

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

Eine retrospektive Analyse 105 transaquäduktaler Prozeduren über einen Zeitraum von 25 Jahren

*Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der
Medizin der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES
SAARLANDES 2024*

vorgelegt von: Tobias Wern

geb. am: 07.04.1994 in Saarbrücken

Tag der Promotion: 12.11.2025

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Matthias Hannig

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Joachim Oertel

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Wolfgang Reith

Widmung

Für meine Oma

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	6
1 Zusammenfassung.....	7
1.1 Zusammenfassung.....	7
1.2 Summary	8
2 Einleitung	9
2.1 Das Ventrikelsystem – Die Anatomie	9
2.1.1 Der Aquaeductus mesencephali	9
2.2 Das Liquorsystem	11
2.2.1 Die Liquorproduktion	12
2.2.2 Die Liquorzirkulation und Absorption	12
2.3 Der Hydrocephalus	13
2.3.1 Hydrocephalus obstructivus.....	13
2.3.2 Hydrocephalus communicans	14
2.4 Geschichte der Neuroendoskopie	14
3 Patienten und Methoden	16
3.1 Einschlusskriterien.....	16
3.2 Patienten.....	17
3.3 Operationsvideos	17
3.4 Das flexible Endoskop.....	17
3.5 Das Shuntscope	19
3.6 Patientendaten	20
3.7 Analyse der Operationsvideos	20
3.8 Auswertung.....	21
3.9 Ethik.....	21
4 Ergebnisse	22
4.1 Patientenkollektiv	22
4.2 Prozeduren.....	23
4.3 Intraoperative Läsionen.....	24
4.4 Postoperatives Outcome	25
4.4.1 Doppelbilder als Komplikation	26
4.4.2 Zusammenhang zwischen Kontusion und Doppelbildern	26
4.5 Analyse einzelner Subgruppen.....	28

4.5.1 Aquäduktstenose	28
4.5.2 Isolierter IV. Ventrikel	28
4.5.3 Aquäduktoplastie ohne Stenteinlage	29
4.5.4 Aquäduktoplastie mit Stenteinlage	30
4.5.5 Inspektion des IV. Ventrikels	30
4.5.6 Kinder	31
4.6 Kasuistik	32
5 Diskussion	35
5.1 Nutzen der unterschiedlichen transaquäduktalen Eingriffe	35
5.1.1 Inspektion des IV. Ventrikels	35
5.1.2 Aquäduktoplastie mit und ohne Stent	36
5.1.3 Isolierter IV. Ventrikel	39
5.2 Komplikationen bei transaquäduktalen Eingriffen	40
5.3 Kritikpunkte	42
5.3.1 Stärken dieser Arbeit	42
5.3.2 Schwächen der Arbeit	42
5.3.3 Neue Aspekte dieser Arbeit	43
6 Literaturverzeichnis	44
7 Abbildungsverzeichnis	49
8 Tabellenverzeichnis	49
8. Danksagung	50
9. Lebenslauf	51

Abkürzungsverzeichnis

AP.....	<i>Aquäduktoplastie ohne Stenteinlage</i>
APS.....	<i>Aquäduktoplastie mit Stenteinlage</i>
AS.....	<i>Aquäduktstenose</i>
bzw	<i>beziehungsweise</i>
cm.....	<i>Zentimeter</i>
CT.....	<i>Computertomographie</i>
EDH.....	<i>Epiduralhämatoms</i>
ETV	<i>Endoskopische Drittventrikulostomie</i>
HC	<i>Hydrocephalus</i>
mm.....	<i>Millimeter</i>
MRT	<i>Magnetresonanztomographie</i>
N	<i>Nervus</i>

1 Zusammenfassung

1.1 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden retrospektiv insgesamt 105 transaquäduktale Prozeduren bei 96 Patienten in dem Zeitraum von 1993 bis 2018 an insgesamt 4 Kliniken untersucht, bei denen entweder das flexible Endoskop oder das Shuntscope benutzt wurde. Ein Ziel der Arbeit war es einerseits eine große Anzahl an diversen transaquäduktalen Eingriffen in einer Datenbank zusammenzufassen und bezüglich der initial bestehenden Symptomatik, radiologischer Befunde, durchgeführter Prozeduren, dem postoperativen Outcome und Komplikationen auszuwerten. In 38,5% der Fälle lag ein Hydrocephalus auf dem Boden einer Aquäduktstenose vor, andere Ursachen waren Tumore (12,5%), ein isolierter IV. Ventrikel (9,4%), ein distaler Verschluss des IV. Ventrikels (6,3%), Zysten (7,3%) sowie sonstige Ursachen. Es erfolgte in 23,8% eine Inspektion des IV. Ventrikels, in 30,5% eine Aquäduktoplastie ohne Stenteinlage und in 15,2% eine Aquäduktoplastie mit Stenteinlage. Zu einer Verbesserung der Klinik kam es in 61,9% bei einer Komplikationsrate von 18,1%.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit bestand darin, anhand der Analyse der Operationsvideos sowie Auswertung einer bereits bestehenden Datenbank, mögliche Läsionen am Aquädukt zu erfassen, diese zu klassifizieren und nach Schweregrad einzuteilen. Es sollte untersucht werden, ob ein Zusammenhang zwischen einer sichtbaren Läsion und einer postoperativen Komplikation existiert. Vor allem Komplikationen wie dyskonjugierte Augenbewegungen, Doppelbilder sowie Hirnnervenpareesen, welche durch Schädigung der benachbarten sensiblen Strukturen hervorgerufen werden können, wurden analysiert.

In insgesamt 16 Fällen waren Kontusionen des Aquäduktes zu objektivieren. Durch die Videoanalyse konnten 12 Kontusionen nach Schweregrad eingeteilt werden. In 9 Fällen kam lediglich eine oberflächliche Läsion (Grad I) vor und in 3 Fällen kam es zusätzlich zu einer Verletzung des umliegenden Weichteilgewebes (Grad II).

Bei insgesamt 5 Patienten mit nachweisbaren Läsionen kam es postoperativ zum Auftreten von Doppelbildern (31,3%). Total kam es in 8 Fällen zum Auftreten von Doppelbildern. Dementsprechend lag in 62,5% eine Kontusion vor und in 37,5% war keine sichtbare Läsion im Aquädukt festzustellen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein zwingender Zusammenhang zwischen sichtbaren Läsionen des Aquäduktes sowie postoperativen Komplikationen im Rahmen dieser Studie nicht aufgezeigt werden konnte. Auch eine Korrelation zwischen der Schwere der Läsion und einer Komplikation zeigte sich nicht eindeutig. Um hierfür eine angemessene Aussage treffen zu können, ist die Anzahl der Patienten jedoch zu gering.

1.2 Summary

In the present study, a total of 105 transaqueductal procedures in 96 patients were retrospectively analyzed in the period from 1993 to 2018 at 4 different hospitals where either the flexible endoscope or the shuntscope was used. One purpose of the study was to collect a large number of different transaqueductal procedures in a database and to evaluate them with regard to initial symptoms, radiological findings, performed procedures, postoperative outcome and complications. In 38,5% of the cases, a hydrocephalus was present on the floor of an aqueductal stenosis; other causes were tumors (12,5%), an isolated 4th ventricle (9,4%), a distal occlusion of the 4th ventricle (6,3%), cysts (7,3%), and other causes. An Inspection of the 4th ventricle was performed in 23.8%, an aqueductoplasty without stent placement in 30,5%, and an aqueductoplasty with stent placement in 15.2%. Clinical improvement occurred in 61.9% with a complication rate of 18.1%.

Another aim of this work was to detect possible lesions at the aqueduct, to classify and to categorize these contusions according to their severity based on the analysis of the surgical videos and evaluation of an existing database. The aim was to investigate if there is a correlation between a visible lesion and a postoperative complication. Especially complications like dysconjugate eye movements, double vision as well as cranial nerve palsies, which can be caused by damage of the adjacent sensitive structures, were analyzed.

In a total of 16 cases, contusions of the aqueduct could be objectified. Video analysis allowed 12 contusions to be classified according to their severity. In 9 cases, only a superficial lesion (grade I) occurred and in 3 cases there was an additional injury to the surrounding soft tissue (grade II).

In a total of 5 patients with detectable lesions, double vision occurred postoperatively (31.3%). Overall, double vision occurred in 8 cases. Accordingly, a contusion was present in 62.5% and no visible lesion could be detected in the aqueduct in 37.5%.

In conclusion, a compelling correlation between visible lesions of the aqueduct and postoperative complications could not be demonstrated in this study. Also a correlation between the severity of the lesion and a complication was not clearly shown. However, the number of patients was too small to make an appropriate statement.

2 Einleitung

2.1 Das Ventrikelsystem – Die Anatomie

Das Ventrikelsystem besteht aus dem sogenannten äußeren und inneren Liquorraum. Der äußere Liquorraum fungiert als Schutzschicht zwischen dem Gehirn und dem Schädelknochen. Die paarigen Seitenventrikel, der III. Ventrikel und der IV. Ventrikel bilden den inneren Liquorraum. Über die miteinander kommunizierenden Hirnventrikel wird der gebildete Liquor bis in den Subarachnoidalraum transportiert. Den unterschiedlichen Hirnabschnitten lassen sich Teile des

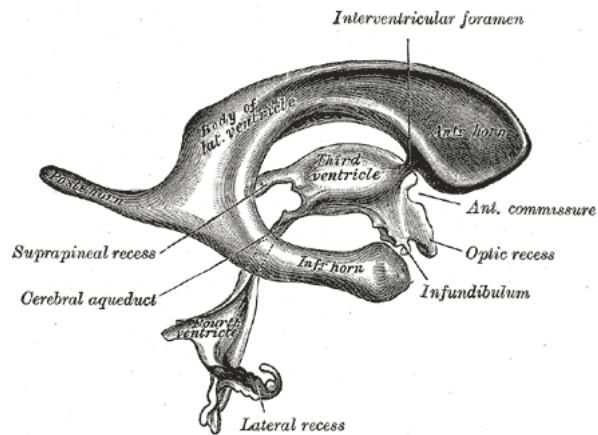


Abbildung 1: Die Hirnventrikel, *Anatomy of the human body* - H. Gray 1918. Fig.736

Ventrikelsystems zuordnen. Den Großhirnhemisphären die beiden Seitenventrikel, dem Diencephalon der III. Ventrikel, dem Mesencephalon das Aquädukt und dem Rhombencephalon der IV. Ventrikel. Die Seitenventrikel selbst lassen sich in einzelne Abschnitte unterteilen. Sie setzen sich aus der Cornea frontale, der Pars ventrales, dem Cornu occipitale und dem Cornu temporale zusammen. Sie stehen jeweils über das Foramen Monroi in Verbindung zum III. Ventrikel, dieser kommuniziert über den Aquaeductus mesencephali mit dem IV. Ventrikel. Hier finden sich die sogenannten Foraminae Luschkae und das Foramen Magendie, über die der innere Liquorraum in den Subarachnoidalraum mündet (Trepel, 2012).

2.1.1 Der Aquaeductus mesencephali

Der Aquaeductus mesencephali oder auch Aquaeductus sylvii verbindet den III. und IV. Ventrikel und stellt die engste Stelle des Ventrikelsystem dar. Er verläuft durch das Mesencephalon und wird ventral vom Tegmentum und dorsal vom Tectum mesencephali begrenzt (Bechmann et al., 2003). Umgeben ist es von der periaquäduktalen grauen Substanz (Cinalli et al., 2011). Die Querschnittsfläche reicht von 0,6mm² bis 2mm² (Flyger and Hjelmquist, 1957), bei Kinder liegt sie im Schnitt bei 0,5mm² (EMERY and STASCHAK, 1972).

Mit einem durchschnittlichen Winkel von 40 Grad zieht das Aquädukt in schräger Richtung vom III. zum IV. Ventrikel. Die Commissura posterior überlagert die Einmündungsstelle des Aquäduktes in den III. Ventrikel. Luschka beschrieb das Aquädukt schon im Jahr 1855 beim Erwachsenen als „durchschnittlich 1,5 Zentimeter lang und für eine liniendicke Sonde, ohne gewaltsame Dehnung, eben

noch durchgängig“ (Von Luschka, 1855). Die Länge des Aquäduktes ist bei Kindern nur unwesentlich kürzer. Bei Neugeborenen ist das Aquädukt etwa 1,2cm lang, bei Kleinkindern 1,3cm (Gerlach, 1858). Woollam und Millen (Woollam and Millen, 1953) untersuchten 1958 14 Gehirne von Erwachsenen und unterteilten das Aquädukt anhand ihrer Untersuchungen in 3 Teile, die Pars anterior, die Ampulla und die Pars posterior. Ihre Einteilung beruhte auf den 2 anatomischen Engstellen des Aquädukts. Eine Engstelle befindet sich auf der Höhe der Mitte der Colliculi superiores. Die zweite Engstelle wird durch den Sulcus intercollicularis gebildet, hier besitzt das Aquädukt seinen geringsten Durchmesser. Die Pars anterior reicht demnach bis zur ersten Engstelle, die Ampulla bildet den Abschnitt zwischen den beiden Engstellen und die Pars posterior bildet den Abschnitt nach der zweiten Engstelle.

Im Hinblick auf die Anatomie des Aquädukts analysierten Longatti *et al.* (Longatti et al., 2007) 41 Operationsvideos, bei denen das flexible Endoskop zum Einsatz kam. In der Endoskopie zeigt sich nach dem Adytum des Aquädukts, die erste Engstelle, hervorgerufen durch die Vorwölbung des Collicus superior, die darauffolgende Erweiterung wird als Ampulla bezeichnet. Die zweite Engstelle entspricht der Vorwölbung des Collicus inferior (Abb. 2B und 3C). Danach mündet das Aquädukt in den IV. Ventrikel. (Abb. 3D). Zusätzlich stellten sie Veränderung der Form des Aquäduktes bei gewissen Pathologien fest. Ohne Pathologien besitzt das Adytum in der Regel eine dreieckige Form. Bei Patienten, die an einer Aquäduktstenose (AS) leiden, verändert sich diese Form. Hier erscheint das Aquädukt eher trichterförmig (Abb. 2A und D). Während eine rundliche Erscheinung bei Patienten zu finden ist, die an einem isolierten IV. Ventrikel leiden (Abb. 2C).

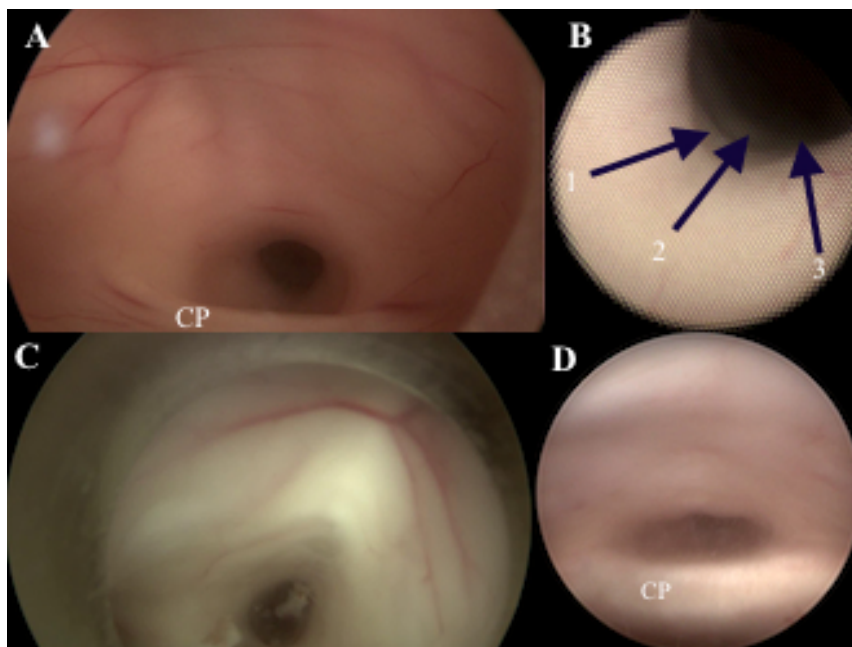


Abbildung 2: Endoskopische Sicht auf das Aquädukt.

