

Aus der Klinik für Neurochirurgie
der Medizinischen Fakultät
der Universität des Saarlandes, Homburg/Saar
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Joachim Oertel



Kumulative Doktorarbeit

Impakt der Endoskopie in der selektierten Therapie des Hydrozephalus

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

der Medizinischen Fakultät

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2023

vorgelegt von

Dr. med. univ. Anna Prajsnar-Borak

Geb. am 05.03.1979 in Sosnowiec, Polen

Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Homburg, den

(Unterschrift).....

Auflistung der Veröffentlichungen

Publikation 1

Image quality and related outcomes of the ShuntScope for catheter implantation in pediatric hydrocephalus – experience of 65 procedures

Prajsnar-Borak A, Teping F, Oertel J. Childs Nerv Syst. 2023 Mar;39(3):721–732. doi: 10.1007/s00381-022-05776-1

Publikation 2

Image quality and related outcomes of the ShuntScope guided catheter implantation in adult hydrocephalus – experience of 63 Procedures

Prajsnar-Borak A, Teping F, Oertel J. J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg. 2023 September 14. doi: 10.1055/s-0043-1769126

Publikation 3

Endoscopic transaqueductal stent placement for tumors-related aqueductal compression in pediatric patients. Surgical consideration, technique, and results

Prajsnar-Borak A, Schroeder HWS, Oertel J. Childs Nerv Syst. 2023 Oktober 12. doi: 10.1007/s00381-023-06171-0

Teile der kumulativen Arbeit wurden präsentiert und veröffentlicht:

Vorträge

- ***ShuntScope in children.*** Anna Prajsnar-Borak, Joachim Oertel.
9th IFNE World Congress of Neuroendoscopy, 21.–25. November 2019, Orlando, USA
- ***Endoscopy for Aqueductal Pathology.*** Anna Prajsnar-Borak, Joachim Oertel.
Virtual meeting, 7th Latin American Congress of Neuroendoscopy, GLEN, 29.–30. Juli 2021, Buenos Aires, Argentina
- ***ShuntScope in children. Experiences with 69 procedures.*** Anna Prajsnar-Borak, Joachim Oertel.
Virtual meeting, International Society for Pediatric Neurosurgery (ISPN), 05.–07. November 2021, Singapur
- ***Application of the ShuntScope in selected cases of hydrocephalus. System, Indication, Surgical Technique, and Results.*** Joachim Oertel.
Virtual Meeting, ACNS, 26.–27. Februar 2022
- ***ShuntScope in the Selected Subset of Hydrocephalus. Indications, Surgical Technique, and Results.*** Anna Prajsnar-Borak, Joachim Oertel.
11th Homburger Neuroendoscopy Week 2022, Endoscopic Neurosurgery, 14. September 2022, Homburg/Saar
- ***ShuntScope-assistierte Katheterimplantation bei der Behandlung von Hydrozephalus bei Erwachsenen. Erfahrung mit 63 Prozeduren.*** Anna Prajsnar-Borak, Joachim Oertel.
74. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Neurochirurgie. 25.–28. Juni 2023, Tübingen/Stuttgart
- ***Endoscopic transaqueductal stenting for a selected subset of aqueductal stenosis.*** Anna Prajsnar-Borak, Joachim Oertel
12th Homburger Neuroendoscopy Week 2022, Endoscopic Neurosurgery, 7. September 2023, Homburg/Saar
- ***ShuntScope Guidance in Pediatric Hydrocephalus: Indications, Surgical Technique, and Results.*** Anna Prajsnar-Borak, Joachim Oertel

Auflistung der Veröffentlichungen

18th WFNS World Congress of Neurosurgery, 4 – 8 December 2023, Kapstadt, Südafrika

- ***Application of the Shuntscope in selected cases of adult hydrocephalus: Experience of 63 Procedures.*** Anna Prajsnar-Borak, Joachim Oertel
18th WFNS World Congress of Neurosurgery, 4 – 8 December 2023, Kapstadt, Südafrika
- ***Endoscopic Transaqueductal Stenting: Indications, Surgical Technique, and Result.*** Anna Prajsnar-Borak, Joachim Oertel
18th WFNS World Congress of Neurosurgery, 4 – 8 December 2023, Kapstadt, Südafrika

Posters

- ***Application of the Shuntscope in selected cases of pediatric hydrocephalus: Indications, Surgical Technique, and Results.*** Anna Prajsnar-Borak, Joachim Oertel.
74. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Neurochirurgie. 25.–28. Juni 2023, Tübingen/Stuttgart
- ***Endoscopic Transaqueductal Stenting: Indications, Surgical Technique, and Results.*** Anna Prajsnar-Borak, Joachim Oertel.
74. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Neurochirurgie. 25.–28. Juni 2023, Tübingen/Stuttgart

Inhaltsverzeichnis

AUFLISTUNG DER VERÖFFENTLICHUNGEN	III
INHALTSVERZEICHNIS.....	VI
1. EINLEITUNG	1
1.1. HINTERGRUND	1
1.2. FRAGESTELLUNG	2
2. KUMULATIVER TEIL DER DISSERTATION	3
2.1. PUBLIKATION 1	3
2.1.1 Ziel	3
2.1.2 Methodik	3
2.1.3 Ergebnisse.....	3
2.1.4 Schlussfolgerung	4
2.2. PUBLIKATION 2	4
2.2.1 Ziel	4
2.2.2 Methodik	5
2.2.3 Ergebnisse.....	5
2.2.4 Schlussfolgerung	5
2.3. PUBLIKATION 3	6
2.3.1 Ziel	6
2.3.2 Methodik	6
2.3.3 Ergebnisse.....	6
2.3.4 Schlussfolgerung	7
3 ZUSAMMENFASSENDE DISKUSSION.....	8
LITERATURVERZEICHNIS	12
ANHANG	15
DANKSAGUNG	16
LEBENS LAUF.....	17

