

UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie

Direktor: Professor Dr. med. Manfred Westphal

Verlauf des Augeninnendrucks während neurochirurgischer Operationen in Abhängigkeit der Kopfposition und Eröffnung der Dura mater

Dissertation

Zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin an der Medizinischen
Fakultät der Universität Hamburg

vorgelegt von:

Nikolas Kluge aus Herdecke

Hamburg 2018

Angenommen von der

Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 14.01.2019

Veröffentlicht mit Genehmigung der

Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: PD Dr. Sven Eicker

Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: Prof. Dr. Martin Spitzer

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	6
1.1 Perioperativer Visusverlust	6
1.1.1 Definition	6
1.1.2 Epidemiologie	6
1.1.3 Pathophysiologie.....	6
1.1.3.1 Anatomie des Sehnervs.....	7
1.1.3.2 Ischämische Optikusneuropathie.....	10
1.1.3.3 Zentralarterienverschluss	10
1.1.3.4 Cortical Blindness	11
1.2 Intraokularer Druck und Lageabhängigkeit	11
1.3 Liquorsystem und Hirnhäute	12
1.4 Fragestellung	16
2. Material und Methoden.....	17
2.1 Studiendesign	17
2.1.1 Gruppeneinteilung.....	17
2.1.2 Einschlusskriterien und Ausschlusskriterien	18
2.1.2.1 Einschlusskriterien.....	18
2.1.2.2 Ausschlusskriterien.....	18
2.1.3 Durchführung	19
2.1.3.1 Ophthalmologische Untersuchung.....	20
2.1.3.2 Intraoperative Untersuchung	20
2.1.3.2.1 Tono-Pen® XL	21
2.1.3.2.2 Messpunkte	23
2.1.3.2.3 Operationstisch	25
2.1.3.2.4 OP-Lagerung.....	26
2.1.3.2.4.1 Kopffixierung	26

2.1.3.2.4.1.1 Mayfield-Klemme	26
2.1.3.2.4.2 Rückenlagerung	28
2.1.3.2.4.2.1 Trendelenburg-Lagerung	28
2.1.3.2.4.2.2 Anti-Trendelenburg-Lagerung	29
2.1.3.2.4.3 Bauchlagerung	30
2.1.3.2.4.3.1 Concorde-Lagerung	31
2.1.3.2.4.3.2 Wilson Frame	32
2.1.3.2.4.4 Seitenlagerung	33
2.1.3.2.4.4.1 Halbseitenlagerung	35
2.1.3.2.4 Anästhesie	35
2.1.3.2.5 Blutdruckmessung	35
2.2 Statistische Auswertung	36
2.3 Bilder und Abbildungen	36
3. Ergebnisse	37
3.1 Patientenkollektiv	37
3.2 Diagnosen und Lokalisationen	38
3.2.1 Lokalisationen	39
3.2 Augeninnendruck-Werte	40
3.2.1 Gruppe A	40
3.2.2 Gruppe B	41
3.2.3 Gruppe C	42
3.2.3.1 Gruppe C – Inferiores Auge	42
3.2.3.2 Gruppe C – Superiores Auge	43
3.2.3.3 Gruppe C – Vergleich: Inferiores Auge mit superiorem Auge	44
3.2.4 Gruppe D	44
3.3 Perioperativer Blutdruck	49
3.4 Blutverlust	51
3.5 Perioperative Volumensubstitution	51

3.6 Augenärztliche Untersuchungsergebnisse.....	51
3.6.1 Visusbestimmung.....	52
4. Diskussion.....	53
4.1 Bisherige Forschung.....	53
4.2 Ergebnisse.....	55
4.3 Mögliche Pathogenese.....	56
4.3.1 Minderperfusion durch Auswirkung des Augeninnendrucks auf die Arterie.....	56
4.3.2 Minderperfusion durch zu hohen Druck.....	57
4.4 Klinischer Ausblick.....	60
4.5 Limitation der Studie.....	63
5. Zusammenfassung.....	65
5.1 Abstract.....	67
6. Veröffentlichungen.....	68
6.1 Veröffentlichung.....	68
6.2 Vorträge.....	68
7. Eigenanteil.....	69
8. Literaturverzeichnis.....	70
9. Abbildungsverzeichnis.....	79
10. Tabellenverzeichnis.....	80
11. Abkürzungsverzeichnis.....	81
12. Anhang.....	82
12.1 Anlage 1: Untersuchungsbogen Augenheilkunde.....	82
12.2 Anlage 2: Untersuchungsbogen Intraoperativ.....	83
13. Danksagung.....	84
14. Lebenslauf.....	85
15. Eidesstattliche Versicherung.....	86

1. Einführung

Ein vorübergehender oder dauerhafter Visusverlust, beziehungsweise Visusverschlechterung, ist eine Komplikation, welche ein Patient fürchtet, wenn er sich einer ophthalmologischen Operation unterziehen muss, nicht jedoch bei einer Operation aus einem anderen Fachgebiet. Umso schlimmer ist daher für den Patienten und auch für die behandelnden Ärzte, wenn ein Patient nach einer nicht-ophthalmologischen Operation plötzlich einen Visusverlust erleidet, den sogenannten Perioperativen Visusverlust (perioperative visual loss – POVL).

1.1 Perioperativer Visusverlust

1.1.1 Definition

Der Perioperative Visusverlust beschreibt jegliche Visusverschlechterungen bis hin zur Erblindung nach Operationen in Allgemeinanästhesie, die nicht primär am Auge stattgefunden haben (oft bezogen auf Operationen an der Wirbelsäule) (Apfelbaum et al. 2012; Kendrick 2012).

1.1.2 Epidemiologie

Bedingt durch insgesamt geringe Fallzahlen schwankt die Inzidenz des POVL zwischen 0,03 – 0,28 % je nach Fachbereich (Kla und Lee 2016; Shen et al. 2009; Patil et al. 2008). Nach einer Studie, welche die Datenbank der American Society of Anesthesiologists analysierte, ergab sich die höchste Prävalenz in der Kardiochirurgie mit 0,086 % sowie der spinalen Fusion mit etwa 0,031 %. Als Vergleich gibt die Studie eine Prävalenz von etwa 0,0012 % für einen POVL während einer Appendektomie an (Shen et al. 2009).

