

„Sonographie des Sehnerven zum Ausschluß erhöhten Hirndrucks bei Kindern“

**Von der Medizinischen Fakultät
der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen**

zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Medizin
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Manuel Scharf

aus Hanau

Berichter: Herr Universitätsprofessor
 Dr. med. Gerhard Alzen

 Herr Universitätsprofessor
 Dr. med. Rolf Günther

Tag der mündlichen Prüfung: 10. Januar 2003

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Hochschulbibliothek online verfügbar.

FÜR LENA

„Der rechte Forscher und Denker mausert sich wie ein Vogel und wirft alte Ansichten ab und bildet neue hervor; nur der fürchtet, die alten zu verlieren, dem keine frischen Federn wachsen.“

JUSTUS VON LIEBIG

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

1.1 Einführung	1
1.2 Hintergründe der Hirndruckmessung	1
1.2.1 Historischer Überblick	1
1.2.2 Entwicklung und aktueller Stand der Sonographie des Sehnerven	2
1.3 Problemstellung	3
1.4 Zielsetzung und Fragestellung der Untersuchung	3

2. Material und Methode

2.1 Patientenkollektiv	4
2.2 Indikationen	4
2.3 Untersuchungstechnik und Untersucher	5
2.4 Geräte	6
2.4.1 Acuson 128 System	6
2.4.2 Sonoline Elegra Advanced System	7
2.5 Auswertung	8
2.6 Statistik	8

3. Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der nicht gewerteten Untersuchungen	9
3.1.1 Drusenpapillen	9
3.1.2 Kolobome	9
3.1.3 Tumoren	10
3.1.4 Neuritis	10
3.1.5 Atrophie	10
3.1.6 Sonstiges	10
3.2 Ergebnisse der gewerteten Untersuchungen	11
3.2.1 Sehnerv	11
3.2.2 Nervenscheide	13
3.2.3 Papille	14
3.2.4 Meßabstand	14
3.2.5 Qualität der sonographischen Befunde	15
3.2.6 Verwendeter Schallkopf und Geräteeinstellungen	16
3.2.7 Weitere Diagnostik	17
3.3 Kinder mit IICP	18
3.3.1 Diagnosen bei Kindern mit IICP	18
3.3.2 Fallbeispiel	20

3.4 Ergebnisse der statistischen Berechnungen	20
3.4.1 Zusammenhang zwischen Sehnervenweite / ICP	20
3.4.2 Zusammenhang zwischen Sehnervenweite / Alter	20
3.4.3 Korrelation von Sehnervenweite / Geschlecht	23
3.4.4 Korrelation von Sehnervenweite / Seite	23
3.4.5 Korrelation von Sehnervenweite / Meßabstand	23
3.4.6 Korrelation von Sehnervenweite / Schallkopf	25
3.4.7 Korrelation von Sehnervenweite / Frequenz	25
3.4.8 Korrelation von Sehnervenweite / Untersucher	26
3.4.9 Korrelation von Sehnervenweite / Qualität	27
3.4.10 Korrelation von Sehnerv / Nervenscheide	28
3.4.11 Zusammenhang zwischen Nervenscheide / ICP	28
3.4.12 Zusammenhang zwischen Nervenscheide / Alter	29
3.4.13 Korrelation von Nervenscheide / Geschlecht	29
3.4.14 Korrelation von Nervenscheide / Seite	29
3.4.15 Korrelation von Nervenscheide / Meßabstand	29
3.4.16 Korrelation von Nervenscheide / Schallkopf	29
3.4.17 Korrelation von Nervenscheide / Schallfrequenz	30
3.4.18 Korrelation von Nervenscheide / Untersucher	30
3.4.19 Korrelation von Nervenscheide / Qualität	30
3.4.20 Zusammenhang verschiedener Einflußvariablen	30
3.4.21 Gütekriterien der Untersuchung	33
3.4.22 Verlaufskontrollen von Sehnerv und Nervenscheide	34
3.4.23 Verlaufskontrollen im Fallbeispiel	34
 4. <u>Diskussion</u>	
4.1 Bezug auf die Fragestellung dieser Untersuchung	36
4.2 Argumentation für die Konzeption der Untersuchung	36
4.3 Diskussion der Methode	37
4.3.1 Methoden der Hirndruckmessung	37
4.3.2 Vergleich der Sonographie der Sehnerven mit anderen Methoden	38
4.3.3 Fehlermöglichkeiten	39
4.4 Diskussion der Ergebnisse	40
4.4.1 Sehnerv und Nervenscheide	40
4.4.2 Sehnervenpapille	44
4.4.3 Einflußvariablen	44
4.4.4 Verlaufskontrollen	46
4.5 Schlußfolgerungen	47
4.6 Ausblick	48
 5. <u>Zusammenfassung</u>	49
 6. <u>Literatur</u>	50
 7. <u>Danksagung</u>	59
 8. <u>Lebenslauf</u>	60

1. Einleitung

1.1 Einführung

Rechtzeitige Diagnose, Kontrolle und adäquates Management des erhöhten Hirndrucks spielen nicht nur in der Erwachsenenmedizin, sondern besonders auch in der Kinderheilkunde eine große Rolle. Dies beruht vor allem auf den noch vielfältigeren Ursachen wie z.B. Raumforderungen durch Tumoren oder infolge eines Schädelhirntraumas, metabolischen oder toxischen Störungen, Ischämien, entzündlichen Prozessen, Verschlüssen oder Fehlbildungen des Liquorsystems. Aufgrund der festen Struktur des Schädels muß entsprechend der Monro-Kellie-Doktrin jeder Volumenanstieg eines der drei intrakraniellen Kompartimente, nämlich Hirnparenchym, Gefäße und Liquorsystem, zum Anstieg des intrakraniellen Drucks führen und bedarf damit unbedingt einer raschen medizinischen Intervention.

1.2 Hintergründe der Hirndruckmessung

1.2.1 Historischer Überblick

Wenngleich das Ventrikelsystem und die zerebrospinale Flüssigkeit schon von Galen und Vesal beschrieben wurden, blieben die physiologischen Hintergründe lange ungeklärt. Magendie war 1825 der erste, der bei Tieren die Zisterna magna punktierte, chemische Untersuchungen des Liquors begann und die Kommunikation innerer und äußerer Liquorräume über die Apertura mediana ventriculi quarti entdeckte, die deshalb später auch als Foramen Magendie benannt wurde. Leyden führte 1866 erste Messungen des intrakraniellen Drucks (intracranial pressure / ICP) im Epiduralraum durch.

Die erste diagnostische Lumbalpunktion mit Hilfe einer Nadel und eines Manometers wird Quincke 1891 zugeschrieben. Dandy und Blackfan konnten 1914 die Entstehung eines Hydrozephalus durch Blockade des Aquädukts zeigen. 1927 führte Fremont-Smith die erste große Studie zur Messung des lumbalen Liquordrucks bei 1033 Patienten mit unauffälligem ZNS durch und konnte einen Normalbereich von 70-180 mm H₂O festlegen, dessen Gültigkeit bis heute nahezu unverändert ist. Den wahren diagnostischen Wert der Hirndruckmessung erkannte man jedoch erst nach einer Untersuchung von Lundberg, der bei Patienten mit schwerem Schädelhirntrauma eine kontinuierliche Messung des intraventrikulären Drucks vornahm⁴².

In den letzten vierzig Jahren hat seitdem ein rasanter Fortschritt hinsichtlich der verschiedenen Möglichkeiten zur Hirndruckmessung stattgefunden. Die Prüfung der klinisch-neurologischen Hirndruckzeichen und die Augenhintergrundspiegelung zum Ausschluß einer Stauungspapille können als rein qualitative Methoden angesehen werden. Dagegen lassen sich mit diversen intraventrikulären, sub- oder epiduralen Kathetern, faser-optischen Meßgeräten, die sowohl intraventrikulär als auch intraparenchymal platziert werden können, sowie Messungen im Subarachnoidalraum mit Hilfe von Richmond- oder Leeds-Schrauben auch quantitative Aussagen über den Hirndruck machen. Hatte man in der bildgebenden Diagnostik anfänglich nur die Pneumoventrikulographie und die Karotisangiographie zur Verfügung, erlauben mittlerweile auch Computer- und Magnetresonanztomographie relativ zuverlässig und unkompliziert die Feststellung erhöhten intrakraniellen Drucks. In der Kinderheilkunde bewährten sich zudem bei Säuglingen die Fontanometrie und die Schädelsonographie durch die große Fontanelle.

1.2.2 Entwicklung und aktueller Stand der Sonographie des Sehnerven

Grundlagen der Sonographie des Sehnerven bildeten die Veröffentlichungen von Ernest und Potts bzw. von Hayreh 1968 sowie die Arbeit von Hedges und Zaren 1973. Ernest und Potts¹³ untersuchten im Tierversuch die Druckverhältnisse im Sehnerven mittels direkter Punktion durch den Glaskörper. Dabei konnten sie keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen dem intraokulären und dem Druck im Sehnerven feststellen, wohingegen eine Erhöhung des ICP durch eine Infusion in die Zisterna magna eine sofortige Drucksteigerung im Sehnerven bewirkte. Hayreh²⁹ konnte im Rahmen einer Untersuchung an Rhesusaffen bezüglich der Genese von Stauungspapillen eine Verbindung zwischen kranielem Subarachnoidalraum und der Nervenscheide des Sehnerven ausmachen. Hedges und Zaren³¹ konnten ebenfalls im Tierversuch eine positive Korrelation zwischen Druck im Gewebe des Sehnerven selbst bzw. im umgebenden Subarachnoidalraum und dem intrakraniellen Druck nachweisen. Zudem fanden sie geringfügige Druckschwankungen in Abhängigkeit vom systemischen arteriellen Blutdruck.

Die Untersuchung der Sehnerven mittels der A- bzw. B-Mode-Sonographie begann in den siebziger Jahren mit ersten Arbeiten von Ossoinig⁵², Skalka^{66,67} sowie Boynton, Pheasant und Levine⁷ zur Abklärung ophthalmologischer Krankheiten wie Sehnervenentzündungen oder Raumforderungen in der Orbita. Die erste Darstellung erweiterter Sehnerven im Rahmen erhöhten intrakraniellen Drucks (increased intracranial pressure / IICP) gelang Schröder⁶³ 1976. Erste Messungen des Sehnervendurchmessers erfolgten zunächst mit Hilfe der A-Mode-Sonographie sowohl bei Patienten mit nachgewiesenem Hirndruck mit zum Teil gleichzeitiger intraventrikulärer ICP-Messung^{9,64,84} als auch solchen mit umschriebenen Erkrankungen des Sehnerven^{15,62,64,69,70}.

Die zweidimensionale Darstellung des Sehnerven einschließlich der Durchmesserbestimmung mit der B-Mode-Sonographie brachte weitere Erkenntnisse hinsichtlich der Morphologie von Nerv und Nervenscheiden^{17,25}. Der direkte Zusammenhang zwischen Sehnervenweite und ICP im Sinne einer linearen Beziehung (ab einem bestimmten Schwellenwert) konnte experimentell^{23,32} und in vivo^{15,24,71} durch Weitenmessungen mit Hilfe der A- bzw. B-Mode-Sonographie während intrathekaler Infusionen bestätigt werden. Verschiedene Autoren untersuchten zudem die pathophysiologischen Hintergründe der Liquorströmung im Subarachnoidalraum der Sehnerven, die Verbindung zwischen Nerv und Nervenscheide (vor allem im bulbösen vorderen Teil) sowie die Dynamik der Durchmesseränderung in Abhängigkeit vom Druck^{12,39,40}. Ein Vergleich mit anderen bildgebenden Techniken wie der Magnetresonanz- oder der Computertomographie konnte die hohe Qualität der sonographischen Darstellung des Sehnerven und der umgebenden Hüllen validieren^{21,50}.

Die Messung des Sehnervendurchmessers bei Kindern erfolgte erstmals 1993 durch Szabó, Pelle et. alt.⁷⁰ zur Abklärung pathologischer Veränderungen. 1996 untersuchten Helmke und Hansen³³ fünfundzwanzig Kinder mit erhöhtem Hirndruck mittels der B-Mode-Sonographie. Shuper, Snir et. alt.⁶⁵ konnten 1997 bei siebzehn Kindern mit idiopathischer intrakranieller Hypertension verbreiterte Sehnervendurchmesser feststellen. Eine größere Studie zur Etablierung von Normwerten bezüglich der Sehnervenweite bei gesunden Kindern wurde erst kürzlich von Ballantyne, Hollman et. alt.³ durchgeführt.

1.3 Problemstellung

Trotz einer großen Auswahl an Meßgeräten zur Diagnose und Kontrolle erhöhten Hirndrucks gibt es bisher keine ideale Meßmethode, die sowohl exakte Messungen zuläßt als auch schnell und komplikationslos durchzuführen ist. Die Untersuchung der Sehnerven mit Hilfe der B-Mode-Sonographie ist eine nicht-invasive, komplikationsfreie und im Vergleich zu anderen Techniken relativ preisgünstige Untersuchung. Sie kann nahezu überall und von jedem in der Handhabung eines Ultraschallgerätes geübten Arztes leicht und schnell durchgeführt werden und ist angesichts ständig verbesserter Ultraschallgeräte mit höherer Auflösung sowie der Möglichkeit der elektronische Messung eine relativ genaue Meßmethode.

Problematisch ist die Tatsache, daß bisherige Untersuchungen dieser Art entweder nur bei Erwachsenen oder anzahlmäßig kleinen Gruppen von Kindern stattfanden. Zudem wurde die Sonographie der Sehnerven in allen Fällen unter standardisierten Bedingungen durchgeführt (gleiche Untersucher; mehrfache Messungen mit Mittelwertsbestimmung, fest definierter Meßabstand etc.), eine Voraussetzung, die im normalen klinischen Ablauf nur sehr selten gegeben ist und gerade bei jüngeren Kindern von deren Kooperation während der Untersuchung abhängig gemacht werden muß.

1.4 Zielsetzung und Fragestellung der Untersuchung

Ziel dieser Untersuchung war es deshalb, die klinischen Einsatzmöglichkeiten und die diagnostische Zuverlässigkeit der Sonographie der Sehnerven bei Kindern in der Routinediagnostik sowohl akut als auch chronisch erhöhten Hirndrucks zu überprüfen. Zu diesem Zweck dienten folgende Fragestellungen:

- Bestätigen sich signifikante Unterschiede des Sehnervendurchmessers in Abhängigkeit vom intrakraniellen Druck?
- Welche Sensitivität / Spezifität hat diese Untersuchung in der Routinediagnostik?
- Wie stark ist der Wert von Einflußvariablen zu berücksichtigen?
- Ergeben sich unterschiedliche Werte des Sehnervendurchmessers in Abhängigkeit vom Alter der Kinder?

2. Material und Methode

2.1 Patientenkollektiv

Im Zeitraum von August 1997 bis Februar 2000 wurden insgesamt 509 Kinder untersucht. Bei fünf Kindern war aufgrund starker Unruhe bzw. massiver Gegenwehr keine zufriedenstellende Untersuchung möglich. Die Untersuchung von 21 Kindern wurde wegen umschriebener pathologischer Veränderungen der Sehnervenpapille, der Sehnerven oder im Bereich des Chiasmas nicht gewertet. Insgesamt wurden somit die Untersuchungen von 483 Kindern in die endgültige Auswertung einbezogen.

Von diesen 483 Kindern waren 287 Jungen und 196 Mädchen. Der jüngste Patient war 4 Tage, der älteste 24 Jahre und 8 Monate alt (♂: 4 Tage bzw. 21 Jahre und 3 Monate / ♀: 5 Tage bzw. 24 Jahre und 8 Monate). Sowohl der Altersdurchschnitt als auch der Altersmedian lagen bei 7 Jahren [Abbildung 2.1]. Die sonographische Untersuchung fand bei 267 Kindern während einer ambulanten Abklärung statt; 216 Kinder befanden sich im Rahmen eines stationären Aufenthaltes in der Kinderklinik der Justus-Liebig-Universität Gießen.

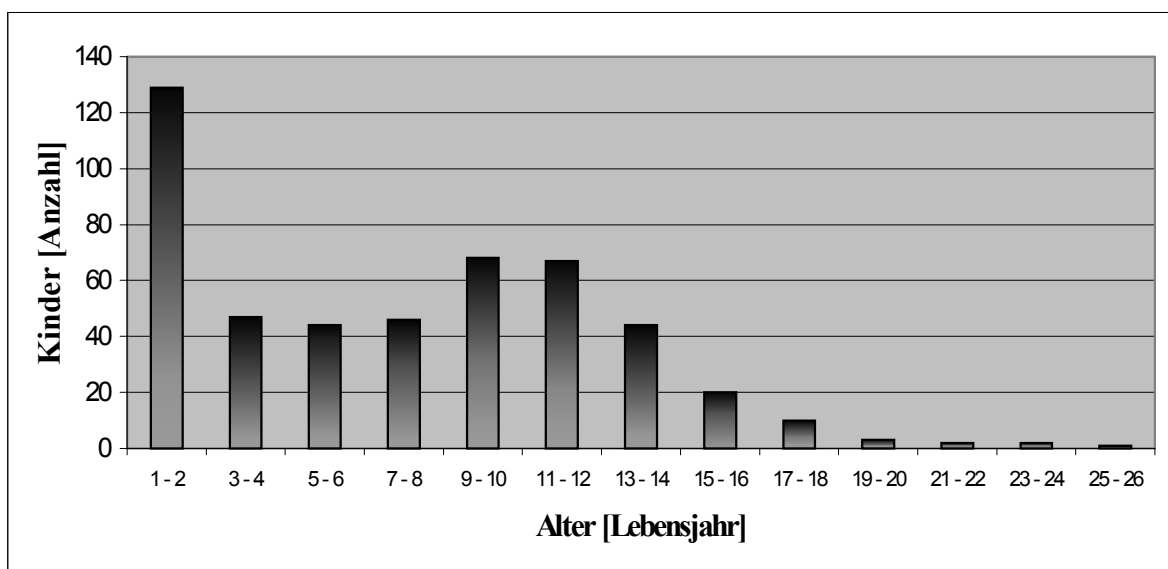


Abb. 2.1: Altersverteilung der untersuchten Kinder [n = 483]

2.2 Indikationen

Hinsichtlich der Indikationen für die Sonographie der Sehnerven wurden die Patienten in mehrere Gruppen eingeteilt, die sich nach der Hauptindikation zum Zeitpunkt der Aufnahme richteten. Der häufigste Grund für eine weitere Abklärung einschließlich einer Sonographie der Sehnerven waren neurologische Auffälligkeiten bei insgesamt 148 Kindern, beispielsweise Paresen unklarer Genese oder kombinierte Symptome wie Erbrechen, Kopfschmerzen und Sehstörungen. Als zweithäufigste Indikation präsentierten sich Kopfschmerzen (ohne weitere Symptomatik) bei 87 Patienten. 75 Kinder wurden im Rahmen von Verlaufskontrollen bei Änderung des klinischen Befundes oder nach

vorausgegangen pathologischen Ergebnissen erneut untersucht. Erstmals aufgetretene Krampfeignisse führten bei 55 Kindern zur weiteren Abklärung. Bei 43 Patienten mit Liquorshunt wurde ebenfalls die Sonographie des Sehnerven zum Ausschluß von IICP durchgeführt. Eine Kontrolle aus neuropädiatrischer Fragestellung heraus war bei 39 Kindern erforderlich, nach einem Schädelhirntrauma wurden 25 Kinder untersucht. 11 Kinder waren durch eine starke Zunahme des Kopfumfanges auf Werte oberhalb der 97. Perzentile aufgefallen [Abbildung 2.2].

In weitere Untergruppen ließen sich die Indikationen aufgrund neurologischer Auffälligkeiten einteilen; so waren ophthalmologische Symptome (plötzlicher Visusverlust oder Gesichtsfeldausfälle, Augenmuskelparesen, neu aufgetretener Nystagmus, Strabismus oder Anisokorie) bei 18 Kindern und Fazialis paresen bei 17 Kindern ausschlaggebend für die Aufnahme in diese Untersuchung. Jeweils 8 Patienten wurden wegen rezidivierenden Nüchternerbrechens bzw. Übelkeit oder synkopaler Ereignisse sonographiert. Die übrigen 97 Kinder ließen sich aufgrund kombinierter neurologischer Symptome in keine der genannten Untergruppen einteilen. Bei den Kindern mit der Hauptindikation Kopfschmerzen konnte hinsichtlich chronisch rezidivierender (69 Kinder) bzw. starker akuter Kopfschmerzen (18 Kinder) unterschieden werden.

Kontrollen bei neuropädiatrischen Patienten waren erforderlich bei Zustand nach intrazerebralen Blutungen, bei bekannten Fehlbildungen oder benignen intrakraniellen Tumoren (14 Kinder), Zustand nach neurochirurgischen Eingriffen (9), zum Ausschluß einer zerebralen Beteiligung bei onkologischer Erkrankungen wie beispielsweise einer akuten Leukämie (4) sowie bei bekanntem Krampfleiden ohne aktuelle Symptomatik (3). Die 9 übrigen Kinder dieser Gruppe wurden aus verschiedenen sonstigen Indikationen heraus untersucht.