1. Einleitung

1.1. Hintergrund

Die Neuroendoskopie ist in der Therapie der zerebralen Liquorzirkulationsstörung von Kindern und Erwachsenen von besonderer Bedeutung. Die optimale Lage des Ventrikelkatheters ist ein fundamentaler Zustand, der die Funktionalität des Shunts und das klinische Ergebnis maßgeblich beeinflusst. Die regelgerechte Anlage des Ventrikelkatheters oder des transaquäduktalen Stents kann unter bestimmten Umständen eine Herausforderung sein. Schwierige intraventrikuläre anatomische Verhältnisse wie ein tumor- oder zystenassoziierter Hydrozephalus sowie eine posthämorrhagische und postmeningitische Liquorzirkulationsstörung mit verzerrter oder multilokulärer intraventrikulärer Konfiguration können zur Fehllage des Katheters führen. Literaturgemäß ist die Rate der Fehllagen des Ventrikelkatheters bei Shunt-Eingriffen hoch und betrifft ca. 35 bis 45 Prozent der Fälle [1, 10, 16, 33]. Für die Optimierung der korrekten Ventrikelkatheteranlage wurden unterschiedliche unterstützende Maßnahmen wie die neuronavigations- und ultraschallgestützte Assistenz oder die Stereotaxie verwendet [9, 14, 29, 32, 34]. Die Idee der minimalinvasiven endoskopischen Operationstechniken und der Einsatz des intraluminalen Teleskops für die Therapie des Hydrozephalus hat in den letzten zehn Jahren an Bedeutung gewonnen. Das intraluminale NeuroPEN-Neuroendoskop (Fa. Medtronic, Medical CA, USA) [30] oder ein ShuntScope (Fa. Karl Storz GmbH & Co. KG, Tuttlingen) sind bestimmt für die intraluminale Applikation während der Stenting- oder Shunt-Eingriffe [2, 3, 4, 18]. Das endoskopbedingte bessere Erkennen der intraventrikulären Lage und die detaillierte Exploration der intraventrikulären Verhältnisse könnten dazu beitragen, die intraoperative Orientierung zu optimieren und die korrekte Anlage des Ventrikelkatheters zu erreichen. Mehrere kleine Fallserien zeigten ein günstiges neurochirurgisches Ergebnis, womit die Vorteile der Neuroendoskopie gegenüber den etablierten chirurgischen Verfahren hervorgehoben sind [2–4, 18, 30]. Bei speziellen Subtypen der Aquäduktstenose, insbesondere bei einem konsekutiven isolierten vierten Ventrikel kann durch die endoskopische Anlage eines Stents zwischen dem dritten und vierten Ventrikel die physiologische Liquorpassage wiederhergestellt werden. Das endoskopische transaquäduktale Stenting ist somit eine Alternative zur endoskopischen Drittventrikulozisternostomie in der gut selektierten Patientengruppe [3, 12, 13, 22]. Der klinische Verlauf, die Prognose und die Erfolgsrate bei Patienten mit Aquäduktstenose sind sehr variabel und abhängig vom Mechanismus der Obstruktion und vom Patientenalter [5, 6–8, 11, 15, 24, 25, 31].

1.2. Fragestellung

Ziel der vorliegenden Publikationen ist es, die Auswirkung der endoskopischen Visualisierung in der selektierten Therapie des Hydrozephalus zu überprüfen. Mit der vorliegenden kumulativen Arbeit sollen die folgenden Fragen beantwortet werden:

- Definition des Nutzens des intraluminalen ShuntScope anhand detaillierter Analyse der intraoperativ erworbenen ShuntScope-Bildqualität verglichen mit postoperativen bildmorphologischen Ergebnissen und Evaluation der technischen Durchführbarkeit der Katheteranlage unter ShuntScope-Assistenz bei der Behandlung des pädiatrischen Hydrozephalus (Publikation 1).
- Definition des Nutzens des intraluminalen ShuntScope anhand detaillierter Analyse der intraoperativ erworbenen ShuntScope-Bildqualität verglichen mit postoperativen bildmorphologischen Ergebnissen und Evaluation der technischen Durchführbarkeit der Katheteranlage unter ShuntScope-Assistenz bei der Behandlung des adulten Hydrozephalus (Publikation 2).
- Evaluation des Einsatzes des Endoskops in der Therapie der tumorbedingten Aquäduktstenose bei pädiatrischem Hydrozephalus. Die Indikation und die technische Durchführbarkeit des endoskopischen transaquäduktalen Stenting wurde untersucht (Publikation 3).