1.1.3 Pathophysiologie

Der POVL wird aktuell hauptsächlich durch drei Pathomechanismen erklärt: Die ischämische Optikusneuropathie (ION), den Zentralarterien Verschluss (CRAO) und die Cortical Blindness (Kla und Lee 2016; Lee 2013; Berg et al. 2010). Die ION wird weiterhin unterteilt in eine anteriore und eine posteriore Variante (AION bzw. PION), wobei eine PION als ischämischer Schaden am N. opticus hinter der Lamina cribrosa sclerae definiert ist, die AION hingegen als Schaden vor der Lamina cribrosa sclerae (Lee et al. 2010). Am häufigsten findet man als Ursache

für den POVL die ION, wobei die AION bei kardiochirurgischen Eingriffen dominierend ist und die PION bei spinalen Eingriffen (Newman 2008).

1.1.3.1 Anatomie des Sehnervs

Um den Pathomechanismus der ION zu verstehen, sind die anatomischen Grundlagen des N. opticus und dessen Blutversorgung essentiell.

Der N. opticus verläuft mit intra- sowie extrakraniellen Anteilen als Fasciculus und wird in vier Abschnitte unterteilt: Pars intraocularis zwischen Papille und Austritt aus der Lamina cribrosa sclerae, Pars orbitalis während des Verlaufes in der Orbita, Pars intracanalialis während des Verlaufes im Canalis opticus und Pars intracranialis nach dem Austritt aus dem Canalis opticus bis zum Chiasma opticum. Insgesamt liegt die Länge des Sehnervs bei etwa 58 mm.

Da der N. opticus embryologisch aus dem Gehirn erwächst, wird dieser ebenfalls von den drei Hirnhäuten Dura mater, Pia mater und der Arachnoidea mater umgeben. Der Subarachnoidalraum des N. opticus ist allerdings nicht mit Liquor gefüllt, es kann jedoch durch die Verbindung der Räume ein erhöhter Liquordruck auf den N. opticus und die Papille übertragen werden, was in dem ophthalmologischen Befund einer Stauungspapille resultieren kann (Sachsenweger und Klauß 2003).

Der N. opticus wird an der Papille durch den Zinn-Haller-Gefäßkranz (Anastomose aus Aa. ciliares posteriores brevis und A. centralis retinae) mit Blut versorgt, weiterhin existieren einige Gefäße aus der Pia mater (vor allem im intrakraniellen Teil) und der A. centralis retinae. Die A. ophthalmica gelangt durch das Foramen opticum in die Orbita und gibt dort die A. centralis retinae als Ast ab. Diese verläuft dann durch die Durascheide des N. opticus (8 – 10 mm vor Austritt aus dem Bulbus). Teilweise erfolgt über die Durascheide auch eine Blutversorgung des Sehnervs. Somit sind wenige Ziliargefäße für die Blutversorgung des N. opticus vor der Lamina cribrosa sclerae zuständig. Der intraorbitale Teil des N. opticus wird durch piale Gefäße versorgt, was ihn zum anfälligsten Teil des Sehnervs für eine Ischämie macht. Die venöse Drainage erfolgt über die Zentralvene und teilweise über Orbitalvenen (siehe Abbildungen 1 und 2, Seite 8; Abbildung 3, Seite 9) (Shmygalev und Heller 2011; Sachsenweger und Klauß 2003).

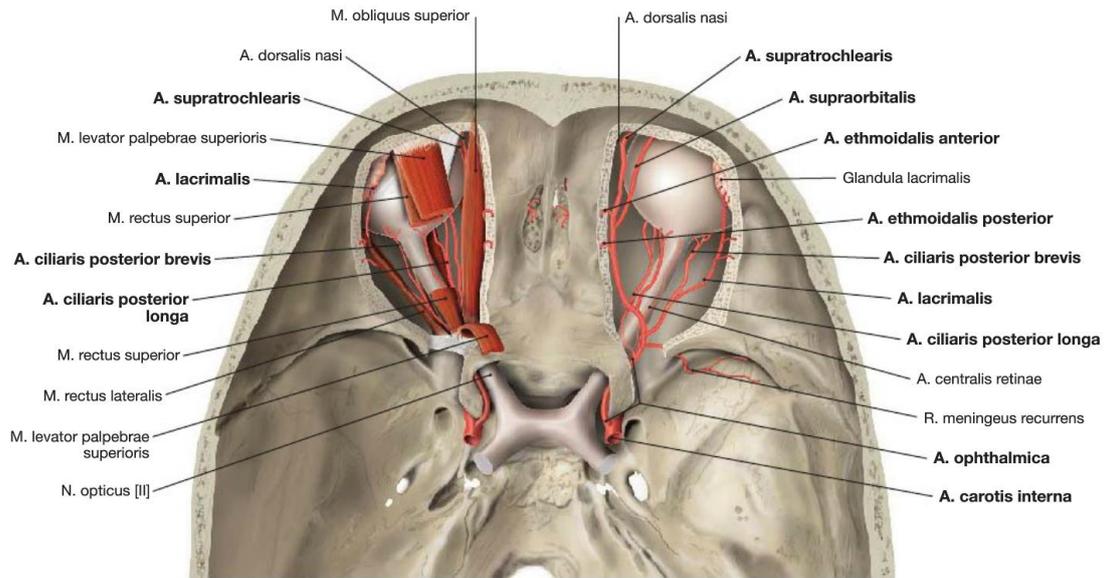


Abbildung 1 - Arterielle Versorgung des Auges (Paulsen und Waschke 2017, Seite 145). Mit freundlicher Genehmigung der Elsevier GmbH.