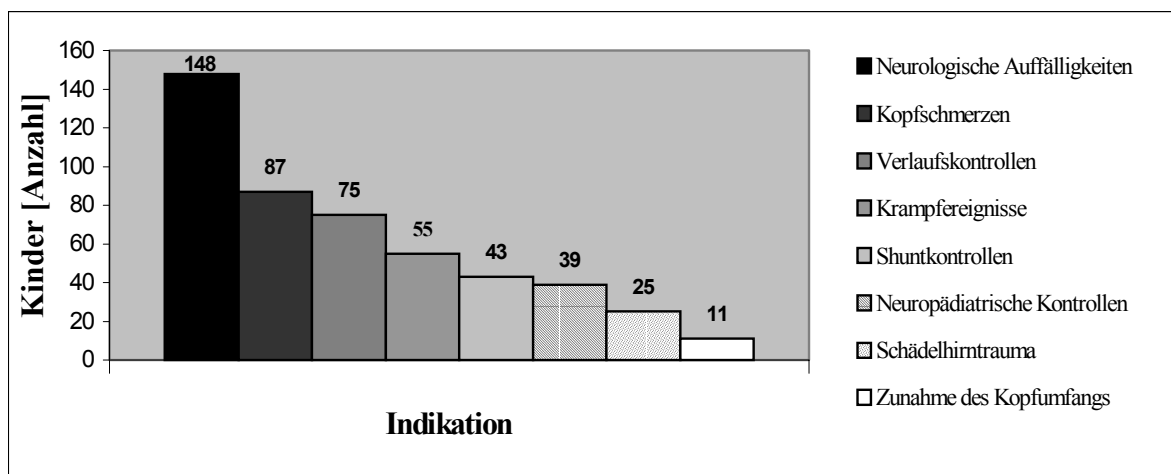


Abb. 2.2: Indikationen für die Sonographie des Sehnerven bei allen Kindern [n = 483]

2.3 Untersuchungstechnik und Untersucher

Alle Kinder wurden in der Abteilung für Kinderradiologie der Justus-Liebig-Universität Gießen mit Hilfe der B-Mode-Sonographie untersucht. In liegender Position des Kindes und nach Applikation von vorgewärmtem Ultraschallgel auf das Augenlid wurde der Schallkopf leicht lateral direkt auf das geschlossene Auge aufgesetzt. Ältere Kinder wurden aufgefordert, geradeaus zu sehen und die Augen möglichst ruhig zu halten. Bei einer Schallrichtung von temporal nach nasal konnte der Sehnerv transbulbär im axialen

Schnitt dargestellt werden. Alle Geräteeinstellungen konnten dabei vom Untersucher individuell vorgenommen werden, um bestmöglichen Kontrast zwischen dem echoarmen Sehnerven und dem echoreichen Fettgewebe der Orbita zu erzielen. Der Durchmesser des Sehnerven wurde an der breitesten Stelle hinter der Papille im rechten Winkel zum Verlauf des Nerven mit Hilfe elektronischer Cursor vermessen. Für den Durchmesser der Nervenscheide (soweit erkennbar) wurden die Meßpunkte jeweils am äußeren Rand der Dura gesetzt. Diese Messungen wurden jeweils an beiden Augen und im Regelfall an jedem Auge mindestens zweimal durchgeführt. Ebenfalls sonographisch beurteilt wurde die Sehnervpapille auf beiden Seiten. Alle Aufnahmen wurden auf Röntgenfilm dokumentiert [Abbildungen 2.3 a und b].

Insgesamt beteiligten sich 18 Ärzte an den Untersuchungen. Hierbei handelte es sich entweder um Fachärzte der Kinderradiologie oder um Assistenzärzte der Kinderklinik, die die Untersuchung unter Supervision eines Kinderradiologen durchführten.

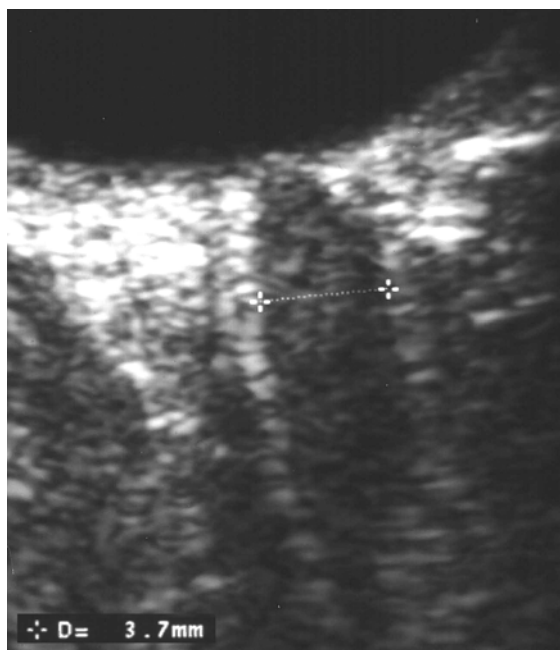


Abb. 2.3 a: Sehnerv bei normalem ICP (Ø=3.7 mm)
Unauffällige Papille

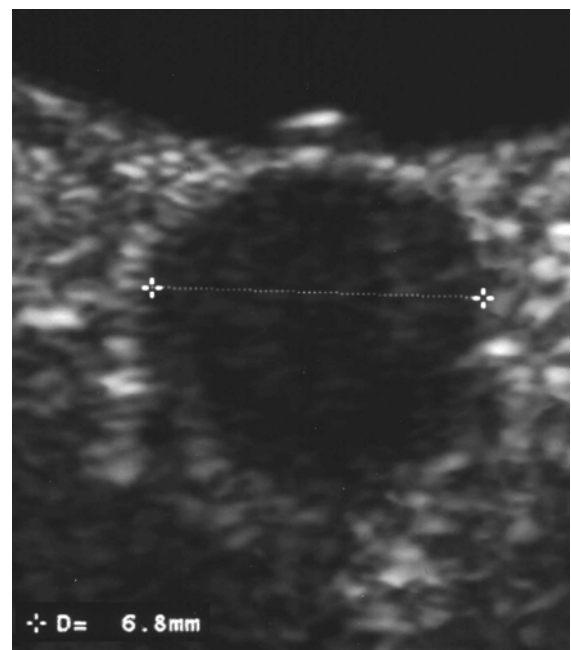


Abb. 2.3 b: Sehnerv bei IICP (Ø=6.8 mm)
Stauungspapille

2.4 Geräte

Für die sonographische Untersuchung wurden zwei verschiedenen Ultraschallgeräte benutzt, und zwar von August 1997 bis April 1998 ein „Acuson 128 System“, von Mai 1998 bis Februar 2000 ein „Sonoline Elegra Advanced System“

2.4.1 Acuson 128 System

Beim Acuson 128 System wurde für die Untersuchung der Sehnerven der Linearschallkopf L558 verwendet. Dieser Schallkopf hat eine fest eingestellte Schallfrequenz von 5,0 MHz. Tiefenverstärkung, Sendeleistung, Gesamtverstärkung und Grauwertzuordnung können für die bestmögliche Darstellung innerhalb festgelegter Grenzen variiert werden. Zudem bietet dieses Gerät die Möglichkeit, die Bildtiefe und den Sendebereich zu verändern, um eine

optimale Darstellung zu gewährleisten. Mit Hilfe der „Preprocessing“-Funktion des Gerätes besteht die Möglichkeit einer Grenzverstärkung, um eine bessere Abgrenzung zwischen Sehnerv und orbitalem Fettgewebe zu erreichen. Im Standbildmodus ist eine Streckenmessung mit elektronischen Meßmarken möglich.

Hinsichtlich der abgegebenen Ultraschallenergie entspricht dieses Gerät den Richtlinien der „Food and Drug Administration“ (US / FDA) mit einem I_{spta} -Wert (Spatial Peak Time Average Intensity) von weniger als 17 mW/cm^2 für Anwendungen am Auge. Der I_{spta} -Wert ist definiert als höchste Intensität innerhalb eines Schallfeldes und ergibt sich aus dem Mittel der Schallabstrahlung während der Erzeugung eines Bildes. Er ist somit als Parameter für die thermalen Effekte im Gewebe von Bedeutung.

Bei einer Schallfrequenz von 5,0 MHz mit dem Schallkopf L558 sowie der mit 1540 m/s festgelegten Schallgeschwindigkeit im Weichteilgewebe errechnet sich mit der Formel $f \times \lambda = c$ (Frequenz $\times$ Wellenlänge = Schallgeschwindigkeit) eine Wellenlänge von 0,31 mm. Das axiale Auflösungsvermögen liegt normalerweise im Bereich der doppelten Wellenlänge, das entspricht also ungefähr 0,62 mm. Die für Weitenmessungen entscheidende laterale Auflösung ist am höchsten in der Fokuszone und beträgt dort etwa vier Wellenlängen, in diesem Fall somit circa 1,24 mm. Hierbei handelt es sich allerdings nur um theoretische Werte; aufgrund der elektronischen Verarbeitung ist das tatsächlich erreichbare Auflösungsvermögen etwa doppelt so hoch anzusetzen, also bei etwa 0,6 mm.

2.4.2 Sonoline Elegra Advanced System

Bei diesem Ultraschallgerät standen zur Untersuchung der Sehnerven zwei Schallköpfe zur Verfügung, und zwar der 7,5PL13 Sektorschallkopf und der 7,5L40 Linearschallkopf. Die Schallfrequenz kann bei beiden Schallköpfen variabel bis zu einem Maximalwert von 9,0 MHz gewählt werden. Am Gerät können zudem Tiefenverstärkung, Sendeleistung und Gesamtverstärkung eingestellt werden. Durch Veränderung der Konturverstärkung können Unterschiede an Kontaktflächen verschiedener Gewebestrukturen akzentuiert werden, wie beispielsweise zwischen Sehnerv und umgebendem Gewebe. Die Vergrößerung und die Abbildungstiefe des zu untersuchenden Bereiches lassen sich zur besseren Darstellung ebenso vom Untersucher variieren wie die Positionierung der Fokuszone zur Erhöhung der Auflösung im Meßbereich. Im Standbildmodus ist bei diesem Ultraschallgerät eine elektronische Streckenmessung möglich; durch die sogenannte Cine-Funktion kann außerdem mit Hilfe einer Realtime-Speicherung das jeweils am besten eingestellte Bild herausgesucht werden. Mit einem I_{spta} -Wert von weniger als 17 mW/cm^2 für Anwendungen am Auge entspricht dieses Gerät ebenfalls den FDA-Richtlinien hinsichtlich der Energieabstrahlung.

Legt man für die beiden am häufigsten benutzten Schallfrequenzen eine Wellenlänge von etwa 0,21 mm (bei 7,2 MHz) bzw. 0,17 mm (bei 9,0 MHz) zugrunde, errechnet sich für beide Schallköpfe jeweils ein ungefähres axiales Auflösungsvermögen von 0,42 mm (7,2 MHz) bzw. 0,34 mm (9,0 MHz). Für das laterale Auflösungsvermögen können unter Annahme der vierfachen Wellenlänge etwa 0,84 mm (7,2 MHz) bzw. 0,68 mm (9,0 MHz) angenommen werden. Die Toleranz für direkte Distanzmessungen wird vom Hersteller mit 3 % der Distanz oder 1,5 mm angegeben, es gilt jeweils der höhere Wert bei einer angenommenen Schallgeschwindigkeit von 1540 m/s. Auch für dieses Gerät gilt, daß aufgrund der elektronischen Verarbeitung die tatsächlich erreichbare Auflösung deutlich höher ist, also je nach Frequenz zwischen 0,3 und 0,4 mm.

2.5 Auswertung

Die Auswertung wurde vom Doktoranden retrospektiv anhand der Patientenakten sowie der auf Röntgenfilm dokumentierten Ultraschallbilder vorgenommen. Aus den Patientenakten wurden alle Informationen hinsichtlich Anamnese, Befund, weiterführender Diagnostik sowie der letztendlichen Diagnose erfaßt. Die Ultraschallbilder wurden bezüglich der gemessenen Werte für die Durchmesser der Sehnerven / der Nervenscheiden in der Art ausgewertet, daß bei mehreren Messungen am gleichen Auge und von der Sonoqualität gleichwertigen Bildern der jeweils höchste Wert berücksichtigt wurde. Anhand des im Bildrand angezeigten Maßstabes konnten vom Doktoranden sowohl die Entfernung der Meßpunkte von der Sehnervpapille als auch in mehreren Fällen der Durchmesser der Nervenscheiden nachträglich bestimmt werden. Informationen über die eingestellten Gerätespezifikationen (Frequenz, Verstärkung, Vergrößerung, benutzter Schallkopf) konnten ebenfalls aus den Bildern entnommen werden. Alle Daten wurden mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogrammes Microsoft Excel 97[®] erfaßt und bearbeitet.

2.6 Statistik

Berechnungen der Streuungsparameter (Mittelwerte, Standardabweichungen etc.) wurden mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel 97[®] durchgeführt, ebenso die Erstellung der Diagramme. Die weiterführende Statistik wurde unter Beratung des Instituts für medizinische Informatik des Klinikums der Justus-Liebig-Universität Gießen mit dem Statistikpaket SPSS[®] Version 8.0 berechnet. Benutzt wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben, um den Zusammenhang zwischen Durchmesser des Sehnerven bzw. der Nervenscheide und dem intrakraniellen Druck zu überprüfen. Die Einflüsse weiterer Faktoren wurden durch Korrelationsanalysen getestet, Interaktionen der einzelnen Variablen wurden mit Hilfe von multifaktoriellen Varianzanalysen überprüft. Unterschiede zwischen einzelnen Gruppen wurden zusätzlich durch einen Tukey-Test statistisch verifiziert, so beispielsweise Differenzen des Sehnervendurchmessers für verschiedene Altersgruppen.

3. Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der nicht gewerteten Untersuchungen

Bei den 21 (von 509 insgesamt untersuchten) Kindern mit pathologischen Veränderungen im Bereich der Sehnervenpapille, des Sehnerven oder des Chiasmas ergaben sich folgende Befunde: Drusenpapillen fanden sich bei fünf Kindern, bei vier Kindern konnte eine Neuritis des Sehnerven nachgewiesen werden. Tumoren wurden bei vier weiteren Patienten festgestellt, und zwar zwei Gliome im Bereich des Sehnerven sowie jeweils ein Gliom bzw. das Rezidiv eines Kraniopharyngeoms im Bereich des Chiasmas. Die Diagnose einer Sehnervenatrophie konnte bei drei Kindern gestellt werden. Jeweils zwei Kinder hatten entweder ein isoliertes Papillenkolobom oder ein zentrales Aderhaut-Netzhaut-Papillenkolobom in Kombination mit einem Mikrophthalmus. Ödeme des Sehnerven und der Sehnervenscheide letztlich unklarer Genese wurden bei einem Kind gefunden [Tabelle 3.1].

Drusen- papillen	Kolobome	Tumoren	Neuritis	Atrophie	Sonstiges
5	4	4	4	3	1

Tab. 3.1: Anzahl der Diagnosen bei Kindern mit nicht gewerteter Untersuchung [n = 21]

3.1.1 Drusenpapillen

Bei fünf Kindern, die aufgrund klinischer Symptome wie Kopfschmerzen oder Lichtscheu untersucht wurden oder aber im Rahmen einer Funduskopie Stauungspapillen unklarer Genese zeigten, konnten Drusenpapillen als Diagnose gesichert werden. Diese stellten sich als rundliche oder ovale, sehr echoreiche Veränderungen mit dorsalem Schallschatten dar. Bei vier Kindern konnten sie auf beiden Seiten, bei einem Kind nur auf einer Seite entweder direkt hinter der Papille oder im weiteren Verlauf des Sehnerven lokalisiert werden. Die gemessenen Werte der Sehnervenweite lagen dabei im Bereich von 3,3 mm bis 3,7 mm, die der Nervenscheide zwischen 5,2 mm und 6,9 mm, wobei die Darstellung dieser Strukturen durch die Drusenpapillen zum Teil deutlich erschwert wurde.

3.1.2 Kolobome

Zwei Kinder wiesen den Befund eines isolierten Papillenkoloboms ohne weitere Fehlbildungen auf, die Untersuchung zwei weiterer Kinder konnte den Befund eines zentralen Aderhaut-Netzhaut-Papillenkoloboms zusammen mit einem Mikrophthalmus bestätigen. In allen vier Fällen konnte die Spaltbildung sonographisch gut dargestellt werden.

3.1.3 Tumoren

Gliome des Sehnerven konnten bei zwei Kindern nachgewiesen werden. Diese imponierten als Raumforderungen im Bereich der Sehnervenfasern mit Verbreiterung des Nerven auf bis zu 9,0 mm sowie der Nervenscheide auf bis zu 11,5 mm. Zwei Tumoren ließen sich aufgrund ihrer Lokalisation im Chiasma zwar nicht direkt sonographisch nachweisen, allerdings war der Sehnerv einseitig auf Werte bis zu 6,0 mm verbreitert. Die ursächlichen Raumforderungen hierfür konnten mit Hilfe der Magnetresonanztomographie in einem Fall als Gliom des Chiasmas selbst, in einem anderen als Rezidiv eines Kraniopharyngeoms diagnostiziert werden.

3.1.4 Neuritis

Bei vier Kindern konnte eine ein- oder beidseitige Erweiterung des Sehnerven und der Nervenscheide aufgrund der entsprechenden Symptomatik (beispielsweise starker Visusverlust, zunehmende Anisokorie, retrobulbäre Schmerzen, Augenmotilitätsstörungen) als Retrobulbärneuritis eingeordnet werden. Der Sehnerv war bei diesen Kindern ödematös auf Werte bis maximal 8,6 mm verbreitert und nicht eindeutig von der Nervenscheide abgrenzbar.

3.1.5 Atrophie

Eine Atrophie beider Sehnerven mit konsekutiver Blindheit konnte bei zwei Kindern als Spätfolge eines Hydrozephalus permagna gefunden werden. Bei einem weiteren Kind mit einseitigem Visusverlust war der Sehnerv der entsprechenden Seite nach Resektion eines Optikusglioms atrophiert. Die gemessenen Durchmesser der hypoplastischen Nerven variierten dabei zwischen 1,9 mm und 2,9 mm, die Nervenscheiden waren in keinem Fall abgrenzbar.

3.1.6 Sonstiges

Ein Kind, ein ehemaliges Frühgeborenes der 26. SSW mit Zustand nach intraventrikulärer Hämorrhagie (Grad IV), war im Rahmen einer Kontrolluntersuchung der visuell evozierten Potentiale mit ausgeprägten pathologischen Veränderungen und kaum auslösbaren Reizantworten der Sehrinde aufgefallen. Im Sonogramm der Sehnerven zeigten sich diese einschließlich der umgebenden Nervenscheiden stark ödematös aufgetrieben, wobei die Genese nicht definitiv geklärt werden konnte; im weiteren Verlauf waren diese Befunde jedoch deutlich rückläufig.

3.2 Ergebnisse der gewerteten Untersuchungen

3.2.1 Sehnerv

Von den insgesamt 509 untersuchten Kindern wurden die Ergebnisse von 483 der kleinen Patienten gewertet. Aufgrund der beidseitigen Untersuchung konnte der Sehnerv 964mal ausgemessen werden (481 rechts / 483 links) [Tabelle 3.2]. Die zwei fehlenden Messungen des rechten Sehnerven resultieren aus einem Abbruch der Sonographie bei mangelnder Kooperation der Kinder nach einseitiger Untersuchung.

SEHNERV [mm]	Kinder mit normalem ICP	Kinder mit IICP
Mittlerer Durchmesser	3,4	5,6
Kleinsten Durchmesser	1,9	3,9
Größter Durchmesser	5,2	8,2
Mittlere Seitendifferenz	0,2	0,6
Mittlerer Meßabstand	5	5
Kinder [Anzahl]	466	17

Tab. 3.2: Sehnerv bei Kindern mit normalem ICP bzw. mit IICP im Vergleich

Sehnerv bei Kindern mit normalem ICP

Von den 483 gewerteten Untersuchungen konnte bei 466 Kindern IICP durch weitere diagnostische Maßnahmen ausgeschlossen werden. Der Sehnerv wurde insgesamt 930mal (464 rechts / 466 links) sonographiert. Die ermittelten Werte für die Weite des Sehnerven lagen im Rahmen dieser Untersuchungen zwischen einem Minimum von 1,9 mm (2,1 mm rechts / 1,9 mm links) und einem Maximum von 5,2 mm (5,2 mm rechts / 5,2 mm links). Der mittlere Durchmesser des Sehnerven konnte mit 3,4 mm (3,4 mm rechts / 3,4 mm links) bei einer Standardabweichung von 0,5 mm (0,5 mm rechts / 0,5 mm links) bestimmt werden [Abbildung 3.1 a]. Die Seitendifferenz zwischen rechtem und linkem Sehnerven variierte zwischen 0 und 2,3 mm bei einer durchschnittlichen Differenz von 0,2 mm und einer Standardabweichung von 0,2 mm.

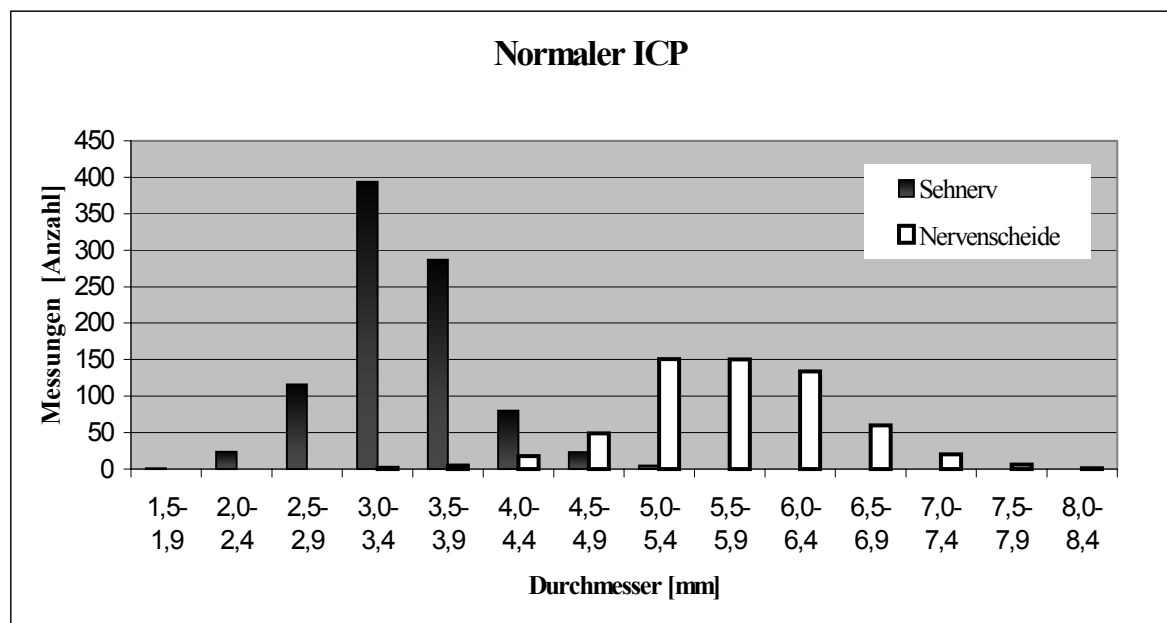


Abb. 3.1 a: Durchmesser des Sehnerven bzw. der Nervenscheide bei Kindern mit normalem ICP [n = 466]

Sehnerv bei Kindern mit IICP

Bei 17 Kindern konnte mittels weiterführender Diagnostik IICP nachgewiesen werden. Untersucht wurde der Sehnerv insgesamt 34mal (17 rechts / 17 links). Das Minimum der Sehnervenweite lag für diese Kinder bei 3,9 mm (3,9 mm rechts / 3,9 mm links), das Maximum bei 8,2 mm (7,5 mm rechts / 8,2 mm links). Der mittlere Durchmesser betrug 5,6 mm (5,8 mm rechts / 5,4 mm links) bei einer Standardabweichung von 0,9 mm (0,9 mm rechts / 1,0 mm links) [Abbildung 3.1 b]. Die durchschnittliche Seitendifferenz zwischen rechtem und linkem Sehnerven betrug 0,6 mm bei einer Standardabweichung von 0,3 mm und einer Spannbreite von 0 mm – 1,1 mm.