A: Aquädukt eines Patienten mit Aquäduktstenose, Commissura posterior (CP), *B1:* Erste Engstelle des Aquädukts, *B2:* Ampulla, *B3:* Zweite Engstelle des Aquädukts. *C:* Aquädukt einer Patientin mit isoliertem IV. Ventrikel. *D:* Aquädukt eines Patienten mit Aquäduktstenose

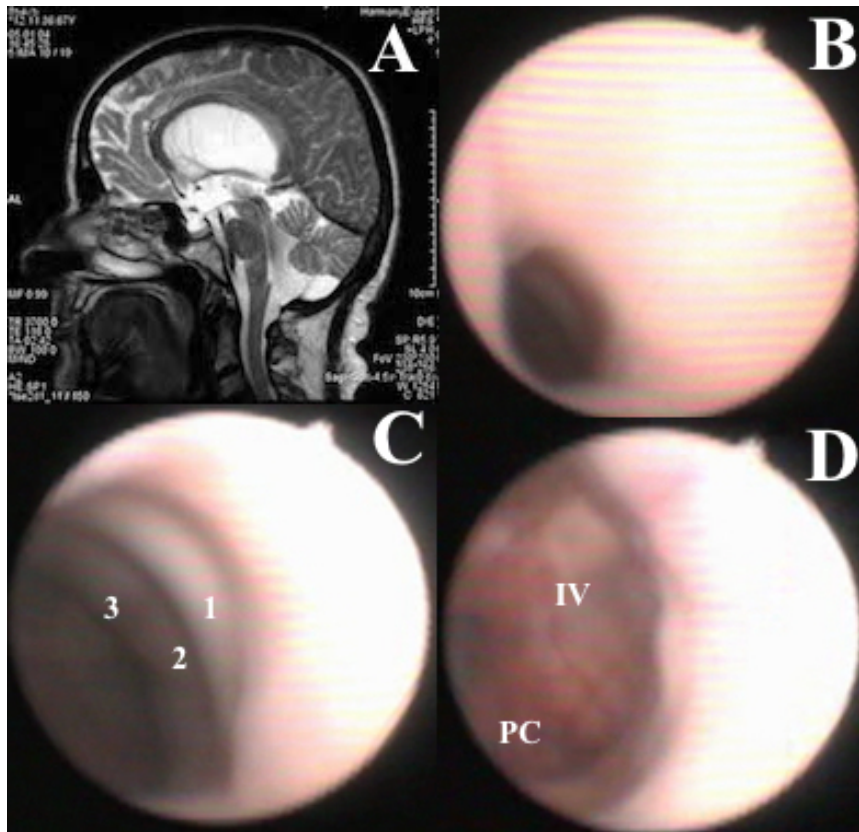


Abbildung 3: Endoskopische Sicht auf das Aquädukt

A: MRT einer 68-jährigen Patienten mit HC malresorptivus. B: Adytum des Aquädukts. C1: Erste Engstelle, C2: Ampulla, C3: Zweite Engstelle. D: Blick in den IV. Ventrikel mit sichtbarem Plexus choroideus.

2.2 Das Liquorsystem

Um mögliche Pathologien wie einen Hydrocephalus (HC) zu verstehen und im weiteren Verlauf therapieren zu können, ist ein spezifisches Wissen über das Liquorsystem von außerordentlicher Bedeutung. Deshalb sind die Sekretion, der Liquorfluss und die Reabsorption des Liquors im Verlauf des letzten Jahrhunderts weit erforschte Gebiete gewesen und sind es bis heute.

Das Liquorsystem enthält etwa 150ml Liquor, davon sind 25ml in den Ventrikeln und 125ml im Subarachnoidalraum enthalten. Die durchschnittliche Sekretion eines Erwachsenen beträgt zwischen 400-600ml. In 24 Stunden kommt es also zu einem vollständigen Austausch des Liquors von bis zu viermal. Lange glaubte man, dass der Liquor ausschließlich als eine Art flüssigen Schutzmantel für das zentrale Nervensystem fungieren würde. Heutige Daten zeigen, dass der Liquor eine wichtige Rolle in der Regulation der neuronalen Funktionen spielt (Sakka et al., 2011).

2.2.1 Die Liquorproduktion

Heutzutage weiß man, 60-75% des Liquors werden von den Plexus choroidei der lateralen Ventrikel und der Tela choroidea des III. und IV. Ventrikels produziert. Die extrachoroidale Sekretion stammt aus dem ependymalen Epithel, sowie aus extrazellulärer Flüssigkeit durch die Kapillaren des Gehirns (Sakka et al., 2011). Der Liquor und die interstitielle Flüssigkeit vermischen sich durch arterielle Pulsation, sodass eine Unterscheidung zwischen Liquor und interstitieller Flüssigkeit nicht möglich ist (Greitz, 2004).

2.2.2 Die Liquorzirkulation und Absorption

Der sekretierte Liquor aus dem Plexus choroideus der Seitenventrikel fließt pulsatil durch das Foramen interventriculare in den III. Ventrikel. Von hier gelangt der Liquor über den Aquaeductus mesencephali in den IV. Ventrikel, wo er schließlich durch das Foramen Magendie und die beiden Foraminae Luschkae in den Subarachnoidalraum abfließen kann. Die Absorption des Liquors geschieht über mehrere Wege. Zum einen wird der Liquor über die Granulationes arachnoidales, über sogenannte Villi arachnoidales resorbiert. Weitere Möglichkeiten zur Resorption bestehen an dem Ependyma und den kranialen und spinalen Nervenscheiden. Über die Nervenscheiden des N. opticus, trigeminus, facialis und vestibulocochlearis wird der Liquor aufgenommen und in das Lymphsystem drainiert (Sakka et al., 2011). Über die Kapillaren des zentralen Nervensystems scheint ebenfalls ein nicht unwesentlicher Anteil der Liquorresorption stattzufinden. Durch die Kapillaren werden aktiv Makromoleküle und Plasmaproteine rückresorbiert, um die Homöostase und den positiven intrakraniellen Druck aufrecht zu erhalten. Dass die Hauptabsorption des Liquors durch die Granulationes arachnoidales geschieht, wird durch neuste Studienerkenntnisse mehr und mehr angezweifelt (Greitz, 2004). Diese Annahme beruht auf einer Grundidee der sogenannten „bulk flow“- Theorie. Nach dieser Theorie zirkuliert der Liquor von dem Ort seiner Sekretion, dem Plexus choroideus, zum Ort seiner Absorption, den Granulationes arachnoidales. Die weit verbreitete und lange anerkannte Prämisse, bei der ein konstanter Nettofluss des Liquors besteht, scheint in neueren Studien nicht bestätigt werden zu können. So spricht die Studie Greitz *et al* (Greitz et al., 1993) von einer pulsatilen Fortbewegung des Liquors, der „bulk flow“ hingegen sei nur im Aquädukt nachweisbar.

Weed (Weed, 1914b) war der Ansicht, dass der Liquor über die Granulationes arachnoidales resorbiert werden würde. Für ihn gab es kein Anhalt dafür, dass die Kapillaren oder Venen des Gehirns daran beteiligt sind.

Er entkräftete die Theorie Chushing's, dass klappenähnliche Ventile zwischen den Meningen und dem venösen System vorlägen, über diese der Liquor drainiert würde und nicht über eine membranöse Filtration (Cushing, 1902).

Weed konnte keinen histologischen Beweis finden, dass ein Klappenmechanismus an der Drainage des

Liquors beteiligt ist (Weed, 1914a).

Für Dandy war es jedoch damals schon augenscheinlich, dass der Liquor hauptsächlich diffus im Subarachnoidalraum absorbiert werden müsse und nicht über spezielle Strukturen, wie die Granulationes arachnoidales oder die venösen Sinusoide (Dandy and Blackfan, 1913).

Diese Hypothese scheint nach heutigem Wissenstand bestätigt werden zu können, da die Absorption durch die Granulationes bis heute nicht bewiesen werden konnte (Haberl et al., 2007). Dass die Granulationes arachnoidales nicht von Geburt an bestehen, sich erst mit der Zeit ausbilden, sowie eine 80-90% Absorption radioaktiven Albumins im Spinalkanal, nach Injektion in den lumbalen Subarachnoidalraum, sprechen deutlich gegen die Absorption durch die Granulationes (Greitz et al., 1997).

2.3 Der Hydrocephalus

Der Hydrocephalus ist definiert als eine Vergrößerung der Ventrikelweite bei gleichzeitig verengtem Subarachnoidalraum (Greitz, 2004). Diese Dilatation des Ventrikelsystems ist verursacht durch einen erhöhten Druck innerhalb der Ventrikel im Vergleich zum Hirnmantel (Greitz et al., 1997).

2.3.1 Hydrocephalus obstrictivus

Der obstruktive Hydrocephalus entsteht durch eine Behinderung des Liquorflusses innerhalb des Ventrikelsystems. Das Missverhältnis zwischen Sekretion und Absorption, durch einen verminderten Abfluss aus dem Ventrikelsystem, hat eine Aufweitung der Ventrikel zur Folge (Greitz et al., 1997). Dieses Missverhältnis wurde schon im frühen 20. Jahrhundert durch Dandy aufgezeigt, als er in einer experimentellen Studie an Hunden einen Hydrocephalus durch den mechanischen Verschluss des Aquäduktes mesencephali, mit einem Stück Baumwolle, auslöste. Dieser Umstand war für ihn der Beweis, dass die Produktion des Liquors in den Ventrikeln, die Fähigkeit der Reabsorption dieser übersteigt (Dandy and Blackfan, 1913). Die Ausdehnung der Ventrikel führt zu einer Kompression der Kortikalvenen, wodurch das intrakranielle Blutvolumen ansteigt. Diese sekundäre venöse Obstruktion führt folglich zu einer Erhöhung des Venendrucks, was letztendlich zu einem erhöhten intrakraniellen Druck führt (Greitz et al., 1997). Das erhöhte Blutvolumen und die gesamte zerebrale Volumenzunahme wirken der Erweiterung des Ventrikelsystems entgegen. Dieses Gleichgewicht, das nun auf einem erhöhten intrakraniellen Druckniveau besteht, ist abhängig von der Absorptionsfähigkeit der periventrikulären Hirnkapillaren (Haberl et al., 2007). Die Erweiterung der Ventrikel findet sich bei einem Hydrocephalus obstruktiver Genese logischerweise proximal der Obstruktion und somit proximal der Störung des interventrikulären Liquorflusses (Greitz, 2004).

2.3.2 Hydrocephalus communicans

Der kommunizierende Hydrocephalus wird durch eine erniedrigte intrakranielle Compliance verursacht. Durch eine verminderte Compliance der Arterienwand oder des Subarachnoidalraums kommt es zu einer geringeren arteriellen Ausdehnung während der Systole, was zu einem Zusammenbruch der Windkesselfunktion und zu einer erhöhten Pulsation in den Hirnkapillaren führt. Diese abnorme Druck- und Volumenübertragung der Kapillare erhöht den ventrikulären Pulsdruck, den pulsierenden Liquorfluss im Aquädukt und dilatiert die Ventrikel (Greitz, 2004; Greitz, 2007). Ursächlich für die verminderte arterielle Compliance können z.B. Spasmen, eine diabetische Mikroangiopathie oder Arteriitiden sein. Im Subarachnoidalraum kann sie durch eine Subarachnoidalblutung oder eine Meningitis verringert sein (Greitz et al., 1997).

2.4 Geschichte der Neuroendoskopie

Die Geschichte der Neuroendoskopie reicht zurück bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts. Der erste kraniale neuroendoskopische Eingriff wurde von dem Urologen Dr. Victor Darwin Lespinasse (1878 – 1946) im Jahre 1910 durchgeführt. Er nutzte ein Zystoskop um den Plexus choroideus bei zwei Kleinkindern zu koagulieren. Ein Kind verstarb postoperativ, das andere Kind überlebte 5 weitere Jahre (Davis, 1936). Jedoch erregte die Neuroendoskopie zu Beginn in einem Zeitalter vieler neuer Technologien wenig Aufmerksamkeit. Dies änderte sich vor allem durch die tragende Rolle, die Walter Dandy (1886 – 1946) im Bereich der Neuroendoskopie spielen sollte. Er war ein unermüdlicher Chirurg und Wissenschaftler, der schon zu dieser Zeit das Potential der Endoskopie erkannte und bis heute als „Vater der Neuroendoskopie“ bezeichnet wird (Hsu et al., 2009). Im Jahr 1918 führte Dandy vier experimentelle Eingriffe an vier Kindern durch, die an einem Hydrocephalus communicans litten. Seiner Theorie nach lag bei dieser Form eine verminderte Absorptionsfähigkeit von Liquor durch den Subarachnoidalraum vor. Diese sei auf etwa 1/5 des Normalwertes reduziert. Durch die chirurgische Entfernung des Plexus choroideus der Seitenventrikel, könnte das Verhältnis zwischen Produktion und Reabsorption wiederhergestellt werden. Kurz nach der Operation verstarben jedoch drei der vier Kinder. Nur ein Kind überlebte das 10-monatige Follow-up, ohne scheinbare Progredienz der Erkrankung (Dandy, 1918).

Im Jahre 1923 gelang Mixter (Mixter, 1923) die erste erfolgreiche endoskopische Drittventrikulostomie (ETV) mit einem Zystoskop, welches jedoch, vermutlich aufgrund der schlechten Sichtverhältnisse, keine große Akzeptanz erlangen konnte (Abbott, 2004). Nach anfänglicher Begeisterung für die Neuroendoskopie, wurde sie in den folgenden Jahren aufgrund der hohen Komplikationsraten und den Fortschritten in der Mikrochirurgie fast vollständig wieder verlassen (Decq et al., 2013). In den 1950er

Jahren wurde die Implantation von Shuntsystemen zur Behandlung des Hydrocephalus immer gebräuchlicher. Die Endoskope zu dieser Zeit waren noch nicht sehr ausgereift, weshalb es weiterhin zu einer vermehrten Komplikations- und Sterblichkeitsrate kam (Hellwig et al., 2005). Auch wenn sich die Endoskopie bereits um die Jahrtausendwende als vielversprechend erwiesen hatte, wurde der weitere Vormarsch vor allem noch durch die schlechte Beleuchtung der Endoskope ausgebremst (Abbott, 2004). Im weiteren Verlauf des Jahrtausends erfolgte jedoch die sukzessive Modernisierung und Verbesserung der bisher geläufigen Endoskope. In den 1960er Jahren entwickelte Hopkins ein neuartiges Linsensystem. Er ersetzte die bikonvexen Glaslinsen, welche in den Endoskopen nach der alten Bauart nach Nitze verwendet wurden, durch eine Reihe von Glasstäben. Durch diese, sowie weitere Modifikationen, war das durch Hopkins designte Endoskop in der Lage deutlich mehr Licht zu übertragen, beziehungsweise (bzw.) weniger zu absorbieren als die anderen Systeme (Berci and KONT, 1969; Griffith, 1986). Eine weitere maßgebliche Innovation gelang Guiot im Jahre 1963. Er setzte eine starre externe Lichtquelle ein, die über einen Quarzstab durch die Hülle des Endoskops geleitet wurde. Hierdurch konnte eine stark verbesserte Beleuchtung des Sichtfeldes erzeugt werden. Guiot konnte mit diesem System eine ETV durchführen sowie einen Farbfilm des Ventrikelsystems anfertigen (Griffith, 1986).

Durch die Entwicklung des Verfahrens zur Bildung eines kohärenten Glasfaserbündels legte Hopkins die Grundlage für die flexible Endoskopie. Hierdurch konnten einzelne Lichtstrahlen durch ein viel kleineres Endoskop weitergeleitet werden (Hopkins and Kapany, 1954). Diese Technik ermöglichte es, flexible Endoskope herzustellen, welche sich zu einem gewissen Grad biegen ließen und dennoch das Bild zum anderen Ende des Endoskops übertragen konnten (Abbott, 2004). Die Etablierung der Fiberendoskopie, sowie der Glasstaboptik von Hopkins, sorgte für den Anstieg des Indikationsfeldes endoskopischer Operationen und so kam es im Folgenden zu einer rasanten Ausbreitung endoskopischer Eingriffe in der Neurochirurgie, wie auch in sämtlichen anderen Fachdisziplinen (Duffner et al., 1998).