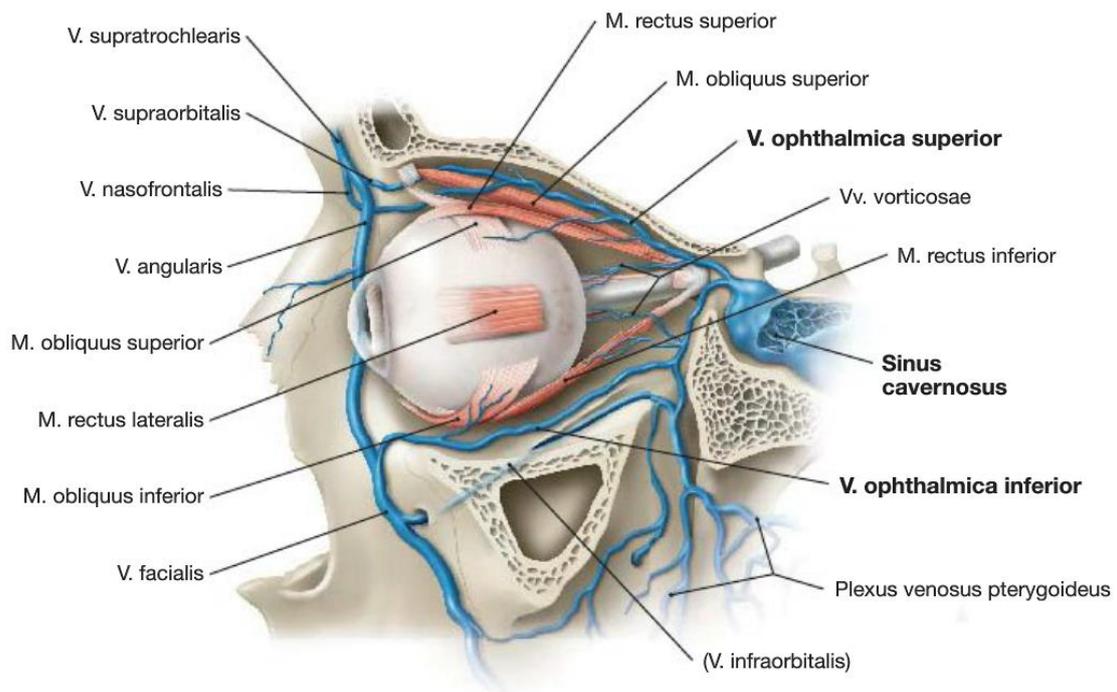


Abbildung 2 - Venöse Versorgung des Auges (Paulsen und Waschke 2017, Seite 145). Mit freundlicher Genehmigung der Elsevier GmbH.

Somit hängt die Blutversorgung des N. opticus von mehreren Faktoren ab: dem Perfusionsdruck, dem Strömungswiderstand, der Autoregulation und der Viskosität des Blutes. Der Perfusionsdruck kann berechnet werden aus der Differenz zwischen dem mittleren arteriellen Blutdruck und dem Augeninnendruck (intraocular pressure, IOP) (Sachsenweger und Klauß 2003).