2. Kumulativer Teil der Dissertation

2.1. Publikation 1

Image quality and related outcomes of the ShuntScope for catheter implantation in pediatric hydrocephalus – experience of 65 procedures

Bildqualität des ShuntScope zur Katheterimplantation und zugehörige Ergebnisse bei der Behandlung des pädiatrischen Hydrozephalus – Erfahrungen aus 65 Eingriffen

2.1.1 Ziel

Die Anlage eines Ventrikelkatheters in der Therapie des pädiatrischen Hydrozephalus ist aufgrund der speziellen Besonderheiten wie häufige intraventrikuläre Infektionen, Neigung zu intraventrikulären Blutungen und wegen der hohen Rezidivraten eine besondere Herausforderung. Die Applikation des intraluminalen Endoskops wurde eingeführt, um die Rate der korrekten Ventrikelkatheteranlage zu optimieren. Das Ziel der Studie bestand darin, die erhobene intraoperative ShuntScope-bedingte Bildqualität und die korrelierende Lage des zentralen Ventrikelkatheters sowie das klinische und radiologische Ergebnis bei pädiatrischen Patienten zu evaluieren.

2.1.2 Methodik

Alle Fälle von Kindern mit Hydrozephalus, bei denen Ventrikelkatheter unter ShuntScope-Führung im Zeitraum von Januar 2012 bis Januar 2022 in der Klinik für Neurochirurgie am Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg, implantiert worden waren, wurden retrospektiv analysiert. Die demographischen, klinischen und radiologischen Daten wurden ausgewertet. Die ShuntScope-bedingte Bildqualität wurde nach den drei Hauptkategorien exzellent, medium und mangelhaft subklassifiziert. Die intraoperativen endoskopischen Daten wurden analysiert und mit den postoperativen radiologischen Daten mit Blick auf die korrekte Lage des Ventrikelkatheters verglichen. Ebenfalls wurde die Entwicklung der prä- und postoperativen Ventrikelweite anhand der angefertigten kranialen Computer- oder Kernspintomographien untersucht. Die Nachuntersuchungsrate umfasste die Revisionsrate aufgrund einer proximalen Katheterfehlage.

2.1.3 Ergebnisse

Insgesamt wurden 65 ShuntScope-assistierte Ventrikelkatheters während der Shunt-Eingriffe bei 51 Kindern angelegt. Das mittlere Alter der Patienten betrug 5,1 Jahre. Die häufigste behandelte Liquorzirkulationsstörung war der tumor- und zystenbedingte Hydrozephalus,

beobachtet in 51 Prozent der Fälle. Die erhobene Bildqualität war exzellent bei 41,5 Prozent, medium bei 43 Prozent und mangelhaft bei 15,5 Prozent der Fälle. Die optimale Anlage des Katheters wurde bei 77 Prozent der Patienten erreicht. Es wurden keine intraoperativen Komplikationen und keine durch die ShuntScope-Technik bedingte Morbidität beobachtet. Die Revisionsrate aufgrund von Okklusion des zentralen Katheters während der mittleren Nachuntersuchungsperiode von 39,7 Monaten betrug 4,61 Prozent. Es wurde kein statistisches Korrelat zwischen der erreichten ShuntScope-bedingten Bildqualität und der korrekten Anlage des zentralen Katheters festgestellt (p-Wert 0,290).

2.1.4 Schlussfolgerung

Das intraluminale Endoskop sollte als wertvolle ergänzende intraoperativ-diagnostische Alternative zusätzlich zum Standard der neurochirurgischen Maßnahmen in der Behandlung des pädiatrischen Hydrozephalus berücksichtigt werden. Trotz der suboptimalen Visualisierung und dem eingeschränkten Nutzen der Bildqualität in manchen Fällen kann eine hohe Rate der optimalen Lage des Katheters erreicht werden. Dadurch wird das klinische Ergebnis relevant begünstigt.

2.2. Publikation 2

Image quality and related outcomes of the ShuntScope guided catheter implantation in adult hydrocephalus – experience of 63 procedures

Bildqualität der ShuntScope-geführten Katheterimplantation und damit verbundene Ergebnisse beim Erwachsenen-Hydrozephalus – Erfahrungen aus 63 Eingriffen

2.2.1 Ziel

Die Anlage eines zentralen Katheters während Shunt-Eingriffen bei erwachsenen Patienten kann bei bestimmten intraventrikulären Zuständen mit der verzerrten Anatomie oder aufgrund der Notwendigkeit der Anlage eines transaquäduktalen Stents herausfordernd sein. Im Gegensatz zum pädiatrischen Hydrozephalus aufgrund der unterschiedlichen Ätiologie ist die Indikation zur intraoperativen ShuntScope-Applikation viel seltener. Auch diese Studie zielte darauf ab, die intraoperative endoskopische Visualisierung und die erhobene ShuntScope-bedingte Bildqualität und das korrelierende radiologische und klinische Ergebnis bei erwachsenen Hydrozephalus-Patienten zu untersuchen.

2.2.2 Methodik

Alle Fälle erwachsener Patienten mit Hydrozephalus, bei denen Ventrikelkatheter unter der ShuntScope-Führung zwischen November 2012 und Juli 2022 in der Klinik für Neurochirurgie am Universitätsklinikum des Saarlandes platziert worden waren, wurden retrospektiv analysiert. Die demographischen, klinischen und radiologischen Daten wurden ausgewertet. Die ShuntScope-bedingte Bildqualität wurde nach den drei Hauptkategorien exzellent, medium und mangelhaft subklassifiziert. Die intraoperativen endoskopischen Daten wurden ausgewertet und mit dem postoperativen radiologischen Befund mit Fokus auf die korrekte Lage des Ventrikelkatheters verglichen. Außerdem wurde die Entwicklung der prä- und postoperativen Ventrikelweite anhand der angefertigten kranialen Computer- oder Kernspintomographien analysiert. Die Nachuntersuchung umfasste die Revisionsrate aufgrund einer proximalen Katheterfehlage.

