierten Ventrikels unausweichlich. Dies kann entweder über zwei separate Katheter oder mit einem Stent durch den Aquädukt erfolgen. Der Vorteil eines Stents liegt hier in der Vereinfachung der Druckverhältnisse durch die Verbindung aller Kompartimente. Die Drainage kann dann über eine einzelne Ableitung mit einem Shunt oder über ein ETV-Stoma erfolgen. Im Falle von membranöser oder tumorassoziierter Aquäduktstenose empfiehlt sich weiterhin die ETV (Fritsch et Schroeder 2013). Trotzdem sollten die Vorteile einer Aquäduktplastie oder eines Aquäduktstents gegenüber einer ETV berücksichtigt werden: Im Gegensatz zur ETV stellt eine Aquäduktplastie den natürlichen Liquorflussweg wieder her; es besteht kein Risiko die Arteria basilaris oder den Hypothalamus zu verletzen; es kommt nicht zu Wiederverschlüssen durch Adhäsionen der Arachnoidea, welche am Boden des dritten Ventrikels entstehen können (Antes et al 2015, Schroeder et al 2004).

Auch eine Kombination beider Verfahren ist möglich. In unserer Untergruppe von Aquäduktplastien/-stents war der größte Teil kombiniert mit einer ETV. Die beiden Patienten mit persistierenden Defiziten und auch viele mit transienten Defiziten waren in dieser Gruppe. Transiente Defizite bei der Aquäduktplastie können auf eine Manipulation an den umgebenden Mittelhirnstrukturen zurückgeführt werden. Die hier vorgestellten Ergebnisse zeigen vergleichbare Komplikations- und Erfolgsraten zu kleineren Fallzahlen kombinierter Verfahren. Dies hebt die Sicherheit und Effektivität dieser Kombination hervor. So lag die Komplikationsrate einer Aquäduktplastie/-stent kombiniert mit einer ETV (40 Patienten) in dieser Studie bei 26,7%, bei Da Silva et al. (2007) bei 16,7% (5 Patienten) und bei Ersahin et al. (2007) bei 53,3% (28 Patienten) (Tabelle 8).

5.3. Tumorbiopsien/Tumorresektionen

Bei Betrachtung der Altersverteilung des Patientenkollektivs zeigten sich zwei Häufigkeitsgipfel beim Auftreten von Tumoren. Der eine lag zwischen 0 und 20

Jahren. Hier zeigten sich für das Kindesalter typische Tumoren wie Medulloblastome, Germinome und Astrozytome. Der zweite Häufigkeitsgipfel lag im Erwachsenenalter bei etwa 40 bis 50 Jahren. Hier konnten histologisch vor allem Astrozytome nachgewiesen werden, die zu den häufigsten intrakraniellen Neoplasien zählen. Auch bei Somji et al. (2016) zeigten sich in Biopsien hauptsächlich Germinome und Astrozytome. Die Rate positiver Biopsien in unserer Studie ist mit 93,8% vergleichbar hoch zu vorangegangenen Studien (82,1% bei Constantini et al. 2013; 94,7% bei Miwa et al. 2014; 87,9% in einer Meta-Analyse von Somji et al. 2016).

Es ist festzuhalten, dass relevante intraoperative Blutungen in dieser Studie vermehrt bei Tumorbiopsien auftraten, auch wenn es insgesamt nur in 2,9% zu vermehrten Blutungen kam. Die Ursache dieser Konstellation liegt wahrscheinlich in der teilweise starken Vaskularisation des tumorösen Gewebes und kann bei dieser geringen Anzahl nicht auf eine Kombination von Eingriffen zurückgeführt werden. Zur Vermeidung stärkerer Blutungen stehen bei der Neuroendoskopie die Koagulation, sowie die Spülung zur Verfügung. Lässt sich eine starke Blutung auf diese Weise nicht stillen, stößt das endoskopische Verfahren an seine Grenzen. In diesem Fall muss dann auf ein offenes Operationsverfahren gewechselt werden.

Auch die drei Fälle von Hirnorganischem Psychosyndrom traten alle bei den mit Tumorbiopsien kombinierten Eingriffen auf. Dies lässt sich teils auf die größere Manipulation am Hirngewebe im Rahmen der Biopsie, teils auf die raumfordernde Wirkung des Tumors selbst zurückführen.

Insgesamt weisen unsere Daten zu kombinierten Tumorbiopsien mit 10,8% vergleichbar niedrige Komplikationsraten und schwere Ausfälle im Vergleich zu anderen Studien mit kombinierten Tumorbiopsien auf (Tabelle 8). So lagen die Komplikationsraten bei Studien mit größeren Fallzahlen zwischen 10,9% (Miwa et al. 2015) und 17,7% (Beems et Grotenhuis 2004). Bei Studien mit geringen Fallzahlen zeigten sich größere Abweichungen zwischen 0% bei Knaus et al. (2011) (15 Patienten) und 25% bei Shono et al. (2007) (8 Patienten).

5.4. Zystenresektionen

Intrakranielle Zysten traten über alle Altersklassen verteilt auf. Da sie häufig klinisch stumm sind, sind sie oft ein Zufallsbefund. Sie können sich jedoch auch durch Symptome des akuten Liquoraufstaus wie Kopfschmerzen, Gedächtnisstörungen, Übelkeit und Erbrechen bemerkbar machen. Diese Symptome wurden auch hier in präoperativen Untersuchungen dokumentiert, ebenso wie Bewegungs- und Koordinationsstörungen. Aufgrund der lebensbedrohlichen Gefahr einer plötzlichen Blockierung des Liquorabflusses durch eine akute Verlegung des Foramen Monroi sollten symptomatische Kolloidzysten immer behandelt werden. Die Resektion der Zyste kann durch endoskopische oder mikrochirurgische Operationstechnik erfolgen. Wichtig ist eine komplette Resektion, um das Risiko eines Rezidivs so gering wie möglich zu halten. Studien zeigten anfangs einen Vorteil der mikrochirurgischen Technik bei der vollständigen Resektion. Durch zunehmende Erfahrung mit der endoskopischen Technik konnten jedoch vergleichbare Erfolge erzielt und durch die geringere Invasivität die Komplikationsrate gesenkt werden (Boogarts et al. 2011; Hoffman et al. 2013).