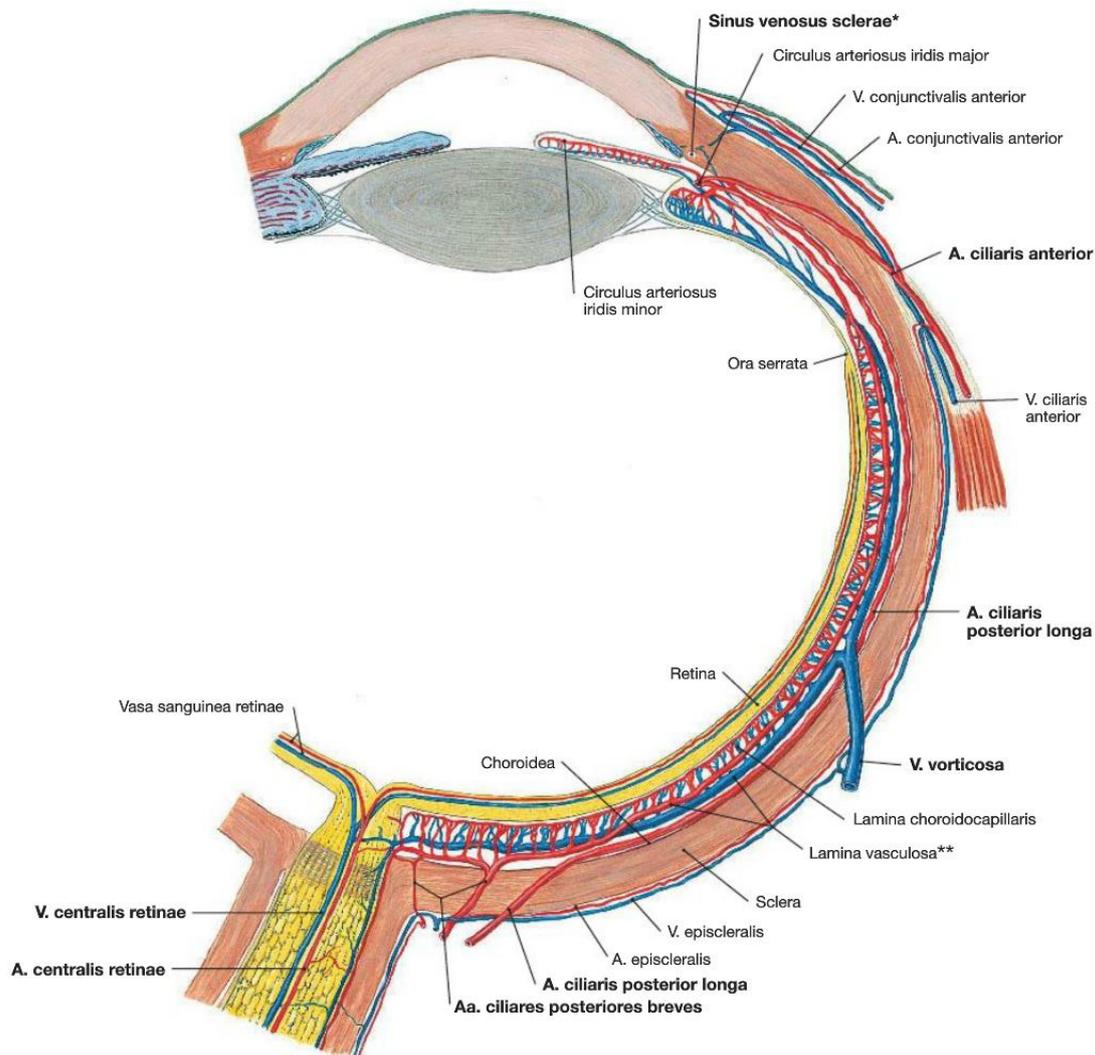


Abbildung 3 - Gefäßversorgung des Auges (Paulsen und Waschke 2017, Seite 155). Mit freundlicher Genehmigung der Elsevier GmbH.

Des Weiteren gilt, ist der IOP höher als der Venendruck, wird der Blutfluss von diesem abhängig (Shmygalev und Heller 2011). Die Gefäße haben einen autoregulativen Bereich, welcher vor allem bei höheren systemischen Blutdrücken gut funktioniert, jedoch bei niedrigen eher versagt. In der Folge kann der Perfusionsdruck bei niedrigen Blutdrücken nicht mehr durch die Autoregulation aufrechterhalten werden. Dieser Zusammenhang konnte bisher nur bei Rhesusaffen gezeigt werden, jedoch wird allgemein davon ausgegangen, dass der Mensch einen ähnlichen Autoregulationsmechanismus besitzt. (Liang et al. 2009; Riva et al. 1997). Bei stark erhöhten IOP-Werten von etwa 45 – 55 mmHg versagt der Autoregulationsmechanismus (Pillunat et al. 1997).

1.1.3.2 Ischämische Optikusneuropathie

Die ION ist eine ischämische Läsion des N. opticus. Bei der spontanen Variante, das heißt nicht im Rahmen einer Operation, sind vaskuläre Risikofaktoren relevant, wie auch bei Ischämien anderer Organsysteme. Insbesondere sind Krankheiten zu nennen, die das Risiko für Arteriosklerose erhöhen (z.B. Diabetes mellitus Typ I und II) oder für thromboembolische Ereignisse sorgen können (u.a. Vorhofflimmern, Endokarditis). In seltenen Fällen kann es auch zur Minderdurchblutung durch Hypovolämie kommen (Sachsenweger und Klauß 2003). Eine weitere Variante kann durch Vaskulitiden entstehen, insbesondere durch die Riesenzellerarthritis (Grehn 2012). Im Rahmen des POVL wird als Pathomechanismus vor allem eine Minderdurchblutung des Sehnervs durch einen reduzierten Perfusionsdruck vermutet oder eine venöse Abflussstauung durch erhöhten Venendruck (Shmygalev und Heller 2011).

Als weitere Risikofaktoren gelten das männliches Geschlecht, Übergewicht, eine Wilson Frame Lagerung (siehe 2.1.3.2.4.3.2, Seite 32), die Dauer der Anästhesie, der intraoperative Blutverlust und der Anteil der Kolloide in der Flüssigkeitsersatztherapie (Kla und Lee 2016; Lee 2013).

Die ION kann auf zwei Arten behandelt werden. Vermutet man eine entzündliche Form, erfolgt eine Steroidbehandlung. Vermutet man hingegen eine nicht-entzündliche Form, ist das Hauptziel, eine Optimierung der Durchblutung zu erreichen. Hierzu kann z.B. eine Hämodilution (beispielsweise mit Acetylsalicylsäure (ASS) als langfristige Therapieoption) oder der Einsatz von Steroiden zur Reduzierung eines möglichen Ödems in Erwägung gezogen werden, bei insgesamt unbefriedigenden Behandlungsergebnissen. Früher wurde eine therapeutische Antikoagulation mit Phenprocoumon durchgeführt (Sachsenweger und Klauß 2003; Newman 2008; Grehn 2012).

1.1.3.3 Zentralarterienverschluss

Der Zentralarterienverschluss wird durch einen verminderten Blutfluss in die Retina verursacht. Die häufigste Ursache ist ein externer Druck auf das Auge, wie zum Beispiel durch eine suboptimale intraoperative Lagerung des Kopfes mit Kompression des Bulbus oculi. Vor allem in den 1950er Jahren wurde dies für einige Fälle von POVL verantwortlich gemacht, bis zur Konzeption einer neuen

Kopfstütze (Horseshoe Headrest, siehe 2.1.3.2.4.1, Seite 26) mit Aussparung im Bereich der Augen, wonach die Inzidenz abfiel. Bei der vorherigen Kopfstütze kam es durch den Druck des Polsters auf die Augen zu einem erhöhten IOP, welcher dann die Perfusion einschränkte (Hollenhorst et al. 1954; Kla und Lee 2016). Als ein weiterer Grund gelten Embolien, welche die Zentralarterie des N. opticus verschließen. Zur Verhinderung des Zentralarterienverschlusses durch Druck wird empfohlen, die Augen möglichst druckfrei zu lagern und Maßnahmen zur Embolieprophylaxe (beispielsweise Filter in der Kardiochirurgie) zu nutzen (Kla und Lee 2016; Newman 2008). Die Behandlung eines Zentralarterienverschlusses erfolgt mittels Fibrinolyse, Hämodilution und Vasodilatation. Die Ergebnisse sind jedoch auch hier unbefriedigend (Kla und Lee 2016; Sachsenweger und Klauß 2003).