2.2.3 Ergebnisse

Insgesamt wurden ShuntScope-assistiert 63 Ventrikelkatheter im Rahmen von Shunt-Eingriffen bei 60 erwachsenen Patienten im Durchschnittsalter von 48,43 Jahren angelegt. Die häufigste behandelte Liquorzirkulationsstörung war ein tumor- oder zystenbedingter Hydrozephalus, der in 38,33 Prozent der Fälle beobachtet wurde. Ein Pseudotumor cerebri trat bei 21,66 Prozent der Fälle auf. Die Bildqualität war zu 39,68 Prozent exzellent, medium in 47,62 Prozent der Fälle und mangelhaft zu 12,7 Prozent. Der Katheter konnte in 79,37 Prozent der Fälle optimal implantiert werden. Intraoperative Komplikationen und durch die ShuntScope-Technik bedingte Morbidität wurden nicht beobachtet. Die Revisionsrate aufgrund von Okklusion des zentralen Katheters während der mittleren Nachuntersuchungsperiode von 27,75 Monaten betrug 4,76 Prozent. Ein statistisches Korrelat zwischen der erreichten ShuntScope-bedingten Bildqualität und der korrekten Anlage des zentralen Katheters wurde festgestellt ($p\text{-Wert} < 0,001$).

2.2.4 Schlussfolgerung

Die Verwendung des intraluminalen ShuntScope stellt eine wichtige und ergänzende intraoperative diagnostische Alternative bei der Behandlung des selektierten erwachsenen Hydrozephalus dar. Die direkte intraoperative Visualisierung hilft bei der korrekten Anlage eines Ventrikelkatheters trotz der in manchen Fällen eingeschränkten Bildqualität.

2.3. Publikation 3

Endoscopic transaqueductal stent placement for tumors-related aqueductal compression in pediatric patients. Surgical consideration, technique, and results.

Endoskopische transaquäduktale Stentanlage bei tumorbedingter aquäduktaler Kompression bei pädiatrischen Patienten. Neurochirurgische Überlegungen, Technik und Ergebnisse.

2.3.1 Ziel

Die endoskopische transaquäduktale Stentanlage hat sich zu einer Behandlungsoption bei bestimmten Subtypen der Aquäduktstenose als vorteilhaft etabliert. Das transaquäduktale Stenting birgt jedoch einzigartige Herausforderungen und Risiken, die kritisch betrachtet werden müssen. Die Indikation sowie die klinischen und technischen Erfahrungen mit der Endoskop-assistierten transaquäduktalen Stentanlage bei Patienten mit periaquäduktaler tumorbedingter Aquäduktstenose sollte kritisch diskutiert werden.

2.3.2 Methodik

Es wurde eine retrospektive Analyse aller Patienten durchgeführt, die sich von Januar 1993 bis Januar 2022 in der Klinik für Neurochirurgie am Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg und in der Klinik für Neurochirurgie am Universitätsklinikum Greifswald, einer endoskopischen transaquäduktalen Stentanlage unterzogen hatten. Demographische, klinische, radiologische und intraoperative endoskopische Daten wurden ausgewertet. Alle Patienten mit tumorbedingter Aquäduktstenose mit sekundärem okklusiven Hydrozephalus, die endoskopisch mit transaquäduktalem Stent behandelt worden waren, wurden retrospektiv analysiert. Besondere Aufmerksamkeit wurde darauf gelegt, Einblicke in Indikation, Operationstechniken, Vorteile und die Limitationen der endoskopischen Technik zu definieren.

2.3.3 Ergebnisse

Von 28 endoskopischen transaquäduktalen Stentimplantationen wurden fünf Eingriffe am periaquäduktalen tumorbedingten obstruktiven Hydrozephalus bei zwei Kindern und bei drei Erwachsenen durchgeführt. Die okklusive Liquorzirkulationsstörung wurde in zwei Fällen durch einen Tumor im Aquädukt, in einem Fall durch einen Tumor im Thalamus/Mesencephalon, in einem Fall durch einen Tumor im dritten Ventrikel und in einem Fall durch einen Tumor der Lamina tecti verursacht. Konkomitant zur transaquäduktalen Stentimplantation wurden während der Operation zwei endoskopische Drittventrikulozisternostomien, drei Tumorbiopsien und eine Tumorresektion durchgeführt.

Postoperative Komplikationen ergaben eine Liquorfistel (1 Fall) und eine asymptotische Fornixkontusion (1 Fall). In allen Fällen wurde ein funktionsfähiger transaquäduktales Stent erfolgreich implantiert. Postoperativ zeigten alle Patienten eine relevante Verbesserung der klinischen Symptome. Die mittlere Nachbeobachtungszeit betrug 25,2 Monate (1–108 Monate). Ein Patient verstarb aufgrund einer Tumorprogression. Es wurde kein Fall von Stentmigration beobachtet.

2.3.4 Schlussfolgerung

Das endoskopische transaquäduktale Stenting für die periaquäduktale tumorbedingte Aquäduktstenose ist technisch suffizient durchführbar. Aufgrund der potenziell hohen Risiken und der wenigen Vorteile im Vergleich zur endoskopischen Drittventrikulostomie könnte die transaquäduktale Stentimplantation jedoch bei einer bestimmten und gut selektierten Patientengruppe indiziert sein, wenn keine alternativen Behandlungsmöglichkeiten zur Verfügung stehen.