5.5. Fornixverletzungen

Fornixverletzungen am Foramen Monroi traten insbesondere bei Tumor- oder Aquädukteingriffen auf. Dennoch litten nur 4 Patienten mit Fornixverletzungen unter postoperativen Defiziten, die alle transient waren. Persistierende Defizite traten nicht auf. Insgesamt sind Berichte über neuropsychologische Komplikationen nach intraventrikularen Fornixverletzungen eher selten (Benabarre et al. 2000). Einengungen (kleiner 6 mm) am Foramen Monroi zeigten sich eher selten und Verletzungen traten nur bei 3 von 11 Patienten mit einer Einengung auf. Bis auf eine traten alle Läsionen bei Pathologien im hinteren Teil des dritten Ventrikels, Aquädukts oder der Pinealisregion auf. Dies lässt darauf schließen, dass die Lage der Pathologie und damit die Eingriffs-Richtung ein wichtiger Aspekt bei der Kombination intraventrikularer Eingriffe ist. Eine wichtige Voraussetzung ist hier die Position des Bohrlochs, die für jeden Patient individuell bestimmt werden sollte.

5.6. Planung des Operationszugangs

Zur Kombination einer ETV mit einem anderen Eingriff ist es möglich das Bohrloch in der Mitte zwischen dem für den jeweiligen Eingriff optimalen Zugangspunkt zu bohren (Knaus et al. 2011). Somit kann der Eingriff mit einem geringen Bewegungswinkel des Endoskops zwischen den beiden Operationsgebieten durchgeführt werden (Abb.11). Dies ist zum Beispiel gut möglich bei der Kombination einer ETV mit einer Kauterisierung des Choroidplexus oder bei der Kombination einer ETV mit einer Kolloidzysten-Resektion (Stone et Warf 2014). Bei manchen Kombinationen muss nur der Verlauf durch das Foramen Monroi so geplant werden, dass möglichst wenige Strukturen wie beispielsweise der Fornix verletzt werden. Bei anderen Kombinationen, insbesondere bei Eingriffen im hinteren Teil des dritten Ventrikels, Aquädukts oder der Pinealisregion, können große Winkel zwischen den Eingriffsrichtungen auftreten. Dies schränkt den idealen Eintrittspunkt für beide Eingriffe ein (Roth et Constantin 2015). Zur Kombination einer ETV mit einer Tumorbiopsie sind verschiedene Strategien beschrieben: Eine Technik besteht darin, mit einem starren Endoskop den Eintrittspunkt zwischen den beiden idealen Eingriffsrichtungen zu wählen (Knaus et al. 2011, Oppido et al. 2011, Zhu et al. 2013). Die Beweglichkeit kann dadurch jedoch eingeschränkt sein und es kann zu Druck am Foramen Monroi und Fornixverletzungen kommen (Roth et Constantin 2015). Eine andere Strategie empfiehlt zwei separate Bohrlöcher für ETV und Tumorbiopsie zu bohren (Kim et al. 2004; Veto et al. 1997; Yurtseven et al. 2003). Dieses Vorgehen ist besonders bei weit auseinanderliegenden Eingriffsgebieten empfohlen, wie bei Tumoren hinter der Massa intermedia (Morgenstern et Souweidane 2013). Dadurch hat der Operateur auf jedes Interventionsgebiet optimalen Zugriff. Der Vorteil hierin besteht in einer verbesserten Beweglichkeit und dadurch intraoperativer Sicherheit. Das Risiko für intraventrikuläre Verletzungen, beispielsweise am Foramen Monroi, ist somit geringer. Trotz dieser Überlegungen kam es in dieser Studie in 50% der Fälle mit zwei separaten Bohrlöchern zu Fornixkontusionen. Die Notwendigkeit einer zweiten Passage durch den Cortex wird als großer Nachteil dieses Verfahrens beschrieben (Roth et Constantin 2015). Sie stellt ein weiteres Risiko für Liquoristeln, Infektionen und postoperative Blutungen am

Eintrittspunkt dar. Da diese Komplikationen bei neuroendoskopischen Ventrikel-
eingriffen sehr selten sind, überwiegen die Vorteile meist die Nachteile. Die Aufgabe
des Operators besteht darin in jedem Fall individuell die bestmögliche Variante zu
eruiieren. Von Bedeutung ist eine sorgfältige präoperative Planung, die Möglichkeit
der Neuronavigation und die Kombination verschiedener Endoskope in Erwägung
zu ziehen. Eine weitere Möglichkeit besteht nämlich darin zusätzlich ein flexibles
Endoskop zu nutzen, um über ein Bohrloch weiter auseinanderliegende Regionen
zu erreichen, die mit nur einem starren Endoskop nicht zu erreichen wären (Roth et
Constantin 2015). Die Nachteile eines flexiblen Endoskops sind eine geringere
visuelle Auflösung und ein schmalerer Arbeitskanal (Depreitere et al. 2007). Zudem
besteht auch hier nach Einführung von Instrumenten eine Steifigkeit, die eventuell
ein Erreichen des Zielgebiets wieder unmöglich macht.

5.7. Komplikationen

Die Neuroendoskopie ist heute in vielen neurochirurgischen Zentren Standard bei
der Behandlung intraventrikulärer Erkrankungen. In dieser Studie konnte bei der
Kombination von neuroendoskopischen intraventrikulären Eingriffen eine
Morbiditätsrate von 1,4% und eine Mortalitätsrate von 0,7% gezeigt werden. Diese
sind vergleichbar zu Veröffentlichungen bei einzelnen neuroendoskopischen
Eingriffen. Bei Schroeder et al. 2004 zeigten sich bei 222 ETVs eine Morbidität von
1,3% und eine Mortalität von 0,9% und bei 46 Aquäduktplastien eine Morbidität
von 2,2%. Auch bei Beems et Grotenhuis 2004 zeigten sich ähnliche Ergebnisse
mit einer Morbidität von 1,2% und eine Mortalität von 0% bei 339 ETVs. Die
Morbiditätsrate bei 25 Zystenresektionen lag bei Beems et Grotenhuis (2004) mit
12% sogar deutlich höher (Tabelle 8). Eine Meta-Analyse von Somji et al. (2016)
zeigt eine Morbiditätsrate von 3,1% und eine Mortalitätsrate von 2,2% nach
endoskopischen intraventrikulären Tumorbiopsien. Bei 72% davon fanden
kombinierte Eingriffe statt (54% mit ETV, 14,84% mit Stent oder EVD, 6,94% mit
Septostomien). Dadurch wird gezeigt, dass die Kombination mehrerer neuro-
endoskopischer Eingriffe im Ventrikelsystem nicht in einem erhöhten Morbiditäts-
oder Mortalitätsrisiko resultiert.