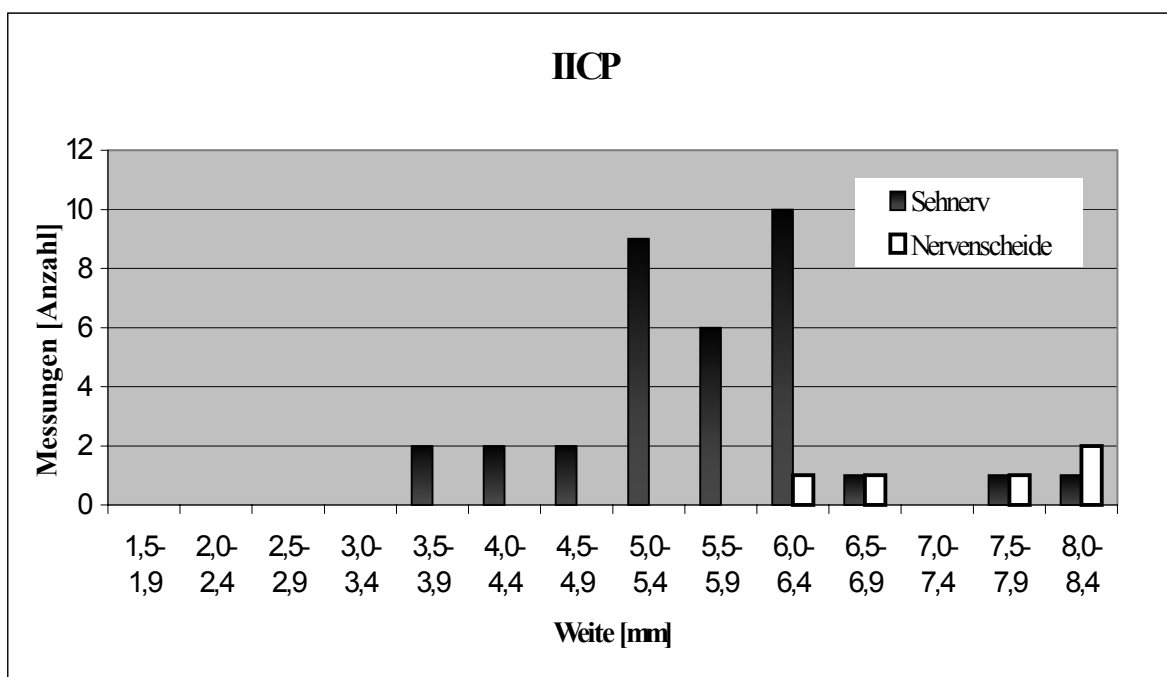


Abb. 3.1 b: Durchmesser des Sehnerven bzw. der Nervenscheide bei Kindern mit IICP [n = 17]

3.2.2 Nervenscheide

Die Nervenscheide konnte in insgesamt 601 Fällen (301 rechts / 300 links) sonographisch dargestellt und die Weite ausgemessen werden [Tabelle 3.3]. Bei mehreren Untersuchungen konnte die Nervenscheide nur auf jeweils einer Seite abgegrenzt werden.

NERVENSCHEIDE [mm]	Kinder mit normalem ICP	Kinder mit IICP
Mittlerer Durchmesser	5,7	7,4
Kleinsten Durchmesser	3,1	6,2
Größter Durchmesser	8,0	8,2
Mittlere Seitendifferenz	0,4	nicht berechnet
Mittlerer Meßabstand	6	5
Kinder [Anzahl]	466	17

Tab. 3.3: Nervenscheide bei Kindern mit normalem ICP bzw. mit IICP im Vergleich

Nervenscheide bei Kindern mit normalem ICP

Die Nervenscheide konnte in dieser Gruppe 596mal vermessen werden (298 rechts / 298 links). Der kleinste Wert für die Weite der Sehnervenscheide wurde mit 3,1 mm (3,3 mm rechts / 3,1 mm links) bestimmt, der größte mit 8,0 mm (7,6 mm rechts / 8,0 mm links). Der Mittelwert lag bei 5,7 mm (5,7 mm rechts / 5,7 mm links) mit einer Standardabweichung von 0,7 mm (0,7 mm rechts / 0,7 mm links) [Abbildung 3.1 a]. Die mittlere Seitendifferenz bei beidseitiger Darstellbarkeit der Nervenscheide konnte mit 0,4 mm innerhalb eines Bereichs von 0 bis 2,6 mm ermittelt werden, dabei lag die Standardabweichung bei 0,4 mm.

Nervenscheide bei Kindern mit IICP

Bei diesen siebzehn Kindern war die Nervenscheide insgesamt nur 5mal darstellbar (3 rechts / 2 links). Der gemessene Durchmesser der Nervenscheide reichte von 6,2 mm (6,2 mm rechts / 7,9 mm links) bis 8,2 mm (8,2 mm rechts / 8,2 mm links) bei einem Mittelwert von 7,4 mm und einer Standardabweichung von 1,0 mm [Abbildung 3.1 b]. Eine durchschnittliche Seitendifferenz wurde aufgrund der geringen Anzahl an Meßwertpaaren nicht berechnet.

3.2.3 Papille

Die Sehnervenpapille war bei allen Untersuchungen erkennbar. In insgesamt 904 Fällen wurde die Papille als Normalbefund gewertet (451 rechts / 453 links), in 26 Fällen als leicht prominent (13 rechts / 13 links), in 34 Fällen als Stauungspapille (17 rechts / 17 links). In keiner Untersuchung konnte eine eindeutige Seitendiskrepanz der Papillenfunde bemerkt werden.

Papille bei Kindern mit normalem ICP

Die sonographische Beurteilung der Sehnervenpapille dieser Kinder ergab bei 894 Untersuchungen keinen pathologischen Befund (446 rechts / 448 links), in 24 Fällen wurde eine diskrete Prominenz der Fovea festgestellt (12 rechts / 12 links). Als eindeutige Stauungspapille wurde der Befund in 12 Fällen gewertet (6 rechts / 6 links).

Papille bei Kindern mit IICP

Ein unauffälliger Befund der Papille ergab sich bei 10 Untersuchungen (5 rechts / 5 links), eine diskrete Prominenz zeigte sich in 2 Fällen (1 rechts / 1 links). Als Stauungspapille wurde das Resultat in 22 Fällen gewertet (11 rechts / 11 links).

3.2.4 Meßabstand

Der mittlere Abstand der Messung der Sehnervenweite von der Papille betrug insgesamt 5 mm (5 mm rechts / 5 mm links) bei einer Standardabweichung von 2 mm (1 mm rechts / 2 mm links). Dabei lagen die Werte für den Meßabstand insgesamt in einem Bereich von mindestens 2 mm rechts / 2 mm links bis maximal 11 mm rechts / 13 mm links. Die Weite der Nervenscheide wurde in einem durchschnittlichen Abstand von 6 mm (6 mm rechts / 6 mm links) bei einer Standardabweichung von 2 mm (2 mm rechts / 2 mm links) bestimmt, und zwar mit einer Spannweite von 2 mm rechts / 2 mm links bis 11 mm rechts / 10 mm links [Abbildung 3.2].

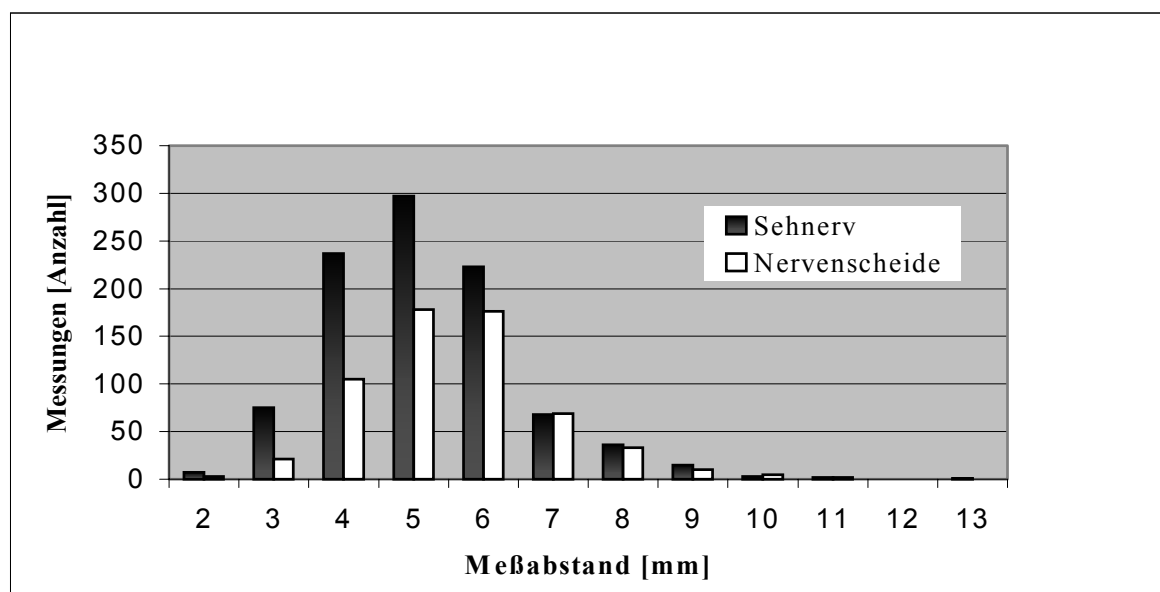


Abb. 3.2: Meßabstand für die Weitenmessung des Sehnervens bzw. der Nervenscheide [n = 483].

Meßabstand bei Kindern mit normalem ICP

Gemessen wurde der Durchmesser des Sehnerven im Mittel in einem Abstand von 5 mm hinter der Papille (5 mm rechts / 5 mm links) bei einer Standardabweichung von 2 mm (1 mm rechts / 2 mm links) sowie einer Spannweite von 2 mm rechts / 2 mm links bis 11 mm rechts / 13 mm links. Die Weite der Sehnervenscheide wurde in einem Abstand zur Papille im Bereich von 2 mm rechts / 2 mm links bis 11 mm rechts / 10 mm links bei einem durchschnittlichen Abstand von 6 mm bestimmt (6 mm rechts / 6 mm links). Für diesen Mittelwert betrug die Standardabweichung 1 mm (1 mm rechts / 1 mm links).

Meßabstand bei Kindern mit IICP

Bei diesen Kindern wurde der Sehnerv ebenfalls in einem mittleren Abstand von 5 mm (5 mm rechts / 5 mm links) in einem Bereich von 4 mm rechts / 3 mm links bis 9 mm rechts / 8 mm links ausgemessen. Die Weite der Nervenscheide wurde im Mittel 5 mm hinter der Papille (5 mm rechts / 5 mm links) bei einer Standardabweichung von 1 mm bestimmt (2 mm rechts / 1 mm links). Der Meßabstand variierte dabei zwischen 3 mm rechts / 4 mm links bis 6 mm rechts / 5 mm links.

3.2.5 Qualität der sonographischen Befunde

Hinsichtlich der Qualität der sonographischen Befunde konnten insgesamt drei Gruppen unterschieden werden. Als „eingeschränkt“ wurden die Ultraschallbilder bei 90 Kindern gewertet, bei denen der Sehnerv nur unscharf und / oder kurzstreckig vom orbitalen Fettgewebe abzugrenzen war. Die Nervenscheide war bei diesen Untersuchungen nicht darstellbar. Bei 333 Kindern wurden die Ergebnisse als „gut“ eingestuft. In diesen Fällen war der Sehnerv deutlich vom orbitalen Fettgewebe abzugrenzen; die Nervenscheide war teilweise zu erkennen. Sehnerv und Nervenscheide ließen sich bei 60 Kindern scharf voneinander und vom orbitalen Gewebe abgrenzen; zudem war in diesen Fällen der Verlauf langstreckig darstellbar. Diese Befunde wurden als „sehr gut“ bezeichnet [Abbildung 3.3]

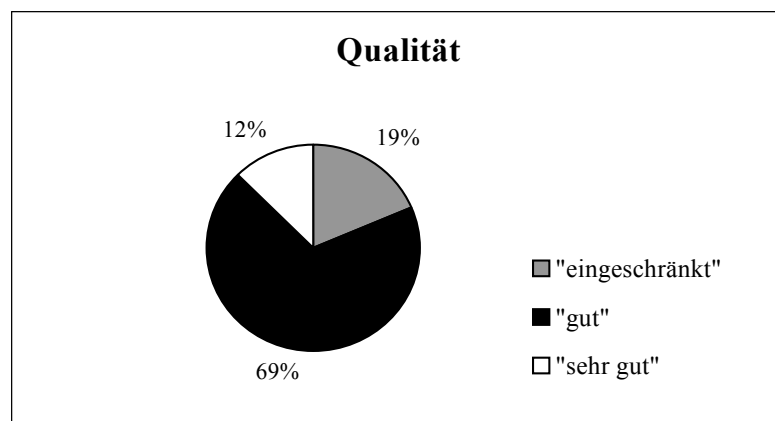


Abb. 3.3: Qualität der sonographischen Befunde [prozentualer Anteil aller Untersuchungen; n = 483].

Qualität bei Kindern mit normalem ICP

Alle 60 der als „sehr gut“ eingestuften Befunde ergaben sich in der Gruppe der Kinder mit normalem ICP, als „gut“ wurden 324 Sonographien bewertet. Nur „eingeschränkt“ waren die Ergebnisse bei 82 Kindern.

Qualität bei Kindern mit IICP

Bei den 17 Kindern mit IICP erschien die Abgrenzung der Sehnerven insgesamt schwieriger als bei den Kindern ohne IICP. So konnte(n) von den Untersuchungen der Patienten mit IICP keine mit „sehr gut“ und neun mit „gut“ bewertet werden. „Eingeschränkt“ waren die Befunde bei acht dieser Kinder.

3.2.6 Verwendeter Schallkopf und Geräteeinstellungen

Insgesamt wurde für 31 Untersuchungen das Acuson 128 System mit dem Schallkopf L558 benutzt. 452 der 483 Kinder wurden mit dem Elegra Sonoline Advanced System sonographiert, und zwar 61 mit dem 7,5PL13 Sektorschallkopf und 391 mit dem 7,5L40 Linearschallkopf. Die verwendete Schallfrequenz lag beim Acuson bei 5.0 MHz. Beim Elegra Sonoline variierte die eingestellte Frequenz zwischen 6.0 und 9.0 MHz; insgesamt wurden mit diesem Gerät 3 Kinder mit 6.0 MHz untersucht, 105 mit 7.2 MHz, 1 mit 7.5 MHz, 6 mit 8.0 MHz und 337 mit 9.0 MHz. Die eingestellte Leistung des Schallkopfes lag zwischen 10 dB beim Elegra Sonoline und 60 dB beim Acuson 128 mit einem Mittelwert von 27 dB bzw. einem Median von 26 dB.

Schallkopf und Geräteeinstellungen bei Kindern mit normalem ICP

Von den Kindern dieser Gruppe wurden 27 mit dem Acuson 128 und 5.0 MHz sonographiert. In allen anderen Fällen wurde das Elegra Sonoline benutzt, mit diesem Gerät wiederum 57mal der Schallkopf 7,5PL13 und 382mal der 7,5L40. Beim 7,5PL13 wurde eine Schallfrequenz von 6.0 MHz in 3 Fällen, 7.2 MHz in 41 und 9.0 MHz in 13 verwendet. Bei der Benutzung des 7,5L40 wurde bei jeweils 59 Ultraschalluntersuchungen eine Frequenz von 7.2 MHz, 7.5 MHz (1mal), 8.0 MHz (6mal) bzw. 9.0 MHz (316mal) eingestellt.

Schallkopf und Geräteeinstellungen bei Kindern mit IICP

Bei jeweils vier Untersuchungen dieser Kinder wurde das Acuson 128 mit dem 5.0 MHz-Schallkopf L558 bzw. das Elegra Sonoline mit dem Schallkopf 7,5PL13 (2mal mit 7.2 MHz / 2mal mit 9.0 MHz) verwendet. Die übrigen neun Kinder wurden mit dem 7,5L40 und 7.2 MHz (3mal) bzw. 9.0 MHz (6mal) sonographiert.

3.2.7 Weitere Diagnostik

Alle 483 Kinder wurden ausführlich neurologisch untersucht, wobei vor allem auf klinische Hirndruckzeichen geachtet wurde. In Abhängigkeit von Indikation und neurologischem Befund wurde nach der Sonographie der Sehnerven zusätzliche Diagnostik betrieben, und zwar ein EEG in 333 Fällen, eine Augenhintergrundspiegelung in 135 Fällen oder eine Magnetresonanztomographie bzw. Computertomographie des Kopfes in 121 bzw. 86 Fällen. Bei 77 Kindern wurde zur weiteren Abklärung eine transfontanelläre Schädelsonographie durchgeführt; 45 Patienten wurden lumbalpunktiert. Evozierte Potentiale (visuell und / oder akustisch evozierte Potentiale) wurden bei 43 Kindern abgeleitet, 25mal wurde eine Röntgenaufnahme des Schädels angefertigt [Tabelle 3.4].

Insgesamt wurden somit 165 Kinder neben der neurologischen mindestens einer weiteren der oben genannten Untersuchungen unterzogen. 171 Patienten wurden mit mindestens zwei, 74 mit drei, 20 mit vier und 5 mit fünf weiteren Methoden untersucht. Ein Kind benötigte die weitere Diagnostik mit Hilfe sechs zusätzlicher Untersuchungen. Bei 39 Kindern wurde der neurologische Befund allein als ausreichend für einen sicheren Ausschluß von IICP betrachtet.

	Kinder mit normalem ICP	Kinder mit IICP	Kinder gesamt
Neurologische Untersuchung	466	17	483
EEG	326	7	333
Augenhintergrundspiegelung	129	6	135
MRT / Kopf	115	6	121
CT / Kopf	77	9	86
Schädelsonographie	71	6	77
Lumbalpunktion	44	1	45
Evozierte Potentiale	39	4	43
Röntgen / Schädel	21	4	25

Tab 3.4: Zur Abklärung des ICP durchgeführte weitere Diagnostik [Anzahl]

Weitere Diagnostik bei Kindern mit normalem ICP

Die weitere Diagnostik dieser Kinder wurde von der ursprünglichen Indikation, dem neurologischen Befund sowie eventuell dem Ergebnis der Sonographie der Sehnerven abhängig gemacht. So wurde beispielsweise bei klinisch unauffälligen Kindern nach einem Schädelhirntrauma in der Regel auf weitere Bildgebung verzichtet, während diese bei Patienten mit stark zugenommenen Kopfumfang obligat war. Bei Kindern mit altersentsprechendem Neurostatus, aber unklaren Befunden in der Ultraschalluntersuchung der Sehnerven (beispielsweise eine deutliche Verbreiterung der Sehnerven) wurde zum Ausschluß von IICP mindestens eine weitere Untersuchung durchgeführt.

Weitere Diagnostik bei Kindern mit IICP

Zum eindeutigen Nachweis von IICP wurden alle Kinder dieser Gruppe neben der neurologischen Untersuchung mindestens einer weiteren, bezüglich IICP aussagekräftigen diagnostischen Maßnahme unterzogen, also z.B. einer Schädelsonographie, einer Computer- oder Magnetresonanztomographie. Als Beweis für IICP mit Hilfe der Bildgebung wurden Zeichen der Dekompensation des Liquorsystems wie ballonierte Ventrikel oder komprimierte basale Zisternen, Tumoren mit eindeutiger Verlegung der ableitenden Liquorwege und Liquoraufstau sowie Mittellinienverlagerungen gewertet. Stauungspapillen in der Augenhintergrundspiegelung, stark erhöhter Liquordruck bei Lumbalpunktionen oder klaffende Schädelnähte auf Röntgenaufnahmen wurden nur zusammen mit weiteren Hirndruckzeichen als beweisend angesehen. Veränderungen im EEG oder der evozierten Potentiale waren nicht ausschlaggebend für die Einordnung in diese Gruppe, sondern dienten lediglich der weiteren Diagnosesicherung.

3.3 Kinder mit IICP

3.3.1 Diagnosen bei Kindern mit IICP

Die insgesamt 17 Kinder mit nachgewiesenem IICP konnten hinsichtlich der primär für den Hirndruck ausschlaggebenden Diagnose in mehrere Gruppen unterteilt werden. Die häufigste Ursache war eine Shuntinsuffizienz bei fünf Kindern mit ventrikuloperitonealem Liquorshunt. Bei vier Kindern wurde eine intrakranielle Neoplasie mit Liquorabflußstörung entdeckt, bei drei Kindern hatte eine Aquäduktstenose unklarer Genese mit konsekutivem Hydrozephalus okklus bereits zum IICP geführt. In zwei Fällen war eine idiopathische intrakranielle Hypertension zum Zeitpunkt der Untersuchung Auslöser der Hirndrucksymptomatik. Bei jeweils einem Kind konnte entweder ein Epiduralhämatom, eine massive Sinusvenenthrombose oder eine Dekompensation des Liquorsystems nach der Entfernung einer temporären Liquordrainage als Ursache des erhöhten Hirndrucks nachgewiesen werden.

Shuntinsuffizienz

Die fünf Kinder dieser Gruppe waren alle durch neurologische Hirndruckzeichen bei bestehendem ventrikuloperitonealem Liquorshunt (aufgrund eines Hydrozephalus post-hämorrhagischer oder anderer Genese) auffällig geworden. Bei allen fünf war nach Bestätigung der Diagnose mit Hilfe anderer bildgebenden Verfahren eine operative Revision des Shunts indiziert.

Neoplasien

Zu erhöhtem Hirndruck führende Neoplasien wurden bei vier Kindern festgestellt, und zwar jeweils ein Glioblastoma multiforme der rechten Großhirnhemisphäre, ein Ependymom der hinteren Schädelgrube, eine große AV-Malformation im Temporallappen sowie ein Medulloblastom im Kleinhirn. Alle Tumoren hatten in Abhängigkeit von ihrer Lokalisation bereits zur Kompression der Ventrikel und einer Mittellinienverlagerung oder aber zum Hydrozephalus okklus mit starker Erweiterung des inneren Liquorsystems geführt.

Aquäduktstenosen

Die Kinder mit Aquäduktstenosen unklarer Genese zeigten alle drei ausgeprägte neurologische Veränderungen sowie eine massive Aufweitung der supratentoriellen Anteile des Ventrikelsystems bis hin zu einem nahezu komplett verstrichenen Hirnsulkusrelief bei einem dieser Kinder.