1.1.3.4 Cortical Blindness

Durch eine Hypoperfusion im Gehirn kommt es zu einer Schädigung des occipitalen Cortex, welche in der maximalen Ausprägung einem Schlaganfall entspricht. Zur Cortical Blindness kommt es bei einer vollständigen Zerstörung der genikulostriären Projektionen. Als Ursache werden u.a. Embolien oder eine Hypotension vermutet. Diese gehen meist von der A. cerebri posterior aus. Seltener u.a. durch Grenzzonenischämien der Aa. cerebri media et posterior, Dissektion der zervikalen Arterien und die Versorgung von HWS Traumata (insbesondere während der Instrumentation bei dem Einbringen von Pedikelschrauben und der Intubation). Die Cortical Blindness ist die seltenste Form des POVL nach einer spinalen Operation (Kla und Lee 2016; Shmygalev und Heller 2011; Zihl 2012).

1.2 Intraokularer Druck und Lageabhängigkeit

Der IOP liegt in der Regel im Sitzen bei jungen, gesunden Personen zwischen 10 – 21 mmHg, mit tageszeit- und altersabhängigen Schwankungen von ± 4 mmHg. Der IOP ergibt sich aus der Produktion und dem Abfluss des Kammerwassers, d.h. bei erhöhter Produktion bzw. verringertem Abfluss steigt dieser an. IOP-Werte über 26 mmHg werden regelhaft als pathologisch gewertet. Bei Erhöhung des intraabdominalen Drucks (u.a. Husten, Belastung, Pressen)

und in Schwerelosigkeit steigt der Druck an, so dass Druckspitzen von bis zu 40 mmHg möglich sind (Sachsenweger und Klauß 2003).

In mehreren Studien konnte gezeigt werden, dass durch Operationen in Bauchlage der IOP deutlich gegenüber Operationen in Rückenlage oder sitzender Position ansteigt. Wird der Patient aus einer sitzenden Position in eine Rückenlage gebracht, steigt der IOP signifikant gegenüber einer sitzenden Baseline an (Ozcan et al. 2004; Jorge et al. 2010). Es kommt bereits durch das Umdrehen des Patienten aus einer Rückenlage in die Bauchlage zu einem deutlichen Anstieg des IOP, sowohl bei Patienten in Analgosedierung als auch bei wachen Patienten (Walick et al. 2007; Ozcan et al. 2004; Hunt et al. 2004; Deniz et al. 2013). Darüber hinaus führt bereits eine leichte Erhöhung des Kopfes über das Herzniveau zu einem signifikant niedrigeren IOP im Vergleich zu einer Positionierung des Kopfes unter Herzniveau (Carey et al. 2014). Auch eine Rotation des Kopfes führt dazu, dass an dem höher gelegenen Auge signifikant niedrigere IOP-Werte gemessen werden als an dem tiefer gelegenen Auge bzw. bei einer Vergleichsgruppe, bei der sich beide Augen auf derselben Höhe befinden (Deniz et al. 2013). Die meisten dieser Studien wurden für spinale Operationen durchgeführt, allerdings konnte auch bei roboterassistierten Operationen an der Prostata in steiler Trendelenburglage gezeigt werden, dass nicht nur der IOP gegenüber der Baseline erhöht ist, sondern der IOP auch zeitabhängig in Bauchlage ansteigt (Hoshikawa et al. 2014). Der Anstieg des IOP scheint somit abhängig von der Dauer der Lagerung zu sein und mit der Zeit zuzunehmen (Walick et al. 2007; Cheng et al. 2001). Zwar war die Arbeitsgruppe von Hunt nicht in der Lage, eine Assoziation zwischen dem BMI (Body Mass Index) und der Erhöhung des IOP nachzuweisen (Hunt et al. 2004), jedoch weisen Datenbank-Analysen aus den USA auf Adipositas als Risikofaktor hin (Lee et al. 2006).

1.3 Liquorsystem und Hirnhäute

Das zentrale Nervensystem ist beim Menschen von drei Hirnhäuten umgeben. Zuäusserst findet man die harte Hirnhaut, die Dura mater. Unter dieser schließen sich die beiden weichen Hirnhäute, die Arachnoidea mater und die Pia mater, an. Die Dura mater besteht aus zwei Blättern, die im Bereich des Gehirns größtenteils miteinander verwachsen sind (siehe Abbildung 4, Seite 13). Im

Bereich des Spinalkanals liegt zwischen beiden Schichten ein mit Fettgewebe und Blutgefäßen gefüllter Raum. Die Pia mater liegt dabei dem Gehirn direkt an und ist teilweise mit ihm verwachsen. Zwischen der Pia mater und der Arachnoidea mater findet sich der mit dem Liquor cerebrospinalis gefüllte Subarachnoidalraum. Die meisten der oberflächlichen Arterien und Venen verlaufen ebenfalls dort. Generell ist der Aufbau der Hirnhäute am Spinalkanal, bis auf die oben beschriebene Differenz bei der Dura mater, ähnlich dem Aufbau am Gehirn (Aumüller und Wurzinger 2010).