Die häufigste beschriebene Kombination bei neuroendoskopischen Eingriffen ist die Kombination einer ETV mit einer Tumorbiopsie. Tumore sind aufgrund ihrer raumfordernden Wirkung oft mit Liquorflussstörungen vergesellschaftet. Daher ist es gerade bei intraventrikulären oder paraventrikulären Tumoren von Vorteil endoskopische Tumorbiopsien oder -resektionen mit einer ETV oder Septostomie zu kombinieren, um gleichzeitig einen tumorassoziierten Hydrocephalus zu behandeln (Knaus et al. 2015; Souweidane et al. 2000). Die Fallzahl für kombinierte Eingriffe ist in der Literatur jedoch meist gering. Es zeigen sich allerdings ähnliche Ergebnisse in Hinblick auf Morbidität und Mortalität. So lag bei Beems et Grotenhuis (2004) in einer Untergruppe von 41 mit einer Biopsie kombinierten ETVs die Morbidität bei 1,7% und die Mortalität bei 0,2%. Bei Cinalli et al. (2007) konnten bei 91 kombinierten neuroendoskopischen Eingriffen bei Kindern eine Morbidität von 1,3% und eine Mortalität von 0% gezeigt werden. Zu Komplikationsraten sind in der Literatur Angaben zwischen 0% (bei 15 kombinierten Eingriffen bei Knaus et al. 2011) und 53,3% (bei 28 kombinierten Eingriffen bei Ersahin et al. 2007) zu finden. Bei etwas höheren Fallzahlen liegen die Komplikationsraten in einem vergleichbaren Bereich wie in der hier vorgestellten Arbeit (13,8%): So lag bei 112 kombinierten Eingriffen bei Miwa et al. (2015) die Gesamt-Komplikationsrate bei 10,9%. Bei Oppido et al. (2011) war die Komplikationsrate mit 13,3% (bei 39 Fällen) ebenfalls vergleichbar gering.

Auch die Shunt-Unabhängigkeit mit 83,3% ist in der hier vorgestellten Arbeit ähnlich hoch wie in anderen Studien mit kombinierten Eingriffen bzw. Untergruppen von kombinierten Eingriffen. So lag sie bei Roth et Constantini (2015) bei 6 mit einer Biopsie kombinierten ETVs ebenfalls bei 83,3%. Bei MacArthur et al. (2001), der Eingriffe bei Kindern auswertete, lag sie bei 82,9%. Doch auch bei diesem Aspekt sind weite Verteilungen bei meist geringen Fallzahlen zu erkennen von 58% Shunt-Unabhängigkeit bei Depreitre et al. (2007) (21 Fälle) und Ersahin et al. (2007) (28 Fälle) bis zu 100% bei Zhu et al. (2013) (11 Fälle), Shono et al. (2007) (8 Fälle), Hugelshofer et al. (2016) (7 Fälle) und Da Silva et al. (2007) (5 Fälle).

Studie	Eingriffe (Fallzahl)	Morbidität/-Mortalität	Komplikationsrate	ETV-Erfolg, Shunt-Unabhängigkeit
Schroeder et al., 2002	ETV (193)	1,6%/1%	11,9%	66%
Schroeder et al., 2004	ETV (222)	1,3%/0,9%	11,3%	n.a.
	Aquäduktoplastie (46)	2,2%/0%	13%	-
	Zystenfensterung (21)	0%/0%	19%	-
Beems et Grotenhuis, 2004	ETV (339)	1,2%/0%	7,7%	76,1%
	Zystenresektion (25)	12%/0%	20%	-
	Zystenfensterung (59)	0%/0%	6,8%	-
Hopf et al., 1999	ETV (100)	0%/0%	6%	76%
Kulkarni et al., 2016	ETV (336 Kinder)	0,5%/n.a.	21,1%	58% (nach 2 Jahren)
Vulcu et al., 2015	ETV (126)	0%/n.a.	8%	78%
Sacko et al., 2010	ETV 368	10%/n.a.	n.a.	68,5%

Tab.7: Studienergebnisse zu nicht-kombinierten neuroendoskopischen Eingriffen

Studie	nur kombinierte Eingriffe	Untergruppe kombinierte Eingriffe	Gesamt-Morbidität/-Mortalität	Gesamt-Komplikationsrate	ETV-Erfolg, Shunt-Unabhängigkeit
Knaus et al., 2011	Biopsie und ETV (15/15)		0%/0%	0%	86,7%
Oppido et al., 2011		Biopsie und/oder ETV/Septostomie (39/60)	n.a./0%	13,3%	94%
Miwa et al., 2015		Biopsie und ETV/Septostomie (112/221)	n.a./0%	10,9%	90%
Constantini et al., 2013		Biopsie und ETV/Septostomie (172/293; 41/293)	n.a./0,3%	12,6%	n.a.
Roth et Constantini, 2015	Biopsie und ETV (6/6)		0%/16,7%	16,7%	83,3%
Depreitere et al., 2007		Biopsie und/oder ETV/Septostomie/ Zystenaspiration (21/31)	n.a./0%	19%	58%
O'Brien et al., 2006		Biopsie und ETV (33/41)	0%/0%	15,2%	68%
Souweidane et al., 2000		Biopsie und Septostomie (5/11)	0%/0%	-	-
Beems et Grotenhuis, 2004	Biopsie und ETV (41/485)	485 intraventrikuläre Eingriffe	1,7%/0,2%	9,3% (17,7%)	77,1% (85,4%)
Zhu et al., 2013	Biopsie und ETV (11/11)		0%/0%	9%	100%
Shono et al., 2007	Biopsie und ETV (8/12)		0%/0%	25%	100%
MacArthur et al., 2001		93 intraventrikuläre Eingriffe bei 61 Kindern	n.a./1,6%	18%	82,9%
Boogarts et al., 2011		Kolloidzyste und Septostomie/ETV (14/90)	0%/1,1%	16,6% transient	-
Cinalli et al., 2010		Ventrikulostomie und ETV (6/14)	0%/0%	6,7%	87%
Cinalli et al., 2007		intrakranielle Eingriffe bei Kindern (91/231)	1,3%/0%	13,9% (16,4%)	81%
Hugelshofer et al., 2016		Zystenfensterung und Septostomie/ETV (7/11)	0%/0%	9%	100%
Stone et al., 2014	CPC und ETV (91)		0%/0%	2,1%	65%
Warf et al., 2012		CPC und ETV (48/64)	0%/0%	1,6%	20% + 72,4%
Da Silva et al., 2007		Aquäduktoplastie/-Stent und ETV (5/18)	0%/0%	16,7%	100%
Ersahin et al., 2007		Aquäduktoplastie/-Stent und ETV (28/45)	n.a.	53,3%	58%