Idiopathische intrakranielle Hypertension

Ein Kind wurde zweimal aufgrund der Diagnose einer idiopathischen intrakraniellen Hypertension untersucht. Bei Erstaufnahme aufgrund vielfältiger neurologischer Hirndrucksymptomatik zeigten sich bei weitgehend unauffälliger Magnetresonanztomographie ausgeprägte Befunde einer beidseitigen Stauungspapille bei der Augenhintergrundspiegelung sowie pathologische Veränderungen des Brainmappings und der visuell evozierten Potentiale. Eine Verlaufskontrolle wenige Tage nach Therapiebeginn mit einem Karboanhydrasehemmer (Acetazolamid; DIAMOX ®) bei geringfügiger Besserung der Symptomatik zeigte eine nur diskrete Rückläufigkeit der Stauungspapillen und der Weite der Sehnerven.

Epiduralhämatom

Bei einem Kind hatte sich nach einem Sturz mit Schädelhirntrauma ein massives Epiduralhämatom gebildet. Dieses führte in kurzer Zeit zur Kompression des linken Seitenventrikels und Mittellinienverlagerung mit begleitenden klinischen Hirndruckzeichen.

Sinusvenenthrombose

Im Anschluß an eine durch eine Ureterabgangsstenose begünstigte schwere Pyelonephritis entwickelte sich bei diesem Kind eine ausgeprägte Sinusvenenthrombose mit IICP. Dieser konnte nur durch neurochirurgische Intervention und mit Hilfe einer vorübergehenden Liquordrainage bewältigt werden.

Entfernung der Liquordrainage

Das Kind mit einem Ependymom im Bereich des vierten Ventrikels mit Hydrozephalus okklus (siehe 3.3.1.2) zeigte nach vollständiger Resektion der Raumforderung und Entfernung der temporären Liquordrainage im Verlauf eine erneute klinische Verschlechterung und eine Zunahme der Seitenventrikel im Schädelsonogramm.

3.3.2 Fallbeispiel

Ein 14 1/12 Jahre altes Mädchen mit bis dato unauffälliger Anamnese wurde aufgrund neu aufgetretener, unkontrollierter Augenbewegungen sowie einer beginnenden Hemiparese der linken Seite stationär aufgenommen. Bei der Augenhintergrundspiegelung wurden beidseitig Stauungspapillen festgestellt. Eine computertomographische Untersuchung ergab eine ausgeprägte Mittellinienverlagerung und deutlich komprimierte Ventrikel als Ausdruck von IICP, ausgelöst durch eine große Raumforderung in der rechten Großhirnhemisphäre. Diese wurde postoperativ durch eine histologische Untersuchung als Glioblastoma multiforme eingestuft. Ein zusätzlich angefertigtes EEG zeigte einen massiven Herdbefund über der rechten Hemisphäre, die visuell evozierten Potentiale deutliche Latenzverzögerungen im Bereich der gesamten rechten Sehbahn.

Die sonographische Darstellung der Sehnerven zeigte zum Zeitpunkt der Aufnahme eindeutig verbreiterte Sehnerven (5,5 mm rechts / 5,3 mm links) einschließlich der Nervenscheiden (8,2 mm rechts / 8,0 mm links). Beide Papillen waren auch mit Hilfe der Ultraschalluntersuchung als Stauungspapillen zu erkennen. Bei insgesamt als „gut“ eingestufter Qualität der erhaltenen sonographischen Befunde wurde in diesem Fall das Elegra Sonoline Advanced System mit dem Sektorschallkopf 7,5PL13, einer Schallfrequenz von 7.2 MHz sowie einer Ausgangsleistung von 22 dB verwendet.

3.4 Ergebnisse der statistischen Berechnungen

3.4.1 Zusammenhang zwischen Sehnervenweite / ICP

Aufgestellt wurde die Nullhypothese H_0 : Der Durchmesser des Sehnerven ändert sich nicht bei Kindern mit IICP. Die entsprechende (einseitige) Alternativhypothese H_1 lautete: Der Durchmesser des Sehnerven nimmt bei Kindern mit IICP zu. Mit Hilfe des durchgeführten t-Tests und einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,0001$ konnte die Nullhypothese abgelehnt werden. Somit war im Rahmen dieser Untersuchungen bei nachgewiesenem IICP der Sehnerv hochsignifikant verbreitert.

3.4.2 Zusammenhang zwischen Sehnervenweite / Alter

Eine statistische Überprüfung zeigte für die Gruppe der Kinder mit normalem ICP einen signifikanten Zusammenhang zwischen Lebensalter und Sehnervenweite, für Kinder mit IICP konnte dies nicht bestätigt werden.

Zusammenhang zwischen Sehnervenweite / Alter bei Kindern mit normalem ICP

Die Mittelwerte der Sehnervenweite bei Kindern mit normalem ICP wurden jeweils für verschiedene Altersklassen, für jedes Lebensjahr einzeln und innerhalb des ersten Lebensjahres für jeden Lebensmonat gesondert errechnet und verglichen. Dabei ergaben sich tendenziell niedrigere Werte bei jüngeren Kindern [Tabelle 3.5 a].

Alter	MW Sehnerv [mm]	STA Sehnerv [mm]	Messungen [Anzahl]
1. LM	2,9	0,4	14
2. LM	3,1	0,6	14
3. LM	3,2	0,4	16
4. LM	3,1	0,2	14
5. LM	3,2	0,6	26
6. LM	3,3	1,0	10
7. LM	3,2	0,4	10
8. LM	3,5	0,6	20
9. LM	3,5	0,4	12
10. LM	3,7	0,4	6
11. LM	3,8	0,7	8
12. LM	3,5	0,0	2
1. LJ	3,3	0,6	152
2. LJ	3,4	0,6	91
3. LJ	3,3	0,4	44
4. LJ	3,3	0,4	42
5. LJ	3,4	0,4	44
6. LJ	3,5	0,4	38
7. LJ	3,2	0,3	38
8. LJ	3,3	0,5	54
9. LJ	3,5	0,5	70
10. LJ	3,4	0,3	66
11. LJ	3,4	0,3	72
12. LJ	3,5	0,5	60
1.-4. LJ	3,3	0,5	299
5.-8. LJ	3,4	0,4	166
9.-12. LJ	3,5	0,4	242
13.-25. LJ	3,6	0,5	153
INSGESAMT	3,4	0,5	930

Tab. 3.5 a: Durchmesser des Sehnerven in Abhängigkeit vom Lebensalter bei Kindern mit normalem ICP

Eine durchgeführte Pearson'sche Korrelationsanalyse zeigte eine signifikante Korrelation zwischen Lebensalter und dem Durchmesser des Sehnerven ($r = 0,164$ / $p < 0,01$), dabei ergab sich im Scatterplot eine logarithmische Regressionskurve.

Eine einfaktorielle Varianzanalyse deutete ebenfalls auf signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Altersgruppen hin ($df = 176$ / $F = 2,516$ / $p(F) < 0,01$). Überprüft wurde dies durch multiple Mittelwertsvergleiche unter Verwendung eines Tukey-Tests (Tukey-HSD). Hierbei zeigten sich die größten Unterschiede zwischen der Gruppe der Kinder im 1./2. Lebensmonat und den älteren Kindern (ab 10. bzw. 15. Lebensjahr) mit

einem Signifikanzniveau von $p < 0,001$. Patienten im 3./4. Monat wiesen ebenfalls signifikante Mittelwertsdifferenzen im Vergleich zu anderen Altersgruppen auf ($p < 0,01$). In der Gruppe der Kinder im 5./6. Lebensmonat fanden sich immerhin noch schwach signifikante Unterschiede zu älteren Kindern ($p < 0,05$); zwischen allen anderen Altersgruppen konnten keine relevanten Differenzen hinsichtlich der Sehnervenweite mehr nachgewiesen werden.

Zusammenhang zwischen Sehnervenweite / Alter bei Kindern mit IICP

In der Gruppe der Kinder mit IICP war der Durchmesser des Sehnerven nicht signifikant mit dem Lebensalter korreliert ($r = 0,238$ / $p = 0,176$). Die Werte variierten dabei je nach Altersgruppe zwischen 5,1 mm und 6,4 mm bei Standardabweichungen von 0,1 mm bis 1,2 mm [Tabelle 3.5 b].

Alter	MW Sehnerv [mm]	STA Sehnerv [mm]	Messungen [Anzahl]
1. LJ	5,8	0,6	8
2. LJ	5,1	0,7	6
3. LJ	6,4	0,1	2
4. LJ	5,5	0,8	6
1.-3. LJ	5,6	0,7	16
4.-6. LJ	5,3	0,9	12
7.-18.LJ	6,4	1,2	6
INSGESAMT	5,6	0,9	34

Tab. 3.5 b: Durchmesser des Sehnerven in Abhängigkeit vom Lebensalter bei Kindern mit IICP

Auch eine Varianzanalyse ($df = 13$ / $F = 6,419$ / $p(F) = 0,143$) mit einem anschließenden Tukey-Test konnte keine signifikanten Unterschiede zwischen einzelnen Altersgruppen aufdecken, allerdings war das jüngste Kind mit nachgewiesenem IICP bereits im 5. Lebensmonat, infolgedessen konnten die Altersgruppen vom 1.–4. Lebensmonat nicht in die Berechnungen mit einbezogen werden.

3.4.3 Korrelation von Sehnervenweite / Geschlecht

In beiden untersuchten Gruppen konnte keine Abhängigkeit der Sehnervenweite vom Geschlecht des untersuchten Kindes festgestellt werden (Kinder mit normalem ICP: $r = -0.008$ / $p = 0,802$; Kinder mit IICP: $r = 0,080$ / $p = 0,655$).

3.4.4 Korrelation von Sehnervenweite / Seite

Im Rahmen dieser Untersuchungen konnte sowohl bei Kindern mit normalem ICP als auch solchen mit IICP keine Abhängigkeit zwischen den Meßwerten des Sehnervendurchmessers und der Seite der Messung nachgewiesen werden, d.h. rechter und linker Sehnerv unterschieden sich nicht signifikant.

Korrelation von Sehnervenweite / Seite bei Kindern mit normalem ICP

Bei den 466 Kindern dieser Gruppe war der Durchmesser des Sehnerven (bei gleichen Mittelwerten und Standardabweichungen auf beiden Seiten) nicht signifikant mit einer der beiden Seiten korreliert ($r = 0,006$ / $p = 0,852$).

Korrelation von Sehnervenweite / Seite bei Kindern mit IICP

Die Sehnervenweite war bei diesen 17 Kindern (bei annähernd gleichen Mittelwerten und Standardabweichungen) nicht signifikant von der Seite der Messung abhängig ($r = -0,040$ / $p = 0,218$).

3.4.5 Korrelation von Sehnervenweite / Meßabstand

Zwischen dem Abstand der sonographischen Messung von der Sehnervenpapille und dem gemessenen Durchmesser der Sehnerven ergab sich für beide Gruppen keine signifikante Zusammenhang.

Korrelation von Sehnervenweite / Meßabstand bei Kindern mit normalem ICP

Die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen dem Meßabstand und der gemessenen Weite des Sehnerven ergab keine signifikante Korrelation ($r = 0,048$ / $p = 0,144$). Die Mittelwerte des Sehnervendurchmessers für die einzelnen Meßabstände lagen zwischen 3,3 mm und 3,7 mm und damit innerhalb der ersten Standardabweichung des Gesamtmittelwertes [Tabelle 3.6 a].

Meßabstand [mm]	Messungen [Anzahl]	MW Sehnerv [mm]	STA Sehnerv [mm]
2	7	3,3	0,5
3	73	3,5	0,5
4	226	3,4	0,5
5	286	3,4	0,5
6	216	3,4	0,5
7	67	3,4	0,5
8	35	3,6	0,6
9	14	3,7	0,9
10	3	----	----
11	2	----	----
12	0	----	----
13	1	----	----
10-13	6	3,5	0,8
INSGESAMT	930	3,4	0,5

Tab. 3.6 a: Durchmesser des Sehnerven in Abhängigkeit vom Meßabstand bei Kindern mit normalem ICP

Korrelation von Sehnervenweite / Meßabstand bei Kindern mit IICP

Bei den Kindern mit nachgewiesenem IICP konnte keine signifikante Korrelation zwischen Meßabstand und gemessener Sehnervenweite gefunden werden ($r = 0,075$ / $p = 0,674$). Der mittlere Durchmesser des Nerven lag dabei je nach Meßabstand zwischen 5,3 mm und 5,9 mm [Tabelle 3.6 b].

Meßabstand [mm]	Messungen [Anzahl]	MW Sehnerv [mm]	STA Sehnerv [mm]
3	2	5,6	0,7
4	11	5,7	0,8
5	11	5,3	0,9
6	7	5,9	1,4
7-9	3	5,8	0,6
INSGESAMT	34	5,6	0,9

Tab. 3.6 b: Durchmesser des Sehnerven in Abhängigkeit vom Meßabstand bei Kindern mit IICP

3.4.6 Korrelation von Sehnervenweite / Schallkopf

In beiden Gruppen ergaben sich zwischen dem benutzten Schallkopf und den Meßwerten der Sehnervenweite keine signifikanten Zusammenhänge.

Korrelation von Sehnervenweite / Schallkopf bei Kindern mit normalem ICP

Aufgrund der durchgeführten Korrelationsanalyse konnte in dieser Gruppe ein signifikanter Zusammenhang zwischen Sehnervenweite und benutztem Schallkopf ausgeschlossen werden ($r = 0,061$ / $p = 0,062$). Mit dem L558 wurde die Sehnervenweite im Mittel mit 3,8 mm (3,8 mm rechts / 3,8 mm links) bei einer Standardabweichung von 0,6 mm (0,6 mm rechts / 0,6 mm links) bestimmt. Für Messungen mit dem Schallkopf 7,5PL13 ergab sich ein Mittelwert von 3,2 mm (3,2 mm rechts / 3,2 mm links) bei einer Standardabweichung von 0,6 mm (0,6 mm rechts / 0,6 mm links). Kinder, die mit dem 7,5L40 sonographiert wurden, hatten eine durchschnittliche Sehnervenweite von 3,4 mm (3,4 mm rechts / 3,4 mm links) bei einer Standardabweichung von 0,5 mm (0,5 mm rechts / 0,5 mm links).

Korrelation von Sehnervenweite / Schallkopf bei Kindern mit IICP

Bei Kindern mit IICP betrug der Mittelwert der Sehnervenweite mit dem Schallkopf L558 6,2 mm (6,3 mm rechts / 6,1 mm links), die Standardabweichung 1,1 mm (0,8 mm rechts / 1,4 mm links). Mit dem 7,5PL ergab sich ein mittlerer Durchmesser von 5,6 mm (6,0 mm rechts / 5,2 mm links) bei einer Standardabweichung von 0,5 mm (0,5 mm rechts / 0,3 mm links). Die mit dem 7,5L40 gemessenen Sehnerven hatten im Durchschnitt eine Weite von 5,4 mm (5,5 mm rechts / 5,3 mm links) bei einer Standardabweichung von 0,9 mm (1,1 mm rechts / 0,9 mm links). Auch bei diesen Kindern korrelierten Sehnervenweite und Schallkopf nicht signifikant ($r = -0,329$ / $p = 0,058$).

3.4.7 Korrelation von Sehnervenweite / Frequenz

Zwischen der für die Untersuchung benutzten Schallfrequenz und dem Ergebnis der Durchmesserbestimmung des Sehnerven ergab sich in beiden Gruppen kein signifikanter Zusammenhang.

Korrelation von Sehnervenweite / Frequenz bei Kindern mit normalem ICP

In Abhängigkeit von den sechs verschiedenen Schallfrequenzeinstellungen ergaben sich in dieser Gruppe für die mittlere Sehnervenweite Werte von 3,1 mm bis 3,8 mm bei Standardabweichungen von 0,1 mm bis 0,6 mm; eine signifikante Korrelation beider Variablen wurde nicht gefunden ($r = -0,068$ / $p = 0,057$).

Korrelation von Sehnervenweite / Frequenz bei Kindern mit IICP

Bei diesen Kindern variierten die Mittelwerte der gemessenen Sehnervenweite je nach verwendeter Frequenz zwischen 5,1 mm und 6,1 mm bei Standardabweichungen von 1,0 mm bis 0,5 mm. Eine signifikante Korrelation ließ sich statistisch nicht feststellen ($r = -0,152$ / $p = 0,392$).

3.4.8 Korrelation von Sehnervenweite / Untersucher

Innerhalb der zwei untersuchten Gruppen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede der Mittelwerte der gemessenen Sehnervenweite in Abhängigkeit vom jeweiligen Untersucher.

Korrelation von Sehnervenweite / Untersucher bei Kindern mit normalem ICP

Bei den Kindern mit normalem ICP konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen den insgesamt 19 die Sonographien durchführenden Ärzten und der gemessenen Sehnervenweite festgestellt werden ($r = -0,005$ / $p = 0,87$). Die Mittelwerte für den Durchmesser des Sehnerven lagen dabei je nach Untersucher zwischen 3,1 mm und 3,6 mm bei Standardabweichungen von 0,2 mm bis 0,7 mm [Tabelle 3.7 a].

Untersucher [Nr.]	MW Sehnerv [mm]	STA Sehnerv [mm]
1	3,6	0,6
2	3,4	0,7
3	3,5	0,5
4	3,1	0,3
5	3,4	0,5
6	3,4	0,4
7	3,1	0,2
8	3,3	0,4
9	3,4	0,5
10	3,4	0,4
11	3,3	0,3
12	3,6	0,4
13	3,5	0,3
14	3,4	0,5
15	3,1	0,6
16	3,6	0,4
17	3,5	0,2
18	3,4	0,3
19	3,1	0,4
INSGESAMT	3,4	0,5

Tab. 3.7 a: Durchmesser des Sehnerven in Abhängigkeit vom untersuchenden Arzt bei Kindern mit normalem ICP

Korrelation von Sehnervenweite / Untersucher bei Kindern mit IICP

Für die drei untersuchenden Ärzte der Kinder mit IICP konnte kein signifikanter Zusammenhang bezüglich der gemessenen Sehnervenweite nachgewiesen werden ($r = -0,173$ / $p = 0,327$). Die Mittelwerte der einzelnen Untersucher lagen dabei zwischen 5,3 mm und 5,7 mm bei Standardabweichungen von 0,5 bis 1,1 mm [Tabelle 3.7 b].

Untersucher [Nr.]	MW Sehnerv [mm]	STA Sehnerv [mm]
1	5,7	1,0
2	5,3	1,1
3	5,7	0,5
INSGESAMT	5,6	0,9

Tab. 3.7 b: Durchmesser des Sehnerven in Abhängigkeit vom untersuchenden Arzt bei Kindern mit IICP

3.4.9 Korrelation von Sehnervenweite / Qualität

Sowohl bei Kindern mit normalem ICP als auch denen mit nachgewiesenem IICP zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen der gemessenen Sehnervenweite und der Qualität des Sonogramms. Allerdings berechnete sich bei besserer Qualität in beiden Gruppen eine deutlich geringere Standardabweichung und Spannbreite als Ausdruck einer kleineren Variabilität der Meßwerte [Tabelle 3.8].

Qualität (normaler ICP)	MW Sehnerv [mm]	STA Sehnerv [mm]	Kinder [Anzahl]
„Eingeschränkt“	3,5	0,7	82
„Gut“	3,4	0,5	324
„Sehr gut“	3,4	0,4	60
Qualität (IICP)			
„Eingeschränkt“	5,9	1,1	8
„Gut“	5,4	0,7	9

Tab. 3.8: Durchmesser des Sehnerven in Abhängigkeit von der sonographischen Qualität bei Kindern mit normalem ICP bzw. mit IICP

Korrelation von Sehnervenweite / Qualität bei Kindern mit normalem ICP

Der Mittelwert des Durchmessers der als „eingeschränkt“ beurteilten Befunde lag in dieser Gruppe bei 3,5 mm (3,5 mm rechts / 3,5 mm links), die Standardabweichung bei 0,7 mm (0,7 mm rechts / 0,7 mm links) und die Spannbreite reichte von 2,1 mm – 5,2 mm. „Gute“ Ergebnisse hatten einen Mittelwert von 3,4 mm (3,3 mm rechts / 3,4 mm links) bei einer Standardabweichung von 0,5 mm (0,4 mm rechts / 0,5 mm links) und einer Spannbreite von 1,9 mm – 5,2 mm. Die Werte der „sehr guten“ Befunde variierten im Bereich von 2,3 mm – 4,6 mm mit einem Mittelwert von 3,4 mm (3,4 mm rechts / 3,4 mm links) und einer Standardabweichung von 0,4 mm (0,4 mm rechts / 0,4 mm links). Es ergaben sich keine signifikanten Zusammenhänge in der Korrelationsanalyse ($r = -0,60$ / $p = 0,069$).

Korrelation von Sehnervenweite / Qualität bei Kindern mit IICP

Bei diesen Kindern ergab sich für „eingeschränkte“ Befunde ein Mittelwert von 5,9 mm für den Durchmesser des Sehnerven (6,1 mm rechts / 5,7 mm links). Dabei betrug die Standardabweichung 1,1 mm (1,0 mm rechts / 1,2 mm links), die Spannbreite reichte von 3,9 mm – 8,2 mm. Als „gut“ bewertete Untersuchungsergebnisse zeigten einen Mittelwert von 5,4 mm (5,5 mm rechts / 5,2 mm links). Mit einer Standardabweichung von 0,7 mm (0,8 mm rechts / 0,6 mm links) lagen diese Meßwerte zwischen 4,0 mm und 6,4 mm. Eine Korrelation zwischen beiden Variablen konnte nicht nachgewiesen werden ($r = -0,3$ / $p = 0,085$):

3.4.10 Korrelation von Sehnerv / Nervenscheide

Bei Kindern mit normalem ICP konnte eine signifikante positive Korrelation zwischen der Weite des Sehnerven und der Nervenscheide nachgewiesen werden, d.h. mit zunehmendem Durchmesser des Sehnerven wurde (soweit möglich) auch ein größerer Durchmesser der Nervenscheide gemessen ($r = 0,594$ / $p < 0,001$). In der Gruppe der Kinder mit IICP ergab sich dagegen kein signifikanter Zusammenhang ($r = 0,474$ / $p = 0,420$), allerdings war auch nur bei sehr wenigen dieser Kinder der Nerv einschließlich der Nervenscheide darstellbar.

3.4.11 Zusammenhang zwischen Nervenscheide / ICP

Die gemessenen Werte der Nervenscheide beider Gruppen wurden mit Hilfe eines t-Tests auf Unterschiede überprüft. Bei eingeschränkter Aussagekraft aufgrund nur weniger Meßwerte innerhalb der Gruppe mit IICP wurde mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,001$ ein signifikanter Zusammenhang zwischen Nervenscheide und Hirndruck festgestellt, d.h. bei Kindern mit IICP war im Rahmen dieser Untersuchungen die Nervenscheide im Vergleich zu Kindern mit normalem ICP verbreitert.