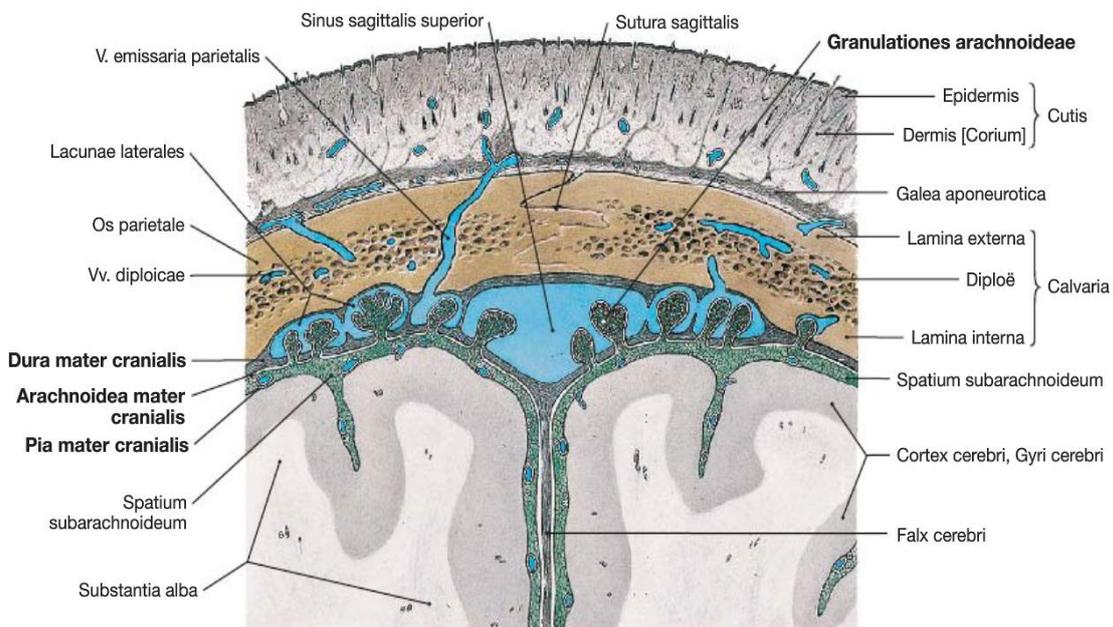


Abbildung 4 - Aufbau der Hirnhäute (Paulsen und Waschke 2017, Seite 283). Mit freundlicher Genehmigung der Elsevier GmbH.

Der Liquor ist eine wasserklare Flüssigkeit, die in ihrer Zusammensetzung der Interstitialflüssigkeit entspricht. Dem Liquor kommen eine lymphähnliche Funktion und ein Schutz gegen mechanische Belastungen zu.

Unterschieden werden die Liquorräume in äußere und innere, welche allerdings verbunden sind. Die inneren Liquorräume umfassen dabei die vier Ventrikel, das Aquädukt und den Zentralkanal. In allen Liquorräumen finden sich beim Erwachsenen zusammen etwa 100 – 160 ml Liquor. Diese Menge wird am Tag etwa alle 6 – 8 Stunden komplett getauscht, was etwa einer täglichen Liquorproduktion von ca. 500 ml entspricht. 20 % der Liquormenge sind dabei in

etwa in den inneren, 80 % in den äußeren Liquorräumen zu finden. Gebildet wird der Liquor in den Plexūs choroidei, welche in den inneren Liquorräumen liegen. Diese Plexūs sind arteriovenöse Gefäßkonvolute, welche mit speziellem Epithel bedeckt sind. Der Liquor wird durch den Sekretionsdruck aus den Seitenventrikeln durch das Foramen Monroi in den dritten Ventrikel gepresst, von dort über das Aquädukt in den vierten Ventrikel. Aus diesem wird der Liquor über Öffnungen, die Foramina Luschkae und Foramina Magendii, in die Cisterna magna und dann in den Subarachnoidalraum hinausgepresst. Hier verteilt sich der Liquor um Rückenmark und Hirnstamm. Die Rückresorption des Liquors erfolgt über Ausstülpungen der Arachnoidea mater (Arachnoidalzotten). Im Schädelbereich und im Bereich der Wirbelsäule erfolgt eine zusätzliche Rückresorption durch Venen- und Lymphgefäßplexūs, welche an den Durchtrittsstellen von Spinal- und Hirnnerven zu finden sind (Aumüller und Wurzing 2010; Trepel 2017). Eine Darstellung des Liquorsystems findet sich in Abbildung 5, Seite 14.

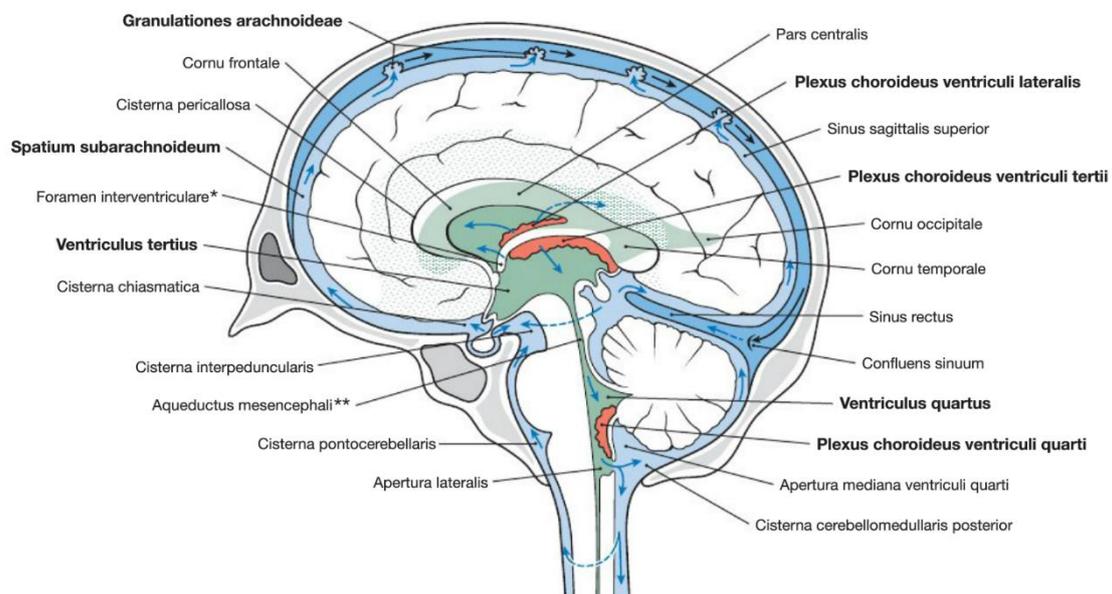


Abbildung 5 – Liquorsystem (Paulsen und Waschke 2017, Seite 287). Mit freundlicher Genehmigung der Elsevier GmbH.

Da es sich beim Schädel um ein geschlossenes System mit einem fixen Volumen handelt, hängt der intrakranielle Druck von dem Verhältnis zwischen Hirnparenchym, Blut und Liquor ab (Monroe-Kellie Doktrin). Nimmt einer der

Komponenten im Volumen zu, müssen die anderen beiden abnehmen, um den Druck konstant zu halten (Irani 2009).