Tab.8: Studienergebnisse zu kombinierten neuroendoskopischen Eingriffen (Oertel et al. 2017)

5.8. Untergruppe Kinder

Gerade bei Kindern liegen oft komplexere Fälle vor, teils auch wegen angeborener Fehlbildungen. Nicht selten sind bereits Voroperationen mit Shunt-Implantationen und teils auch schon Revisionen erfolgt. Dies mindert die Erfolgsraten für eine ETV, was sich auch im ETV-Success-Score widerspiegelt. Auch eine postinfektiöse Ursache des Hydrocephalus oder ein intraventrikulärer Tumor stellen eine schlechtere Ausgangssituation dar. Die postoperativ dokumentierten Liquorfisteln traten alle bei Kindern auf. Dies lässt sich durch das noch weichere Gewebe bei den Kindern erklären, wodurch bei der Trepanation oft eine Beule entsteht und konsekutiv eine Liquorfistel. Eine weitere Morbidität bestand dadurch jedoch nicht. Die Gesamt-Komplikationsrate in der Untergruppe der Kinder lag bei 14,3%, die Morbidität lag bei 2,4%. Diese sind vergleichbar zu Studien mit kombinierten Eingriffen bei Kindern mit größeren Fallzahlen. Cinalli et al. (2007) konnten bei 91 kombinierten Eingriffen bei Kindern eine Komplikationsrate von 13,9% und eine Morbidität von 1,3% aufweisen. In 93 Eingriffen bei 61 Kindern lag die Komplikationsrate bei MacArthur et al. (2001) bei 18%.

5.9. Limitationen der Arbeit

Limitationen bei der Auswertung dieser Arbeit liegen in der retrospektiven Datenerhebung. Da manche Daten aus älteren Datenbanken stammen, gab es teils nur unvollständige Datensätze, die im Nachhinein nicht mehr ergänzt werden konnten. Unter anderem standen nicht von jedem Eingriff die Video-dokumentationen zur Verfügung. Ein weiterer Aspekt der nicht erfasst wurde ist die Erfahrung des jeweiligen Endoskopikers. Es wurde nicht abgebildet wie viele neuroendoskopische Eingriffe bis dato durchgeführt wurden. Allerdings stammen die Daten nur von einer kleinen Gruppe an Operateuren. Zwar ist die Lernkurve des einzelnen Endoskopikers nicht erfasst worden, jedoch ist im Verlauf insgesamt eine Abnahme schwerer Komplikationen zu verzeichnen.

5.10. Zusammenfassung

Die vorgestellte Studie ist eine der größten Fallserien zu kombinierten intraventrikulären neuroendoskopischen Eingriffen. Sie zeigt eine vergleichbare Sicherheit der kombinierten Eingriffe zu einzelnen neuroendoskopischen Verfahren. Erstmalig erfolgte auch eine detaillierte Analyse der intraoperativen Komplikationen.

5.11. Ausblick

In den letzten Jahren bzw. Jahrzehnten hat die Zahl der neuroendoskopischen Eingriffe stark zugenommen und damit auch die Zahl an Kombinationen von mehreren intraventrikulären Eingriffen. Die Technik ist in dieser Zeit stark vorangeschritten und bietet immer neue Möglichkeiten. Optiken werden immer kleiner mit immer besserem Auflösungsvermögen auch im Bereich der flexiblen Optiken. Bei heute standardmäßig durchgeführter prä- und postoperativer Bildgebung durch CT- und MRT-Aufnahmen wird die Neuronavigation immer mehr angewendet. Dadurch kann sie auch stetig weiterentwickelt werden. Es gibt bereits Ansätze zur Echtzeit-Navigation, um einer intraoperativen Ungenauigkeit durch Brainshift vorzubeugen.