3 Zusammenfassende Diskussion

Die Anlage eines ventrikuloperitonealen Shunt-Systems ist eine der häufigsten Therapien in der Behandlung des pädiatrischen und adulten Hydrozephalus. Die korrekte Anlage eines Ventrikelkatheters ist ein fundamentaler Faktor, der eine klinische Besserung und die Shunt-Funktionalität kritisch beeinflusst [10, 34]. Unabhängig vom technologischen Fortschritt ist die Fehlerrate der Ventrikelkatheteranlage hoch, sie variiert zwischen 20 und 50 Prozent [1, 20, 28, 29, 33]. Die Okklusion des proximalen Katheterlumens gilt als die wichtigste Ursache für eine Shunt-Dysfunktion [1, 10, 29, 32] und die Position des Ventrikelkatheters beeinflusst die Shunt-Funktionalitäts-Rate [27]. Die klassische freihändige Standardtechnik für Shunting, die auf anatomischen Landmarken basiert, ist eine einfache Technik. In der Praxis zeigte sich aber, dass eine mit bis zu 45 Prozent hohe Fehlerrate des zentralen Katheters festzustellen war [1, 16, 21]. Derzeit stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, um die korrekte Katheteranlage zu optimieren. Neuronavigation, Ultraschall oder Smartphone-gestützte Assistenz wurden bereits in der Hydrozephalus-Therapie eingesetzt und gelten als vielversprechende Methoden zur Erhöhung der Genauigkeit bei der Ventrikelkatheteranlage [9, 14, 19, 21, 32]. Die kritische Nutzung eines Endoskops bei der Behandlung des Hydrozephalus wurde in den letzten Jahren zunehmend in Betracht gezogen. Das intraluminale ShuntScope wurde als wertvolle diagnostische Alternative in der Behandlung des Hydrozephalus eingesetzt [2–4]. Dennoch besteht kein grundlegender Konsens zur Rolle der Endoskopie bei der Anlage eines Ventrikelkatheters. Die Debatte bezüglich der optimalen intraoperativen diagnostischen Methoden wird weiterhin kontrovers geführt. Die vorliegenden Untersuchungsserien illustrieren mehrjährige klinische und neurochirurgische Erfahrungen in der ShuntScope-gestützten Behandlung bei verschiedenen Formen des Hydrozephalus. Die Ätiologie des Erwachsenen-Hydrozephalus weicht signifikant vom pädiatrischen Hydrozephalus ab. Die erhöhte Prädisposition für intraventrikuläre Blutungen und Infektionen sowie für eine erhöhte Shunt-Dysfunktion und eine erhöhte Rezidivrate hinsichtlich der Liquorzirkulationsstörung bei Kindern stellen eine Besonderheit bei der Behandlung der pädiatrischen Hydrozephalus-Fälle dar. Im Gegensatz zu Kindern wurde die Indikation zur intraoperativen Anwendung des ShuntScope bei erwachsenen Hydrozephalus-Patienten selten gestellt. Für die Objektivierung und die Bewertung der intraoperativ erhobenen Bildqualität wurde eine eigene Bildqualität-Skala vorgeschlagen und in Studien verwendet. In den Serien mit pädiatrischem Hydrozephalus wurde in 84,5 Prozent der Fälle ein zufriedenstellendes Bild erreicht, beim Erwachsenen-Hydrozephalus betrug der Wert 87,3 Prozent. In Serien mit pädiatrischem Hydrozephalus wurde kein statistisches Korrelat zwischen der erreichten ShuntScope-bedingten Bildqualität und der korrekten Lage des zentralen Katheters beobachtet (p-Wert 0,290). Dies war jedoch bei adultem Hydrozephalus der Fall (p-Wert < 0,001). Unter speziellen Umständen – bei posthämorrhagisch

postinfektiösem Hydrozephalus – kann der Liquor cerebrospinalis eine erhöhte Proteinmenge enthalten, was zu einer verschwommenen Bildqualität führt. Interessanterweise wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen trotz solcher Hindernisse sowohl bei Kindern als auch in den Serien mit adulten Betroffenen keine statistische Korrelation zwischen der Bildqualität und dem Typ des Hydrozephalus beobachtet (p-Wert 0,190 für pädiatrische Hydrozephalen und 0,484 für die Erwachsenen-Hydrozephalen). Entgegen der Erwartung wurden trotz der eingeschränkten oder sogar mangelhaften Bildqualität in zwei Fällen die radiologisch verifizierte optimale Ventrikelkatheterposition Grad I und in sechs Fällen Grad II erreicht – ohne dass die Katheter revidiert werden mussten (in der Serie der adulten Hydrozephalen) – und in neun Fällen in der pädiatrischen Serie (sechs Fälle mit Grad I und drei Fälle mit Grad II). In einem Fall wurde der Katheter extraventrikulär unter schlechter Bildqualität implantiert, was am Folgetag revidiert werden musste. Die tiefgreifende intraoperative intraventrikuläre Orientierung bei Ventrikelasymmetrie, z. B. bei der tumorbedingten Obstruktion und der Schlitzventrikel beim Pseudotumor cerebri sind kritisch für die sichere und korrekte Ventrikelkatheteranlage. Die ShuntScope-Assistenz soll vor allem bei schweren und komplexen morphologischen Verhältnissen berücksichtigt werden. Die häufigste Indikation für die Applikation des ShuntScopes war sowohl im erwachsenen als auch im pädiatrischen Hydrozephalus eine tumor- oder zystenbedingte Liquorabflussstörung. Die optimale Anlage des Ventrikelkatheters (Grad I) wurde bei 79,37 Prozent der Verfahren der Erwachsenen- und bei 77 Prozent der Kinderserie erreicht. Basierend auf den dargelegten Ergebnissen kann resümiert werden, dass die ShuntScope-assistierte Technik einen bemerkenswert positiven Einfluss hat und zu einer korrekten Anlage des Ventrikelkatheters beiträgt. Die intraoperative ShuntScope-assistierte intraventrikuläre Exploration konnte in der Mehrheit der analysierten Fälle wichtige Informationen zur intraventrikulären Orientierung und zur endgültigen Positionierung des Katheters beisteuern.