3 Patienten und Methoden

3.1 Einschlusskriterien

Bei dieser Arbeit handelt es sich um eine retrospektive Analyse transaquäduktaler Prozeduren, bei denen das flexible Endoskop oder das Shuntscope zum Einsatz kam.

Die Analyse umfasst einen Zeitraum von April 1993 bis Juli 2018 an insgesamt 4 Kliniken.

Bei den Kliniken handelt es sich um:

1. Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie der Universitätsmedizin Greifswald
(April 1993 – Juni 2002)
2. Klinik für Neurochirurgie der Medizinischen Hochschule Hannover
(Juni 2004 – August 2004)
3. Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie der Universitätsmedizin Mainz
(Mai 2009 – November 2009)
4. Klinik für Neurochirurgie des Universitätsklinikum Saarlandes in Homburg
(Juni 2011 – Juli 2018)

Im Rahmen einer umfassenden Forschungsstudie wurde eine detaillierte Datenbank durch die sorgfältige Analyse von Operationsberichten, bildgebenden Verfahren und den dazugehörigen Befunden, Entlassungsbriefen, Dokumentationen von Nachuntersuchungen sowie bereits existierenden Datensätzen erstellt. Diese Datenbank diente dazu, ein breites Spektrum an Variablen zu untersuchen, einschließlich Symptome der Patienten, Diagnosen, durchgeführte Prozeduren, intra- und postoperative Komplikationen, Ergebnisse der Behandlungen sowie Informationen zu den Nachsorgeuntersuchungen. Zudem wurden vorhandene Operationsvideos, sofern verfügbar, eingesehen und einer eingehenden Analyse unterzogen, um zusätzliche Einblicke in die durchgeführten Verfahren und eventuell aufgetretene Komplikationen zu gewinnen.

Insgesamt mussten 21 Prozeduren zwischen 1993 und 2001 aus dieser Arbeit ausgeschlossen werden, da nicht genügend verwertbares Datenmaterial vorlag. Bei 8 Fällen konnte aus den bestehenden Datensätzen nicht exakt eruiert werden, welche Prozedur mittels des flexiblen Endoskops durchgeführt wurde und ob durch die Benutzung des Endoskops etwaige Komplikationen, wie z.B. Kontusionen im Aquädukt, aufgetreten waren. Zudem fanden sich in 21 Fällen keine ausreichenden Patientenunterlagen, zu den vorhandenen Operationsvideos, die eine Analyse der Komplikationen und des Follow-ups möglich gemacht hätten.

Diese relative große Anzahl an Ausschlüssen ist sicherlich dem langen Zeitraum der Studie und den Operationen an unterschiedlichen Kliniken geschuldet.

3.2 Patienten

Für den gesamten Zeitraum wurden 105 Prozeduren an insgesamt 96 Patienten erfasst.

1. 54 Eingriffe wurden in der Neurochirurgie in Greifswald vorgenommen,
2. 6 Eingriffe wurden in der Neurochirurgie in Hannover vorgenommen.
3. 5 Eingriffe wurden in der Neurochirurgie in Mainz vorgenommen.
4. 40 Eingriffe wurden in der Neurochirurgie in Homburg vorgenommen.

3.3 Operationsvideos

Bei 45 von insgesamt 105 Prozeduren lag verwertbares Videomaterial der Operationen vor.

1. 8 Operationsvideos bei 53 Eingriffen in der Neurochirurgie in Greifswald.
2. 0 Operationsvideos bei 6 Eingriffen in der Neurochirurgie in Hannover.
3. 0 Operationsvideos bei 5 Eingriffen in der Neurochirurgie in Mainz.
4. 37 Operationsvideos bei 40 Eingriffen in der Neurochirurgie in Homburg.

3.4 Das flexible Endoskop

Bei dem Endoskop, welches bei den Operationen der Neurochirurgie in Homburg zum Einsatz kam, handelt es um das Neuro-Fiberscope der Firma Karl Storz (11161 C Neuro-Fiberscope, Karl Storz GmbH & Co. KG, Tuttlingen, Deutschland).

Das Endoskop besitzt eine Arbeitslänge von 40 Zentimeter (cm) und einen äußeren Durchmesser von 2,8 Millimeter (mm).

Der Bewegungsumfang der distalen Spitze beträgt nach oben 120° und nach unten 170°, der Blickwinkel beträgt 90°.

Der Arbeitskanal besitzt einen Durchmesser von 1,2 mm. Hierdurch können verschieden Fass- und Biopsie Zangen eingeführt werden.



Abbildung 4: Das flexible Endoskop



Abbildung 5: Operatives Setting bei Gebrauch des flexiblen Endoskops



Abbildung 6: Operatives Setting bei Gebrauch des flexiblen Endoskops

3.5 Das Shuntscope

Das Shuntscope wurde in insgesamt 13 Fällen des Patientenkollektivs der Neurochirurgie in Homburg eingesetzt. Es handelt sich um ein geradliniges Miniatur Teleskop der Firma Karl Storz (28164 SS Shuntscope: Miniature Straight Forward Telescope 0°, Karl Storz GmbH & Co. KG, Tuttlingen, Deutschland). Dieses semirigide Teleskop besitzt einen äußeren Durchmesser von 1,0 mm und eine Länge von 16 cm.

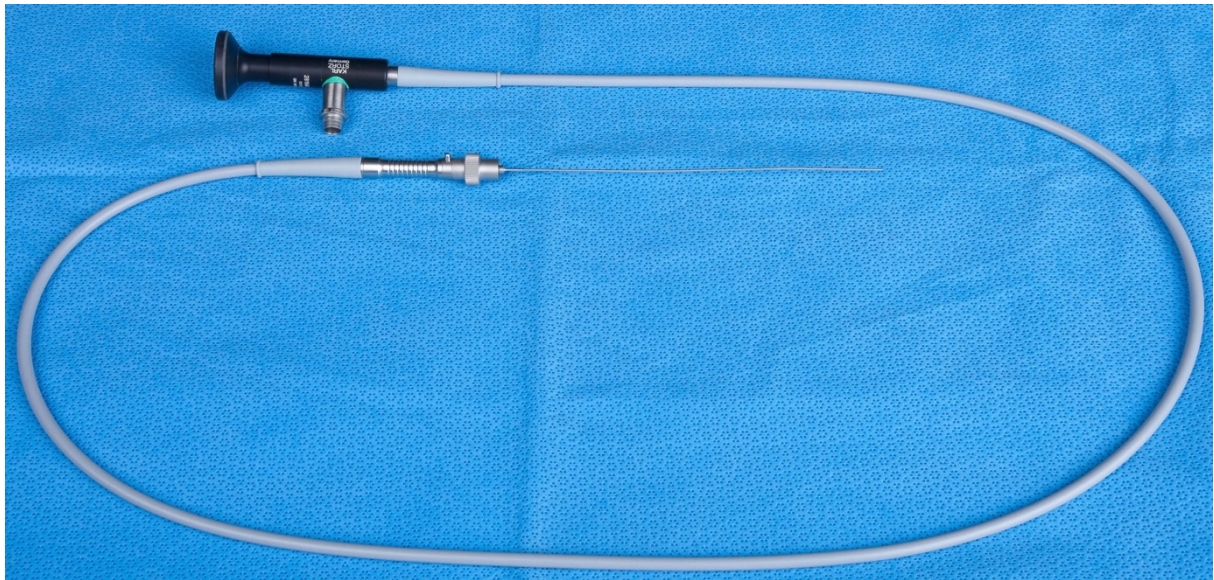


Abbildung 7: Das Shuntscope



Abbildung 8: Einsatz des Shuntscopes

3.6 Patientendaten

Die Erfassung der Patientendaten erfolgte je nach Klinik auf unterschiedlichen Wegen.

Die Daten der Patienten aus Greifswald und aus Hannover wurden aus einer vorhandenen, prospektiv geführten Datenbank entnommen. Diese Datenbank entstand über die Jahre durch Auswertung der Patientenakten und Analyse der dazugehörigen Operationsvideos. Zusätzlich erfolgte eine aufwändige Digitalisierung aller noch vorhanden und verwertbaren Operationsvideos von Videokassetten aus dem Zeitraum von 1993 – 2002. Im Anschluss an die Digitalisierung der Videokassetten wurden diese vollständig gesichtet und mit den Patientendaten der bereits vorliegenden prospektiven Datenbank verglichen. Durch die Sichtung dieser Operationsvideos konnten 8 weitere Videoanalysen in die Studie eingeschlossen werden.

Die Daten der Operationen des Universitätsklinikums in Mainz wurden vor Ort persönlich über das Dokumentations- und Verwaltungsprogramm SAP bezogen. Zu diesen Operationen lagen keine Videomaterialien vor. Hier beschränkte sich die Analyse auf die Auswertung der Patientenunterlagen.

Die Datenerfassung der Patienten, die am Universitätsklinikum des Saarlandes behandelt wurden, erfolgte ebenfalls über das Dokumentations- und Verwaltungsprogramm SAP-Frontend für Windows 720 Final Release. Hier erfolgt zu Beginn die Sichtung aller Operationsberichte, Patientenunterlagen sowie die Sichtungen aller vorhandenen Operationsvideos.

Durch eine Sichtung aller ETV-Operationsvideos von 2011-2018, konnten zusätzlich 6 Fälle erfasst werden, bei denen der Gebrauch des flexiblen Endoskops nicht im Operationsbericht vermerkt wurde. Von den 40 Prozeduren lagen in 37 Fällen verwertbares Videomaterial vor. Bei den übrigen 3 beschränkte sich die Analyse auf die Auswertung der Patientenunterlagen.

3.7 Analyse der Operationsvideos

Die Videos wurden vor allem im Hinblick auf entstandene Kontusionen im Bereich des Aquaeductus mesencephali gesichtet. Hier lag der Schwerpunkt in der Analyse der Videosequenzen, in denen der Eingang des Aquädukts vor der Intervention gezeigt wurde, um mögliche, bereits im Vorfeld bestehende, Kontusionen auszuschließen. Anschließend erfolgte die genaue Analyse der Sequenzen, in denen mittels des flexiblen Endoskops die Intervention am Aquädukt erfolgte. Hier wurde ein besonderes Augenmerk daraufgelegt, ob eine potenzielle Verletzung durch das Passieren des Aquädukts oder im Rahmen der Intervention, wie zum Beispiel einer Aquäduktoplastie, detektiert werden konnte. Im Anschluss an die Intervention oder die Inspektion des IV. Ventrikels wurde erneut beim Zurückziehen des Endoskops auf etwaige Kontusion geachtet. Zudem erfolgte unter den gleichen Gesichtspunkten eine Analyse des Fornix. Auch hier erfolgte die prä- bzw. postinterventionelle Analyse des Bildmaterials auf neu aufgetretenen Läsionen des Fornix. Neu objektivierbare Kontusionen wurden

dokumentiert und klassifiziert. Diese Klassifikation wurde bereits von Oertel *et al.* (Oertel et al., 2017) zur genaueren Betrachtung von Läsionen des Fornix etabliert. Diese Klassifikation soll ermöglichen, entstandene Kontusionen zu objektivieren und eine mögliche Korrelation zwischen postoperativen Komplikationen und dem Schweregrad der Kontusion zu untersuchen. Vor allem das postoperative Auftreten von Doppelbildern in Zusammenhang mit intraoperativen Läsionen wurde analysiert.

Tabelle 1: Klassifikation der Kontusionen nach Oertel et al. (Oertel et al., 2017)

Grad	Läsion
0	Keine Läsion
1	Kontusion mit erhaltener Oberflächenintegrität
2	Kontusion mit intaktem Ependym, aber beschädigter Oberflächenstruktur
3	Verlust der ependymalen Unversehrtheit und Verlust der anatomischen Strukturen

3.8 Auswertung

Die Erfassung und statistische Auswertung aller Daten erfolgte mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogramms Microsoft Excel (Version 16).

3.9 Ethik

Die Stellung eines Ethikantrages war bei der Fragestellung der vorliegenden Arbeit nicht notwendig.

4 Ergebnisse

4.1 Patientenkollektiv

Insgesamt wurden 96 Patienten in diese Studie eingeschlossen und 105 Prozeduren analysiert. 51% der Patienten waren männlich, 49% waren weiblich. Das Alter zum Zeitpunkt der Operation lag zwischen 1 Monat und 85 Jahren, der Mittelwert lag bei 40 Jahren. Bei 21 Patienten handelte es sich um Kinder, durchschnittlich 7,4 Jahre alt.

Alle Patienten litten unter einem Hydrocephalus unterschiedlicher Ätiologie. Als häufigste Ursache präsentierte sich die Aquäduktstenose, diese lag in 38,5% der Fälle vor. Weitere Ursachen waren Tumore (12,5%), ein isolierter IV. Ventrikel (9,4%), ein distaler Verschluss des IV. Ventrikel (6,3%), Zysten (7,3%) oder sonstige Ursachen in 26% der Fälle.

Die Patienten stellten sich initial mit einer Vielzahl unterschiedlicher Symptome vor. Zu den häufigsten Symptomen gehörten Kopfschmerzen (59%), mnestiche Störungen (27,6%) Übelkeit/Erbrechen (27,6%), sowie Konzentrations- (23,8%) und Gangstörungen (25,7%).

Eine Auflistung aller Symptome findet sich in *Abbildung 9*.

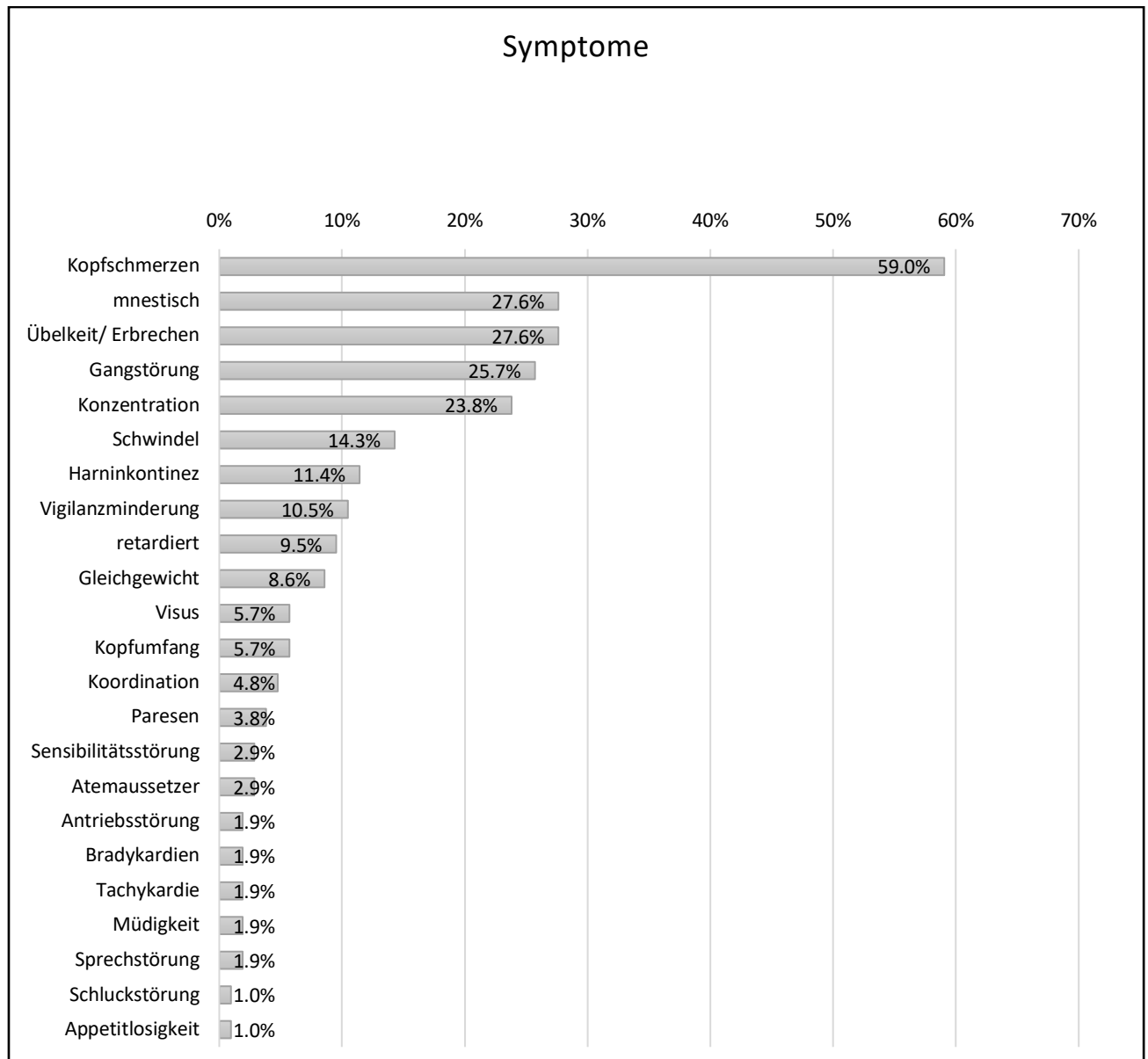


Abbildung 9: Symptome

4.2 Prozeduren

In allen 105 Operationen wurde das Aquädukt inspiziert, in 96 Fällen wurde hierfür die flexible Optik verwendet, in 9 (8,6%) Fällen kam ausschließlich das Shuntscope zum Einsatz. In 23,8% (n=25) der Fälle wurde zusätzlich eine Inspektion des IV. Ventrikels durchgeführt. Hier wurden vor allem die Foraminae Luschkae und das Foramen Magendie auf etwaige Liquorabflussstörungen untersucht. In 6 Fällen (5,7%) wurde eine transaquäduktale Biopsie durchgeführt. Eine Aquäduktoplastie ohne Stenteinlage (AP) wurde in 30,5% (n= 32) durchgeführt. Zu einer Aquäduktoplastie mit zusätzlicher Stenteinlage (APS) kam es in 15,2% (n=16) der Fälle. Begleitend wurde in 71,4% (n=75) der Fälle eine ETV bzw. in 3,8% (n=4) eine Septostomie durchgeführt.