3.4.12 Zusammenhang zwischen Nervenscheide / Alter

Der gemessene Durchmesser der Nervenscheide der Kinder mit normalem ICP war signifikant vom Alter abhängig. Dies konnten sowohl eine Korrelationsanalyse ($r = 0,209$ / $p < 0,001$) als auch eine Varianzanalyse bestätigen ($df = 137$ / $F = 2,924$ / $p(F) < 0,001$), im Scatterplot zeigte sich eine logarithmische Regressionskurve. Mit Hilfe des Tukey-Tests konnten ähnliche Unterschiede zwischen den einzelnen Altersgruppen wie für die Sehnervenweite selbst verifiziert werden, allerdings auf niedrigerem Signifikanzniveau. So zeigten sich die größten Mittelwertsdifferenzen jeweils zwischen den Kindern im 1./2., 3./4. bzw. 5./6. Lebensmonat und den älteren Kindern (ab 10. bzw. 15. Lebensjahr) mit Irrtumswahrscheinlichkeiten von $p < 0,05$; zwischen allen anderen Altersgruppen fanden sich keine signifikanten Unterschiede der Weite der Nervenscheide.

In der Gruppe der Kinder mit IICP ließ sich bei nur sehr geringer Anzahl an Meßwerten keine signifikante Korrelation bestätigen ($r = 0,451$ / $p = 0,420$), auf weitere Berechnungen wurde deshalb verzichtet.

3.4.13 Korrelation von Nervenscheide / Geschlecht

Bei den Kindern mit normalem ICP konnte keine signifikante Korrelation zwischen Durchmesser der Nervenscheide und dem Geschlecht des untersuchten Kindes festgestellt werden ($r = 0,068$ / $p = 0,100$). In der Gruppe der Kinder mit IICP war aufgrund zu weniger Meßwerte keine Analyse möglich.

3.4.14 Korrelation von Nervenscheide / Seite

Bei annähernd gleichen Mittelwerten und identischen Standardabweichungen für die Weite der Nervenscheide konnte bei Kindern mit normalem ICP keine signifikante Korrelation zwischen dem Durchmesser der Nervenscheide und der Seite der Messung nachgewiesen werden ($r = 0,068$ / $p = 0,100$). In der zweiten Gruppe war keine Berechnung möglich.

3.4.15 Korrelation von Nervenscheide / Meßabstand

Der Meßabstand hinter der Sehnervenpapille stand in beiden Gruppen in keinem signifikanten Zusammenhang zur gemessenen Weite der Sehnervenscheide (Kinder mit normalem ICP: $r = 0,061$ / $p = 0,062$; Kinder mit IICP: $r = 0,178$ / $p = 0,775$).

3.4.16 Korrelation von Nervenscheide / Schallkopf

In beiden Gruppen ließ sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Durchmesser der Nervenscheide und dem verwendeten Schallkopf nachweisen (Kinder mit normalem ICP: $r = 0,047$ / $p = 0,152$; Kinder mit IICP: $r = -0,46$ / $p = 0,436$).

3.4.17 Korrelation von Nervenscheide / Schallfrequenz

Zwischen der Weite der Nervenscheide und der benutzten Schallfrequenz ergab sich in beiden untersuchten Gruppen kein signifikanter Zusammenhang (Kinder mit normalem ICP: $r = 0,083$ / $p = 0,052$; Kinder mit IICP: $r = -0,46$ / $p = 0,436$).

3.4.18 Korrelation von Nervenscheide / Untersucher

Der untersuchende Arzt hatte in beiden Gruppen keinen signifikanten Einfluß auf das Ergebnis der Weitemessung der Nervenscheide (Kinder mit normalem ICP: $r = -0,014$ / $p = 0,729$; Kinder mit IICP: $r = 0,188$ / $p = 0,762$).

3.4.19 Korrelation von Nervenscheide / Qualität

Bei allen untersuchten Kindern konnte keine signifikante Korrelation zwischen dem Durchmesser der Nervenscheide und der sonographischen Qualität der erhaltenen Befunde gefunden werden (Kinder mit normalem ICP: $r = -0,06$ / $p = 0,069$; Kinder mit IICP: $r = 0,08$ / $p = 0,655$).

3.4.20 Zusammenhang verschiedener Einflußvariablen

Der Einfluß der unterschiedlichen Variablen untereinander wurde für alle Kinder zusammen sowie für beide Gruppen getrennt mit Hilfe von Korrelationsanalysen untersucht; die Auswirkung mehrerer Variablen auf die Weite des Sehnerven bzw. der Nervenscheide wurde unter Verwendung multifaktorieller Varianzanalysen überprüft. Eine signifikante Korrelation wurde zwischen den einzelnen Gerätespezifikationen (benutzter Schallkopf, Schallfrequenz) und der Qualität der erhaltenen sonographischen Befunde gefunden, vom Untersucher war letztere nicht signifikant abhängig [Tabelle 3.9]. Weitere Zusammenhänge zwischen einzelnen Einflußfaktoren konnten statistisch nicht bestätigt werden.

		Qualität
Untersucher	Pearson'scher Korrelationkoeffizient [r]	0,064
	Signifikanzniveau [p]	0,053
Schallkopf	Pearson'scher Korrelationkoeffizient [r]	0,302
	Signifikanzniveau [p]	< 0,001
Schallfrequenz	Pearson'scher Korrelationkoeffizient [r]	0,326
	Signifikanzniveau [p]	< 0,001

Tab. 3.9: Einfluß ausgewählter Variablen auf die sonographische Qualität

In Abhängigkeit vom benutzten Schallkopf wurden von den Untersuchungen bezüglich der Qualität mit dem L558 insgesamt 26 als „eingeschränkt“ und 5 als „gut“ bewertet. Mit dem 7,5PL13 ergaben sich 12 Befunde als „eingeschränkt“, 38 als „gut“ und 11 als „sehr gut“, mit dem 7,5L40 52 als „eingeschränkt“, 290 als „gut“ und 52 als „sehr gut“ [Tabelle 3.10]. Die gewählte Schallfrequenz beeinflusste das sonographische Ergebnis in der Art, daß mit höheren Frequenzen qualitativ bessere Befunde erreicht wurden.

Qualität	„Eingeschränkt“	„Gut“	„Sehr gut“
Schallkopf			
Acuson 128 / L558	84 %	16 %	-----
Elegra / 7,5PL13	20 %	62 %	18 %
Elegra / 7,5L40	13 %	74 %	13 %

Tab. 3.10: Sonographische Qualität in Abhängigkeit vom verwendeten Schallkopf
[prozentuale Anteile für Untersuchungen mit dem jeweiligen Schallkopf]

Zusammenhang verschiedener Einflußvariablen bei Kindern mit normalem ICP

Bei den Kindern mit normalem ICP wurden bezüglich der Einflußvariablen ähnliche Verhältnisse wie in der Gesamtgruppe gefunden, nämlich signifikante Korrelationen zwischen Schallkopf bzw. Schallfrequenz und Sonoqualität, kein nachweislicher Einfluß des untersuchenden Arztes auf letztere oder Zusammenhänge zwischen anderen Einflußgrößen [Tabelle 3.11].

		Qualität
Untersucher	Pearson'scher Korrelationkoeffizient [r]	0,056
	Signifikanzniveau [p]	0,087
Schallkopf	Pearson'scher Korrelationkoeffizient [r]	0,293
	Signifikanzniveau [p]	< 0,001
Schallfrequenz	Pearson'scher Korrelationkoeffizient [r]	0,329
	Signifikanzniveau [p]	< 0,001

Tab. 3.11: Einfluß ausgewählter Variablen auf die sonographische Qualität bei Kindern mit normalem ICP

Wenngleich eine bessere Qualität der sonographischen Befunde per definitionem mit einer häufigeren bzw. schärferen Darstellung der Nervenscheide verbunden war und somit zu einer erhöhten Aussagekraft der Untersuchung führte, konnte kein direkter signifikanter Einfluß auf die gemessene Weite des Sehnerven oder der Nervenscheide festgestellt werden. Überprüft wurden diese Zusammenhänge zusätzlich – soweit möglich - durch eine multifaktorielle Varianzanalyse mit Bestimmung der Interaktionen der einzelnen Faktoren [Tabelle 3.12].

Varianzursache (Sehnerv)	Summe / SQ	df	Mittel / SQ	F	p(F)
(U) x (Fq)	4,282	13	0,329	1,575	0,087
(U) x (Sk)	1,229	4	0,307	1,470	0,209
(Fq) x (Sk)	0,379	1	0,379	1,813	0,178
(U) x (Fq) x (Sk)	0,386	1	0,386	1,846	0,175

Varianzursache (Nervenscheide)	Summe / SQ	df	Mittel / SQ	F	p(F)
(U) x (Fq)	5,252	8	0,656	1,445	0,175
(U) x (Sk)	1,343	3	0,448	0,985	0,399
(Fq) x (Sk)	2,295E-03	1	2,295E-03	0,005	0,943
(U) x (Fq) x (Sk)	0,000	0	----	----	----

Tab. 3.12: Interaktionen und Einflüsse ausgewählter Variablen auf den Durchmesser des Sehnerven bzw. der Nervenscheide bei Kindern mit normalem ICP [U = Untersucher; Fq = Schallfrequenz; Sk = Schallkopf]

Zusammenhang verschiedener Einflußvariablen bei Kindern mit IICP

Bei den Kindern mit nachgewiesenem IICP konnte zwischen den einzelnen Einflußvariablen keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden [Tabelle 3.13]. Deswegen und aufgrund der geringen Anzahl an Meßwerten wurde keine weitere Varianzanalyse durchgeführt.

		Qualität
Untersucher	Pearson'scher Korrelationskoeffizient [r]	0,078
	Signifikanzniveau [p]	0,662
Schallkopf	Pearson'scher Korrelationskoeffizient [r]	0,194
	Signifikanzniveau [p]	0,273
Schallfrequenz	Pearson'scher Korrelationskoeffizient [r]	-0,027
	Signifikanzniveau [p]	0,880

Tab. 3.13: Einfluß ausgewählter Variablen auf die sonographische Qualität bei Kindern mit IICP

3.4.21 Gütekriterien der Untersuchung

Für die Bestimmung diagnostischer Gütekriterien (Sensitivität / Spezifität) wurde als Cut-Off-Punkt jeweils der größere Meßwert der beiden Sehnerven verwendet, d.h. die Untersuchung wurde als verdächtig auf IICP gewertet, wenn der Durchmesser mindestens eines Sehnerven größer bzw. gleich dem jeweiligen Cut-Off-Punkt war. Somit ergibt sich für einen Grenzwert von 4,5 mm (entsprechend einem Durchmesser außerhalb der zweiten Standardabweichung) eine Sensitivität von 94,1 % und eine Spezifität von 94,8 % [Tabelle 3.14]. Definiert man anstatt eines eindeutigen Grenzwertes einen Grenzbereich (z.B. zwischen 4,0 mm und 4,4 mm), so sind Befunde mit einer Sehnervenweite unterhalb von 4,0 mm einem normalen ICP zuzuordnen, Werte ab 4,5 mm sind hochverdächtig auf IICP.

Cut-Off-Punkt [mm]	3,9	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5,0	5,1	5,2	5,3
Sensitivität [%]	100	94,1	94,1	94,1	94,1	94,1	94,1	94,1	94,1	94,1	94,1	94,1	88,2	76,5	76,5
Spezifität [%]	80,0	85,8	89,1	90,1	91,6	93,1	94,8	96,1	97,0	97,6	98,3	98,9	99,1	99,4	100
Falsch positiv [%]	20,0	14,2	10,9	9,9	7,4	6,9	5,2	3,9	3,0	2,4	1,7	1,1	0,9	0,6	0,0
Falsch negativ [%]	0,0	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	11,8	23,5	23,5

Tab. 3.14: Diagnostische Gütekriterien in Abhängigkeit vom verwendeten Cut-Off-Punkt

3.4.22 Verlaufskontrollen von Sehnerv und Nervenscheide

Verlaufskontrollen von Sehnerv und Nervenscheide bei Kindern mit normalem ICP

Eine Varianzanalyse der Werte der im Rahmen von Verlaufskontrollen mehrfach sonographierten Kindern mit normalem ICP ergab keine signifikanten Unterschiede innerhalb oder zwischen den einzelnen Gruppen bezüglich der Weite des Sehnerven ($F = 0,826$; $p(F) = 0,747$) bzw. der Nervenscheide ($F = 1,501$; $p(F) = 0,060$). Der Sehnervendurchmesser variierte dabei zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten beim gleichen Kind im Durchschnitt nur um 0,3 mm, die Weite der Nervenscheide um 0,4 mm.

Verlaufskontrollen von Sehnerv und Nervenscheide bei Kindern mit IICP

Es konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Diagnose normaler ICP bzw. IICP und der gemessenen Sehnervenweite festgestellt werden, d.h. bei Kindern mit mehrfachen Untersuchungen ergaben sich höhere Werte für den Durchmesser des Sehnerven, wenn zum Untersuchungszeitpunkt nachgewiesener IICP vorlag. Überprüft wurde dies mit Hilfe einer Korrelationsanalyse ($r = 0,744$ / $p < 0,001$) sowie einer Varianzanalyse ($F = 64,508$ / $p(F) < 0,001$). Für die Nervenscheide konnten diese Berechnungen aufgrund fehlender Werte nicht durchgeführt werden.

3.4.23 Verlaufskontrollen im Fallbeispiel

Ein neun Monate alter Säugling wurde aufgrund einer deutlich vorgewölbten, gespannten Fontanelle und einer vermehrten Venenzeichnung des Schädels stationär aufgenommen. Anamnestisch wurde zudem von einem seit fünf Wochen andauernden, täglichen Erbrechen ohne Durchfall oder Fieber berichtet. Bei Aufnahme zeigte sich außerdem ein ausgeprägtes Sonnenuntergangsphänomen. In einer ersten Ultraschalluntersuchung stellten sich die Sehnerven beidseits signifikant erweitert dar, die Nervenscheiden waren nicht abzugrenzen. Die Sehnervpapillen konnten sonographisch als Stauungspapillen beschrieben werden [Tabelle 3.15].

Tag	Sehnerv / re [mm]	Meßabstand [mm]	Papille / re	Sehnerv / li [mm]	Meßabstand [mm]	Papille / li
1.	6,8	4	STP	6,1	4	STP
13.	6,1	3	STP	5,8	4	STP
22.	4,0	3	unauffällig	4,2	4	unauffällig
48.	4,2	5	unauffällig	4,0	5	unauffällig

Tab. 3.15: Durchmesser des Sehnerven im Verlauf (Fallbeispiel).

Eine ebenfalls durchgeführte Schädelsonographie ergab den Befund eines Ependymoms der hinteren Schädelgrube mit konsekutiver Liquorabflußstörung und massiv erweitertem Ventrikelsystem. Eine Computertomographie bestätigte die Dekompensation des Liquorsystems mit IICP. Nach neurochirurgischer Resektion der Raumforderung am Folgetag mit passagerer Liquorableitung erfolgte eine deutliche klinische Besserung. Nach Entfernung der Liquordrainage am zwölften Tag verschlechterte sich der Allgemeinzustand des Kindes wieder mit erneuter Hirndrucksymptomatik; die Sonographie der Sehnerven am Folgetag ergab zwar diskret kleinere, aber immer noch hoch pathologische Werte. Im Rahmen eines neuerlichen neurochirurgischen Eingriffes wurde das Kind diesmal mit einem Omayya-Reservoir versorgt. Im Verlauf der nächsten Tage besserte sich der Zustand des kleinen Patienten zunehmend; zwei Kontrolluntersuchungen des nun neurologisch unauffälligen Kindes innerhalb der darauffolgenden Wochen ergaben zwar noch Sehnervendurchmesser im oberen Grenzbereich, allerdings insgesamt um über 2 mm kleiner als in den beiden Voruntersuchungen. Auch der Befund der Sehnervpapille hatte sich normalisiert; der normale Hirndruck wurde jeweils durch eine zusätzliche Schädelsonographie bestätigt.

4. Diskussion

4.1 Bezug auf die Fragestellung dieser Untersuchung

Ziel dieser Untersuchung war es, die klinischen Einsatzmöglichkeiten und die Zuverlässigkeit der Sonographie der Sehnerven bei Kindern in der Routinediagnostik sowohl akut als auch chronisch erhöhten Hirndrucks zu überprüfen. Dabei konnten die Ergebnisse bereits vorausgegangener Untersuchungen bezüglich des Zusammenhangs zwischen ICP und dem Durchmesser des Sehnerven bestätigt werden. Weiterhin konnte der Wert der Sonographie der Sehnerven als - mit Einschränkungen - zuverlässige Methode zur rechtzeitigen Erkennung sowie zur Verlaufskontrolle erhöhten intrazerebralen Drucks aufgezeigt werden. In diesem Zusammenhang muß vor allem auf die Festlegung eines geeigneten Grenzwertes für die Sehnervenweite eingegangen werden. Mehrere Autoren^{3,25,70} konnten jeweils einen Durchmesser bis maximal 4,3 mm als „normal“ definieren. Andere Studien legten einen Grenzwert von 4,4 mm¹⁹ oder 4,5 mm^{33,96} für die Sehnervenweite fest. Für jüngere Kinder mit einem Alter unter einem Jahr³ bzw. unter vier Jahren³³ wurden schon Werte ab 4,0 mm als pathologisch angesehen.

Im Rahmen dieser Untersuchung soll aufgrund der festgestellten großen interindividuellen Streubreite von einem einzelnen Grenzwert abgesehen werden. In Anlehnung an die Arbeit von Hansen, Helmke und Kunze²⁵ wird deshalb vielmehr ein Grenzbereich zwischen 4,0 mm und 4,4 mm empfohlen, Werte innerhalb dieses Bereiches sollten unbedingt weiter abgeklärt werden. Bei einem Durchmesser ab 4,5 mm kann somit auch ohne weitere Untersuchungen relativ sicher von IICP ausgegangen werden (Spezifität 94,8 %), Werte unterhalb 4,0 mm lassen bei einer Sensitivität von immerhin 94,1 % auf einen normalen ICP schließen. Da sich zwar eine Abhängigkeit der Sehnervenweite vom Lebensalter für die Kinder mit normalem ICP, nicht aber für diejenigen mit nachgewiesenem IICP beweisen ließ, erscheint kein gesonderter Grenzbereich für jüngere Kinder notwendig zu sein.

4.2 Argumentation für die Konzeption der Untersuchung

Nachdem mehrere Studien bereits den Zusammenhang zwischen Sehnervendurchmesser und IICP nachgewiesen sowie den Einfluß verschiedener Variablen unter standardisierten Bedingungen überprüft haben, wurde in dieser Untersuchung erstmals die Einsetzbarkeit dieser Untersuchungsmethode im klinischen Alltag getestet. Um nämlich die Sonographie des Sehnerven in der Routinediagnostik etablieren zu können, muß diese Technik auch unter nicht standardisierten Bedingungen valide Ergebnisse liefern. Die Tatsache, daß in der statistischen Überprüfung keine signifikanten Zusammenhänge zwischen einzelnen Einflußvariablen und der gemessenen Sehnervenweite gefunden werden konnten, zeigt die relative Unabhängigkeit der Meßgenauigkeit vom verwendeten Gerät, vom Untersucher o.ä.. Der Grund hierfür ist vermutlich in der ohnehin großen Variabilität der Normalwerte zu sehen. Im Einzelfall scheinen beispielsweise durch den Untersucher bedingte Meßdifferenzen in einem für die Beurteilung des Ergebnisses irrelevanten Bereich zu liegen, der letztendlich durch die maximal erreichbare Auflösung des verwendeten Gerätes limitiert ist. Dem wird auch durch die Festlegung eines ganzen Grenzbereichs anstelle eines einzelnen Grenzwertes Rechnung getragen.

4.3 Diskussion der Methode

Aufgrund der vielfältigen Ursachen einer Erhöhung des Hirndrucks bei Kindern kann es keine allgemeingültige Vorgehensweise für die Hirndruckmessung geben. Vielmehr muß in jedem einzelnen Fall in Abhängigkeit von Genese, klinischer Präsentation und therapeutischen Möglichkeiten die optimale Methode für die Bestimmung des ICP gefunden werden. Bei dieser Wahl ist weiterhin zu berücksichtigen, ob voraussichtlich ein längerfristiges Monitoring bei bereits nachgewiesenem IICP erforderlich ist oder aber vorerst nur die Erkennung eines eventuell erhöhten Hirndrucks im Vordergrund steht.

4.3.1 Methoden der Hirndruckmessung

Eine ständig wachsende Anzahl von Meßmethoden steht zur Abklärung erhöhten Hirndrucks bisher zur Verfügung. Als „Goldstandard“ kann nach wie vor die intraventrikuläre Messung mit flüssigkeitsgefüllten Kathetern oder elektronischen Sensoren angesehen werden⁴¹. Sie liefert die quantitativ genauesten Werte des intrakraniellen Drucks, erlaubt ein kontinuierliches Monitoring und bietet zudem die Möglichkeit der raschen Intervention durch Liquordrainage^{43,49,55}. Aufgrund ihrer Invasivität sowie der nicht zu vernachlässigenden Infektionsgefahr^{2,22,34} ist diese Methode jedoch nur wenigen Indikationen vorbehalten. Dazu zählen zum Beispiel Kinder mit nachgewiesenen, akuten intrakraniellen Blutungen oder einer Shuntinsuffizienz bei ventrikuloperitonealem Shunt. Problematisch ist die intraventrikuläre Messung bei Veränderungen mit Komprimierung der Seitenventrikel z.B. bei diffuser Hirnschwellung oder bei Schlitzventrikeln. Neuere Studien zeigen zudem die Möglichkeit eines Druckgradienten zwischen den Großhirnhemisphären bei einseitigen Raumforderungen auf, die zu Fehleinschätzungen des ICP führen können^{44,61}. Weiterhin ist diese Methode in der Regel nur bei bereits nachgewiesenem IICP vertretbar, nicht jedoch zur weiteren Abklärung bei Verdacht auf erhöhten Hirndruck.

Andere invasive Meßmethoden zeigen ähnliche Vor- und Nachteile wie die intraventrikuläre Messung. Dabei reichen die Möglichkeiten von diversen subarachnoidalen, sub- oder epiduralen Schrauben oder Kathetern bis hin zu intraparenchymalen Sensoren^{1,4,35,45,49,51,56,57}. Alle beinhalten aufgrund der Notwendigkeit eines operativen Eingriffs das Risiko einer Infektion oder einer Verletzung des Hirngewebes bei zum Teil fragwürdiger Meßgenauigkeit, dafür jedoch schnellerer und einfacherer Platzierung sowie der Möglichkeit einer kontinuierlichen Messung.