6. Literaturverzeichnis

1. Antes S, Salah M, Linsler S, Tschan, CA, Breuskin D, Oertel J. Aqueductal stenting with an intra-catheter endoscope - a technical note. *Childs Nerv Syst.* 2016;32:359-363.
2. Beems T, Grotenhuis JA. Long-term complications and definition of failure of neuroendoscopic procedures. *Childs Nerv Syst.* 2004;20:868-877.
3. Berlit P: Basiswissen Neurologie. Part of the series Springer-Lehrbuch pp 161-177, Auflage 2014
4. Boogarts HD, Decq P, Grotenhuis JA, Le Guérinel C, Nseir R, Jarraya B, Djindjian M, Beems T. Long-term Results of the Neuroendoscopic Management of Colloid Cysts of the Third Ventricle: A Series of 90 Cases. *Neurosurgery.* 2011 Jan;68(1):179-87.
5. Bouras T, Sgouros S. Complications of endoscopic third ventriculostomy. *J Neurosurg Pediatr.* 2011 Jun;7(6):643-9.
6. Cinalli G, Spennato P, Ruggiero C, Aliberti F, Trischitta V, Buonocore MC, Cianciulli E, Maggi G. Complications following endoscopic intracranial procedures in children. *Childs Nerv Syst.* 2007 Jun;23(6):633-44.
7. Cinalli G, Spennato P, Columbano L, Ruggiero C, Aliberti F, Trischitta V, Buonocore MC, Cianciulli E. Neuroendoscopic treatment of arachnoid cysts of the quadrigeminal cistern: a series of 14 cases. *J Neurosurg Pediatr.* 2010 Nov;6:489-497.
8. Cinalli G, Imperato A, Mirone G, Di Martino G, Nicosia G, Ruggiero C, Aliberti F, Spennato P. Initial experience with endoscopic ultrasonic aspirator in purely neuroendoscopic removal of intraventricular tumors. *J Neurosurg Pediatr.* 2017 Mar;19(3):325-332.
9. Cockett WS, Cockett AT. The Hopkins rod-lens system and the Storz cold light illumination system. *Urology.* 1998 May;51(5A Suppl):1-2.
10. Constantini S, Mohanty A, Zymberg S, Cavalheiro S, Mallucci C, Hellwig D, Ersahin Y, Mori H, Mascari C, Val JA, Wagner W, Kulkarni AV, Sgouros S, Oi S. Safety and diagnostic accuracy of neuroendoscopic biopsies: an international multicenter study. *J Neurosurg Pediatr.* 2013 Jun;11(6):704-9.
11. Dandy WE, Blackfan KD: An experimental and clinical study on internal hydrocephalus. *JAMA.* 1913;61:2216–2217.
12. da Silva LR, Cavalheiro S, Zymberg ST. Endoscopic aqueductoplasty in the treatment of aqueductal stenosis. *Childs Nerv Syst.* 2007 Nov;23(11):1263-8.

13. Depreitere B, Dasi N, Rutka J, Dirks P, Drake J. Endoscopic biopsy for intraventricular tumors in children. *J Neurosurg.* 2007 May;106(5 Suppl):340-6.
14. Drake JM, Kestle JR, Milner R, Cinalli G, Boop F, Piatt J Jr, Haines S, Schiff SJ, Cochrane DD, Steinbok P, MacNeil N. Randomized trial of cerebrospinal fluid shunt valve design in pediatric hydrocephalus. *Neurosurgery.* 1998 Aug;43(2):294-303; discussion 303-5.
15. Erşahin Y. Endoscopic aqueductoplasty. *Childs Nerv Syst.* 2007 Feb;23(2):143-50.
16. Fritsch MJ, Kienke S, Manwaring KH, Mehdorn HM. Endoscopic aqueductoplasty and interventriculostomy for the treatment of isolated fourth ventricle in children. *Neurosurgery.* 2004 Aug;55(2):372-9.
17. Fritsch MJ, Kienke S, Ankermann T, Padoin M, Mehdorn HM. Endoscopic third ventriculostomy in infants. *J Neurosurg.* 2005 Jul;103(1 Suppl):50-3.
18. Fritsch MJ, Schroeder HW. Endoscopic aqueductoplasty and stenting. *World Neurosurg.* 2013 Feb;79(2 Suppl):S20.e15-8.
19. Fukushima T, Ishijima B, Hirakawa K, Nakamura N, Sano K. Ventriculofiberscope: a new technique for endoscopic diagnosis and operation. Technical note. *J Neurosurg.* 1973 Feb;38(2):251-6.
20. Gadner H, Gaedicke G, Niemeyer C, Ritter J. *Pädiatrische Hämatologie und Onkologie*, p 778, Springer Verlag 2010
21. Grunert P, Gaab MR, Hellwig D, Oertel JM. German neuroendoscopy above the skull base. *Neurosurg Focus.* 2009 Sep;27(3):E7
22. Grunert P, Oertel J. Technical and Clinical Evolution of Modern Neuroendoscopy. *Advances in Endoscopic Surgery*, Prof. Cornel Iancu (Ed.). 2011;175-190.
23. Hanlo PW, Cinalli G, Vandertop WP, Faber JA, Bøgeskov L, Børgesen SE, Boschert J, Chumas P, Eder H, Pople IK, Serlo W, Vitzthum E. Treatment of hydrocephalus determined by the European Orbis Sigma Valve II survey: a multicenter prospective 5-year shunt survival study in children and adults in whom a flow-regulating shunt was used. *J Neurosurg.* 2003 Jul;99(1):52-7.
24. Hellwig D, Grotenhuis JA, Tirakotai W, Riegel T, Schulte DM, Bauer BL, Bertalanffy H. Endoscopic third ventriculostomy for obstructive hydrocephalus. *Neurosurg Rev* (2005) 28: 1–34
25. Hoffman CE, Savage NJ, Souweidane MM. The significance of cyst remnants after endoscopic colloid cyst resection: a retrospective clinical case series. *Neurosurgery.* 2013 Aug;73(2):233-7; discussion 237-9.