4.3 Intraoperative Läsionen

In insgesamt 15,2% (n=16) der Fälle kam es intraoperativ zu einer Kontusion des Aquäduktes.

Nach Sichtung und Analyse des verwertbaren Videomaterials in 45 Fällen, konnten 12 Kontusionen des Aquäduktes näher klassifiziert und in einzelne Schweregrade nach Oertel *et al.* (Oertel et al., 2017) eingeteilt werden.

Tabelle 2: Schweregrade der Kontusionen am Aquädukt

Grad	Läsion	Anzahl
1	Kontusion mit erhaltener Oberflächenintegrität	9
2	Kontusion mit intaktem Ependym, aber beschädigter Oberflächenstruktur	3
3	Verlust der ependymalen Unversehrtheit und Verlust der anatomischen Strukturen	0

Eine beispielhafte Darstellung von Kontusionen 1. Grades findet sich in *Abbildung 10*. Dabei werden sechs verschiedene Kontusionen (A-E) des Aquäduktes dargestellt, bei denen die Oberflächenintegrität unversehrt ist und lediglich eine leichtgradige Läsion vorliegt.

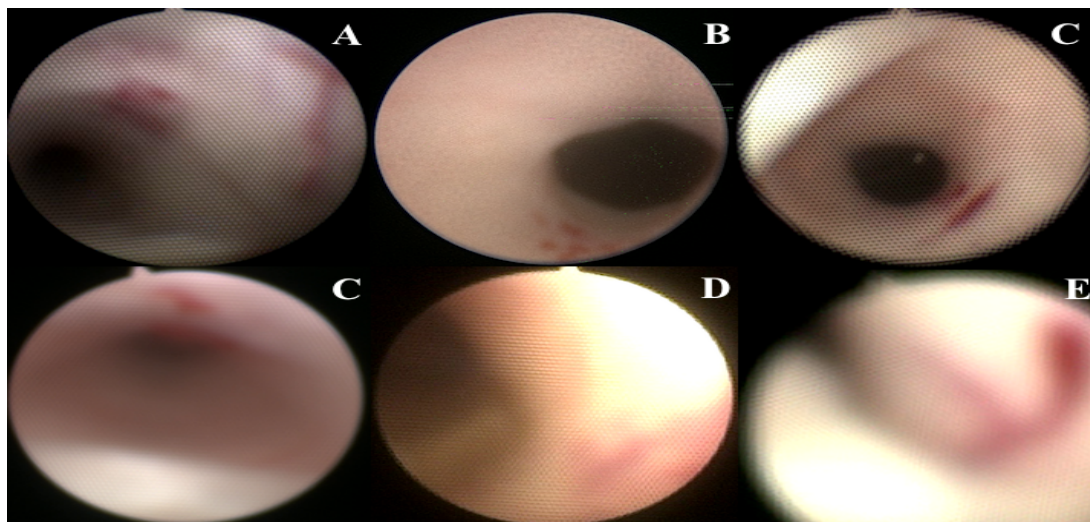


Abbildung 10: Exemplarische Darstellung von Kontusionen 1. Grades am Aquädukt (A-E)

In *Abbildung 11* sind beispielhaft intraoperative Aufnahmen einer Kontusion 2. Grades am Dach des Aquäduktes zu sehen. Hier liegt definitionsgemäß auch eine Verletzung der Oberflächenintegrität vor, bei noch erhaltener anatomischer Struktur. Zur besseren Veranschaulichung der Läsion sowie Lokalisation, erfolgt die Darstellung in einer Bildserie während dem Zurückziehen des Endoskops.

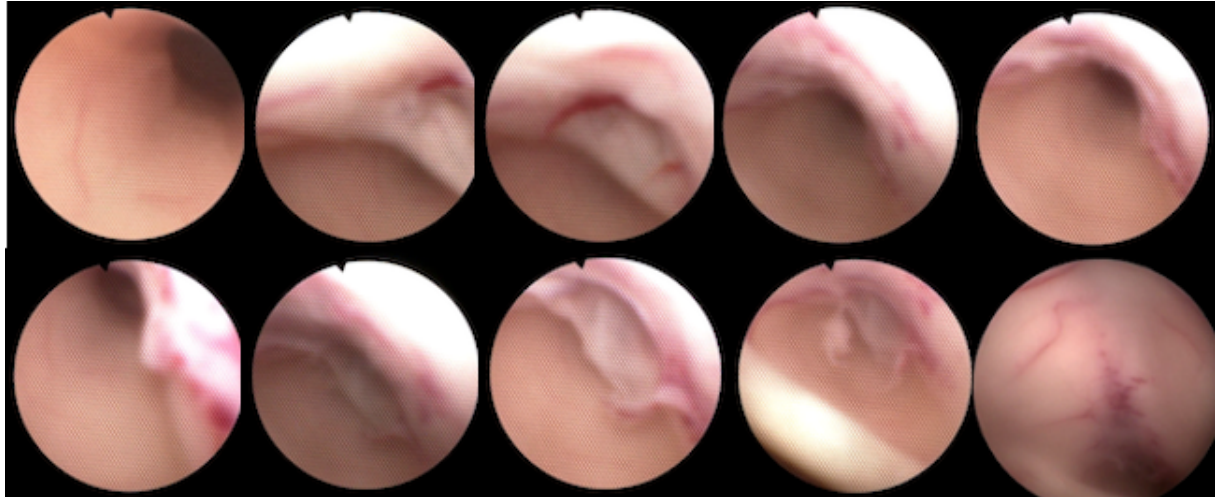


Abbildung 11: Bildserie mit einer Kontusion 2. Grades am Dach des Aquäduktes

4.4 Postoperatives Outcome

Das postoperative Follow-up lag zwischen 1 Woche und 82 Monaten, durchschnittlich bei 18,2 Monaten.

Der klinische Zustand der Patienten besserte sich in 61,9% (n=65) der Fälle, davon zeigten sich 29,5% (n=31) nach der Operation komplett beschwerdefrei. Mit einer unveränderten Klinik postoperativ präsentierten sich 30,5% (n=32). Eine Zustandsverschlechterung fand sich bei 7,6% (n=8) der Fälle.

Es war bei 41% (n=43) eine Verkleinerung der Ventrikel zu sehen, in 54,3% (n=57) stellte sich die Ventrikelgröße unverändert dar und in 4,8% (n=5) kam es zu einer Zunahme der Größe. Bei 30,5% (n=32) der Patienten bestand postoperativ eine Shuntpflichtigkeit. So kam es bei diesen Patienten entweder zu einer Fortführung der präoperativ bereits bestandenen Shunttherapie oder es bestand im postoperativen Follow-up die Indikation zur Shuntanlage.

Zu postoperativen Komplikationen kam es in 18,1% (n=19) der Fälle. Zu den häufigsten Komplikationen zählten die Ausbildung einer Hirndrucksymptomatik (4,8%), einer Meningitis (6,7%) oder das Auftreten von Doppelbildern in insgesamt 8 Fällen (7,6%). In jeweils 1,9% (n=2) der Fälle kam es zur Ausbildung einer Liquorfistel, zu einer postoperativen Infektion oder zu einem Epiduralhämatom.

4.4.1 Doppelbilder als Komplikation

Bei dem Symptom der Doppelbilder erfolgte eine genauere Einteilung in das transiente (4,8%) oder permanente (2,9%) Auftreten der Doppelbilder und nach ihrer Ätiologie. In 2 Fällen war eine transiente Parese des Nervus (N) trochlearis ursächlich für die Doppelbilder, in insgesamt 3 Fällen kam es zu einer Parese des N. oculomotorius und in 3 Fällen kam es zu Doppelbildern durch dyskonjugierte Augenbewegungen ohne eine objektivierbare Hirnnervenparese. Der genaue Zusammenhang ist in *Abbildung 12* dargestellt.

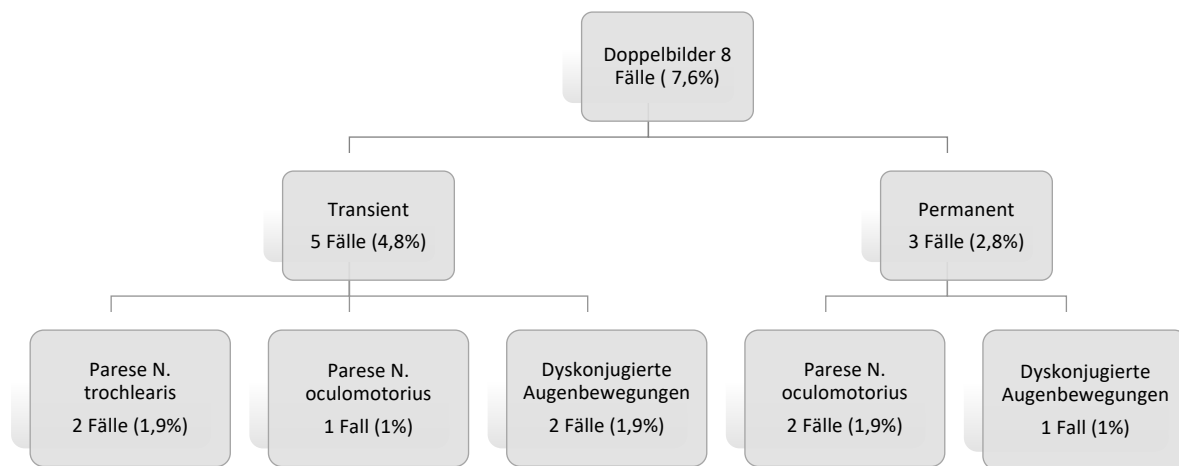


Abbildung 12: Komplikation Doppelbilder

4.4.2 Zusammenhang zwischen Kontusion und Doppelbildern

In 16 Fällen konnten Kontusionen am Aquädukt nachgewiesen werden. Bei 5 Patienten aus dieser Kohorte traten postoperativ Doppelbilder auf. Es manifestierten sich dementsprechend im Rahmen einer Kontusion des Aquäduktes in 31,3% der Fälle postoperativ Doppelbilder. 68,7% der Patienten entwickelten keine Beschwerden, trotz sichtbarer Kontusion. Bei einer dieser Kontusionen handelte es sich um eine Kontusion 2. Grades.

Bei 8 Patienten manifestierten sich postoperativ Doppelbilder. In 62,5% (n=5) der Fälle waren hierbei Läsionen am Aquädukt intraoperativ sichtbar. In 37,5% (n=3) der Fälle kam es trotz fehlender Kontusion am Aquädukt zu postoperativen Beschwerden. Eine genauere Darstellung der Patienten findet sich in *Tabelle 3*. Tabelle 3: Patienten mit Doppelbildern postoperativ

Tabelle 3: Patienten mit Doppelbildern postoperativ

Alter	Geschlecht	Diagnose	Eingriff	Kontusion	Doppelbilder
42	m	HC bei AS und Verschluss der Foraminae Luschkae	Inspektion Aquädukt und IV. Ventrikel + ETV	Ja	Transient bei Parese des N. oculomotorius
62	w	HC bei AS	Inspektion Aquädukt und IV. Ventrikel + ETV	Ja	Permanent bei Parese des N. oculomotorius
80	w	HC bei AS	Inspektion Aquädukt + ETV	Ja (Grad 2)	Permanent bei Parese des N. oculomotorius
24	m	HC bei AS	APS + ETV	Nein	Transient bei diskonjugierten Augenbewegungen
25	m	HC unbekannter Ätiologie	Inspektion Aquädukt + ETV	Nein	Transient bei diskonjugierten Augenbewegungen
40	m	HC bei AS	APS + ETV	Ja	Permanent bei diskonjugierten Augenbewegungen
13	w	HC bei AS	AP + ETV	Ja	Transient bei Parese des N. trochlearis
26	w	HC bei AS bei Arnold - Chiari - Malformation	Inspektion Aquädukt + ETV	Nein	Transient bei Parese des N. trochlearis

4.5 Analyse einzelner Subgruppen

4.5.1 Aquäduktstenose

Die häufigste Ätiologie des Hydrocephalus im Rahmen dieser Studie war die Aquäduktstenose. Insgesamt 38,5% (n=37) der Patienten litten an einer Aquäduktstenose, es kam zu 41 Eingriffen. Das Alter der Patienten lag zwischen 5 Monaten und 85 Jahren, der Mittelwert bei 40,4 Jahren. 59,5% (n=22) der Patienten waren männlich und 40,5% (n=15) waren weiblich.

Symptomatisch wurden die Patienten häufig durch Kopfschmerzen (70,7%), mnestiche Störungen (46,3%), Konzentrations- (31,7%) und Gangstörungen (26,8%) oder Übelkeit/Erbrechen in 19,5% der Fälle.

Eine transaquäduktale Inspektion des IV. Ventrikels wurde bei 19,5% (n=8) der Eingriffe durchgeführt. Therapeutisch wurde in 61% (n=25) eine Aquäduktoplastie ohne Stenteinlage durchgeführt, 3 Patienten erhielten zusätzlich eine Stenteinlage (7,3%). In 68,3% (n=28) wurden die Patienten zusätzlich durch eine ETV therapiert.

In 22,0% (n=9) der Fälle konnte eine Kontusion am Aquädukt dokumentiert werden. Postoperative Komplikationen traten bei 19,5% (n=8) der Operationen auf. Bei 6 Patienten (14,7%) traten postoperativ Doppelbilder auf, viermal (9,8%) waren diese transient und zweimal permanent (4,9%). Bei 3 Patienten waren diese zurückzuführen auf transiente Paresen des N. trochlearis (n=2) oder des N. oculomotorius (n=1). Andere Komplikationen waren das Auftreten eines Epiduralhämatoms (EDH) in 2 Fällen (4,9%) oder einer Hirndrucksymptomatik in einem Fall (2,4%).