Wenn der intrakranielle Druck (intracranial pressure, ICP) mehr als etwa 70 mmH₂O beträgt, wird so die Resorption des Liquors begonnen und mit Zunahme des intrakraniellen Drucks gesteigert. Durch die Zunahme der Resorption bei höheren Drücken wird versucht, das Volumen konstant zu halten und einer Drucksteigerung entgegen zu wirken. Eine Methode zum Messen des Liquordrucks (cerebrospinal fluid pressure, CSFP) ist die Lumbalpunktion. Bei einem gesunden Patienten in Seitenlage liegt der Eröffnungsdruck bei einer Lumbalpunktion zwischen 95 und 177 mmH₂O und entspricht etwa dem ICP (Boron 2009; Irani 2009). Physiologisch kann es durch viele Faktoren zu Schwankungen des Liquordrucks kommen. Jeder Atemzug kann zu einer Druckschwankung zwischen 2 – 5 mmH₂O führen. Auch die Pulswelle der A. carotis, der zentralvenöse Druck und die Körperposition haben einen Einfluss auf den Liquordruck. Bei dem Verhältnis zwischen Körperposition und Liquordruck kommt es jedoch nicht allein durch den hydrostatischen Druck zu Änderungen, sondern wahrscheinlich existieren noch weitere Faktoren wie die Elastizität des lumbalen thorakalen Sacks und ein Venenkollaps (Irani 2009; Hoffmann-La Roche Aktiengesellschaft 2003; Dirnberger 2018).

Die Verbindung zwischen dem IOP und dem Liquordruck ist bisher pathophysiologisch noch nicht abschließend verstanden. Eine Hypothese beruht darauf, dass der Liquordruck durch Druck auf die Venen, die vom Auge drainieren, auch den IOP beeinflussen kann. So soll sich der Venendruck erhöhen und durch diesen der IOP. Eine weitere Hypothese ist die Beeinflussung des IOP durch den direkten Druck, der vom Liquor durch das Gewebe um den N. opticus auf das Auge und den N. opticus übertragen wird (Jonas et al. 2015; Li et al. 2012).

Eine deutlich positive Korrelation zwischen erhöhten IOP-Werten und erhöhten Liquordruckwerten konnte mehrfach gezeigt werden (Li et al. 2012; Jonas et al. 2014; Sheeran et al. 2000), allerdings mit einer hohen Variabilität der Relation zwischen individuellen Patienten, was eine nicht invasive Bestimmung des Liquordrucks durch eine alleinige IOP-Messung sehr schwer bis unmöglich macht (Sheeran et al. 2000).

1.4 Fragestellung

In der Literatur wurden bisher nur wenige Fälle beschrieben (Maramattom et al. 2016; Capon et al. 2016; Dereine et al. 2013), in welchen es zu einem POVL nach einer Eröffnung der Dura mater gekommen ist. Aufgrund der oben beschriebenen Mechanik der Lageabhängigkeit und einer positiven Korrelation zwischen Liquordruck und IOP (Jonas et al. 2014; Sheeran et al. 2000; Li et al. 2012) wird in dieser Arbeit die Hypothese untersucht, dass der IOP bei Patienten, die in Bauch- und Halbseitenlage operiert werden, nach Eröffnung der Dura mater und Ablassen des Liquor cerebrospinalis signifikant absinkt.

2. Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Die vorliegende prospektive, monozentrische Observationsstudie erhielt vorab das positive Votum der Ethik-Kommission der Ärztekammer Hamburg (PV4836). Eine Registrierung der Studie inklusive des Studiendesigns erfolgte beim Deutschen Register Klinischer Studien (DRKS – 00007590).

Gemäß dem Studienprotokoll wurden die Patienten in 4 Gruppen à 16 Patienten eingeteilt, entsprechend ihrer Diagnose und der damit notwendigen intraoperativen Lagerung. Die Gruppengröße wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für medizinische Biometrie und Epidemiologie errechnet, mit Bezug auf die Ergebnisse vorhergehender Studien (Carey et al. 2014; Deniz et al. 2013).

Für die Gruppen 1 – 3 wurde die Hypothese aufgestellt, dass der IOP nach Eröffnung der Dura mater und der Drainage des Liquors um 3 ± 4 mmHg sinken wird. Mit einem $\alpha = 0,05$ und einer gewünschten Power von 0,8 wurde eine Patientenanzahl von 16 kalkuliert. Für die Gruppe 4 ergab sich eine Gruppengröße von 10 bei einem aus vorherigen Studien bekannten Anstieg um 5,4 mmHg und den oben genannten Kenngrößen. Um die Kontrollgruppe für die statistische Auswertung optimal zu gestalten, wurden hier ebenfalls 16 Patienten zur Durchführung der Studie eingeplant.

2.1.1 Gruppeneinteilung

1. Gruppe: Spinale intradurale Pathologien mit Operation in Bauchlage mit strenger anterior-posterior-Ausrichtung des Kopfes
2. Gruppe: Intrakranielle Pathologien mit Eröffnung der Dura mater in Bauchlage und strenger anterior-posterior-Ausrichtung
3. Gruppe: Intrakranielle Eingriffe in Halbseitenlagerung mit Eröffnung der Dura mater und um 90° rotiertem Kopf
4. Gruppe: Kontrollgruppe – Spinale Operationen ohne Eröffnung der Dura mater mit in Bauchlage und strikter anterior-posterior-Ausrichtung des Kopfes

2.1.2 Einschlusskriterien und Ausschlusskriterien

2.1.2.1 Einschlusskriterien

- Weibliche und männliche Patienten, Mindestalter von 18 Jahren
- Nachweis eines pathologischen intrakraniellen Befundes, welcher eine elektive operative Behandlung in Bauchlage in strikter anterior-posterior-Ausrichtung oder Halbseitenlagerung mit rotiertem Kopf erfordert. Des Weiteren spinale, sowohl extra- als auch intradurale Operationen mit und ohne Eröffnung der Dura mater in strenger anterior-posterior-Ausrichtung in Bauchlage
- Schriftliche Einwilligung des Patienten
- Zu vermutende Compliance des Patienten