26. Hopf NJ, Grunert P, Fries G, Resch KD, Perneczky A. Endoscopic third ventriculostomy: outcome analysis of 100 consecutive procedures. *Neurosurg.* 1999 Apr;44(4):795-804.
27. Hopkins H, Kapany N. A Flexible Fibrescope, using Static Scanning. *Nature* 1954;173: 39–41.
28. Hossini A, Lakhdar F, Gana R, Maaqili MR, Saïdi A, Jiddane M, Bellakhdar F. Epidermoid cyst of the cisterna magna and the fourth ventricle: Report of four cases. *Neurochirurgie.* 2012 Dec;58(6):358-63.
29. Hsu W, Li KW, Bookland M, Jallo GI. Keyhole to the brain: Walter Dandy and neuroendoscopy. *J Neurosurg Pediatr.* 2009 May;3(5):439-42
30. Hu CF, Fan HC, Chang CF, Wang CC, Chen SJ. Successful treatment of Dandy-Walker syndrome by endoscopic third ventriculostomy in a 6-month-old girl with progressive hydrocephalus: a case report and literature review. *Pediatr Neonatol.* 2011 Feb;52(1):42-5.
31. Hugelshofer M, Koechlin NO, Marcus HJ, Kockro RA, Reisch R. Endoscopic fenestration of intraventricular cerebrospinal fluid cysts: the contralateral approach. *J Neurosurg.* 2016 Apr;124:1047-52.
32. Kim IY, Jung S, Moon KS, Jung TY, Kang SS: Neuronavigation-guided endoscopic surgery for pineal tumors with hydrocephalus. *Minim Invasive Neurosurg* 47:365–368, 2004
33. Knaus H, Matthias S, Koch A, Thomale UW. Single burr hole endoscopic biopsy with third ventriculostomy-measurements and computer-assisted planning. *Childs Nerv Syst.* 2011 Aug;27(8):1233-41.
34. Kulkarni AV, Riva-Cambrin J, Holubkov R, Browd SR, Cochrane DD, Drake JM, Limbrick DD, Rozzelle CJ, Simon TD, Tamber MS, Wellons JC 3rd, Whitehead WE, Kestle JR; Hydrocephalus Clinical Research Network. Endoscopic third ventriculostomy in children: prospective, multicenter results from the Hydrocephalus Clinical Research Network. *J Neurosurg Pediatr.* 2016 Oct;18(4):423-429.
35. Ling JM, Tiruchelvarayan R. A Review of Endoscopic Treatment of Hydrocephalus in Paediatric and Adult Patients. *Proceedings of Singapore Healthcare.* 2003; Volume 22, Number 3:203-212.
36. Macarthur DC, Buxton N, Vloeberghs M, Punt J. The effectiveness of neuroendoscopic interventions in children with brain tumours. *Childs Nerv Syst.* 2001 Oct;17(10):589-94.
37. Miwa T, Hayashi N, Endo S, Ohira T. Neuroendoscopic biopsy and the treatment of tumor-associated hydrocephalus of the ventricular and paraventricular region

- in pediatric patients: a nationwide study in Japan. *Neurosurg Rev.* 2015 Oct;38(4):693-704.
38. Niknejad HR, Depreitere B, De Vleeschouwer S, Van Calenbergh F, van Loon J. Results of endoscopic third ventriculostomy in elderly patients ≥ 65 years of age. *Clin Neurol Neurosurg.* 2015 Mar;130:48-54.
39. O'Brien DF, Hayhurst C, Pizer B, Mallucci CL. Outcomes in patients undergoing single-trajectory endoscopic third ventriculostomy and endoscopic biopsy for midline tumors presenting with obstructive hydrocephalus. *J Neurosurg.* 2006 Sep;105(3 Suppl):219-26.
40. Oertel JM, Krauss JK, Gaab MR. Ultrasonic aspiration in neuroendoscopy: first results with a new tool. *J Neurosurg* 2008 Nov;109(5):908-11.
41. Oertel JM, Baldauf J, Schroeder HW, Gaab MR. Endoscopic options in children: experience with 134 procedures. *J Neurosurg Pediatr.* 2009 Feb;3(2):81-9.
42. Oertel JM, Vulcu S, Schroeder HW, Konerding MA, Wagner W, Gaab MR. Endoscopic transventricular third ventriculostomy through the lamina terminalis. *J Neurosurg.* 2010 Dec;113(6):1261-9.
43. Oertel JM, Linsler S, Emmerich C, Keiner D, Gaab M, Schroeder H, Senger S. Results of Combined Intraventricular Neuroendoscopic Procedures in 130 Cases with Special Focus on Fornix Contusions. *World Neurosurg.* 2017 Dec;108:817-825.
44. Oertel, JM, Linsler, S, Strohm, L, Senger S. Management of severe intraoperative hemorrhage during intraventricular neuroendoscopic procedures: the dry field technique. *Acta Neurochir* 2022;164:2551–2557.
45. Oppido PA, Fiorindi A, Benvenuti L, Cattani F, Cipri S, Gangemi M, Godano U, Longatti P, Mascari C, Morace E, Tosatto L. Neuroendoscopic biopsy of ventricular tumors: a multicentric experience. *Neurosurg Focus.* 2011 Apr;30(4):E2.
46. Park MK, Kim M, Park KS, Park SH, Hwang JH, Hwang SK. A Retrospective Analysis of Ventriculoperitoneal Shunt Revision Cases of a Single Institute. *J Korean Neurosurg Soc.* 2015 May;57(5):359-63.
47. Pillay PK, Awad IA, Little JR, Hahn JF. Symptomatic Chiari malformation in adults: a new classification based on magnetic resonance imaging with clinical and prognostic significance. *Neurosurgery.* 1991 May;28(5):639-45.
48. Raju S, Sharma RS, Moningi S, Momin J. Neuroendoscopy for Intracranial Arachnoid Cysts in Infants: Therapeutic Considerations. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg.* 2016 Jul;77(4):333-43.