Das postoperative Follow-up lag bei durchschnittlich 21,9 Monaten (1 Woche – 71 Monate). Eine klinische Besserung war nach 58,5% (n=24) der Eingriffe zu beobachten, davon zeigten die Patienten nach 11 Eingriffen (26,8%) postoperativ keinerlei Beschwerden. Klinisch unverändert präsentierten sich 39% (n=16), eine Verschlechterung trat bei 2,4% (n=1) der Fälle ein. Nach 51,2% (n=21) der Eingriffe zeigte sich die Ventrikelweite in der postoperativen Bildgebung rückläufig, bei 46,3% (n=19) unverändert und bei 2,4% (n=1) kam es zu einer Zunahme.

4.5.2 Isolierter IV. Ventrikel

Ein isolierter IV. Ventrikel wurde bei 9 Patienten diagnostiziert, durchgeführt wurden 12 Eingriffe. Das durchschnittliche Patientenalter lag bei 23,3 Jahren (7 Monate – 61 Jahre). Von 9 Patienten waren 6 (66,7%) männlich und 3 weiblich (33,3%). Zu den häufigsten Symptomen präoperativ gehörten Kopfschmerzen, Übelkeit/Erbrechen, Vigilanzminderung und Apnoephasen in je 25% (n=3) der Fälle. Therapiert wurden die Patienten in 75% (n=9) durch eine Aquäduktoplastie mit gleichzeitiger Stenteinlage. Eine Aquäduktoplastie ohne Stenteinlage wurde bei 25% (n=3) der Eingriffe durchgeführt.

Eine ETV wurde in 33,3% (n=4) begleitend durchgeführt. In 50% (n=6) der Operationen kam das flexible Endoskop zum Einsatz, in 75% (n=9) der Eingriffe das Shuntscope.

Das postoperative Follow-up lag zwischen 1 – 83 Monaten, der Mittelwert lag bei 24,7 Monaten. Zu postoperativen Komplikationen kam es nach 2 Eingriffen (16,7%), bei beiden kam es im postoperativen Verlauf zur Ausbildung einer Hirndrucksymptomatik. Gleichzeitig kam es in einem Fall zu einer Infektion und im anderen zu einer Liquorfistel (je 8,3%). Zu einer Läsion am Aquädukt kam es bei 16,7% der Fälle, welche beide als Kontusionen 2. Grades graduiert wurden. Das postoperative Auftreten von Doppelbildern konnte bei keinem Patienten objektiviert werden.

Eine klinische Besserung imponierte nach 58,3% (n=7) der Eingriffe. Bei insgesamt 16,7% (n=2) zeigte sich ein unveränderter klinischer Status, während sich nach 25% (n=3) der Prozeduren der Zustand verschlechterte. Radiologisch konnte in nur 2 Fällen (16,7%) ein Rückgang der Ventrikelweite festgestellt werden. Bei 66,7% (n=8) erbrachte der Eingriff keine objektivierbare Abnahme der Ventrikelweite, in 16,7% (n=2) zeigte sich eine Progredienz. Bei total 83,3% (n=10) der Eingriffe bestand bereits präoperativ eine Shuntpflicht. Im späteren postoperativen Verlauf lag diese bei 91,7% (n=11). Bei 4 Fällen (33,3%) wurde bei Shuntversagen eine Re-Aquäduktoplastie mit gleichzeitiger Stenteinlage notwendig.

4.5.3 Aquäduktoplastie ohne Stenteinlage

Die AP wurde in 32 Eingriffen bei 29 Patienten durchgeführt. Das Alter der Patienten lag zwischen 5 Monaten und 62 Jahren, der Mittelwert lag bei 31,8 Jahren. Eine isolierte Aquäduktstenose lag bei 75,9% (n=22) der Patienten vor, bei 10,3% (n=3) ein isolierter IV. Ventrikel, bei 3,4% (n=1) ein Tumor und bei weiteren 3 Patienten lagen andere Ätiologien des Hydrocephalus vor. Zusätzlich zu der Aquäduktoplastie wurde in 18,8% (n=6) eine Inspektion des IV. Ventrikels durchgeführt. In 53,1% (n=17) wurde im selben Eingriff eine ETV und in 3,1% (n=1) eine Septostomie durchgeführt. Kontusionen am Aquädukt wurden in 15,6% (n=5) beobachtet. Das postoperative Follow-up betrug durchschnittlich 19,3 Monate. In 21,9% (n=7) wurden postoperativ Komplikationen beschrieben. Nach 2 Eingriffen (6,3%) traten transiente Doppelbilder auf. In einem Fall (3,1%) waren diese auf eine Parese des N. trochlearis zurückzuführen, im anderen Fall auf dyskonjugierte Augenbewegungen. Zu permanenten Doppelbildern kam es ebenfalls, durch dyskonjugierte Augenbewegungen, nach einem Eingriff (3,1%). Weitere Komplikationen waren die Ausbildungen eines EDH in 2 Fällen sowie die Ausbildung einer Liquorfistel und einer Meningitis in je einem Fall (3,1%).

Zu einer klinischen Besserung kam es nach 56,3% (n=18) der Eingriffe, 31,3% (n=10) davon präsentierten sich postoperativ beschwerdefrei. Bei 37,5% (n=12) trat keine Verbesserung des Zustandes ein und bei 6,3% (n=2) verschlechterte sich der Zustand postoperativ. Radiologisch zeigte sich in 50% (n=16) ein Rückgang der Ventrikelweite, in 43,8% (n=14) war diese unverändert und in 2 Fällen (6,3%) kam es zu einer Größenzunahme. In 25% (n=8) der Fälle bestand die Indikation der

Fortführung der bereits etablierten Shunttherapie oder es bedurfte einer Shunttherapie im weiteren Verlauf.

4.5.4 Aquäduktoplastie mit Stenteinlage

Die Aquäduktoplastie mit Stenteinlage wurde 16-mal an 13 Patienten durchgeführt. Das Alter der Patienten lag im Mittelwert bei 25,4 Jahren (7 Monate – 83 Jahren). 46,2% (n=6) der Patienten waren männlich, 53,8% (n=7) waren weiblich. Die meisten Patienten dieser Gruppe litten an einem isolierten IV. Ventrikel, nämlich 53,8% (n=7). In je 23,1% (n=3) waren eine Aquäduktstenose oder eine Raumforderung ursächlich für die Beschwerden. Eine ETV wurde bei 50% (n=8), eine Septostomie, Biopsie und Inspektion des IV. Ventrikels in je 6,3% (n=1) der Operationen zusätzlich durchgeführt. Bei 10 Operationen wurde das Shuntscope eingesetzt. In 3 Fällen zusätzlich zu der flexiblen Optik, in 7 Operation ohne den Gebrauch des flexiblen Endoskops. Durch den Gebrauch des Shuntsopes konnte der Stent sicher über das Aquädukt in den IV. Ventrikel eingebracht werden und gleichzeitig intraoperativ die korrekte Lage des Stents überprüft werden.

Zu einer Läsion am Aquädukt kam es in 18,8% (n=3) der Fälle. Diese entstanden nach der Inspektion des Aquäduktes oder der Aquäduktoplastie noch vor der Stenteinlage. Nach der Stenteinlage war es, beim Zurückziehen des Endoskops, nicht mehr möglich eine Beurteilung des Aquädukts vorzunehmen. Das postoperative Follow-up lag durchschnittlich bei 25,8 Monaten (1 – 65 Monate). Nach 2 Eingriffen (12,5%) kam es zu postoperativen Komplikationen. Beide Male bildete sich im Verlauf eine Hirndrucksymptomatik aus. In einem Fall lag zusätzlich eine Meningitis vor, beim anderen eine Infektion und Liquorfistel. Zu einer Besserung der Klinik kam es nach 81,3% (n=13) der Prozeduren, davon waren nach 4 Eingriffen (25%) die Patienten postoperativ beschwerdefrei. Nach einer Operation (6,3%) kam es zu keiner Veränderung der Symptomatik und bei 2 Patienten (12,5%) zu einer Verschlechterung.

Ein radiologisch objektivierbarer Rückgang der Ventrikelweite zeigte sich in hingegen nur nach 50% (n=8) der Eingriffe. In 43,8% (n=7) konnte kein Rückgang festgestellt werden und bei 6,3% (n=1) zeigte sich eine Zunahme der Ventrikelgröße. Die schon präoperativ bestandene Shunttherapie wurde bei allen Patienten postoperativ weitergeführt. Insgesamt bestand bei 68,8% (n=11) der Eingriffe postoperativ eine Shuntpflichtigkeit. In 3 Fällen (18,8%) kam es im Verlauf, bei Shunt Dysfunktion, zu einer Re-Aquäduktoplastie mit erneuter Stenteinlage über das Aquädukt in den IV. Ventrikel.

4.5.5 Inspektion des IV. Ventrikels

Eine Inspektion des IV. Ventrikels wurde in 25 Operationen bei 24 Patienten durchgeführt. Die Patienten waren zum Zeitpunkt der Operation zwischen 7 Monaten und 85 Jahren alt, der Mittelwert lag

bei 51,5 Jahren. Bei jeweils 29,2% (n=7) war eine Aquäduktstenose und in 25% (n=6) ein Verschluss distal des IV. Ventrikels ursächlich für die Ausbildung des Hydrocephalus. Bei je 8,3% (n=2) lag ein isolierter IV. Ventrikel, eine Zyste oder ein Tumor vor. Bei 5 Patienten (20,8%) war die Ätiologie des Hydrocephalus entweder posthämorrhagisch, infektiös oder unklar. Die 24 Patienten präsentierten sich mit den bereits im Vorfeld beschriebenen Symptomen, wie Kopfschmerzen (40%), Gangstörungen (44%), menstische Störungen (32%), Schwindel (28%) oder Übelkeit/Erbrechen (16%). Zusätzlich zur Inspektion des Aquäduktes und des IV. Ventrikels wurden in 24% (n=6) der Eingriffe zusätzlich eine Aquäduktoplastie ohne Stenteinlage durchgeführt. Bei je einer Operation (4%) kam es zu einer Aquäduktoplastie mit Stenteinlage oder einer Tumorbiopsie. Eine begleitende ETV wurde in 84% (n=21) der Eingriffe durchgeführt. Verwertbares Videomaterial konnte von 96% (n=24) der Operationen gesichtet werden. Bei 8 Eingriffen (32%) kam es zu Kontusionen am Aquädukt, alle 8 wurden als Läsion 1. Grades klassifiziert.

Bei der Inspektion des IV. Ventrikels wurde vor allem auf mögliche Liquorzirkulationsstörungen geachtet, die etwa durch eine Okklusion des Foramen Magendie oder der Foraminae Luschkae auftreten können. So konnte durch die Inspektion des IV. Ventrikels in 6 Fällen ein Verschluss distal des IV. Ventrikels bestätigt werden. In diesen 6 Fällen zeigte sich bei 33,3% (n=2) ein beidseitiger membranöser Verschluss der Foraminae Luschkae, bei 33,3% (n=2) ein einseitiger Verschluss. Das Foramen Magendie zeigte in einem Fall (16,7%) eine Einengung und in einem weiteren Fall (16,7%) einen kompletten Verschluss. Bei 2 der 6 Fälle (33,3%) konnte im Vorfeld radiologisch eine Okklusion der Foraminae Luschkae nicht mit völliger Sicherheit diagnostiziert werden. Bei 2 weiteren der 6 Fälle (33,3%) war eine Fehlbildung Ursache des Verschlusses, jeweils aufgrund einer Dandy-Walker-Malformation oder einer Arnold-Chiari-Malformation.

4.5.6 Kinder

Insgesamt 21 Patienten waren zum Zeitpunkt der insgesamt 26 Eingriffe unter 18 Jahre alt. Das Durchschnittsalter lag bei 7,4 Jahren. 47,6% (n=10) der Patienten waren männlich, 52,4% (n=11) weiblich. Bei 23,8% (n=5) der Patienten war eine Aquäduktstenose Ursache des Hydrocephalus, in jeweils 14,3% (n=3) lag ein tumoröser Prozess oder eine zystische Raumforderung vor, bei 19% (n=4) ein isolierter IV. Ventrikel und eine angeborene Fehlbildung war bei 28,6% (n=6) ursächlich für die Entwicklung des HC.

Symptomatisch wurden die Kinder am häufigsten, durch Übelkeit/Erbrechen (53,8%), an Kopfschmerzen litten 38,5%, zu einer Einschränkung der Vigilanz kam es in 4 Fällen (15,4%), in 3 Fällen (11,5%) kam es zu Apnoephasen und in (26,9%) lag eine geistige Retardierung vor.

Zusätzlich zur Inspektion des Aquäduktes wurde bei 7,7% (n=2) eine Inspektion des IV. Ventrikels vorgenommen. Bei 34,6% (n=9) wurde eine APS durchgeführt, wobei bei einem Eingriff die transaquäduktale Platzierung eines Stents nicht möglich gewesen war. Bei 30,8% (n=8) der Eingriffe

wurde eine AP durchgeführt und in 7,7% (n=2) wurde eine Raumforderung biopsiert. Zu einer gleichzeitig durchgeführten ETV kam es in 61,5% (n=16) und einer Septostomie in 7,7% (n=2).

Intraoperativ kam es in 5 Fällen (19,2%) zu sichtbaren Kontusionen am Aquädukt, von denen 2 als Läsion 2. Grades klassifiziert wurden.

Das postoperative Follow-up lag zwischen 1 Woche und 65 Monaten, durchschnittlich bei 17,8 Monaten. Postoperative Komplikationen traten nach 23,1% (n=6) der Eingriffe auf. Es kam jeweils in 7,7% (n=2) zu einer Hirndrucksymptomatik, einer Meningitis oder einer Liquorfistel. In einem Fall (3,8%) kam es postoperativ transient zu Doppelbildern aufgrund einer Parese des N. trochlearis. Zu einer Infektion und einem EDH kam es ebenfalls bei je einem Fall (3,8%). Zu einer Verbesserung der klinischen Symptomatik kam es in 57,7% (n=15) der Fälle, davon kam es nach 30,8% (n=8) Operationen zu einer Beschwerdefreiheit postoperativ. In 30,8% (n=8) der Fälle zeigte sich eine unveränderte Klinik und in 11,5% (n=3) kam es zu einer Zustandsverschlechterung. Radiologisch konnte in 42,3% (n=11) der Fälle ein Rückgang der Ventrikelgröße festgestellt werden, in 46,2% (n=12) zeigte sich eine unveränderte Ventrikelweite. In 11,5% (n=3) Fällen kam es zu einer Größenprogredienz. Bei 61,5% (n=16) bestand im postoperativen Verlauf eine Shuntpflichtigkeit.

4.6 Kasuistik

Der 42-jährige männliche Patient stellte sich notfallmäßig mit stärksten Kopfschmerzen und Schwindel vor. Er litt an einem seit langem bekannten Hydrocephalus mit nun jedoch erheblicher klinischer Symptomatik. In der Magnetresonanztomographie (MRT) sowie präoperativen Computertomographie (CT) (Abb. 13A) fand sich eine hydrocephale Konfiguration der Ventrikel bei engen, aber noch abgrenzbaren, apikalen Zisternen. Es bestand der Verdacht einer Aquäduktstenose bei Malformation der hinteren Schädelgrube.