Im Bereich der Bildgebung hat sich vor allem die Computertomographie für die Diagnose des erhöhten intrakraniellen Drucks bewährt. Anhand der möglichen Beurteilung des kompletten Ventrikelsystems, der basalen Zisternen, des Hirnsulkusreliefs und von Mittellinienverschiebungen sowie der direkten Darstellung selbst kleiner Raumforderungen wie Tumoren oder Hämatomen ist eine relativ sichere Einschätzung des ICP möglich^{26,48}. Außerdem hat die Computertomographie einen erwiesenen Wert für die Prognoseabschätzung nach schweren Schädelhirntraumata^{72,74}; auch eine Verlaufskontrolle ist möglich. Nachteilig erscheinen die Notwendigkeit des Transports bei schwerkranken Patienten und die nur qualitative Beurteilung des Hirndrucks. Zudem sollte diese Methode gerade bei Kindern aufgrund der nicht unbeträchtlichen Strahlenbelastung zurückhaltend eingesetzt werden.

In verschiedenen Studien konnte sich der Einsatz der Fontanometrie bei Säuglingen bewähren^{14,75,76}. Sie liefert vergleichsweise genaue Werte des ICP, ihre Einsatzmöglichkeit wird jedoch außer durch die Größe der Fontanelle durch eine Reihe anderer Faktoren

limitiert, beispielsweise einen hohen Zeitaufwand für Aufbau und Kalibrierung des Gerätes sowie die Auswertung der Ergebnisse.

Der Wert anderer nicht-invasiver Techniken ist zur Zeit noch nicht eindeutig geklärt. So stellt die transkranielle Doppler-Sonographie eine wertvolle Ergänzung zur intrakraniellen Druckmessung dar, durch die Messung des zerebralen Perfusionsdrucks können allerdings nur indirekte Rückschlüsse auf den tatsächlichen ICP gezogen werden^{6,28}. Weitere Methoden wie die Messung der Dicke der Dura mater^{37,38}, der transkraniellen Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschallwellen⁵⁸ oder von minimalen Verschiebungen der Schädelknochen⁷³, sind derzeit noch Gegenstand weiterer Untersuchungen.

An letzter Stelle müssen hier noch die neurophysiologischen Verfahren erwähnt werden. So können auch Veränderungen im Elektroenzephalogramm (EEG) hinweisend auf IICP sein, beispielsweise durch eine auffällige Verlangsamung des Grundrhythmus oder paroxysmale Dysrhythmien⁴⁷. Allerdings sind diese Abweichungen sehr unspezifisch und können auch durch andere zerebrale Veränderungen wie endokrine oder metabolische Störungen hervorgerufen werden. Herdbefunde im Sinne lokalisierter Aktivitätsveränderungen müssen auf eventuelle Raumforderungen aufmerksam machen, eine Aussage bezüglich des ICP ist dadurch jedoch nicht möglich. Ähnliches gilt für die Bestimmung visuell, akustisch oder somatosensibel evozierter Potentiale. Diese eignen sich zwar nachgewiesenermaßen gut für Überwachung und Prognoseabschätzung komatöser Patienten^{18,36}, der ICP kann aber nicht sicher beurteilt werden: Möglich ist allenfalls eine Lokalisation umschriebener Prozesse im Verlauf der entsprechenden Nervenbahnen, etwa von Tumoren im Bereich des Chiasmas durch Nachweis von Latenzverzögerungen der visuell evozierten Potentiale.

4.3.2 Vergleich der Sonographie des Sehnerven mit anderen Methoden

Die Sonographie des Sehnerven zeigt im Vergleich mit den oben beschriebenen Methoden zur Hirndruckmessung mehrere Vorteile. Von großem Wert ist ihre schnelle Verfügbarkeit, da aufgrund der mobilen Geräte kein Transport des Patienten erforderlich ist (wie es zum Beispiel für die Durchführung einer Computertomographie nötig wäre). Darüberhinaus entsteht keine Strahlenbelastung für die zu untersuchenden Kinder, wodurch auch regelmäßige Untersuchungen im Rahmen von Verlaufskontrollen möglich sind. Die Sonographie der Sehnerven ist nicht alterslimitiert und weitgehend unabhängig von diversen Einflußfaktoren. Aufgrund des vergleichsweise schnellen und einfachen Untersuchungsablaufes ist diese Methode gerade für die Kinderheilkunde sehr geeignet. Weiterhin entfallen alle Risiken der invasiven Hirndruckmessung wie Infektionen oder Parenchymläsionen. Von Vorteil sind darüberhinaus die äußerst geringen Kosten des einzelnen Sonogramms; Ultraschallgeräte stehen zudem mittlerweile in nahezu allen Krankenhäusern und sogar in vielen Kinderarztpraxen zur Verfügung.

Nachteilig erscheint die Tatsache, daß es sich letztendlich nur um eine indirekte und somit relativ ungenaue Methode zur Hirndruckmessung handelt, vor allem in Anbetracht der großen Variabilität der Normalwerte. Bei unklaren Befunden muß deshalb unbedingt zur Sicherung der Diagnose auf andere Methoden zurückgegriffen werden. Weiterhin entfällt die Möglichkeit der sofortigen Intervention, wie sie im Rahmen der intraventrikulären Messung durchführbar ist. Wenngleich in dieser Untersuchung keine direkte signifikante Korrelation zwischen Meßergebnis und Untersucher nachgewiesen werden konnte, so ist die Sonographie an sich dennoch unbestritten untersucherabhängig. Somit ist zumindest anfangs eine sorgfältige Einarbeitung durch in dieser Methode geübte Ärzte unabdingbar; aufgrund der gelegentlich schwierigen Beurteilung der sonographischen

Befunde ist nach einer Einarbeitungsphase eine weitere Supervision durch einen Facharzt anzuraten.

Obwohl hinsichtlich der gemessenen Werte des Sehnervendurchmessers und somit der Einschätzung des ICP keine relevanten Unterschiede zwischen A- und B-Mode-Sonographie bestehen, erscheint die B-Mode-Sonographie dennoch als die geeignetere Methode. Sie bietet aufgrund der zweidimensionalen Darstellung die Möglichkeit einer Beurteilung der Sehnervpapille als weiteres Diagnostikum; vom Hirndruck unabhängige Veränderungen des Sehnerven sowie dessen weiterer Verlauf können ebenfalls begutachtet werden. Auch wurde bisher für die Untersuchungen mit der A-Mode-Sonographie der Schallkopf jeweils nach Applikation eines Lokalanästhetikums direkt auf das geöffnete Auge aufgesetzt^{65,70}. Bei der B-Mode-Sonographie ist dies nicht erforderlich, es kann direkt durch das Augenlid hindurch geschallt werden. Dies erspart die Verwendung des Lokalanästhetikums und erleichtert gerade bei nicht oder nur wenig kooperativen Kindern den Untersuchungsablauf. Allerdings kann massive Gegenwehr eine befriedigendes Untersuchungsergebnis unmöglich machen.

4.3.3 Fehlermöglichkeiten

Wie jede Methode ist selbstverständlich auch die Sonographie der Sehnerven mit einer Reihe von Fehlermöglichkeiten behaftet, deren Kenntnis und Beachtung für eine aussagefähige Beurteilung von Bedeutung sind. An erster Stelle wären hierzu Veränderungen des Sehnerven oder der Nervenscheiden zu nennen, wie diese auch im Rahmen dieser Untersuchung gefunden werden konnten. So können Tumoren wie Gliome oder Meningeome zu einem deutlich verbreiterten Durchmesser des Sehnerven und somit fälschlicherweise zur Diagnose erhöhten Hirndrucks führen. Noch schwieriger, weil auch beidseitig auftretend und nicht so klar abgegrenzt wie die oben genannten Raumforderungen, ist der Befund bei einer Sehnervenentzündung zu interpretieren; unter Einbeziehung der klinischen Symptomatik dürfte die Unterscheidung jedoch keine Probleme bereiten. Drusenpapillen lassen sich aufgrund ihrer charakteristischen sonographischen Darstellung in der Regel eindeutig einordnen, in ausgeprägten Fällen kann jedoch der begleitende Schallschatten die Messung des Sehnervendurchmessers erschweren oder verfälschen. Bis zum Sehnerven reichende Papillenkolobome lassen ebenfalls keine sichere Beurteilung zu.

Schwierigkeiten zeigen sich in der gelegentlich unscharfen Abgrenzung zwischen Sehnerv und Nervenscheide. Da sich die Verteilungskurven der Durchmesser beider Strukturen im Bereich von 3,1 mm bis 5,2 mm überschneiden [Abb.3.1 a], ist nicht immer sicher zwischen Sehnerv und Nervenscheide zu differenzieren. Dies führt letztendlich zu einem relativ hohen Anteil falsch positiver Ergebnisse. Bestätigt wird diese Vermutung durch die Tatsache, daß von 13 Kindern mit normalem Hirndruck und einer Sehnervenweite über 4,4 mm nur in einem Fall die Nervenscheiden ebenfalls abgrenzbar waren, d.h. in den anderen diese Fälle wurde wahrscheinlich der Durchmesser der Nervenscheide und nicht der des Sehnerven selbst bestimmt.

Wichtiger allerdings erscheint die Gefahr eines falsch negativen Ergebnisses, wodurch die in den meisten Fällen umgehend erforderliche Behandlung eines erhöhten intrakraniellen Drucks unnötig verzögert werden könnte. Möglich wäre das beispielsweise bei Kindern mit einer Sehnervenatrophie, wo die Werte des Sehnervendurchmessers trotz ICP noch im Normalbereich liegen könnten und eine valide Beurteilung nur im Verlauf möglich wäre. Gerade bei posthydrozephalen Kindern konnte in dieser Untersuchung häufig ein sehr schmaler, zumindest im unteren Normbereich liegender Sehnerven-

durchmesser gefunden werden. Angesichts der Tatsache, daß der Zusammenhang zwischen intrakranielltem Druck und der Sehnervenweite durch eine annähernd lineare Beziehung beschrieben werden kann²⁴, können somit gerade bei diesen Kindern Steigerungen des Hirndrucks erst spät oder gar nicht erkannt werden. Zu diskutieren ist in diesem Zusammenhang der Fall eines der Kinder in dieser Studie mit nachgewiesenem IICP. Dieses Kind, ein ehemaliges Frühgeborenes der 28. SSW mit posthämorrhagischem Hydrozephalus und Versorgung mit einem ventrikulo-peritonealen Shunt, zeigte eindeutige klinische Hirndruckzeichen. Trotz eines beidseitigen Durchmessers des Sehnerven von nur 3,9 mm konnte anhand der ebenfalls durchgeführten Computertomographie die Diagnose eines erhöhten Hirndrucks im Anfangsstadium gestellt werden. Bei fehlenden Vorbefunden dieses Kindes muß offen bleiben, ob dieses falsch negative Ergebnis auf einer noch im Normalbereich verlaufenden Zunahme des Sehnervendurchmessers beruhte, die bei weiterem Anstieg des ICP zu Werten oberhalb von 4,0 mm geführt hätte.

Ursächlich für den geschilderten Fall könnte aber auch eine weitere Fehlermöglichkeit der Sonographie der Sehnerven sein, nämlich die notwendige Überschreitung eines Schwellenwertes des ICP, unterhalb dessen keine oder nur minimale Veränderungen der Sehnervenweite nachweisbar sind. Dieser Schwellenwert wurde in experimentellen Untersuchungen erarbeitet und – je nach Autor - mit 13-14 bzw. 22 mm Hg angegeben^{24,71}. Wenngleich jedoch oberhalb dieses Grenzwertes eine schnelle und lineare Zunahme des Sehnervendurchmessers bestätigt werden konnte, so gilt dies nur für akute intrakranielle Druckanstiege. Für Veränderungen des Sehnerven im Rahmen chronischer Druckzunahmen (beispielsweise durch langsam progrediente Raumforderungen) gibt es bisher keine vergleichbaren experimentellen Untersuchungen. Obwohl diese Zusammenhänge also noch unklar sind, zeigten im Rahmen dieser Untersuchung alle Kinder mit intrakraniellen Tumoren bei Auftritt erster klinischer Auffälligkeiten bereits deutlich erweiterte Sehnerven.

Angesichts des vermuteten pathophysiologischen Hintergrundes der Sehnervenverbreiterung, nämlich der Fortsetzung des intrakraniellen Druckes über das Liquorsystem, ist eine weitere Ursache für einen normalen Durchmesser trotz gesteigerten Hirndrucks denkbar. So können im ohnehin relativ engen Sehnervenkanal Verklebungen oder Fibrosierungen des Trabekelnetzwerks (beispielsweise infolge einer subarachnoidalen Blutung) den ungestörten Austausch der zerebrospinalen Flüssigkeit verhindern^{25,29}. Somit wäre eine Übertragung des ICP auf den Sehnerv unterbrochen und eine Messung würde zu falsch negativen Ergebnissen führen.

4.4 Diskussion der Ergebnisse

4.4.1 Sehnerv und Nervenscheide

Verschiedene Studien haben sich bereits mit dem Durchmesser des normalen und / oder pathologisch veränderten Sehnerven sowie Veränderungen im Gefolge intrakranieller Drucksteigerungen beschäftigt. Im Rahmen dieser Untersuchung war aufgrund verbesserter Geräte mit höherer Auflösung bei einem Großteil der Patienten zusätzlich auch die Nervenscheide abgrenzbar. Ein Vergleich der gefundenen Mittelwerte erscheint jedoch insofern problematisch, als es keine einheitlichen Angaben bezüglich der gewählten Grenzen für die Meßpunkte gibt. Erste sonographische Untersuchungen konnten nämlich aufgrund der älteren Geräte mit schlechterer Auflösung nur den Sehnerven selbst abgrenzen. Tatsächlich beinhaltete dieser gemessene Durchmesser aber zusätzlich den umgebenden Subarachnoidalraum. Spätere Untersuchungen konnten dagegen auch die

äußere Nervenscheide abgrenzen, der ermittelte Meßwert wurde nun als innerer Durchmesser der Nervenscheide bezeichnet, im Endeffekt wurde jedoch immer der gleiche Abstand vermessen.

Für unsere Untersuchungen wurde zur Vereinfachung die erstgenannte Beschreibung übernommen, d.h. genaugenommen wurde mangels sonographischer Abgrenzbarkeit der gemeinsame Durchmesser des Sehnerven und des umgebenden Subarachnoidalraums bestimmt und als Sehnervenweite bezeichnet. Als Durchmesser der Nervenscheide wurde für diese Untersuchung der Abstand zwischen den äußeren Durabegrenzungen definiert.

Die genaue Abgrenzung zwischen Sehnerv und Subarachnoidalraum scheint aufgrund ähnlicher Echogenität nicht möglich, welche wiederum durch das bereits mehrfach beschriebene, zum Teil sehr ausgeprägte Trabekelwerk der Arachnoidea hervorgerufen wird^{30,39}. Eine getrennte Darstellung scheint jedoch hinsichtlich der Bewertung des ICP auch nicht unbedingt erforderlich. Diese Schlußfolgerung läßt sich aus verschiedenen Studien zur Pathophysiologie der Sehnervenerweiterung ziehen. Zwar konnte die Erweiterung des Subarachnoidalraumes in Korrelation zum ICP nachgewiesen werden^{39,40}, aber auch eine Verbreiterung des Sehnerven selbst kann zur Zeit nicht ausgeschlossen werden. So zeigten sich in experimentellen Untersuchungen auch Druckzunahmen im Gewebe des Sehnerven als Folge gesteigerten Hirndrucks^{13,31}. Brinker, Bötzel et. al.⁸ wiesen zudem mittels Farbstoffinfusionen eine Kommunikation zwischen Liquorsystem und dem Inneren des Sehnerven nach, möglicherweise über den die Zentralarterie umgebenden Virchow-Robin-Raum. Welcher Anteil der gesamten Erweiterung also einer der beiden Komponenten zuzuschreiben ist, bleibt unklar. Letztendlich läßt sich der Sehnerv mit Hilfe der B-Mode-Sonographie momentan nur einschließlich der Arachnoidea darstellen, aus einer Erweiterung kann dessen ungeachtet auf IICP geschlossen werden.

Wenn man nun unabhängig von der Bezeichnung der gemessenen Strukturen die Mittelwerte der einzelnen Studien betrachtet, so findet man vergleichbare Werte. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde für alle sonographierten Kinder mit normalem ICP ein Mittelwert von 3,4 mm bestimmt. In anderen Studien variierten die gefundenen Mittelwerte zwischen 2,9 mm und 3,6 mm, die Standardabweichungen lagen – wahrscheinlich infolge der standardisierten Untersuchungsbedingungen – etwas niedriger [Tabelle 4.1].

Autor(en)	Mittelwert [mm]	Spannbreite [mm]	Patienten [Anzahl]	Jahr
Gerling et. al. ¹⁷	2,9 ± 0,2	2,5 – 3,3	10	1997
Delcker; Martin; Tegeler ¹⁰	3,0 ± 0,3	2,3 – 3,2	5	1998
Ballantyne et. al. ³	3,1 ± 0,36	2,1 – 4,3	102	1999
Aktuelle Untersuchung	3,4 ± 0,5	1,9 – 5,2	466	2000
Hansen; Helmke; Kunze ²⁵	3,6 ± 0,22	3,0 – 4,3	20	1994

Tab. 4.1: Normalwerte des Sehnerven in Patientenstudien (Messungen mittels B-Mode Sonographie).

In diesem Vergleich bleibt die Zunahme des Sehnervendurchmessers innerhalb der ersten Lebensjahre unberücksichtigt. Während Szabo et. alt.⁷⁰ und Ossoinig⁵³ keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Lebensalter und Weite des Sehnerven feststellen konnten, fanden Helmke und Hansen³³ signifikant niedrigere Werte für Kinder bis zum vierten Lebensjahr. In einer großangelegten Studie zur Etablierung eines Normwertbereichs für Kinder konnten Ballantyne et. alt.³ dies validieren; sie fanden das stärkste Wachstum der Sehnerven innerhalb des ersten Lebensjahres, insbesondere während der ersten beiden Lebensmonate. Im Rahmen dieser Untersuchung konnte diese Zunahme des Sehnervendurchmessers mit einem Hauptwachstum im ersten Lebensjahr bestätigt werden, die einzelnen Mittelwerte für die Kinder innerhalb der ersten vier Lebensmonate unterschieden sich mit Werten zwischen 2,9 mm und 3,2 mm besonders signifikant von denen älterer Kinder.

Wenngleich sowohl im Experiment^{23,32} als auch im Verlauf von Untersuchungen während intrathekalen Infusionen^{24,71} eine signifikante Zunahme des Sehnervendurchmessers infolge erhöhten Hirndrucks bewiesen werden konnte, ist die Festlegung eines Meßwertbereichs für Patienten mit IICP weitaus schwieriger. Dies beruht vor allem auf einer geringeren Anzahl entsprechender Studien sowie einer verständlicherweise kleineren Anzahl an Patienten. Bei Erwachsenen mit erhöhtem Hirndruck fanden Hansen, Helmke und Kunze²⁵ einen mittleren Sehnervendurchmesser von 5,49 mm und eine Spannbreite von 3,8 mm bis 6,9 mm. Für Kinder wurden Werte in einen ähnlichen Bereich gefunden, nämlich zwischen 3,6 mm und 6,8 mm bei einem Mittelwert von 5,3 mm³³. Dies ist vergleichbar mit den Ergebnissen dieser Untersuchung; hier fand sich für die Kinder mit IICP ein Mittelwert von 5,6 mm bei einem Minimum von 3,9 mm sowie einem Maximum von 8,2 mm. Trotz der Tatsache, daß sich die Werte des Sehnervendurchmessers zwischen den Kindern mit normalem bzw. erhöhten ICP signifikant unterscheiden, darf also über eine Restunsicherheit dieser Methode nicht hinweggesehen werden. In allen bisherigen Untersuchungen konnten Patienten mit IICP und einem Durchmesser unterhalb von 4,0 mm (also außerhalb des hier vorgeschlagenen Grenzbereichs) gefunden werden, wobei über die Ursachen bisher nur spekuliert werden kann (siehe 4.3.3).

Unabhängig davon bietet die Sonographie der Sehnerven einen weiteren großen Vorteil, nämlich die Möglichkeit des Seitenvergleichs. Alle bisher durchgeführten Untersuchungen konnten keine signifikanten Seitendifferenzen der Sehnervenweite feststellen^{3,17,25,33}. Dies wurde auch durch die vorliegende Studie bestätigt, hier fand sich zwischen linkem und rechtem Sehnerv eine mittlere Differenz von nur 0,2 mm. Der Seitenvergleich erlaubt eine bessere Beurteilung hinsichtlich des Hirndrucks, da pathologische Veränderungen eines einzelnen Nerven somit leichter erkannt oder ausgeschlossen werden können. Zudem besteht eventuell auch dann die Möglichkeit einer Einschätzung des aktuellen ICP, wenn auf einer Seite der Nerv nur unzureichend darstellbar ist. Ob sich die unter bestimmten Voraussetzungen nachweislichen Druckgradienten zwischen den Großhirnhemisphären^{44,61} auch auf die Weite des Sehnerven im Sinne einer größeren Seitendifferenz auswirken, ist aktuell noch nicht geklärt, aber zumindest hypothetisch denkbar. Da aus den eben bereits genannten Gründen eine beidseitige Untersuchung in jedem Fall durchgeführt und im Zweifelsfall immer der größere der beiden Werte berücksichtigt werden sollte, ist diese Frage ohnehin nur von theoretischem Interesse.

Eine weitere wichtige Frage hinsichtlich der Messung der Sehnervenweite stellt sich bezüglich des optimalen Meßabstandes. Die anatomischen Grundlagen hierzu wurden bereits von Hayreh^{29,30} erforscht; er bestätigte die Theorie einer bulbösen Aufweitung des vorderen Teils des Sehnerven. Auch konnte er die vergleichsweise enge Verbindung des Nerven mit der Nervenscheide durch trabekuläre Bindegewebsfasern im Subarachnoidalraum nachweisen. Liu und Kahn³⁹ fanden außerdem eine große interindividuelle Variation dieser Verbindung sowie einen Druckgradienten entlang des

Nerven. Experimentell wurden signifikante Unterschiede zwischen dem ermittelten Durchmesser in einem Meßabstand von 3 bzw. 10 mm hinter der Sehnervenpapille gefunden, und zwar sowohl unter normalem als auch unter künstlich (mittels Gelatineinfusionen) erhöhtem Druck. Zudem zeigte sich eine deutlich ausgeprägtere Erweiterung im vorderen Teil des Sehnerven während eines Druckanstieges sowie eine generell bessere Abgrenzbarkeit^{23,32}. Aufgrund dieser Ergebnisse wurde in den meisten nachfolgenden Untersuchungen mit einem festen Meßabstand von 3 mm gearbeitet^{3,25,33}. Für diese Studie wurde auf einen festgelegten Abstand verzichtet und der Nerv jeweils an der breitesten Stelle hinter der Papille vermessen, im Durchschnitt 5 mm hinter dem Auge. Die Tatsache, daß keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Meßabstand und Sehnervendurchmesser gefunden werden konnten und darüberhinaus knapp 90 % der Messungen ohnehin in einem Bereich von 2 mm bis 6 mm stattfanden, läßt sich schließen, daß ein genau definierter Abstand ohne diagnostischen Nutzen bleibt. Aufgrund der Notwendigkeit mindestens zweier weiterer Messungen (nämlich des jeweiligen Meßabstandes) führt dies lediglich zur unnötigen Verlängerung der Untersuchungsdauer. Angesichts einer sonographischen Bildtiefe von normalerweise etwa 3 bis 5 cm ist der Sehnerv zumeist langstreckig abgrenzbar und eine Messung im breiten vorderen Teil somit leicht durchführbar.