49. Reddy GK, Bollam P, Caldito G, Guthikonda B, Nanda A. Ventriculoperitoneal shunt surgery outcome in adult transition patients with pediatric-onset hydrocephalus. *Neurosurgery*. 2012 Feb;70(2):380-8; discussion 388-9.
50. Richards J, Ballard N. Colloid cyst: a case study. *J Neurosci Nurs*. 2008 Apr;40(2):103-5.
51. Roth J, Constantini S. Combined rigid and flexible endoscopy for tumors in the posterior third ventricle. *J Neurosurg*. 2015 Jun;122(6):1341-6.
52. Russ PD, Pretorius DH, Johnson MJ. Dandy-Walker syndrome: a review of fifteen cases evaluated by prenatal sonography. *Am J Obstet Gynecol*. 1989 Aug;161(2):401-6.
53. Sacko O, Boetto S, Lauwers-Cances V, Dupuy M, Roux FE. Endoscopic third ventriculostomy: outcome analysis in 368 procedures. *J Neurosurg Pediatr*. 2010 Jan;5(1):68-74.
54. Schroeder C, Fleck S, Gaab MR, Schweim KH, Schroeder HW. Why does endoscopic aqueductoplasty fail so frequently? Analysis of cerebrospinal fluid flow after endoscopic third ventriculostomy and aqueductoplasty using cine phase-contrast magnetic resonance imaging. *J Neurosurg*. 2012 Jul;117(1):141-9.
55. Schroeder HW, Gaab MR, Niendorf WR. Neuroendoscopic approach to arachnoid cysts. *J Neurosurg*. 1996 Aug;85(2):293-8.
56. Schroeder HW, Wagner W, Tschiltshcke W, Gaab MR. Frameless neuronavigation in intracranial endoscopic neurosurgery. *J Neurosurg*. 2001 Jan;94(1):72-9.
57. Schroeder HW, Niendorf WR, Gaab MR. Complications of endoscopic third ventriculostomy. *J Neurosurg*. 2002 Jun;96(6):1032-40.
58. Schroeder HW, Oertel J, Gaab MR. Incidence of complications in neuroendoscopic surgery. *Childs Nerv Syst*. 2004 Nov;20(11-12):878-83.
59. Schulz M, Goelz L, Spors B, Haberl H, Thomale UW. Endoscopic treatment of isolated fourth ventricle: clinical and radiological outcome. *Neurosurgery*. 2012 Apr;70(4):847-59.
60. Schünke M, Schulte E, Schumacher U et al., Hrsg. *Prometheus LernAtlas – Kopf, Hals und Neuroanatomie*. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. 2009.
61. Shono T, Natori Y, Morioka T, Torisu R, Mizoguchi M, Nagata S, Suzuki SO, Iwaki T, Inamura T, Fukui M, Oka K, Sasaki T. Results of a long-term follow-up after neuroendoscopic biopsy procedure and third ventriculostomy in patients with intracranial germinomas. *J Neurosurg*. 2007 Sep;107(3 Suppl):193-8.

62. Sinzig M: *Der Radiologe*, Volume 48, Issue 10, pp 946-954, Springer October 2008
63. Somji M, Badhiwala J, McLellan A, Kulkarni AV: Diagnostic Yield, Morbidity, and Mortality of Intraventricular Neuroendoscopic Biopsy: Systematic Review and Meta- Analysis. *World Neurosurg.* 2016 Jan;85:315-324.
64. Souweidane MM, Sandberg DI, Bilsky MH, Gutin PH. Endoscopic biopsy for tumors of the third ventricle. *Pediatr Neurosurg.* 2000 Sep;33(3):132-7.
65. Stone JJ, Walker CT, Jacobson M, Phillips V, Silberstein HJ. Revision rate of pediatric ventriculoperitoneal shunts after 15 years. *J Neurosurg Pediatr.* 2013 Jan;11(1):15-9.
66. Stone SS, Warf BC. Combined endoscopic third ventriculostomy and choroid plexus cauterization as primary treatment for infant hydrocephalus: a prospective North American series. *J Neurosurg Pediatr.* 2014 Nov;14(5):439-46.
67. Tonn JC, Westphal M, Rutka JT: *Oncology of CNS Tumors*, Springer Verlag 2010
68. Trepel, *Neuroanatomie*, Elsevier-Verlag 2008
69. Tudor KI, Tudor M, McCleery J, Car J: Endoscopic third ventriculostomy (ETV) for idiopathic normal pressure hydrocephalus (iNPH). *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2015, Issue 7.
70. Veto F, Horváth Z, Dóczi T: Biportal endoscopic management of third ventricle tumors in patients with occlusive hydrocephalus: technical note. *Neurosurgery* 40:871–877, 1997
71. Vulcu S, Eickele L, Cinalli G, Wagner W, Oertel J. Long-term results of endoscopic third ventriculostomy: an outcome analysis. *J Neurosurg.* 2015 Dec;123(6):1456-62.
72. Warf BC, Tracy S, Mugamba J. Long-term outcome for endoscopic third ventriculostomy alone or in combination with choroid plexus cauterization for congenital aqueductal stenosis in African infants. *J Neurosurg Pediatr.* 2012 Aug;10(2):108-11.
73. Wirtz CR. *Neuronavigation: Computerassistierte Neurochirurgie* (1998)
74. Yurtseven T, Erşahin Y, Demirtaş E, Mutluer S: Neuroendoscopic biopsy for intraventricular tumors. *Minim Invasive Neurosurg* 46:293–299, 2003
75. Zhao P, Wang X, Li C, Gui S, Zong X, Zhang Y. The effectiveness of neuroendoscopic versus non-neuroendoscopic procedures in the treatment of lateral ventricular cysts: a retrospective medical record review study. *BMC Neurol.* 2013; 13: 59.

76. Zhu XL, Gao R, Wong GK, Wong HT, Ng RY, Yu Y, Wong RK, Poon WS. Single burr hole rigid endoscopic third ventriculostomy and endoscopic tumor biopsy: what is the safe displacement range for the foramen of Monro? *Asian J Surg.* 2013 Apr;36(2):74-82.

7. Publikation

Results of Combined Intraventricular Neuroendoscopic Procedures in 130 Cases with Special Focus on Fornix Contusions. Oertel J, Linsler S, **Emmerich C**, Keiner D, Gaab M, Schroeder H, Senger S. World Neurosurg. 2017 Dec;108:817-825.

8. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei meiner Doktorarbeit unterstützt haben.

Als erstes möchte ich mich bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. J. Oertel für die Bereitstellung des interessanten Themas und die fachliche Bewertung meiner Arbeit bedanken.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn PD Dr. med. S. Senger für die ausgezeichnete Betreuung dieser Arbeit. Mit seiner fachlichen Unterstützung und geduldigen Anleitung hat er maßgeblich zur Entstehung meiner Doktorarbeit beigetragen.

Ganz herzlich danken möchte ich meiner Familie: meinen Eltern, meinen Schwestern und meinem Ehemann. Sie haben mich immer unterstützt und mir während meiner gesamten Ausbildung ermutigend zur Seite gestanden. Ich danke ihnen für ihre liebevolle Unterstützung und dafür, dass sie mich immer wieder zur Vollendung dieser Arbeit ermuntert haben.

Nicht zuletzt gilt mein Dank auch meinen Freunden und Kommilitonen. Sie haben mich auch in schwierigen Zeiten immer wieder aufgemuntert und waren mir ein wichtiger Rückhalt in meiner Studienzeit und darüber hinaus.

9. Lebenslauf

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird der Lebenslauf in der elektronischen Fassung der Dissertation nicht veröffentlicht.