Es erfolgte die Operation in Rückenlagerung in leichter Anteflexion des Kopfes und Mayfieldfixierung. Die Bohrlochtrepantation erfolgt auf Höhe der Kranznaht 2cm paramedian links. Nach Durainzision wölbte sich massiv Hirnkortex durch die Inzision bei hohem Druck (Medianwert 20cm H₂O). Nach Verschieben des Arbeitsschafes und des Trokars, erfolgte der Wechsel auf Arbeitsoptik, unter Sicht auf das Foramen Monroi (Abb. 13B). Nach Darstellung der Landmarken am Boden des III. Ventrikels (Abb. 13C) erfolgte die komplikationslose ETV (Abb. 13D). Nach erfolgreichem Wechsel auf die flexible Optik wurde die Inspektion des Aquäduktes durchgeführt, anschließend wurde die Optik in den IV. Ventrikel vorgeschoben. Das Foramen Magendie war offen (Abb. 13H). Nach Inspektion der basalen Zisterne (Abb. 13I), Zurückziehen der flexiblen Optik aus dem IV. Ventrikel durch das Aquädukt. Es fanden sich zwei Kontusionen (Grad 1) am Aquädukt (Abb. 13J-S). Ansonsten kam es zu keinen intraoperativen Komplikationen. Postoperativ kam es bei dem Patienten zu einer Anisokorie rechts > links sowie dem Auftreten von Doppelbildern bei einer rechtsseitigen Oculomotoriusparese. In einer ambulanten Kontrolluntersuchung 14 Tage postoperativ bestand weiterhin unverändert die Oculomotoriusparese bei

ansonsten unauffälligem Hirnnervenstatus. Vor allem bei Belastung, wie beispielsweise beim Lesen oder bei schnellen Augenbewegungen, klagte der Patient über Fokusstörungen. Knapp 3 Monate später kam es bei dem Patienten lediglich noch bei extremen Blickwinkeln zum Auftreten von Doppelbildern. In der Untersuchung bestand eine minimale Anisokorie bei ansonsten unauffälliger Okulomotorik. Weitere 6 Monate später bestanden gelegentlich noch leichte Doppelbilder, welche sich im Verlauf ebenfalls regredient zeigten.



Abbildung 13: Intraoperative Aufnahmen eines 42-jährigen Patienten mit bekanntem HC

A: Präoperatives cCT mit Zeichen einer hydrocephalen Konfiguration. B: Foramen Monroi. C: Boden des III. Ventrikels. D: Boden des III. Ventrikels nach erfolgter ETV. E-G: Sicht auf das Aquädukt mit der flexiblen Optik. H: Foramen Magendie (offen). I: Subarachnoidalraum nach Passage des Foramen Magendie. J-S: Zurückziehen der flexiblen Optik aus dem IV. Ventrikel sowie Darstellung 2er Kontusionen 1. Grades im Aquädukt (zur besseren Veranschaulichung als Bildserie dargestellt).

5 Diskussion

Seit Dandy 1920 den ersten neuroendoskopischen Eingriff durchführte, kam es im folgenden Jahrhundert zu einem stetigen Zugewinn an neuen Operationsmöglichkeiten, durch neue Techniken und Equipment. In der heutigen Zeit sind viele intraventrikuläre Operationen zum neurochirurgischen Standard geworden (Schroeder et al., 2008). Jedoch wird in der Neurochirurgie dazu geneigt, das Aquädukt als unantastbaren Liquorkanal zu betrachten. Nur wenige Neurochirurgen, die mit den flexiblen Endoskopen vertraut sind und ihre außerordentliche Vielseitigkeit nutzen, erreichen die vollständige Kontrolle über alle Ventrikelhöhlen (Longatti et al., 2007). Ein Ziel der vorliegenden Arbeit war es transaquäduktale Prozeduren unter Zuhilfenahme des flexiblen Endoskops an einem größeren Patientenkollektiv retrospektiv zu analysieren. Es gibt eine Vielzahl von möglichen Eingriffen, bei denen das flexible Endoskop zum Einsatz kommen kann. In dieser Arbeit wurden Daten über Inspektion des IV. Ventrikels, AP, APS und Biopsien gesammelt und analysiert.

Ein spezieller Fokus wurde vor allem auf die postoperativen Komplikationen gelegt.

Als bereits gut dokumentierte Komplikationen der transaquäduktalen Prozeduren sind transiente bzw. dauerhafte dyskonjugierte Augenbewegungen, Hirnnervenparesen sowie ein mögliches Parinaud Syndrom beschrieben (da Silva et al., 2007; Ersahin, 2007; Torres-Corzo et al., 2014) (Fritsch and Schroeder, 2013; Longatti et al., 2005; Miki et al., 2005; Schroeder and Gaab, 1999). Durch die Analyse der Operationsvideos sowie des postoperativen Follow-ups der Patienten wurde so ein möglicher Zusammenhang zwischen einer Komplikation und einer sichtbaren Läsion untersucht.

5.1 Nutzen der unterschiedlichen transaquäduktalen Eingriffe

5.1.1 Inspektion des IV. Ventrikels

Eine Inspektion des IV. Ventrikels mit Hilfe des flexiblen Endoskops kann durchgeführt werden, um die Durchgängigkeit des Foramen Magendie und der beiden Foramina Luschkae zu beurteilen. Die Durchgängigkeit dieser Auslassöffnungen des IV. Ventrikels kann einen Einfluss auf eine mögliche Therapie nehmen. Um gute Ergebnisse durch eine ETV zu erzielen, sollte der Nachweis einer Obstruktion der Liquorzirkulation vorliegen (Di Vincenzo et al., 2014; Lipina et al., 2008). Da der radiologische Nachweis einer Obstruktion, besonders distal des IV. Ventrikels, kompliziert zu erbringen sein kann, bietet die intraoperative Inspektion des IV. Ventrikels eine alternative Möglichkeit zum Nachweis dieser (Oertel et al., 2010).

Auch Karachi *et al.* (Karachi et al., 2003) beschreiben die Analyse des Liquorflusses in MR-Bildgebungssequenzen im IV. Ventrikel auf Grund seiner Größe sowie durch die bestehenden 3 Ausgänge als kompliziert und unzuverlässig. Diese Technik sei vor allem wirksam und erprobt in

kleineren Strukturen wie dem Aquädukt. Torres *et al.* (Torres-Corzo et al., 2014) stellten fest, dass zur Behandlung eines komplexen Hydrocephalus, die Inspektion des Ventrikelsystems sowie der basalen Zisternen notwendig sei, um die pathophysiologischen Prozesse genauer verstehen zu können. Durch die Nutzung des flexiblen Endoskops erhalte man einen größeren Bewegungsspielraum und könne somit, durch die bessere Navigation durch die Ventrikel, mehr Bereiche visualisieren, ohne dass neue Eintrittspunkte erforderlich seien. In der vorliegenden Arbeit konnte bei 6 Patienten ein Verschluss distal des IV. Ventrikels diagnostiziert werden. Ursächlich waren entweder ein membranöser Verschluss eines oder beider Foramina Luschkae (n=4) oder eine Okklusion des Foramen Magendie (n=2). Bei 2 Patienten (33,3%) war im Vorfeld die Okklusion der Foramina Luschkae radiologisch nicht sicher zu diagnostizieren gewesen. In einer anderen Studie zeigte sich ein vergleichbares Resultat. Hier lag lediglich eine Sensitivität von 62,5% im Nachweis der obstruktiven Komponente des HC im cine-MRI vor (Longatti et al., 2009).

Ein weiterer möglicher therapeutischer Nutzen der transaquäduktalen Inspektion wurde durch Prajsnar-Borak *et al.* (Prajsnar-Borak et al., 2023b) aufgezeigt. In 63 transaquäduktalen Shuntanlagen unter Zuhilfenahme des Shuntsopes konnte hier aufgezeigt werden, dass diese Technik erheblich dazu beitragen konnte, eine zufriedenstellende Shuntpositionierung zu erreichen. Die Technik lieferte einerseits wichtige Informationen über die intraventrikuläre Anatomie und half andererseits maßgeblich in der endgültigen Positionierung des Stents. Eine häufigere Nutzung dieser Technik wird seitens der Autoren zur Therapie komplexer HC bei Erwachsenen empfohlen.

Auch bei Shuntanlagen bei Kindern konnte im Rahmen einer Studie bestehend aus 65 Prozeduren gute Resultate bezüglich einer exakten Stentlage durch den Gebrauch des Shuntsopes erreicht werden (Prajsnar-Borak et al., 2023a)

Eine zusätzliche transaquäduktale Inspektion des IV. Ventrikels sowie der basalen Zisternen kann also wohlmöglich im Einzelfall wichtige Informationen bezüglich der Ätiologie des obstruktiven Hydrocephalus liefern und so auch einen Einfluss auf etwaige therapeutische Eingriffe nehmen. Die Indikation sollte immer im Einzelfall, nach Abwägen der Risiken, gestellt werden. Besonders bei kontinuierlicher Verbesserung der Qualität radiologischer Untersuchungen bedarf es in Zukunft gegebenenfalls keiner invasiven Diagnostik mehr zur einwandfreien Beurteilung möglicher Abflusshindernisse des IV. Ventrikels.

5.1.2 Aquäduktoplastie mit und ohne Stent

Da es in der Neuroendoskopie den Einsatz eines Shuntsystems, aufgrund der hohen Komplikationsraten im Langzeit-Follow-up, zu vermeiden gilt, existieren verschiedene Therapiemöglichkeiten eines obstruktiven Hydrocephalus (Schroeder et al., 2008). Die ETV wurde in der Behandlung des obstruktiven Hydrocephalus, verursacht durch eine Aquäduktstenose, durch zahlreiche Studien als

sichere und durchführbare Operation validiert (Chen et al., 2013; Di Vincenzo et al., 2014; Geng et al., 2015). Oertel *et al.* (Oertel et al., 2010; Prajsnar-Borak et al., 2024) bezeichnen die ETV als etablierten Goldstandard zur Behandlung eines nicht kommunizierenden Hydrozephalus.

Eine alternative Behandlungsmöglichkeit des obstruktiven Hydrozephalus bei kurzstreckiger Aquäduktstenose stellt die Aquäduktoplastie dar. Zu dem Therapieverfahren der Aquäduktoplastie gibt es bis heute mehrere Studien, die jedoch nicht alle zu einem einheitlichen Ergebnis bezüglich Indikation und Erfolgsaussichten im Kurz-/ sowie Langzeit-Follow-up kamen. Einige Studien beschreiben die Aquäduktoplastie als sichere und in indizierten Fällen als erfolgreiche Methode zur Behandlung, vor allem kurzstreckiger Aquäduktstenosen (Chen et al., 2013; Miki et al., 2005). Andere Studien sehen die AP aufgrund der hohen Gefahr von Restenosiierungen allenfalls als Reservetherapie und damit den Patienten vorbehalten, bei denen die Durchführung einer ETV aus verschiedenen Gründen nicht möglich wäre (Marx et al., 2018; Schroeder et al., 2012).

Auch wenn die ETV als die etablierte Operationstechnik gilt, berichteten schon Schroeder und Gaab (Schroeder and Gaab, 1999) über die Vorteile eine AP gegenüber einer ETV:

1. Die Aquäduktoplastie stellt die physiologische Liquorzirkulation wieder her.
2. Die Aquäduktoplastie stellt im Gegensatz zur ETV kein Risiko für die Verletzung großer Blutgefäße dar.
3. Arachnoide Verwachsungen, die zu einer Beeinträchtigung der Liquorzirkulation führen könnten, treten nicht um das Aquädukt herum auf, jedoch gelegentlich unter dem Boden des III. Ventrikels.
4. In manchen Fällen ist der Boden des III. Ventrikels sehr widerstandsfähig und es müssen erhebliche Kräfte aufgewendet werden, welche den Hypothalamus verletzen könnten, um eine ausreichende Fensterung zu erzielen.

In der vorliegenden Arbeit kam es nach 56,3% der AP zu einer Verbesserung der Klinik. Insgesamt 31,3% waren postoperativ beschwerdefrei und bei 25% hatte sich der Zustand verbessert. Im Vergleich dazu profitierten in der Studie von Marx *et. al* (Marx et al., 2018) initial 82% der Patienten von der durchgeführten AP. Dabei wurden keine begleitenden Operationen wie eine ETV oder die Anlage eines Shuntsystems durchgeführt und des Weiteren wurden ausschließlich Patienten mit der Diagnose Aquäduktstenose in die Studie eingeschlossen. Bis auf ein Kind bestand das Patientenkollektiv ausschließlich aus Erwachsenen. In der vorliegenden Arbeit waren 29,6% der Patienten Kinder. Es gilt zu beachten, dass in 53,1% der Fälle eine begleitende ETV Operation durchgeführt wurde. Somit lässt bei diesen Patienten entsprechend nicht beurteilen, in wie weit die Aquäduktoplastie für die postoperative klinische Verbesserung verantwortlich ist.

In einigen anderen Langzeitstudien kam es in einem hohen Prozentsatz zu Restenosiierungen des Aquädukts. So kam es bei Schroeder *et. al* (Schroeder et al., 2012) in 50% der Fälle zu Restenosiierungen des Aquädukts, durchschnittlich 46 Monate nach der Operation. Auch andere Studien vertreten die Meinung, dass sowohl die membranöse Aquäduktstenose als auch die tumorbedingte Aquäduktstenose

aufgrund hoher Raten von Restenosiierungen mittels ETV behandelt werden sollten (Fritsch and Schroeder, 2013). Mit dem Ziel der postoperativen Shuntfreiheit führte Ersahin (Ersahin, 2007) 45 AP und APS, mit teilweise begleitender ETV, durch. Bei einer Komplikationsrate von 51% und einem Misserfolg in ersten endoskopischen Operationen in 42% der Fälle, sieht er die AP in Fällen der Aquäduktstenose als gefährlich und nutzlos an. Die APS sollte lediglich im Falle einer membranösen Aquäduktstenose oder eines isolierten IV. Ventrikels durchgeführt werden, wenn die ETV nicht durchführbar wäre.

Bulsara *et al.* (Bulsara et al., 2003) beschreiben die Aquäduktoplastie als mögliche sinnvolle Alternative zur Behandlung eines sekundären HC, in Folge einer Kompression des Aquäduktes durch einen Tumor des Tectums, wenn die Senkung des intrakraniellen Druckes um 1/3 nach Durchführung einer ETV nicht erreicht werden konnte. Anatomischen Variationen und Deformierungen des Bodens des III. Ventrikels oder des Aquädukteingangs aufgrund von Tumoren, Membranen oder durch Entzündungsprozesse können beispielsweise zu einem Fehlschlagen der ETV führen. Prajsnar-Borak *et al.* (Prajsnar-Borak et al., 2024) untersuchten 28 endoskopische transaquäduktale Stenting-Prozeduren. Bei 5 Patienten war der obstruktive HC durch einen periaquäduktalen Tumorprozess verursacht. In allen 5 Patienten erfolgte eine erfolgreiche Aquäduktoplastie mit Stenteinlage. Hier beschrieben die Autoren die Vorteile der gleichzeitigen Verwendung eines starren sowie eines flexiblen Endoskops, um die jeweiligen Mängel sowie Einschränkungen der einzelnen Endoskope zu überwinden. Gerade in der Inspektion der anatomischen Strukturen des Aquäduktes, des IV. Ventrikels sowie der geringeren Invasivität bietet das flexible Endoskop viele Vorteile. Die Patientenselektion ist hier der entscheidende Aspekt für ein erfolgreiches sowie komplikationsloses transaquäduktale Stenting.

Silva *et al.* (da Silva et al., 2007) führten 18 Aquäduktplastien durch und sehen diese Intervention bei membranösen und kurzstreckigen Stenosen als wirksame und erfolgreiche Therapie an. Auf Grund der Gefahr einer Restenosiierung empfehlen sie ein längeres Follow-up. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch Miki *et al.* (Miki et al., 2005). Sie empfehlen die AP nur in sehr ausgewählten Fällen, nämlich wenn ein triventrikulärer Hydrocephalus bei zusätzlich erhöhtem Hirndruck, eine transparente membranöse Stenose sowie eine prästenotische Dilatation des Aquäduktes vorliegt. Außerdem gilt die Aquäduktoplastie im Vergleich zu ETV als gefährlicher, da die periaquäduktale graue Substanz viele wichtige Nervenbahnen und Kerne beinhaltet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Aquäduktoplastie ohne Stenteinlage, trotz der Wiederherstellung der physiologischen Liquorzirkulation (Schroeder et al., 2000) aufgrund der hohen Restenosiierungsraten (Ersahin, 2007; Fritsch and Schroeder, 2013) nur bei einem sehr ausgewählten Patientenkollektiv durchgeführt werden sollte bzw. wenn ein ETV kontraindiziert ist. Diese Entwicklung zeigt sich ebenfalls in der Auswertung der vorliegenden Studie. Von den insgesamt 32 AP wurde die überwiegende Mehrheit in den Jahren von 1993 bis 2003 durchgeführt (n=28). Im gesamten analysierten Zeitraum erfolgten an der Universität des Saarlandes lediglich noch 4 AP. Diese

Entwicklung zeigt die über die Jahre abnehmende Relevanz der isolierten Aquäduktplastie ohne Stenteinlage auf Grund des großen Risikos der Restenosierung.