Für den Durchmesser der Nervenscheide, also den hier untersuchten äußeren Abstand zwischen den beiden Duraschichten, liegen bisher keine vergleichbaren Messungen vor. Die Begründung hierfür ist sicherlich zum Teil darin zu sehen, daß gerade mit älteren Geräten und niedrigerer Auflösung eine Abgrenzung der Dura nur sehr selten gelingt. So konnte in dieser Untersuchung mit dem Acuson 128 und einem 5,0 MHz-Schallkopf die Nervenscheide in keinem Fall sicher abgegrenzt werden, mit dem Sonoline Elegra Advanced System und Schallfrequenzen bis zu 9,0 MHz gelang eine Darstellung immerhin in knapp zwei Drittel der Fälle. Der Hintergrund hierfür ist wahrscheinlich darin zu sehen, daß Dura und orbitales Gewebe eine sehr ähnliche Echogenität besitzen, wohingegen sich der Nerv selbst (einschließlich des umgebenden Subarachnoidalraums) durch seine echoarme Darstellung deutlich von letzteren Strukturen abgrenzen läßt. Für Kinder mit normalem ICP lag der mittlere Durchmesser der Nervenscheide bei $5,7 \pm 0,7$ mm und zeigte ebenso wie der Sehnerv selbst ein signifikantes Wachstum innerhalb der ersten Lebensmonate; bei Kindern mit nachgewiesenem IICP war auch die Nervenscheide nachweislich verbreitert. Die Ausmessung der Nervenscheide bringt zwar nur einen geringen weiteren Informationsgewinn, erhöht aber die diagnostische Sicherheit der gesamten Untersuchung. Dies läßt sich damit begründen, daß sich bei gleichzeitiger Darstellung von Nerv und Nervenscheide mit Werten im Normalbereich ein erhöhter intrakranieller Druck mit größerer Wahrscheinlichkeit ausschließen läßt. Umgekehrt läßt sich die Diagnose „IICP“ mit höherer Sicherheit stellen, wenn beide Strukturen als erweitert beurteilt werden können. Unklar bleibt, warum im Fall von erhöhtem Hirndruck die Nervenscheide nur in so wenigen Fällen abgrenzbar war. Angesichts der entsprechenden anatomischen Grundlagen^{29,92,39} wäre es theoretisch denkbar, daß die gerade im vorderen Teil sehr elastische Dura durch den erhöhten Druck im Subarachnoidalraum selbst an Durchmesser abnimmt und somit schwerer vom angrenzenden Gewebe zu trennen ist. Möglich wäre auch eine aufgrund der erhöhten Spannung veränderte Echogenität, wie Hansen und Helmke²³ dies bereits für die Darstellung des Subarachnoidalraums vermuteten.

4.4.2 Sehnervenpapille

Die Beurteilung der Sehnervenpapille im Rahmen einer Augenhintergrundspiegelung ist eine der ältesten Methoden zur Einschätzung des ICP. Die pathogenetischen Hintergründe hierzu waren lange Zeit Gegenstand verschiedenster Spekulationen; erst Hayreh²⁹ konnte in seiner Grundlagenarbeit eine Übertragung des intrakraniellen Drucks über die zerebrospinale Flüssigkeit und den Subarachnoidalraum entlang des Sehnerven als wahrscheinlichste Ursache der Stauungspapille bestätigen. Wenngleich also der Entstehungsmechanismus der gleiche zu sein scheint wie für die sonographisch meßbare Erweiterung des Sehnerven und der Nervenscheide, so ist die diagnostische Beurteilung einer Stauungspapille weitaus unzuverlässiger. Im Falle akut angestiegenen Hirndrucks ist normalerweise noch keine Stauungspapille auffindbar²⁹, während die Durchmesser von Sehnerven und der Nervenscheiden nachweislich innerhalb von Minuten auf Veränderungen des ICP reagieren^{24,71}. Klinische Untersuchungen bestätigten dies; so konnten Hansen, Helmke und Kunze²⁵ bei 16 Patienten mit akutem IICP in keinem Fall während der Erstuntersuchung Stauungspapillen nachweisen, wohl aber signifikant erweiterte Nervenscheiden. Auch in der vorliegenden Studie konnten nur bei 11 von 17 Kindern mit IICP Stauungspapillen nachgewiesen werden, bei immerhin fünf dieser Kinder ergab sich kein pathologischer Befund bezüglich der Sehnervenpapille.

Umgekehrt ist eine Fehleinschätzung des Hirndrucks aufgrund vorhandener Stauungspapille im Sinne einer falsch positiven Beurteilung möglich. Neben den sonographisch leicht von Stauungspapillen unterscheidbaren Drusenpapillen scheinen Erhebungen der Sehnervenpapillen auch als Normvariante vorzukommen; so wurden in dieser Untersuchung immerhin sechs Kinder mit dem eindeutigen Befund sowohl sonographisch als auch funduskopisch darstellbarer Stauungspapillen, gleichzeitig aber normalem Hirndruck gefunden.

Obwohl der alleinige Nachweis oder Ausschluß von Stauungspapillen durch eine Augenhintergrundspiegelung demzufolge nur von eher geringem Wert für die Einschätzung des aktuellen Hirndrucks ist, können die Sehnervenpapillen im Rahmen der Sonographie des Sehnerven leicht und ohne weiteren zeitlichen Aufwand mitbeurteilt werden. Zwar darf ein normaler Befund der Papille nicht zum Ausschluß von IICP führen, umgekehrt aber muß eine sonographisch nachweisbare Stauungspapille bei gleichzeitiger Darstellung eines erweiterten Sehnerven den Verdacht auf einen erhöhten Hirndruck noch verstärken.

4.4.3 Einflußvariablen

Die Methode der Sonographie ist allgemein von einer ganzen Reihe an Einflußvariablen abhängig, beispielsweise der individuellen Fähigkeit des untersuchenden Arztes oder dem benutzten Gerät (einschließlich der verwendeten Einstellungen für Schallfrequenz und Schallverstärkung). Für die Sonographie der Sehnerven sind diese Faktoren besonders zu beachten, da valide Ergebnisse für die rechtzeitige Entdeckung erhöhten Hirndrucks und somit das weitere Management von entscheidender Bedeutung sind. Verschiedene Studien haben deshalb die diversen Einflußfaktoren im Experiment und in Patientenuntersuchungen auf eine eventuell signifikante Beeinflussung der Zielvariablen, also der Sehnervenweite überprüft.

So wurden neben dem oben bereits diskutierten Einfluß des Meßabstandes auch die Auswirkungen einer unterschiedlichen Schallrichtung am anatomischen Präparat getestet. Dabei wurden für Messungen im axialen Schnitt (im Vergleich zu lateralen oder

transversalen Projektionen) die größten Durchmesser des Sehnerven bei gleichzeitig nur sehr geringer Abhängigkeit vom Untersucher gefunden³². In einer weiteren experimentellen Überprüfung fanden sich dagegen nach wiederholten Messungen zweier verschiedener Untersucher am selben Sehnerven signifikante Einflüsse auf die Sehnervenweite²³. Allerdings unterschieden sich die Mittelwerte beider Untersucher (für einen Meßabstand von 3 mm) nur um etwa 0,1 mm bei nahezu gleicher Spannbreite. Es bleibt deshalb fraglich, ob sich diese Ergebnisse auf die Bedingungen in vivo übertragen lassen. Im Gegensatz zum fixierten Präparat bewirken normalerweise nämlich schon Faktoren wie die physiologischen Schwankungen des systemischen Blutdrucks oder der reguläre Atemzyklus meßbare Veränderungen des ICP^{31,40} und damit vermutlich auch geringfügige Abweichungen des tatsächlichen Sehnervendurchmessers. In dieser Untersuchung ergab sich kein signifikanter statistischer Zusammenhang zwischen der gemessenen Sehnervenweite und dem untersuchenden Arzt. Auch hinsichtlich der sonographischen Qualität unterschieden sich die Ergebnisse der einzelnen Untersucher nur unwesentlich. Durch eine ohnehin anzuratende mehrfache Messung jedes Nerven und eventuell die Bildung eines Mittelwertes^{3,25,33} müßten die für die Beurteilung des aktuellen ICP relevanten untersucherabhängigen Meßabweichungen weitgehend ausgeschaltet werden.

Wenngleich also der Einfluß des Untersuchers als vernachlässigbar erscheint, erfordern die Unterschiede der verwendeten Schallköpfe sowie der gewählten Frequenz eine genauere Betrachtung, zumal hierzu bisher keine vergleichbaren Ergebnisse vorliegen. Im Rahmen dieser Untersuchung konnte zwar keine direkte Abhängigkeit des Sehnervendurchmessers von beiden Variablen gefunden werden, sie beeinflussten jedoch signifikant die Sonoqualität. Die besten Ergebnisse wurden eindeutig mit dem Linearschallkopf 7,5L40 und einer Schallfrequenz von 9,0 MHz erzielt, was bedeutet, daß der Sehnerv im Durchschnitt deutlicher von der Nervenscheide abgrenzbar und im Verlauf langstreckiger darstellbar war. Dadurch verringerte sich im Vergleich zu niedrigeren Schallfrequenzen oder anderen Schallköpfen wie beispielsweise dem Sektorschallkopf 7,5PL13 die Variabilität der erhaltenen Meßwerte im Sinne einer merklich kleineren Standardabweichung bei gleichen Mittelwerten. Da für Messungen des Sehnerven in geringem Abstand hinter der Papille eine Bildtiefe von nur wenigen Zentimetern ausreicht, sollten angesichts der ständigen technischen Verbesserungen der Sonographiegeräte und zugunsten einer besseren Auflösung höhere Frequenzen bevorzugt werden. Erste Studien wurden dementsprechend bereits erfolgreich mit einer Schallfrequenz von 10 MHz durchgeführt¹⁷.

Bisher noch nicht endgültig geklärt ist die Frage, inwieweit Kopfhaltung und Augenstellung des Patienten die meßbare Sehnervenweite beeinflussen. Hinsichtlich der Blickrichtung wurden die Grundlagen durch Ossoinig, Cennamo und Byrne⁵⁴ geschaffen, die den sogenannten 30°-Test entwickelten. Dabei vermaßen sie die Sehnerven mit der A-Mode-Sonographie einmal in der primären Blickposition, ein zweites Mal in einer Abduktionsstellung des Auges von ungefähr 30°. Im Gegensatz zu soliden Veränderungen des Nerven oder der Nervenscheiden zeigte sich im Rahmen erhöhten Hirndrucks eine deutliche Abnahme des Durchmessers, die sie auf die Dehnung der Nervenscheiden und eine somit bessere Verteilung oder Verdrängung der Flüssigkeit im Subarachnoidalraum zurückführten. Für Patienten mit normalem Hirndruck dagegen kann ein negatives Ergebnis dieses Tests erwartet werden, d.h. die Meßwerte ändern sich nicht signifikant, dies wurde in weiteren experimentellen oder klinischen Untersuchungen bestätigt^{15,27}. Die praktische Anwendungsmöglichkeit dieser Erkenntnisse scheint eher eingeschränkt angesichts der Tatsache, daß die Hälfte der Kinder der vorliegenden Studie jünger als sieben Jahre alt waren. Bei älteren (und ausreichend mitarbeitenden) Kindern würde also im Falle eines erweiterten Sehnerven ein ebenfalls positiver 30°-Test die Diagnose erhöhten Hirndrucks bestätigen. Ob es durch eine eventuelle Abduktion des Auges bei

jüngeren bzw. nicht kooperativen Kindern zu fälschlicherweise zu kleinen und somit falsch negativen Werten des Sehnervendurchmessers kommen kann, ist unbekannt. Da sich das Auge im geschlossenen Zustand mit größerer Wahrscheinlichkeit in der Primärposition befindet, ist dies aber wohl eher zu vernachlässigen.

Zu den Auswirkungen der Kopfhaltung existieren aufgrund der großen Bedeutung für das Management von Hirndruckpatienten und der komplizierten Zusammenhänge zwischen ICP, systemischem Blutdruck und zentralvenösem Druck weitaus mehr Untersuchungen. Die nachgewiesenen höchsten Hirndruckwerte wurden dabei für eine flache Lagerung des Kopfes gefunden, mit zunehmender Kopfbeugung nach vorne nahm auch der mittlere ICP um bis zu 6 mm Hg ab^{5,59}. Ob sich dies im Sinne einer meßbaren Veränderung auf den Durchmesser des Sehnerven und der Nervenscheide auswirkt, war bis dato noch nicht Gegenstand einer genaueren Untersuchung. Uneinheitlichkeit herrscht auch bei den bisher durchgeführten Studien zur Sonographie des Sehnerven, größtenteils wurden zur Kopfhaltung keine Angaben gemacht^{9,16,17,33,64}, zum Teil wurde bei leichter Kopfbeugung untersucht^{3,25}. Angesichts des oben bereits erwähnten nötigen Schwellenwertes für eine meßbare Sehnervenerweiterung ist für die Sonographie des Sehnerven also eine flache Lagerung des Kopfes zu bevorzugen, wie dies auch in dieser Untersuchung der Fall war. Durch diese Vorgehensweise wird die Gefahr einer falsch negativen Beurteilung minimiert, da so der Druck im Subarachnoidalraum und infolgedessen die Weite von Sehnerven und Nervenscheiden größtmögliche Werte annehmen.

4.4.4 Verlaufskontrollen

Wenngleich sich die eben beschriebenen Einflußvariablen mit Sicherheit nicht vollständig ausschalten, sondern höchstens minimieren lassen, sind die Unterschiede der Sehnervenweite zwischen zwei Untersuchungen desselben Kindes erstaunlich gering im Vergleich zu den interindividuellen Schwankungen. So wurde für erwachsene Normalpersonen bei jeweils dreimaliger Messung beider Sehnerven eine durchschnittliche Standardabweichung der Meßwerte von weniger als 0,2 mm gefunden¹⁷. Für Kinder lag die mittlere Abweichung bei ebenfalls drei Messungen jedes Nerven sogar bei nur 0,08 mm³. Für Erwachsene mit IICP wurden nach wiederholten Messungen im Rahmen von Verlaufskontrollen einzelne Standardabweichungen von 0,1 bis 0,6 mm gefunden²⁵.

In der hier vorliegenden Untersuchung ergab sich für die mehrfach sonographierten Kinder eine durchschnittliche Abweichung von 0,3 mm für den Durchmesser des Sehnerven und 0,4 mm für die Nervenscheide. Diese Ergebnisse sprechen für die hohe Reproduzierbarkeit der Sonographie der Sehnerven für den einzelnen Patienten, sogar im Falle wechselnder Untersucher. Angesichts der nachgewiesenermaßen nahezu linearen Korrelation zwischen ICP und Sehnervenweite^{24,71} erhöht sich somit die Aussagekraft der Untersuchung durch Verlaufskontrollen deutlich. Aufgrund der breiten Streuung der Normalwerte ist nämlich im Einzelfall der „Basisdurchmesser“ eines Patienten unbekannt, wirklich sichere Aussagen bezüglich des ICP können folglich nicht getroffen werden. Beim Vergleich mit nachgewiesenen „normalen“ Vorbefunden eines Patienten müssen dagegen schon geringe Veränderungen des Meßergebnisses als hochverdächtig auf einen Anstieg des ICP gewertet werden. Als Beispiel hierfür soll noch einmal das bereits erwähnte Kind (siehe 4.3.3) mit nachgewiesener Shuntinsuffizienz angeführt werden. Trotz nachgewiesenem IICP waren bei der ersten Untersuchung beide Sehnerven mit 3,9 mm ausgemessen und dementsprechend als falsch negativ beurteilt worden. Eine weitere Sonographie dieses Kindes nur zwei Tage nach operativer Revision des Liquorshunts und Normalisierung des Hirndrucks ergab dagegen deutlich kleinere Werte, nämlich 3,0 mm

für den rechten und 3,2 mm für den linken Sehnerven. Wären diese individuellen Normalwerte bereits vor dem Anstieg des ICP bekannt gewesen, hätte sich also eine Fehleinschätzung eventuell durch die signifikante Differenz zwischen beiden Messungen vermeiden lassen. Bis zum jetzigen Zeitpunkt muß offenbleiben, ab welcher Meßabweichung zwischen zwei vergleichbaren Untersuchungen desselben Kindes eine weitere Abklärung durchgeführt werden sollte, da zu diesem Zusammenhang bisher keine Studien durchgeführt wurden. Als Anhaltspunkt könnten vorerst Werte außerhalb der zweiten Standardabweichung dienen; dementsprechend wären zumindest für diese Untersuchung Differenzen von 0,6 mm oder mehr als verdächtig auf Veränderungen des ICP zu bewerten. Rückschlüsse können natürlich auch umgekehrt gezogen werden. Bei dem im Fallbeispiel 3.6.2.3 beschriebenen Kind lagen die Werte des Sehnervendurchmessers auch nach Normalisierung des ICP noch im unteren Grenzbereich, im Vergleich mit den Vorbefunden zeigt sich jedoch ein signifikanter Rückgang der Sehnervenweite, so daß anhand dieses Befundes bereits mit hoher Wahrscheinlichkeit auf eine Verbesserung der Hirndrucksituation hätte geschlossen werden können.

4.5 Schlußfolgerungen

Angesichts der im Rahmen dieser Untersuchung gewonnenen Ergebnisse sowie dem Vergleich mit bereits bestehenden Erkenntnissen können mehrere Schlußfolgerungen gezogen werden. Es läßt sich insgesamt feststellen, daß die Sonographie der Sehnerven eine einfache und unkomplizierte Methode zur Feststellung erhöhten Hirndrucks ist. Zwar können nur qualitative Aussagen zum ICP gemacht werden, jedoch können aus verschiedensten Indikationen heraus und mit hoher Sensitivität und Spezifität Kinder mit IICP rechtzeitig erkannt werden. Dabei müssen jedoch immer die oben diskutierten Störfaktoren beachtet werden, die die Aussagekraft dieser Untersuchungsmethode limitieren. Ein gute und zuverlässige Einsatzmöglichkeit der Sonographie der Sehnerven besteht somit in der Erstdiagnostik hirndruckverdächtiger Kinder. Auch die Anwendung für Verlaufskontrollen bietet sich an, beispielsweise im Sinne eines regelmäßigen Monitorings vor und nach neurochirurgischen Eingriffen; bei neurologisch auffälligen Kindern mit Liquorshunt können anhand eines Vergleichs der gemessenen Sehnervenweite mit normalen Vorbefunden schnell und sicher Veränderungen des ICP erkannt werden.

Hinsichtlich des Ablaufs der Untersuchung selbst können mehrere Empfehlungen gegeben werden. So scheint für eine höhere Validität der sonographischen Ergebnisse die flache Kopflagerung empfehlenswert. Dabei sollten die Augen möglichst in Primärposition gehalten werden; bei kooperativen Kindern mit erweiterten Sehnerven kann der oben beschriebene 30°-Test einen zusätzlichen Informationsgewinn bringen. Der Sehnerv und die Nervenscheiden sollten – wenn möglich – mehrmals pro Auge und Untersuchung ausgemessen werden, um Meßfehler zu minimieren. Ein exakt eingehaltener Meßabstand scheint ohne Nutzen, allerdings sollten die Messungen möglichst an der breitesten Stelle im vorderen, bulbösen Teil des Nerven durchgeführt werden. Die Vorteile der B- im Vergleich zur A-Mode-Sonographie sind sicherlich unbestritten; ratsam ist zudem die Verwendung von Schallköpfen mit einer Schallfrequenz von mindestens 7,5 MHz, um eine bessere Auflösung der zu messenden Strukturen und somit eine kleinere Variabilität der Meßwerte gewährleisten zu können.

Bezüglich der Beurteilung der Sehnervenweite wird angesichts der großen Streubreite sowie der auch in dieser Studie bestätigten Altersabhängigkeit ein Grenzbereich von 4,0 mm bis 4,4 mm vorgeschlagen. Kleinere Werte lassen IICP mit relativ großer Sicherheit ausschließen, bei einem Durchmesser ab 4,5 ist erhöhter Hirndruck dagegen sehr wahr-

scheinlich. Meßwerte innerhalb des Grenzbereichs sowie Abweichungen von 0,6 mm oder mehr zwischen Messungen desselben Kindes zu verschiedenen Zeitpunkten bedürfen unbedingt einer weiteren Abklärung, auch wenn die absoluten Werte dabei noch im Normalbereich liegen.

Trotz der in dieser Untersuchung erreichten hohen Sensitivität muß an dieser Stelle abschließend noch einmal darauf hingewiesen werden, daß aufgrund der vielfältigen Störgrößen mit dieser Methode niemals eine endgültige Sicherheit in Hinsicht auf die Abschätzung des aktuellen ICP erreicht werden kann. Die Sonographie der Sehnerven soll und kann deshalb die anderen Methoden der Diagnostik nicht ersetzen, sie ist aber dennoch eine wertvolle Ergänzung für die Routinediagnostik.

4.6 Ausblick

Die Suche nach einer optimalen Methode zur Hirndruckbestimmung muß also auch in Zukunft noch weiter verfolgt werden, die Forschung hierzu ist in fast allen Bereichen im Gange, nicht zuletzt aufgrund der ständigen technischen Verbesserung der verwendeten medizinischen Geräte. Dies gilt selbstverständlich auch für die Sonographie; Fortschritte sind hier zur Zeit vor allem durch eine weiter verbesserte Auflösung zu erwarten. Eine erste Untersuchungsreihe unter Verwendung eines Ultraschallgerätes mit 3D-Rekonstruktion zeigte beispielsweise eine weitaus genauere Abgrenzung der einzelnen intraorbitalen Strukturen¹⁰. Zudem war neben der einfachen Durchmesserbestimmung auch erstmals eine Flächenberechnung des Sehnerven im Transversalschnitt möglich, dies könnte die Meßgenauigkeit der gesamten Methode weiter erhöhen. Zusätzliche Informationen sind auch durch eine ergänzende dopplersonographische Untersuchung der Sehnerven zu erwarten. Erste Untersuchungen hierzu zeigten einen verminderten Fluß in der Zentralarterie des Sehnerven durch intraorbitale Drucksteigerungen²⁰ oder Schwellungen infolge einer Sehnervenentzündung¹¹. Ob sich auch Steigerungen des ICP und ein infolgedessen erhöhter Druck im Subarachnoidalraum des Sehnerven als Veränderungen der Strömungsgeschwindigkeiten messen lassen, wird sicherlich Gegenstand weiterer Forschungsarbeiten sein.