Die erfolgreiche Behandlung der Aquäduktstenose stellt durch ihre besonderen Eigenschaften und die vielfältige Ätiologie eine Herausforderung dar. Die endoskopische transaquäduktale Stentimplantation hat sich zu einer wertvollen Alternative für die Behandlung der Aquäduktstenose bei einem isolierten vierten Ventrikel, entwickelt [8, 12, 13, 17, 23, 26]. Die beste Behandlungsoption für andere Formen der Aquäduktstenose, z. B. die periaquäduktale tumorbedingte Aquäduktkompression bei pädiatrischen Patienten, ist nach wie vor umstritten. Mehrere Autoren empfehlen die endoskopische Drittventrikulozisternostomie bei tumorbedingter oder membranöser Aquäduktstenose als Erstlinientherapie vor Shunt oder Stent [13, 22, 26]. Ein einheitlicher Konsens über den besten endoskopischen Ansatz gibt es nicht, und die Debatte über das optimale Therapieparadigma bleibt ungelöst. In der vorliegenden Arbeit wurden unsere Erfahrungen mit dem endoskopischen transaquäduktalen Stentimplantation diskutiert. Die Liquorzirkulationsstörung wurde durch einen Tumor im

Aquädukt (2 Fälle), im Thalamus/Mesencephalon (1 Fall) und im dritten Ventrikel (1 Fall), in der Lamina tecti (1 Fall), verursacht. Bei pädiatrischen Patienten sind intraventrikuläre Tumoren häufig eine Ursache für einen obstruktiven Hydrozephalus. Daher sind bei der neurochirurgischen Entscheidungsfindung die beiden wichtigsten therapeutischen Strategien, nämlich die Wiederherstellung der Liquorzirkulation und die Tumorbiopsie, von entscheidender Bedeutung. Die Lokalisation des Tumors, und der Grad der aquäduktalen Kompression sollten präoperativ sorgfältig analysiert werden. Die Planung der Trajektorie für die Tumorbiopsie und die transaquäduktale Stentimplantation werden durch einige der oben genannten Faktoren bestimmt. Tumoren, die sich im distalen Teil des dritten Ventrikels und im periaquäduktalen Bereich befinden, können durch den kontralateralen transventrikulären Zugang erfolgreich erreicht werden, was eine direkte Sicht auf den Tumor ermöglicht. Durch den gleichen Korridor kann der transaquäduktale Stent implantiert werden. Bei der durch den Tumor verzerrten intraventrikulären Anatomie, der Verengung des distalen Teils des dritten Ventrikels und des Aquädukteingangs kann die zusätzliche Verwendung eines intraluminalen ShuntScopes oder eines flexiblen Endoskops aufgrund der geringeren Invasivität im Vergleich zu einem starren Standardendoskop sehr vorteilhaft sein. Die Verwendung eines Gaab-Endoskops mit abgewinkelten Teleskopen (30°, 45°, 70°) ermöglicht eine maximale panoramische Exploration des Aquädukteingangs. Es ist auch wichtig zu betonen, dass die transaquäduktale Stentanlage nur dann durchgeführt werden sollte, wenn die anatomischen Orientierungspunkte klar identifiziert sind. Im Zweifelsfall sollte ein ventrikuloperitonealer Shunt oder eine Drittventrikulozisternostomie in Betracht gezogen werden. Die gleichzeitige Anwendung eines flexiblen Endoskops bietet einige zusätzliche Vorteile. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde der Einsatz eines flexiblen Endoskops in einem Fall in Betracht gezogen. Der Hauptgrund war, die intraaquäduktalen gliotischen Membranen vor der Stentanlage zu perforieren und den vierten Ventrikel zu explorieren. Die Verwendung der kombinierten endoskopischen Technik war vorteilhaft. Es trug dazu bei, die operative Effektivität zu optimieren, indem jeder der inhärenten Vorteile jedes Endoskops genutzt wurde, während gleichzeitig die Einschränkungen jeder endoskopischen Visualisierungstechnik ausgeglichen und überwunden wurden. Abgesehen von der verwendeten Technik sind intraoperative Komplikationen nicht immer vermeidbar. In der vorliegenden Serie lag eine leichte Fornixkontusion vor (1 Fall). Die erfolgreiche transaquäduktale Stentanlage wurde in allen vorgestellten Fällen erreicht. Es wurde keine technikbedingte Morbidität beobachtet. Basierend auf den Ergebnissen wurden die diskutierten Aspekte der vorgestellten Technik beleuchtet. Das soll Anregung sein, diese Technik bei gut ausgewählten Patienten zukünftig in Betracht zu ziehen.