5.1.3 Isolierter IV. Ventrikel

Der isolierte IV. Ventrikel ist das Resultat einer Obstruktion des Aquäduktes und der Auslassöffnungen des IV. Ventrikels, den Foraminae Luschkae und des Foramen Magendie. Dann tritt er häufig als Folgeerscheinung von intrakraniellen inflammatorischen oder hämorrhagischen Ereignissen auf. Eine weitere Ätiologie ist die Behandlung eines Hydrocephalus, der durch einen infektiösen Prozess entstanden ist, durch ein supratentorielles Shuntsystem (Fritsch and Schroeder, 2013; Little et al., 2010; Ogiwara and Morota, 2013; Raouf and Zidan, 2013; Schulz et al., 2012). Diese Konstellation verursacht die zystische Dilatation des IV. Ventrikels und infolgedessen wird der Hirnstamm gegen den Klivus und das Cerebellum gegen das Tentorium komprimiert.

In dieser Arbeit erfolgte die endoskopische Therapie des isolierten IV. Ventrikels in 12 Fällen bei 9 Patienten. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle (75%) erfolgte eine Stenteinlage. Bei den 3 durchgeführten AP erfolgte in einem Fall die Reaquäduktplastie mit Shuntanlage. Im zweiten Fall war eine Stenteinlage trotz wiederholter Versuche frustan, sodass lediglich die einfache AP durchgeführt werden konnte und im dritten Fall zeigte sich die Beschwerdesymptomatik postoperativ unverändert. Zu einer Verbesserung der Klinik kam es in 58,3% (n=9) der Fälle.

Fritsch und Schroeder berichteten von einer Langzeiterfolgsrate zwischen 80-85% (Fritsch and Schroeder, 2013). Es existieren unterschiedliche Behandlungsmöglichkeiten des isolierten IV. Ventrikels. So favorisieren einige Autoren die endoskopische Stenteinlage in das Aquädukt über einen suboccipitalen Zugangsweg (Gallo et al., 2012; Raouf and Zidan, 2013). Andere Studien bevorzugen den supratentoriellen Zugangsweg (Ogiwara and Morota, 2013). Weitere Therapieoptionen, über die berichtet wurde, sind die mikrochirurgische Fensterung der Auslassöffnungen des IV. Ventrikels, die Platzierung eines Shunts in den IV. Ventrikel oder die mikrochirurgische Kanalisierung des Aquäduktes (Harter, 2004).

Schulz *et al.* (Schulz et al., 2012) behandelten 19 Patienten (Durchschnittsalter: 42,8 Monate) in 22 Prozeduren mit transaquäduktalem Stenting. In ihrer Studie profitierten insgesamt 95,6% der Patienten von der Behandlung, bei 27,3% kam es zu einer vollständigen Rückbildung der Symptome, bei 68,3% zu einer teilweisen. Bei 50% der Patienten zeigte sich in der Bildgebung postoperativ die Größe des IV. Ventrikels rückläufig. Im weiteren postoperativen Verlauf kam es in insgesamt 22,7% der Fälle zu Komplikationen, die eine Shuntrevision nötig machten. Bei einem Kind (4,5%) scheiterte die Stenteinlage in den IV. Ventrikel. Das postoperative MRT zeigte die Spitze des Stents in der hinteren Schädelgrube, außerhalb des IV. Ventrikels.

Auch Fritsch *et al.* (Fritsch et al., 2004a; Fritsch et al., 2004b) kommen bei einer hohen Revisionsrate bei Patienten, die initial nur mit einer AP versorgt wurden, zu der Empfehlung, die Einlage eines Stents

in allen Fällen durchzuführen. Bei der APS therapiert man den isolierten IV. Ventrikel auf die physiologischste Weise. In ausgewählten Fällen erlaubt die endoskopische Behandlung, ohne Implantation zusätzlicher Systeme, eine angemessene Therapie (Harter, 2004). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die klarste Indikation einer APS, aufgrund ihrer guten Langzeitergebnisse, die Therapie eines isolierten IV. Ventrikel darstellt.

5.2 Komplikationen bei transaquäduktalen Eingriffen

Das Aquädukt stellt die Verbindung zwischen dem III. und IV. Ventrikel dar und ist mit einer Querschnittsfläche von $0,6\text{mm}^2$ - 2mm^2 im Erwachsenen und mit etwa $0,5\text{mm}^2$ bei Kindern die engste Stelle des Ventrikelsystems (EMERY and STASCHAK, 1972; Flyger and Hjelmquist, 1957). Es besteht ein Risiko der Verletzung der sensiblen benachbarten Strukturen durch den Gebrauch eines Endoskops. Für Mutula *et al.* (Matula *et al.*, 1996) war ein kontrolliertes und sicheres Arbeiten mit dem flexiblen Endoskop aufgrund mangelnder Kontrolle über den flexiblen Teil hinter der optischen Linse, vor allem beim Passieren des Aquäduktes über den III. Ventrikel, nicht möglich und dementsprechend nicht empfehlenswert.

Im weiteren Verlauf wurde die transaquäduktale Endoskopie jedoch, auch durch den technischen Fortschritt, von vielen Autoren als sicher und machbar angesehen (Longatti *et al.*, 2006; Schroeder *et al.*, 2004). Unter anderem wegen möglicher Komplikationen bei der endoskopischen AP aufgrund einer komplexen Anatomie schlagen Gawish *et al.* (Gawish *et al.*, 2005), als mögliche Alternative, einen Zugang zum Aquädukt über die hintere Schädelgrube, zu Behandlung einer membranösen Aquäduktstenose des unteren Anteils, vor.

In dieser Arbeit sollte nun das Auftreten postoperativer Komplikationen nach transaquäduktalen Eingriffen, vor allem in Zusammenhang mit sichtbaren Läsionen am Aquädukt, geprüft werden. Total kam es in 15,2% (n=16) zu einer sichtbaren Läsion am Aquädukt. Doppelbilder, ohne oder aufgrund einer Hirnnervenparese, traten bei insgesamt 8 Patienten auf 62,6% (n=5), hatten eine sichtbare Kontusion. Im Falle einer sichtbaren Kontusion kam es in 31,3% (n=5) zum Auftreten von Doppelbildern.

Das Auftreten von transienten oder permanenten dyskonjugierten Augenbewegungen ist, wie zuvor beschrieben, eine bereits gut dokumentierte Komplikation. Die Häufigkeit dieser Komplikation lag bei früheren Studien zwischen 0% - 23,5% (Cinalli *et al.*, 2006; Schroeder *et al.*, 2004; Schroeder and Gaab, 1999)(Fritsch *et al.*, 2004a; Schulz *et al.*, 2011; Torres-Corzo *et al.*, 2014). In der vorliegenden Studie kam es insgesamt in 8,3% zu einer Störung der Okulomotorik. In 5,5% zu einer transienten Störung und in 2,8% zu einer permanenten Störung mit dem Auftreten von Doppelbildern.

Über das Auftreten von transienten dyskonjugierten Augenbewegungen durch eine Schädigung des Tegmentum bzw. des Tectum mesencephali nach Manipulation am Aquädukt im Rahmen einer Stenteinlage berichten, Teo *et al.* in 2 Fällen (Teo *et al.*, 2013). Da Silva *et al.* (da Silva *et al.*, 2007)

beobachteten eine vorübergehende Aufwärtsblickparese sowie Diplopie nach Durchführung verschiedener transaquäduktaler Prozeduren in 18 Fällen.

Bei Ersahin (Ersahin, 2007) traten nach insgesamt 45 Aquäduktoplastien in 2 Fällen eine transiente Aufwärtsblickparese auf. In einem Fall kam es zu einer permanenten Blickstörung. Bei Gallo *et al.* (Gallo *et al.*, 2012) kam es im Rahmen von 18 Aquäduktoplastien, zur Therapie eines isolierten IV. Ventrikels über einen suboccipitalen Zugangsweg, zu 2 transienten Komplikationen. In einem Fall kam es zu einer Diplopie aufgrund dyskonjugierter Augenbewegungen und bei dem anderen Patienten kam es postoperativ zu einer transienten Parese des N. trochlearis.

Die Dokumentation der sichtbaren Läsionen des Aquäduktes erfolgte bereits durch Longatti *et al.* (Longatti *et al.*, 2006). Innerhalb von 52 transaquäduktalen Eingriffen kam es zu zwei kleinen, asymptomatischen und ependymalen Kontusionen an der Öffnung des Aquäduktes. Bei Torres *et al.* (Torres-Corzo *et al.*, 2014) kam es im Rahmen von 33 Foraminoplastien des Foramen Magendie und/oder Luschka in 15,2% (n=5) zu sichtbaren, jedoch asymptomatischen Kontusionen des Aquäduktes. Bei 9% (n=3) der Patienten traten postoperativ Doppelbilder auf, bei einem Patienten in Form einer transienten dyskonjugierten Blickparese und bei 2 Patienten in Form von transienten Doppelbildern ohne Hinweis einer Hirnnervenparese.

Im Rahmen von 39 Aquäduktoplastien kam es bei Schroeder *et al.* (Schroeder *et al.*, 2004) in 10,2% (n=4) der Fälle postoperativ zu dyskonjugierten Augenbewegungen. Bei 2 Patienten kam es zu einer Verletzung am Dach des Aquäduktes, was bei einem der Patienten zu einer vorübergehenden Trochlearisparese und bei dem anderen zu einer permanenten Diplopie aufgrund von dyskonjugierten Augenfolgebewegungen führte. Bei 2 weiteren Patienten traten transiente dyskonjugierte Augenbewegungen auf, welche sich nach 3 bzw. 4 Wochen zurückbildeten.

Miki *et al.* (Miki *et al.*, 2005) sind der Ansicht, dass das Vorhandensein einer prästenotischen Dilatation des Aquäduktes die Sicherheit der Prozedur erhöhe und die Gefahr möglicher Komplikationen verringere, da diese den Freiraum für das flexible Endoskop erhöhe und es so im rechten Winkel zur Stenose und parallel zur Achse des Aquäduktes positioniert werden könne.

Zu diskutieren bleibt der Fakt, dass transaquäduktale Eingriffe selten als alleinstehende Prozeduren durchgeführt werden. In dieser Arbeit wurden in 71,4% begleitend eine ETV durchgeführt, in 3,8% eine Septostomie. Dieser Aspekt macht eine retrospektive Analyse der Prozeduren bezüglich des Therapieerfolges, für sich allein betrachtet praktisch, nicht möglich. Auch bei den erläuterten Komplikationen lässt sich letztlich nicht mit völliger Sicherheit sagen, durch welchen Eingriff diese entstanden sind. So sind dyskonjugierte Augenbewegungen sowie Hirnnervenparesen unter anderem auch eine zwar eher selten auftretende, jedoch dokumentierte Komplikation der ETV (Oka *et al.*, 1993). Das routinemäßige Erfassen sowie die Gradeinteilung entstandener Läsionen am Aquädukt sowie an anderen intraventrikulären sensiblen Strukturen könnte einen besseren Aufschluss geben, welche Relevanz die Verletzungen des Gewebes besitzen und im Rahmen welcher Prozedur mögliche Komplikation aufgetreten sind (Prajnsnar-Borak *et al.*, 2024)

5.3 Kritikpunkte

5.3.1 Stärken dieser Arbeit

In dieser Arbeit wurden insgesamt 105 transaquäduktale Prozeduren unter Zuhilfenahme des flexiblen Endoskops oder des Shuntsopes analysiert. Ein so großes Patientenkollektiv wurde bisher, unseres Wissens, nicht analysiert und publiziert. Mit einer Vielzahl an unterschiedlichen Prozeduren, die im Rahmen der Operationen durchgeführt wurden, bietet die Studie einen Überblick über die gesamte Bandbreite der transaquäduktalen Eingriffe. In der Vergangenheit wurden in einer Vielzahl von Arbeiten mögliche Komplikationen der transaquäduktalen Prozeduren beschrieben. Ein Zusammenhang zwischen einer Komplikation und einer sichtbaren Läsion im Aquädukt wurde bisher nur wenig erforscht.

5.3.2 Schwächen der Arbeit

Die größte Schwäche dieser Arbeit ist sicherlich die retrospektive Analyse der Daten. Um eine größere Fallzahl zur Auswertung einer eher seltenen Operation, zu erhalten, erfolgte die Analyse von Prozeduren über einen sehr langen Zeitraum an insgesamt 4 Kliniken. Es konnte dementsprechend nicht immer eine selbständige Erhebung der benötigten Daten sowie Auswertung der Operationsvideos erfolgen, sondern es musste teilweise auf eine bereits erstellte Datenbank zurückgegriffen werden. Demzufolge bestand kein einheitliches Protokoll bezüglich der Dokumentation der Komplikationen und des Follow-ups. Auch eine ausführliche neurologische Testung im Rahmen des Follow-ups ist dementsprechend bei symptomatischen Patienten oder bei Patienten mit objektivierbaren Läsionen nicht erfolgt, was die Aussagekraft über die funktionelle Erholung der Patienten einschränkt.

Besonders die genauere Analyse einer sichtbaren Läsion, verbunden mit einer postoperativen Komplikation, konnte somit nicht in allen Fällen geprüft werden. Auch der nicht definierte Zeitraum des postoperativen Follow-ups, der in dieser Studie zwischen 1 und 82 Monaten lag, limitiert die Aussagekraft der Studie.

Bezüglich der Erfassung und Gradation der Läsionen des Aquäduktes zeigte sich bei der APS, vor allem bei Gebrauch des Shuntsopes, eine beschränkte Beurteilbarkeit.

5.3.3 Neue Aspekte dieser Arbeit

Die Erkenntnis, dass der Zusammenhang zwischen sichtbaren Läsionen am Aquädukt und postoperativen Komplikationen bisher wenig erforscht ist, legt den Grundstein für weiterführende Untersuchungen in diesem Bereich. Die Etablierung einer einheitlichen Gradeinteilung für diese Läsionen, wie sie bereits für Verletzungen des Foramen Monroi durch Oertel *et al.* (Oertel et al., 2017) durchgeführt wurden, könnte ein entscheidender Schritt in Richtung einer verbesserten Diagnose und damit verbundener Therapieansätzen sein. Dies bietet mehrere Vorteile.

Eine einheitliche Gradeinteilung ermöglicht eine standardisierte Diagnosestellung. Dies verbessert die Kommunikation zwischen unterschiedlichen Operateuren und erleichtert den Vergleich von Studienergebnissen.

Auch wenn die Ergebnisse zeigen, dass traumatische Läsionen am Aquädukt nicht unweigerlich zu dauerhaften Beeinträchtigungen führen müssen, könnte die Kenntnis über einen möglichen Zusammenhang zwischen diesen, durch eine gesteigerte Gewichtung auch vermeintlich kleiner, oberflächlicher Läsionen, zur Anpassung und Verbesserung der chirurgischen Techniken führen. Durch eine genauere Klassifizierung der Läsionen könnten individuellere und zielgerichtetere Behandlungsstrategien entwickelt werden. So könnte für Patienten, bei denen es zu einer intraoperativen Läsion gekommen ist oder postoperativ eine entsprechende Symptomatik zeigten, eine systematische Langzeitüberwachung, auch unter Zuhilfenahme von neurokognitiven Testungen, installiert werden. Dies könnte in Zukunft weitere entscheidende Daten liefern und den Zusammenhang zwischen Läsionen und Symptomen besser objektivieren.

Hier könnte die Schaffung eines einheitlichen Klassifizierungssystems den möglichen Grundstein für weitere Studien legen, da eine bessere Vergleichbarkeit möglicher Verletzungen und auch deren Folgen erreicht werden kann. Die genaue Analyse der Lokalisation der Läsionen, zusätzlich zur Schweregradeinteilung, könnte weitere aufschlussreiche Erkenntnisse liefern. Es ist möglich, dass bestimmte Lokalisationen ein höheres Risiko für spezifische Komplikationen bergen. Um solche Hypothesen zu bestätigen, sind jedoch weitere Studien mit einer größeren Anzahl an Patienten erforderlich.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass diese Erkenntnisse eine wichtige Grundlage für das Verständnis der Folgen traumatischer Aquäduktläsionen bieten. Sie werfen jedoch auch Fragen auf, die nur durch zukünftige Forschung, insbesondere durch gut konzipierte prospektive Studien, beantwortet werden können.