5. Zusammenfassung

Erhöhter intrakranieller Druck führt zu einer sonographisch meßbaren Erweiterung des Sehnerven und der Nervenscheide; dies konnte bereits in mehreren sowohl experimentellen als auch klinischen Studien anderer Autoren nachgewiesen werden. Ziel dieser Arbeit war es, den Wert dieser Methode in der Routinediagnostik erhöhten Hirndrucks bei Kindern zu bestimmen. Der Schwerpunkt lag hierbei auf der Untersuchung möglicher Einflußvariablen sowie der Festlegung eines diagnostischen Grenzwertes anhand der ermittelten Sensitivität und Spezifität. Zudem sollte eine eventuelle Altersabhängigkeit der Sehnervenweite überprüft werden.

Insgesamt 509 Kinder im Alter von vier Tagen bis 24 Jahren wurden unter dem klinischen Verdacht auf IICP untersucht. Hierfür wurde der Sehnerv durch das geschlossene Auge mittels B-Mode-Sonographie im axialen Schnitt dargestellt und an der breitesten Stelle vermessen. Ebenfalls beurteilt wurden die Nervenscheiden sowie die Sehnervenpapille; alle Aufnahmen wurden auf Röntgenfilm dokumentiert. Die Geräteeinstellungen konnten dabei vom Untersucher zur bestmöglichen Darstellung frei variiert werden. Auswertung und statistische Berechnungen erfolgten retrospektiv durch den Doktoranden mit Hilfe der Statistikprogramme SPSS[®] Version 8.0 und Microsoft Excel 97[®].

Von 483 gewerteten Untersuchungen konnte bei 466 Kindern IICP mit Hilfe weiterer Diagnostik ausgeschlossen werden; der Durchmesser des Sehnerven betrug bei dieser Gruppe im Durchschnitt $3,4 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ (Nervenscheide $5,7 \text{ mm} \pm 0,7 \text{ mm}$). Bei den 17 Kindern mit nachgewiesenem IICP lag der mittlere Sehnervendurchmesser bei $5,6 \text{ mm} \pm 0,9 \text{ mm}$ (Nervenscheide $7,4 \text{ mm} \pm 1,0 \text{ mm}$). Signifikante Zusammenhänge zwischen verschiedenen Einflußvariablen (Untersucher, Meßabstand hinter der Papille, Geräteeinstellungen) und der Sehnervenweite konnten nicht gefunden werden. Nachgewiesen werden konnten allerdings eine qualitativ deutlich bessere Darstellbarkeit des Sehnerven sowie eine geringere Streubreite der Meßwerte bei Verwendung höherer Schallfrequenzen. Weiterhin bestätigte sich eine Altersabhängigkeit der Sehnervenweite mit signifikant niedrigeren Werten während der ersten sechs Lebensmonate. Für einen Grenzwert von 4,5 mm für den Sehnervendurchmesser lag die Sensitivität zur Feststellung von IICP bei 94,1 %, die Spezifität bei 94,8 %.

Die Sonographie des Sehnerven ist eine einfache und unkomplizierte Methode zur Feststellung erhöhten Hirndrucks; endgültige diagnostische Sicherheit kann hiermit allerdings nicht erreicht werden. Empfohlen wird aufgrund der großen interindividuellen Streubreite sowie einer geringfügigen Altersabhängigkeit der Meßwerte ein Grenzbereich von 4,0 mm bis 4,4 mm. Werte unterhalb dieses Bereichs erfordern deshalb nur bei weiterhin begründetem Verdacht auf erhöhten Hirndruck eine zusätzliche Abklärung, ein Sehnervendurchmesser von über 4,4 mm spricht dagegen mit hoher Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen von IICP. Die Aussagekraft der Methode wird zusätzlich erhöht durch die Mitbeurteilung der Nervenscheiden und der Sehnervenpapille sowie im Rahmen von Verlaufskontrollen durch den Vergleich mit Vorbefunden.

6. Literatur

- [1] Alberti R, Biestro A, Cancela M, Mesa P, Cordoba A, Borovich B (1994)
Infections complications of intracranial pressure monitoring.
In: *Nagain H, Kamiya K, Ishii S (Hrsg.): Intracranial pressure IX*
Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, New York, pp 426-427

- [2] Aucoin PJ, Kotilainen HR, Gantz NM, Davidson R, Kellog P, Stone B (1986)
Intracranial pressure monitors. Epidemiologic study of risk factors and infections.
Am J Med 80: 369-376

- [3] Ballantyne J, Hollman AS, Hamilton R, Bradnam MS, Carachi R, Young DG, Dutton GN (1999)
Transorbital optic nerve sheath ultrasonography in normal children.
Clin Radiol 54: 740-742

- [4] Barlow P, Mendelow AD, Lawrence AE, Barlow M, Rowan JO (1985)
Clinical evaluation of two methods of subdural pressure monitoring.
J Neurosurg 63: 578-582

- [5] Bishop R, Bishop J, Rosner MJ (1994)
Pressure volume index as a function of head elevation.
In: *Nagain H, Kamiya K, Ishii S (Hrsg.): Intracranial pressure IX*
Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, New York, pp 189-191

- [6] Boemelburg T, Koch HG (1990)
Transkranielles Doppler-sonographisches Langzeitmonitoring bei erhöhtem Hirndruck infolge Contusio cerebri.
Monatsschr Kinderheilkd 138: 680-683

- [7] Boynton JR, Pheasant TR, Levine MR (1975)
Hypoplastic optic nerves studied with B-scan ultrasonography and axial tomography of the optic canals.
Can J Ophthalmol 10: 473-481

- [8] Brinker T, Bötzel C, Rotkötter HJ, Walter GF, Samii M (1994)
The perineural pathway of cerebrospinal fluid absorption into the cervical lymphatic system. Morphological findings in rats, cats, dogs and monkeys.
In: *Nagain H, Kamiya K, Ishii S (Hrsg.): Intracranial pressure IX*
Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, New York, pp 132-135

- [9] Cennamo G, Gangemi M, Stella L (1987)
The correlation between endocranial pressure and optic nerve diameter: an ultrasonographic study.
Doc Ophthalmol Proc Ser 48: 603-606

- [10] Delcker A, Martin T, Tegeler C (1998)
Magnetic sensor data acquisition for three-dimensional ultrasound of the orbit.
Eye 12: 725-728

- [11] Elvin A, Andersson T, Soederstroem M (1998)
Optic neuritis. Doppler ultrasonography compared with MR and correlated with visual evoked potential assessments.
Acta Radiol 39: 243-248

- [12] Erlich SS, McComb JG, Hyman S, Weiss MH (1989)
Ultrastructure of the orbital pathway for cerebrospinal fluid drainage in rabbits.
J Neurosurg 70: 926-931

- [13] Ernest JT, Potts AM (1968)
Pathophysiologie of the distal portion of the optic nerve.
I. Tissue pressure relationships.
Am J Ophthalmol 66: 373-380

- [14] Gaab MR, Soerensen N, Brawanski A, Bushe KA, Wodarz R (1980)
Non-invasive pressure monitoring by fontanometry.
Z Kinderchir 31: 339-347

- [15] Galetta S, Byrne SF, Smith JL (1989)
Echographic correlation of optic nerve sheath size and cerebrospinal fluid pressure.
J Clin Neuroophthalmol 9: 79-82

- [16] Gangemi M, Cennamo G, Maiuri F, D'Andrea F (1987)
Echographic measurement of the optic nerve in patients with intracranial hypertension.
Neurochirurgia 30: 53-55

- [17] Gerling J, Janknecht P, Hansen LL, Kommerell G (1997)
Diameter of the optic nerve in idiopathic optic neuritis and in anterior ischemic optic neuropathy.
Int Ophthalmol 21: 131-135

- [18] Goodwin SR, Friedman WA, Bellefleur M (1991)
Is it time to use evoked potentials to predict outcome in comatose children and adults?
Crit Care Med 19: 518-524

- [19] Guthoff R (1991)
Ultrasound in ophthalmologic diagnosis.
Thieme-Verlag; New York.

- [20] Guthoff R, Berger RW, Winkler P, Helmke K, Chumbley LC (1991)
Doppler ultrasonography of the ophthalmic and central retinal vessels.
Arch Ophthalmol 109: 532-536

- [21] Guthoff R, Triebel G, Schroeder W, Onken C, Abramo F (1990)
Evaluation of the subarachnoid space – comparisons between ultrasound and high resolution NMR-techniques.
Doc Ophthalmol Proc Ser 53: 55-62

- [22] Guyot LL, Dowling C, Diaz FG, Michael DB (1998)
Cerebral monitoring devices: analysis of complications.
Acta Neurochir [Suppl] 71: 47-49

- [23] Hansen HC, Helmke K (1996)
The subarachnoid space surrounding the optic nerves. An ultrasound study of the optic nerve sheath.
Surg Radiol Anat 18: 323-328

- [24] Hansen HC, Helmke K (1997)
Validation of the optic nerve sheath response to changing cerebrospinal fluid pressure: ultrasound findings during intrathecal infusion tests.
J Neurosurg 87: 34-40

- [25] Hansen HC, Helmke K, Kunze K (1994)
Optic nerve sheath enlargement in acute intracranial hypertension.
Neuroophthalmology 14: 345-354

- [26] Hara M, Kadowaki C, Shiogai T, Takeuchi K (1998)
Correlation between intracranial pressure and changes in CT images of cerebral hemorrhage.
Neurol Res 20: 225-230

- [27] Hasenfratz G, DeLa Torre MDJ, Haigis W (1995)
Neue Erkenntnisse über die echographische Darstellbarkeit des Nervus opticus.
Ophthalmologe 92: 51-55

- [28] Hassler W, Steinmetz H, Gawlowski J (1988)
Transcranial Doppler ultrasonography in raised intracranial pressure and in intracranial circulatory arrest
J Neurosurg 68: 745-751

- [29] Hayreh SS (1968)
Pathogenesis of oedema of the optic disc.
Doc Ophthalmol 24: 289-411

- [30] Hayreh SS (1984)
The sheath of the optic nerve
Ophthalmologica 189: 54-63

- [31] Hedges TR, Zaren HA (1973)
The relationship of optic nerve tissue pressure to intracranial and systemic arterial pressure.
Am J Ophthalmol 75: 90-98

- [32] Helmke K, Hansen HC (1996)
Fundamentals of transorbital sonographic evaluation of optic nerve sheath expansion under intracranial hypertension. I. Experimental study.
Pediatr Radiol 26: 701-705

- [33] Helmke K, Hansen HC (1996)
Fundamentals of transorbital sonographic evaluation of optic nerve sheath expansion under intracranial hypertension. II. Patient study.
Pediatr Radiol 26: 706-710

- [34] Holloway KL, Rigsbee M, Ward JD (1994)
Ventriculostomy infections: the MCV experience 10 years later.
In: *Nagain H, Kamiya K, Ishii S (Hrsg.): Intracranial pressure IX*
Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, New York, pp 104-107

- [35] Jensen RL, Hahn YS, Ciro E (1997)
Risk factors of intracranial pressure monitoring in children with fiberoptic devices.
Surg Neurol 47: 16-22

- [36] Judson JA, Cant BR, Shaw NA (1990)
Early prediction of outcome from cerebral trauma by somatosensory evoked potentials.
Crit Care Med 18: 363-368

- [37] Kuchiwaki H, Inao S, Ishii N, Ogura Y, Gu SP (1997)
Human dural thickness measured by ultrasonographic method: reflection of intracranial pressure.
J Ultrasound Med 16: 725-730

- [38] Kuchiwaki H, Inao S, Yoshida K, Yamamoto M, Sugita K, Ishii N, Ogura Y (1994)
An intracranial pressure arithmetic system using ultrasound and results in healthy adults.
In: Nagain H, Kamiya K, Ishii S (Hrsg.): *Intracranial pressure IX*
Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, New York, pp 8-9

- [39] Liu D, Kahn M (1993)
Measurement and relationship of subarachnoid pressure of the optic nerve to intracranial pressures in fresh cadavers.
Am J Ophthalmol 116: 548-556

- [40] Liu D, Michon J (1995)
Measurement of the subarachnoid pressure of the optic nerve in human subjects.
Am J Ophthalmol 119: 81-85

- [41] Luersson TG (1997)
Intracranial pressure: current status in monitoring and management.
Semin Pediatr Neurol 4: 146-155

- [42] Lyons MK; Meyer FB (1990)
Cerebrospinal fluid physiology and the management of increased intracranial pressure.
Mayo Clin Proc 65: 684-707

- [43] Miller JD, Becker DP, Ward JD, Sullivan HG, Adams WE, Rosner MJ (1977)
Significance of intracranial hypertension in severe head injury.
J Neurosurg 47: 503-516

- [44] Mindermann T, Gratzl O (1998)
Interhemispheric pressure gradients in severe head trauma in humans.
Acta Neurochir [Suppl] 71: 56-58

- [45] Morgalla MH, Cuno M, Mettenleiter H, Will BE, Krasznai L, Skalej M, Bitzer M, Grote EH (1997)
ICP monitoring with a re-usable transducer: experimental and clinical evaluation of the Gaeltec ICT/b pressure probe.
Acta Neurochir 139: 569-573

- [46] Muller PJ, Deck JHN (1974)
Intraocular and optic nerve sheath hemorrhage in cases of sudden intracranial hypertension.
J Neurosurg 41: 160-166

- [47] Munari C, Calbucci F (1981)
Correlations between intracranial pressure and EEG during coma and sleep.
Electroencephalogr Clin Neurophysiol 51: 170-176

- [48] Murphy A, Teasdale E, Matheson M, Galbraith S, Teasdale G (1983)
Relationship between CT indices of brain swelling and intracranial pressure after head injury.
In: *Ishii S, Nagain H, Brock M (Hrsg.): Intracranial pressure V*
Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, New York, pp 562-566

- [49] North B; Reilly P (1986)
Comparison among three methods of intracranial pressure recording.
Neurosurgery 18: 730-732

- [50] Onken C, Guthoff R, Abramo F (1989)
Neue diagnostische Ansätze zur Abklärung des verbreiterten Nervus opticus. Vergleiche zwischen Ultraschallechographie und Kernspintomographie.
Fortschr Ophthalmol 86: 352-355

- [51] Ostrup RC, Luerssen TG, Marshall LF, Zornow MH (1987)
Continuous monitoring of intracranial pressure with a miniaturized fiberoptic device
J Neurosurg 67: 206-209

- [52] Ossoinig KC (1976)
Echography of the eye, orbit, and periorbital region.
In: *Arger PH (Hrsg.): Radiology of the orbit*
John Wiley & Sons, New York.

- [53] Ossoinig KC (1993)
Standardised echography of the optic nerve.
Doc Ophthalmol Proc Ser 55: 3-99

- [54] Ossoinig KC, Cennamo G, Frazier-Byrne S (1981)
Echographic differential diagnosis of optic-nerve lesions.
Doc Ophthalmol Proc Ser 29: 327-332

- [55] Piek J, Raes P (1994)
A new ventricular catheter with an integrated piezo-resistive sensor at its tip – first experiences.
In: *Nagain H, Kamiya K, Ishii S (Hrsg.): Intracranial pressure IX*
Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, New York, pp 428-430

- [56] Poon WS (1994)
Intracranial pressure monitoring in the posterior fossa.
In: *Nagain H, Kamiya K, Ishii S (Hrsg.): Intracranial pressure IX*
Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, New York, pp 452-453

- [57] Powell MP, Crockard HA (1985)
Behavior of an extradural pressure monitor in clinical use. Comparison of extradural with intraventricular pressure in patients with acute and chronically raised intracranial pressure.
J Neurosurg 63: 745-749

- [58] Pranevicius O, Bertasius K, Pranevicius M, Jarzemas E (1992)
Non-invasive dynamic assessment of the elasticity of intracranial structures.
Acta Neurol Scand 86: 512-516

- [59] Rosner MJ, Coley IB (1986)
Cerebral perfusion pressure, intracranial pressure and head elevation.
J Neurosurg 65: 636-641

- [60] Sadun AA (1993)
The efficacy of optic nerve sheath decompression for anterior ischemic optic neuropathy and other optic neuropathies.
Am J Ophthalmol 115: 384-389

- [61] Sahuquillo J, Poca MA, Monforte L, Sanchez-Massa LL, Campos L, Rubio E, Zapater P (1994)
Interhemispheric supratentorial ICP gradients in head injury patients: Are they clinically important?
In: *Nagain H, Kamiya K, Ishii S (Hrsg.): Intracranial pressure IX*
Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, New York, pp 48-51

- [62] Salgarello T, Tamburrelli C, Falsini B, Giudiceandrea A, Colotto A (1996)
Optic nerve diameters and perimetric thresholds in idiopathic intracranial hypertension.
Br J Ophthalmol 80: 509-514

- [63] Schroeder W (1976)
Ergebnisse der A-Bild-Echographie bei einseitigen Sehnervenerkrankungen.
Klin Mbl Augenheilk 169: 30-38

- [64] Schroeder W, Guthoff R (1981)
Ultrasonography of the optic nerve. Results of measuring the dural diameter.
Doc Ophthalmol Proc Ser 29: 359-362

- [65] Shuper A, Snir M, Barash D, Yassur Y, Mimouni M (1997)
Ultrasonography of the optic nerves: clinical application in children with pseudotumor cerebri.
J Pediatr 131: 734-740

- [66] Skalka HW (1977)
Ultrasonography of the optic nerve.
In: *Smith JL (Hrsg.): Neuro-ophthalmology update*
Masson Publishing, New York.

- [67] Skalka HW (1981)
Ultrasonography of the optic nerve.
Neuroophthalmology 1: 261-272

- [68] Spoor TC, Ramocki JM, Madion MP, Wilkinson MJ (1991)
Treatment of pseudotumor cerebri by primary and secondary optic nerve sheath decompression.
Am J Ophthalmol 112: 177-185

- [69] Stanowsky A, Kreissig I (1987)
Echographic examination of the optic nerve and its meninges in the diagnosis of a pseudotumor cerebri.
Doc Ophthalmol Proc Ser 48: 607-613

- [70] Szabó Á, Pelle Z, Németh J, Janáky M (1993)
Optic nerve anomalies in childhood.
Doc Ophthalmol Proc Ser 55: 123-125

- [71] Tamburelli C, Anile C, Mangiola A, Falsini B, Palma P (1993)
CSF dynamic parameters and changes of optic nerve diameters measured by standardized echography.
Doc Ophthalmol Proc Ser 55: 101-109

- [72] Toutant SM, Klauber MR, Marshall LF, Toole BM, Bowers SA, Seelig JM Varnell JB (1984)
Absent or compressed basal cisterns on first CT scan: ominous predictors of outcome in severe head injury.
J Neurosurg 61: 691-694

- [73] Ueno T, Ballard RE, Shuer LM, Cantrell JH, Yost WT, Hargens AR (1998)
Noninvasive measurement of pulsatile intracranial pressure using ultrasound.
Acta Neurochir [Suppl] 71: 66-69

- [74] Van Dongen KJ; Braakman R, Gelpe GJ (1983)
The prognostic value of computerized tomography in comatose head-injured patients.
J Neurosurg 59: 951-957

- [75] Von Wild K, Poerksen C (1980)
Non-invasive technique for monitoring intracranial pressure via the fontanelle in premature infants and newborns with hydrocephalus.
Z Kinderchir 31: 348-352

- [76] Wayenberg JL (1998)
Non-invasive measurement of intracranial pressure in neonates and infants: experience with the Rotterdam teletransducer.
Acta Neurochir [Suppl] 71: 70-73

7. Danksagung

Herzlich danken möchte ich:

- Herrn Prof. Dr. **Gerhard Alzen** für die Überlassung des interessanten Themas und seine freundliche Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit
- Frau Dr. **Friederike Körber** für die gute Betreuung und viele wertvolle Anregungen
- Herrn Dr. **Papst** vom Institut für medizinische Informatik für die statistische Beratung
- allen Mitarbeitern der **Abteilung für Kinderradiologie** für die großartige Unterstützung
- **Antje** für die Hilfe bei der designerischen Gestaltung sowie den „Crashkurs“ in SPSS
- **Robert** für professionellen Rat im Kampf mit Varianzanalysen, Tukey-Test et. alt.
- **Fleur** für's Korrekturlesen sowie die Überprüfung des englischen Abstracts
- **Anja** für äußerst kritisches Korrekturlesen und die Feinheiten der deutschen Sprache
- meinen **Großeltern** sowie **Lena, Manfred & Erika** für die tolle Unterstützung während des gesamten Studiums

7. Lebenslauf

Zur Person

Name: **Manuel Günter Scharf**

Geburtsdatum / -ort: 13.01.1976 / Hanau

Staatsangehörigkeit: deutsch

Schul Ausbildung

1982 - 1986 Grundschole Altenmittlau

1986 - 1995 Gymnasium der Kopernikusschule Freigericht

Mai 1995 Abschluß: Abitur

Hochschulausbildung

1995 - 2002 **Studium der Humanmedizin** / Justus-Liebig-Universität Gießen

1998 Erster Abschnitt der ärztlichen Prüfung („gut“)

2001 Zweiter Abschnitt der ärztlichen Prüfung („sehr gut“)

2002 Dritter Abschnitt der ärztlichen Prüfung („sehr gut“)

27. Mai 2002 Erlangung der Teilapprobation als „Arzt im Praktikum“

Famulaturen

1997 **Innere Medizin**
Klinikum Stadt Hanau (Hanau / Deutschland)

1998 **Allgemeinpädiatrie**
Kreiskrankenhaus Gelnhausen (Gelnhausen / Deutschland)

1999 **Praxis für Kinderheilkunde**
Dr. Anton Ickstadt (Freigericht / Deutschland)

1999 **Kinderkardiologie**
Harvard Children's Hospital (Boston / USA)

2000 **Kinderonkologie**
St. Anna Kinderspital (Wien / Österreich)

Praktisches Jahr

2001-2002 **Innere Medizin**
St. Vincenz Krankenhaus (Limburg / Deutschland)

Chirurgie
St. Vincenz Krankenhaus (Limburg / Deutschland)

Pädiatrie
Kreiskrankenhaus Bad Hersfeld (Bad Hersfeld / Deutschland)

Berufliche Tätigkeit

Seit Juni 2002 **Arzt im Praktikum** / Klinikum Aschaffenburg
Kinderklinik