Zusammenfassend spielt die endoskopische Visualisierung in der selektierten Therapie des Hydrozephalus eine sehr wichtige Rolle. Die ShuntScope-gestützte Technik ist eine gute

diagnostische Alternative, die wichtige Informationen für die endgültige Ventrikelkatheter- oder Stentanlage liefert. Damit kann eine hohe Rate an optimalen Katheteranlagen und deren langfristige Funktionalität erreicht werden.

Literaturverzeichnis

1. Abdoh MG, Bekaert O, Hodel J, Diarra SM, Le Guerinel C, Nseir R, Bastuji-Garin S, Decq P (2012) Accuracy of external ventricular drainage catheter placement. *Acta Neurochir (Wien)* 154(1): 153–159
2. Antes S, Linsler S, Salah M, Senger S, Oertel J (2017) Intra-catheter endoscopy for various shunting procedures. A retrospective analysis on surgical practicability, catheter placement, and failure rates. *Acta Neurochir (Wien)* 159(10): 1991–1998
3. Antes S, Salah M, Linsler S, Tschan CA, Breuskin D, Oertel J (2016) Aqueductal stenting with an intra-catheter endoscope. A technical note. *Childs Nerv Syst.* 32(2): 359–363
4. Antes S, Tschan CA, Heckelmann M, Salah M, Senger S, Linsler S, Oertel J (2017) Endoscopic-Assisted Burr Hole Reservoir and Ventricle Catheter Placement. *World Neurosurg.* 101: 11–19
5. Baldauf J, Oertel J, Gaab MR, Schroeder HWS (2007) Endoscopic third ventriculostomy in children younger than 2 years of age. *Childs Nerv Syst.* 23(6): 623–626
6. Cinalli G, Sainte-Rose C, Chumas P, Zerah M, Brunelle F, Lot G, Pierre-Kahn A, Renier D (1999) Failure of third ventriculostomy in the treatment of aqueductal stenosis in children. *J Neurosurg.* 90(3): 448–454
7. Cinalli G, Spennato P, Nastro A, Aliberti F, Trischitta V, Ruggiero C, Mirone G, Cianciulli E (2011) Hydrocephalus in aqueductal stenosis. *Childs Nerv Syst.* 27(10): 1621–1642
8. Cinalli G, Spennato P, Savarese L, Ruggiero C, Aliberti F, Cuomo L, Cianciulli E, Maggi G (2006) Endoscopic aqueductoplasty and placement of a stent in the cerebral aqueduct in the management of isolated fourth ventricle in children. *J Neurosurg.* 104(1 Suppl): 21–27
9. Clark S, Sangra M, Hayhurst C, Kandasamy J, Jenkinson M, Lee M, Mallucci C (2008) The use of noninvasive electromagnetic neuronavigation for slit ventricle syndrome and complex hydrocephalus in a pediatric population. *J Neurosurg Pediatr* 2(6): 430–434
10. Collins P, Hockley AD, Wollam DH (1979) Surface ultrastructure of tissues occluding ventricular catheters. *J. Neurosurg.* 48 (4): 609–613
11. Da Silva LR, Cavalheiro S, Zymberg ST (2007) Endoscopic aqueductoplasty in the treatment of aqueductal stenosis. *Childs Nerv Syst.* 23(11): 1263–1268
12. Fritsch MJ, Kienke S, Mehdorn HM (2004) Endoscopic aqueductoplasty: stent or not to stent? *Childs Nerv Syst.* 20(3): 137–142

13. Fritsch MJ, Schroeder HWS (2013) Endoscopic aqueductoplasty and stenting. *World Neurosurg.* 79(2 Suppl):S20. 15–18
14. Hayhurst C, Beems T, Jenkinson MD, Byrne P, Clark S, Kandasamy J, Goodden J, Rishi DS, Tewarie N, Mallucci CL (2010) Effect of electromagnetic-navigated shunt placement on failure rates. A prospective multicenter study. *J Neurosurg.* 113(6): 1273–1278
15. Hirsch JF, Hirsch E, Sainte Rose C, Renier D, Pierre-Khan A (1989) Stenosis of the aqueduct of Sylvius. Etiology and treatment. *J Neurosurg Sci.*30(1-2): 29–39
16. Hsieh CT, Chen GJ, Ma HI, Chang CF, Cheng CM, Su YH, Ju DT, Hsia CC, Chen YH, Wu HY, Liu MY(2011) The misplacement of external ventricular drain by freehand method in emergent neurosurgery. *Acta Neurol Belg* 111(1): 22–28
17. Imperato A, Almaguer Ascencio LM, Ruggiero C, Spennato P, Di Martino G, Aliberti F, Mirone G, Cinalli G (2021) Endoscopic aqueductoplasty and stenting in the treatment of isolated fourth ventricle in children: 20-year institutional experience. *Childs Nerv Syst.* 37(5): 1587–1596
18. Issa M, Nofal M, Miotk N, Seitz A, Unterberg A, El Damaty A (2021). Shuntscope-guided versus freehand technique for ventricular catheter placement. A retrospective comparative study of intraventricular catheter tip position and complication rate. *Research Square.*10: 1–14
19. Kestle JR, Drake JM, Cochrane DD, Milner R, Walker ML, Abbott R 3rd, Boop FA; Endoscopic Shunt Insertion Trial participants (2003) Endoscopic Shunt Insertion Trial participants. Lack of benefit of endoscopic ventriculoperitoneal shunt insertion. A multicenter randomized trial. *J Neurosurg.* 98(2): 284–290
20. Kestle J, Drake J, Milner R, Sainte-Rose C, Cinalli G, Boop F, Piatt J, Haines S, Schiff S, Cochrane D, Steinbok P, MacNeil N (2000) Long-term follow-up data from the shunt design trial. *Pediatr. Neurosurgery* 33(5): 230–236
21. Marx S, Baldauf J, Matthes M, Gaab MR, Schroeder HWS (2019) Long-Term Reliability of Neuroendoscopic Aqueductoplasty in Idiopathic Aqueductal Stenosis-Related Hydrocephalus. *Neurosurgery.*1;85(1): 91–95
22. Marx S, Fleck SK, El Refaee E, Manwaring J, Vorbau Ch, Fritsch MJ, Gaab MR, Schroeder HWS (2016) Neuroendoscopic stent placement for cerebrospinal fluid pathway obstructions in adults. *J Neurosurg.* 125(3): 576–584
23. Mohanty A, Manwaring K (2018) Isolated Fourth Ventricle: To Shunt or Stent. *Oper Neurosurg (Hagerstown).* 14(5): 483–493
24. Oertel JM, Baldauf J, Schroeder HWS, Gaab MR (2009) Endoscopic options in children: experience with 134 procedures. *J Neurosurg Pediatr.* 3(2): 81–89