10. Anhang

10.1. Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Ventrikelsystem

Abb.2: Endoskopische Ansicht mit Blick auf den Boden des 3. Ventrikels

Abb.3: Endoskopische Anatomie des Ventrikelsystems

Abb.4: Hydrocephalus bei Tumor im Thalamusbereich

Abb.5: Glioblastom im 3. Ventrikel

Abb.6: Kolloidzyste im 3. Ventrikel

Abb.7: Aquäduktstent bei isoliertem 4. Ventrikel

Abb.8: Beispiel eines Endoskop-Sets nach Gaab zur intraventrikulären
Neuroendoskopie

Abb.9: Vorgehen bei einer Ventrikulozisternostomie

Abb.10: Vorgehen bei einer Tumorbiopsie

Abb.11: Implantation eines intraventrikulären Stents mit Hilfe des Shuntscope

Abb.12: Alternativen bei der Zugangswahl für eine ETV kombiniert mit einer
Aquäduktoplastie

Abb.13: Einteilungsgrade einer Fornixkontusion

Abb.14: Altersverteilung der zugrundeliegenden Pathologien

Abb.15: präoperativ dokumentierte Symptome

Abb.16: Verteilung der Fornixläsionen

Abb.17: Tumor im Thalamusbereich

Abb.18: Neuroendoskopische Versorgung bei Tumor im Thalamusbereich rechts
mit obstruktivem Hydrocephalus

10.2. Tabellenverzeichnis

Tab.1: Berechnung des ETV-Success-Scores (ETVSS)

Tab.2: Verteilung der endoskopischen Eingriffe

Tab.3.: Kombinationen der Eingriffe

Tab.4: histologische Ergebnisse der Biopsien

Tab.5: Übersicht intra- und postoperativer Komplikationen

Tab.6: Verteilung der endoskopischen Eingriffe bei Kindern

Tab.7: Studienergebnisse zu nicht-kombinierten neuroendoskopischen Eingriffen

Tab.8: Studienergebnisse zu kombinierten neuroendoskopischen Eingriffen

10.3. Auswertungsbogen

Auswertungsbogen

OPs intraventrikuläre endoskopische Chirurgie

Patient: _____

OP-Datum: _____

Prozedur: _____

1. Zugang

- ☐ Bohrloch ☐ frontal ☐ coronar ☐ Sonstige
☐ Kraniotomie ☐ frontal ☐ coronar ☐ Sonstige
☐ Seite ☐ rechts ☐ links
☐ Navigation

2. Seitenventrikel

- Seite ☐ rechts ☐ links
- Strukturen ☐ Plexus _____
- ☐ (Pexus-)Zysten/Tumor
- ☐ Septum > intakt ja/nein
- ☐ Foramen Monroi
- geschlossen
- eng
- normal (so weit wie Arbeitsschaft = 6mm)
- erweitert

- Optiken
 - ☐ 0° Optik
 - ☐ 30° Optik
 - ☐ 45° Optik
 - ☐ 70° Optik
 - ☐ Arbeitsoptik
 - ☐ Flexible Optik

Besonderheiten (z.B. Blutungsresiduen, Tumor, Zysten, Fremdkörper, einliegender Shunt oder Stent)

3. Dritter Ventrikel

- Strukturen
 - ☐ Boden 3. Ventrikel _____
 - ☐ Corpora mamillaria
 - ☐ Infundibulum
 - ☐ Clivus
 - ☐ Thalamus
 - ☐ Chiasma opticum
 - ☐ Lamina terminalis
 - ☐ Commissura anterior
 - ☐ Commissura posterior
 - ☐ Adhesio interthalamica
 - durchtrennt ? Blutung ja / nein
 - ☐ Recessus pinealis

- ☐ Aquädukt
 verschlossen
 eng
 normal (so weit wie starre Optik = 4mm)
 erweitert
- Optiken
 - ☐ 0° Optik
 - ☐ 30° Optik
 - ☐ 45° Optik
 - ☐ 70° Optik
 - ☐ Arbeitsoptik
 - ☐ Flexible Optik
- Prozeduren
 - ☐ ETV, wie_____
 - ☐ Fensterung Liljequist Membran, wie_____
 - ☐ Fensterung Lamina terminalis, wie_____
 - ☐ (Tumor-)Biopsie
 - ☐ Zystenfensterung
 - ☐ Aquäduktoplastie

Besonderheiten (z.B. Blutungsresiduen, Tumor, Zysten, Fremdkörper,
einliegender Shunt oder Stent)

4. Vierter Ventrikel

- Passage Aquädukt
 - ☐ leicht
 - ☐ erschwert
 - ☐ nicht möglich

- Membran ja/nein ☐ eröffnet, wie _____
- Welches Endoskop ☐ rigides ☐ flexibles
- Strukturen
 - ☐ Foramen Magendi ☐ offen ☐ verschlossen
 - ☐ Foramina Luschkae ☐ offen ☐ verschlossen
 - ☐ Boden 4. Ventrikel

- Prozeduren
 - ☐ Fensterung
 - ☐ (Tumor-)Biopsie
 - ☐ Zystenfensterung
 - ☐ Aquäduktoplastie

Besonderheiten (z.B. Blutungsresiduen, Tumor, Zysten, Fremdkörper, einliegender Shunt oder Stent)

5. Zurückziehen

- **Unversehrtheit / Schaden Strukturen** (0 = kein Schaden, 1 = leichter Schaden, Kontinuität erhalten, 2 = schwerer Schaden, 3 = Struktur zerstört)

- | | | |
|--------------------------|-----------------------|-------|
| ☐ | Aquädukt | _____ |
| ☐ | Thalamus | _____ |
| ☐ | Foramen Monroi/Fornix | _____ |

6. Allgemein und post-op Verlauf (inkl. Bildgebung)

- Komplikationen (Blutung, erschwerte Sicht, Materialversagen)

- Tumor/Zysten > Wo? Lokalisation? Konfiguration

- Schnellschnittergebnis / endgültiger Histopathologischer Befund

- Klinik, (Hirnnerven-)Ausfälle, (Hydrocephalus, Infektionen,...)

- Sonstiges