6 Literaturverzeichnis

1. Abbott R (2004) History of neuroendoscopy. *Neurosurg Clin N Am* 15:1-7
2. Bechmann I, Nitsch R, Pera F, Winkelmann A, Stahnisch F (2003) Zentrales Nervensystem, Systema nervosum centrale, Gehirn, Encephalon, und Rueckenmark, Medulla, spinalis.
3. Berci G, KONT LA (1969) A new optical system in endoscopy with special reference to cystoscopy. *Br J Urol* 41:564-571
4. Bulsara KR, Villavicencio AT, Shah AJ, McGirt MJ, George TM (2003) Successful aqueductal plasty and stenting for tectal plate tumor after failed third ventriculostomy: a case report. *Surg Neurol* 59:58-61; discussion 61-52
5. Chen G, Zheng J, Xiao Q, Liu Y (2013) Application of phase-contrast cine magnetic resonance imaging in endoscopic aqueductoplasty. *Exp Ther Med* 5:1643-1648
6. Cinalli G, Spennato P, Nastro A, Aliberti F, Trischitta V, Ruggiero C, et al. (2011) Hydrocephalus in aqueductal stenosis. *Childs Nerv Syst* 27:1621
7. Cinalli G, Spennato P, Savarese L, Ruggiero C, Aliberti F, Cuomo L, et al. (2006) Endoscopic aqueductoplasty and placement of a stent in the cerebral aqueduct in the management of isolated fourth ventricle in children. *J Neurosurg* 104:21-27
8. Cushing H (1902) SOME EXPERIMENTAL AND CLINICAL OBSERVATIONS CONCERNING STATES OF INCREASED INTRACRANIAL TENSION. 1. *The American Journal of the Medical Sciences* (1827-1924) 124:375
9. da Silva LR, Cavalheiro S, Zymberg ST (2007) Endoscopic aqueductoplasty in the treatment of aqueductal stenosis. *Childs Nerv Syst* 23:1263-1268
10. Dandy WE (1918) Extirpation of the choroid plexus of the lateral ventricles in communicating hydrocephalus. *Ann Surg* 68:569
11. Dandy WE, Blackfan KD (1913) An experimental and clinical study of internal hydrocephalus. *J Am Med Assoc* 61:2216-2217
12. Davis L (Hrsg.) (1936) *Neurological surgery*. Lea & Febiger,
13. Decq P, Schroeder HWS, Fritsch M, Cappabianca P (2013) A History of Ventricular Neuroendoscopy. *World Neurosurg* 79:S14.e11-S14.e16
14. Di Vincenzo J, Keiner D, Gaab MR, Schroeder HW, Oertel JM (2014) Endoscopic third ventriculostomy: preoperative considerations and intraoperative strategy based on 300 procedures. *Journal of neurological surgery Part A, Central European neurosurgery* 75:20-30
15. Duffner F, Freudenstein D, Wacker A, Straub-Duffner S, Grote E (1998) 75 years after Dandy, Fay and Mixter--looking back on the history of neuroendoscopy. *Zentralbl Neurochir* 59:121-128
16. EMERY JL, STASCHAK MC (1972) The size and form of the cerebral aqueduct in children. *Brain* 95:591-598
17. Ersahin Y (2007) Endoscopic aqueductoplasty. *Childs Nerv Syst* 23:143-150

18. Flyger G, Hjelmquist U (1957) Normal variations in the caliber of the human cerebral aqueduct. *The Anatomical Record* 127:151-162
19. Fritsch MJ, Kienke S, Manwaring KH, Mehdorn HM (2004a) Endoscopic aqueductoplasty and interventriculostomy for the treatment of isolated fourth ventricle in children. *Neurosurgery* 55:372-377; discussion 377-379
20. Fritsch MJ, Kienke S, Mehdorn HM (2004b) Endoscopic aqueductoplasty: stent or not to stent? *Childs Nerv Syst* 20:137-142
21. Fritsch MJ, Schroeder HW (2013) Endoscopic aqueductoplasty and stenting. *World Neurosurg* 79:S20.e15-28
22. Gallo P, Szathmari A, Simon E, Ricci-Franchi AC, Rousselle C, Hermier M, et al. (2012) The endoscopic trans-fourth ventricle aqueductoplasty and stent placement for the treatment of trapped fourth ventricle: long-term results in a series of 18 consecutive patients. *Neurol India* 60:271-277
23. Gawish I, Reisch R, Perneczky A (2005) Endoscopic aqueductoplasty through a tailored craniocervical approach. *J Neurosurg* 103:778-782
24. Geng J, Wu D, Chen X, Zhang M, Xu B, Yu X (2015) Aqueduct Stent Placement: Indications, Technique, and Clinical Experience. *World Neurosurg* 84:1347-1353
25. Gerlach J (Hrsg.) (1858) *Mikroskopische Studien aus dem Gebiete der menschlichen Morphologie*. F. Enke,
26. Greitz D (2007) Paradigm shift in hydrocephalus research in legacy of Dandy's pioneering work: rationale for third ventriculostomy in communicating hydrocephalus. *Childs Nerv Syst* 23:487
27. Greitz D (2004) Radiological assessment of hydrocephalus: new theories and implications for therapy. *Neurosurg Rev* 27:145-165
28. Greitz D, Franck A, Nordell B (1993) On the pulsatile nature of intracranial and spinal CSF-circulation demonstrated by MR imaging. *Acta Radiol* 34:321-328
29. Greitz D, Greitz T, Hindmarsh T (1997) A new view on the CSF-circulation with the potential for pharmacological treatment of childhood hydrocephalus. *Acta Paediatr* 86:125-132
30. Griffith HB (1986) Endoneurosurgery: endoscopic intracranial surgery. *Adv Tech Stand Neurosurg*:3-24
31. Haberl H, Michael T, Thomale U-W (2007) Hydrozephalus. *Pädiatrie up2date* 2:25-44
32. Harter DH (2004) Management strategies for treatment of the trapped fourth ventricle. *Childs Nerv Syst* 20:710-716
33. Hellwig D, Grotenhuis JA, Tirakotai W, Riegel T, Schulte DM, Bauer BL, et al. (2005) Endoscopic third ventriculostomy for obstructive hydrocephalus. *Neurosurg Rev* 28:1-34
34. Hopkins HH, Kapany NS (1954) A flexible fibroscope, using static scanning. *Nature* 173:39-41
35. Hsu W, Li KW, Bookland M, Jallo GI (2009) Keyhole to the brain: Walter Dandy and neuroendoscopy: historical vignette. *J Neurosurg Pediatr* 3:439-442
36. Karachi C, Le Guérinel C, Brugières P, Melon E, Decq P (2003) Hydrocephalus due to

idiopathic stenosis of the foramina of Magendie and Luschka: report of three cases. *J Neurosurg* 98:897-902

37. Lipina R, Reguli S, Dolezilova V, Kuncikova M, Podesvova H (2008) Endoscopic third ventriculostomy for obstructive hydrocephalus in children younger than 6 months of age: is it a first-choice method? *Childs Nerv Syst* 24:1021-1027

38. Little AS, Zabramski JM, Nakaji P (2010) Simplified aqueductal stenting for isolated fourth ventricle using a small-caliber flexible endoscope in a patient with neurococcidiomycosis: technical case report. *Neurosurgery* 66:373-374; discussion 374

39. Longatti P, Basaldella L, Feletti A, Fiorindi A, Billeci D (2005) Endoscopic navigation of the fourth ventricle. Technical note and preliminary experience. *Neurosurg Focus* 19:E12

40. Longatti P, Fiorindi A, Feletti A, Baratto V (2006) Endoscopic opening of the foramen of magendie using transaqueductal navigation for membrane obstruction of the fourth ventricle outlets. Technical note. *J Neurosurg* 105:924-927

41. Longatti P, Fiorindi A, Martinuzzi A, Feletti A (2009) Primary obstruction of the fourth ventricle outlets: neuroendoscopic approach and anatomic description. *Neurosurgery* 65:1078-1086

42. Longatti P, Fiorindi A, Perin A, Martinuzzi A (2007) Endoscopic anatomy of the cerebral aqueduct. *Neurosurgery* 61:1-5; discussion 5-6

43. Marx S, Baldauf J, Matthes M, Gaab MR, Schroeder HWS (2018) Long-Term Reliability of Neuroendoscopic Aqueductoplasty in Idiopathic Aqueductal Stenosis-Related Hydrocephalus. *Neurosurgery*

44. Matula C, Reinprecht A, Roessler K, Tschabitscher M, Koos WT (1996) Endoscopic exploration of the IVth ventricle. *min-Minimally Invasive Neurosurgery* 39:86-92

45. Miki T, Nakajima N, Wada J, Haraoka J (2005) Indications for neuroendoscopic aqueductoplasty without stenting for obstructive hydrocephalus due to aqueductal stenosis. *Minim Invasive Neurosurg* 48:136-141

46. Mixter W (1923) Ventriculoscopy and puncture of the floor of the third ventricle: Preliminary report of a case. *The Boston Medical and Surgical Journal* 188:277-278

47. Oertel J, Linsler S, Emmerich C, Keiner D, Gaab M, Schroeder H, et al. (2017) Results of combined intraventricular neuroendoscopic procedures in 130 cases with special focus on fornix contusions. *World Neurosurg* 108:817-825

48. Oertel JMK, Mondorf Y, Schroeder HWS, Gaab MR (2010) Endoscopic diagnosis and treatment of far distal obstructive hydrocephalus. *Acta Neurochir (Wien)* 152:229-240

49. Ogiwara H, Morota N (2013) Endoscopic transaqueductal or interventricular stent placement for the treatment of isolated fourth ventricle and pre-isolated fourth ventricle. *Childs Nerv Syst* 29:1299-1303

50. Oka K, Yamamoto M, Ikeda K, Tomonaga M (1993) Flexible endoneurosurgical therapy for aqueductal stenosis. *Neurosurgery* 33:236-242; discussion 242-233

51. Prajsnar-Borak A, Schroeder HWS, Oertel J (2024) Endoscopic transaqueductal stent placement for tumor-related aqueductal compression in pediatric patients: surgical consideration, technique, and results. *Childs Nerv Syst* 40:395-405
52. Prajsnar-Borak A, Teping F, Oertel J (2023a) Image quality and related outcomes of the ShuntScope for catheter implantation in pediatric hydrocephalus—experience of 65 procedures. *Childs Nerv Syst* 39:721-732
53. Prajsnar-Borak A, Teping F, Oertel J (2023b) Image Quality and Related Outcomes of the ShuntScope-Guided Catheter Implantation in Adult Hydrocephalus: Experience of 63 Procedures. *Journal of Neurological Surgery Part A: Central European Neurosurgery*
54. Raouf A, Zidan I (2013) Suboccipital endoscopic management of the entrapped fourth ventricle: technical note. *Acta Neurochir (Wien)* 155:1957-1963
55. Sakka L, Coll G, Chazal J (2011) Anatomy and physiology of cerebrospinal fluid. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis* 128:309-316
56. Schroeder C, Fleck S, Gaab MR, Schweim KH, Schroeder HW (2012) 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* 117:141-149
57. Schroeder HW, Oertel J, Gaab MR (2004) Endoscopic aqueductoplasty in the treatment of aqueductal stenosis. *Childs Nerv Syst* 20:821-827
58. Schroeder HW, Oertel J, Gaab MR (2008) Endoscopic treatment of cerebrospinal fluid pathway obstructions. *Neurosurgery* 62:1084-1092
59. Schroeder HW, Schweim C, Schweim KH, Gaab MR (2000) Analysis of aqueductal cerebrospinal fluid flow after endoscopic aqueductoplasty by using cine phase-contrast magnetic resonance imaging. *J Neurosurg* 93:237-244
60. Schroeder HWS, Gaab MR (1999) Endoscopic Aqueductoplasty: Technique and Results. *Neurosurgery* 45:508-518
61. Schulz M, Goelz L, Spors B, Haberl H, Thomale U-W (2011) Endoscopic treatment of isolated fourth ventricle: clinical and radiological outcome. *Neurosurgery* 70:847-859
62. Schulz M, Goelz L, Spors B, Haberl H, Thomale UW (2012) Endoscopic treatment of isolated fourth ventricle: clinical and radiological outcome. *Neurosurgery* 70:847-858; discussion 858-849
63. Teo C, Kadrian D, Hayhurst C (2013) Endoscopic management of complex hydrocephalus. *World Neurosurg* 79:S21.e21-27
64. Torres-Corzo J, Sanchez-Rodriguez J, Cervantes D, Rodriguez-Della Vecchia R, Muruato-Araiza F, Hwang SW, et al. (2014) Endoscopic transventricular transaqueductal Magendie and Luschka foraminoplasty for hydrocephalus. *Neurosurgery* 74:426-435; discussion 436
65. Trepel M (Hrsg.) (2012) *Neuroanatomie: Struktur und Funktion* (5. Aufl. ed.). München: Elsevier, Urban & Fischer,

66. Von Luschka H (Hrsg.) (1855) Die Adergeflechte des menschlichen Gehirnes: eine Monographie. G. Reimer,
67. Weed LH (1914a) Studies on Cerebro-Spinal Fluid. No. III: The pathways of escape from the Subarachnoid Spaces with particular reference to the Arachnoid Villi. The Journal of medical research 31:51
68. Weed LH (1914b) Studies on cerebro-spinal fluid. No. IV: the dual source of cerebro-spinal fluid. The Journal of medical research 31:93
69. Woollam D, Millen J (1953) Anatomical considerations in the pathology of stenosis of the cerebral aqueduct. Brain 76:104-112

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Hirnventrikel, Anatomy of the human body - H. Gray 1918. Fig.736.....	9
Abbildung 2: Endoskopische Sicht auf das Aquädukt.....	10
Abbildung 3: Endoskopische Sicht auf das Aquädukt.....	11
Abbildung 4: Das flexible Endoskop	18
Abbildung 5: Operatives Setting bei Gebrauch des flexiblen Endoskops	18
Abbildung 6: Operatives Setting bei Gebrauch des flexiblen Endoskops	18
Abbildung 7: Das Shuntscope.....	19
Abbildung 8: Einsatz des Shuntscopes	19
Abbildung 9: Symptome	23
Abbildung 10: Exemplarische Darstellung von Kontusionen 1. Grades am Aquädukt (A-E)	24
Abbildung 11: Bildserie mit einer Kontusion 2. Grades am Dach des Aquäduktes.....	25
Abbildung 12: Komplikation Doppelbilder	26

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klassifikation der Kontusionen nach Oertel et al. (Oertel et al., 2017).....	21
Tabelle 2: Schweregrade der Kontusionen am Aquädukt.....	24
Tabelle 3: Patienten mit Doppelbildern postoperativ.....	27

8. Danksagung

Zuallererst möchte ich mich bei Herrn Professor Dr. med. Joachim Oertel, medizinischer Direktor für Neurochirurgie der medizinischen Fakultät der Universität des Saarlandes, bedanken, der mir diese Dissertation ermöglichte und half sie unter seiner Leitung durchzuführen. Weiterhin möchte ich mich bei Frau Prof. Dr. rer. nat. Steffi Urbschat, akademische Oberrätin und administrative Leitung der Forschung der Neurochirurgie, für ihre Unterstützung bedanken.

Ein großer Dank geht an meine Familie und meine Freunde, welche mich über die Jahre immer unterstützt und motiviert haben. Gerade in den Zeiten, in denen es kompliziert war und ich zweifelte, hattet ihr immer ein offenes Ohr.

Zu guter Letzt bedanke ich mich bei meiner Freundin für ihre Unterstützung und das mehrmalige Korrekturlesen dieser Arbeit.

9. Lebenslauf

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