25. Oertel J, Schroeder HWS, Gaab MR (2006) Third ventriculostomy for treatment of hydrocephalus: results of 271 procedures. *Neurosurgery*.16: 24–31
26. 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(8): 1299–303
27. Piatt JH, Carlson CV (1993) A search for determinants of cerebrospinal fluid shunt survival. Retrospective analysis of 14-year institutional experiences. *Pediatr Neurosurgery* 19(5): 233–242
28. Reddy GK, Bollam P, Caldito G, Guthikonda B, Nanda A (2012) Ventriculoperitoneal shunt surgery outcome in adult transition patients with pediatric-onset hydrocephalus. *Neurosurgery* 70(2): 380–389
29. Reig AS, Stevenson CB, Tulipan NB (2010) CT-based fiducial-free frameless stereotaxy for difficult ventriculoperitoneal shunt insertion. Experience in 26 consecutive patients. *Stereotact Funct Neurosurg*. 88: 75–80
30. Roth J, Constantini S (2012) Selective use of intra-catheter endoscopic-assisted ventricular catheter placement. Indications and outcome. *Childs Nerv Syst*. 28: 1163–1169
31. Schroeder HWS, Oertel J, Gaab MR (2008) Endoscopic treatment of cerebrospinal fluid pathway obstructions. *Neurosurgery* 62(6 Suppl 3): 1084–1092
32. Thomale UW, Knitter T, Schaumann A, Ahmadi SA, Ziegler P, Schulz M, Miethke C (2013) Smartphone-assisted guide for the placement of ventricular catheters. *Childs Nerv Syst* 29: 131–139
33. Toma AK, Camp S, Watkins LD, Grieve J, Kitchen ND (2009) External ventricular drain insertion accuracy. Is there a need for change in practice? *Neurosurgery* 65: 1197–1209
34. Whitehead WE, Riva-Cambrin J, Wellons JC 3rd, Kulkarni AV, Holubkov R, Illner A, Oakes WJ, Luerssen TG, Walker ML, Drake JM, Kestle JRW; Hydrocephalus Clinical Research Network (2013) No significant improvement in the rate of accurate ventricular catheter location using ultrasound-guided CSF shunt insertion. A prospective, controlled study by the hydrocephalus clinical Research Network. *J Neurosurg Pediatr* 12(6): 565–574

Anhang

Publikation 1

Image quality and related outcomes of the ShuntScope for catheter implantation in pediatric hydrocephalus – experience of 65 procedures

Prajsnar-Borak A, Teping F, Oertel J. Childs Nerv Syst. 2023 Mar;39(3):721–732. doi: 10.1007/s00381-022-05776-1

Publikation 2

Image quality and related outcomes of the ShuntScope guided catheter implantation in adult hydrocephalus – experience of 63 Procedures

Prajsnar-Borak A, Teping F, Oertel J. J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg. 2023 September 14. doi: 10.1055/s-0043-1769126

Publikation 3

Endoscopic transaqueductal stent placement for tumors-related aqueductal compression in pediatric patients. Surgical consideration, technique, and results

Prajsnar-Borak A, Schroeder HWS, Oertel J. Childs Nerv Syst. 2023 Oktober 12. doi: 10.1007/s00381-023-06171-0

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. med. Joachim Oertel für die Bereitstellung des Themas und für die fortwährende und freundliche Betreuung.

Außerdem danke ich Herrn Professor Dr. med. Henry W. S. Schroeder sehr für die Bereitstellung des illustrativen Falls und die kritische Durchsicht der Publikation 3.

Herrn Dr. med. Fritz Teping möchte ich für seine Hilfe und für seine kritische Durchsicht der Publikationen 1 und 2 ganz herzlich danken.

Mein größter Dank gilt meiner Familie für die Unterstützung sowie den liebevollen und uneingeschränkten Rückhalt.

Lebenslauf

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

Lebenslauf

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

Lebenslauf

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

Lebenslauf

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

Lebenslauf

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

Lebenslauf

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

Tag der Promotion:

18 Juni 2024

Dekan:

Prof. Dr.med. Michael D. Menger

Berichterstatter:

Prof. Dr.med. Joachim Oertel

Prof. Dr.med. Marcin Kasprzyk