2.1.2.2 Ausschlusskriterien

- Nachweis oder Vermutung einer Schwangerschaft bei weiblichen Teilnehmerinnen
- Hochgradige Visusminderung ($< 0,05$) vor der Operation
- Ophthalmologische Erkrankungen (insbesondere Glaukom), ophthalmologisches Trauma oder (anamnestisch) stattgefundene augenärztliche Eingriffe, abgesehen von Astigmatismus mit Dioptrien ± 8
- Allergische Reaktion oder Unverträglichkeiten auf Lokalanästhetika oder Mydriatica
- Diabetes mellitus, periphere Durchblutungsstörungen oder Patienten mit einem BMI > 30
- Teilnahme an anderen Interventionsstudien.
- Andere schwere Erkrankungen oder andere eindeutige Kontraindikationen zur Teilnahme an der Studie
- Patienten mit Notfalleingriffen, ohne ausreichende Bedenkzeit hinsichtlich der Studienteilnahme

2.1.3 Durchführung

Es erfolgte ein Screening der potentiellen Patienten auf die Ein- und Ausschlusskriterien. Sofern diese erfüllt waren, erfolgte die Aushändigung der Patienteninformation und -einwilligung sowie die Aufklärung in einem persönlichen Gespräch durch einen der an der Studie beteiligten Ärzte. Nach ausreichender Bedenkzeit erfolgte die schriftliche Einwilligung des Patienten.

Präoperativ erfolgte eine Untersuchung der Patienten in der Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf. Hierfür wurde ein standardisierter Untersuchungsbogen verwendet, welcher folgende Parameter abfragte (siehe Anlage 1, Seite 82):

- Augeninnendruckmessung durch Applanationstonometrie nach Goldmann
- Visusbestimmung
- Untersuchung mit der Spaltlampe (Ausschluss Hornhautverletzungen und andere Pathologien am Auge)
- Gesichtsfeldperimetrie (30/2)
- Untersuchung mit Heidelberger Retina Tomograph
- Ermittlung visuell evozierter Potentiale zur Untersuchung des N. opticus

Die drei letztgenannten, im Studienprotokoll hinterlegten Untersuchungen wurden aufgrund der tatsächlichen zeitlichen Inanspruchnahme pro Patient nach < 5 Durchführungen im weiteren Verlauf der Studie nicht mehr ausgeführt.

2.1.3.1 Ophthalmologische Untersuchung

Inhalte der augenärztlichen Untersuchung waren unter anderem die bestmögliche korrigierte Sehschärfe (BCVA), die Untersuchung der Vorderkammer, die Pupillenreaktion auf Licht als auch eine Funduskopie (mit Untersuchung der Macula, der peripheren Retina und der Papilla nervi optici). Zur Durchführung der Funduskopie wurde die Pupille pharmakologisch geweitet mit Mydriaticum Stulln® (Pharma Stulln GmbH, Stulln, Deutschland). Im Unterschied zur intraoperativen IOP-Messung erfolgte die prä- und postoperative Augeninnendruckmessung mit einem Goldman Tonometer (Applanations-Tonometer AT 900®, Haag-Streit Holding AG, Köniz BE, Schweiz). Hierzu wurde die Cornea mit einem topischen Anästhetikum betäubt (Conjucain® EDO, Wirkstoff Oxybuprocainhydrochlorid, Dr. Mann Pharma, Berlin). Im Anschluss wurde ein desinfiziertes Einweg-Prisma (Tonosafe™, Haag-Streit Holding AG, Köniz BE, Schweiz), welches an der Spitze des Tonometers befestigt war, auf die Cornea gedrückt. Das Verfahren nach Goldmann ist heute das am weitesten verbreitete Verfahren zur Messung des Augeninnendrucks und gilt als Goldstandard (Amm und Hedderich 2005; Rüfer 2016; Sagri et al. 2015; Schlote und Landenberger 2005). Die Messungen wurden in sitzender Position durchgeführt.

2.1.3.2 Intraoperative Untersuchung

Für die intraoperativen Messungen des IOP wurde ein Tono-Pen® XL (Medtronic, Solan, Jacksonville, Florida, USA) verwendet. Dieses Modell sowie ähnliche Modelle anderer Hersteller wurden bereits in anderen Studien genutzt (Walick et al. 2007; Hunt et al. 2004; Carey et al. 2014; Grant et al. 2010; Ozcan et al. 2004; Hoshikawa et al. 2014; Cheng et al. 2001).

2.1.3.2.1 Tono-Pen® XL

Der Tono-Pen® XL (siehe Abbildung 6, Seite 21) misst den zur Verformung des Auges benötigten Drucks und berechnet anschließend durch das Imbert-Fick Gesetz den IOP (IOP = Kontaktdruck/Kontaktgebiet) (Hunt et al. 2004).



Abbildung 6 - Tono-Pen® XL.

Die verschiedenen Tono-Pen® Varianten sind bereits sowohl im Maus-Modell (Hessemer et al. 1988) als auch in der Anwendung beim Menschen validiert worden und liefern verlässliche Werte (Reitsamer et al. 2004; Kao et al. 1987). Die Genauigkeit des Tono-Pen® XL des Herstellers Reichert Technologies wird mit einem 95 % Konfidenzintervall als 2 mmHg bei einem IOP von 5 – 27 mmHg und als 5 mmHg bei einem IOP von 28 – 80 mmHg angegeben (Reichert Inc. 2017). Die Messungen können in beliebiger Kopfposition durchgeführt werden (Hunt et al. 2004). Der Tono-Pen® XL summiert vier einzelne Messwerte und bildet aus diesen einen Durchschnittswert. Gleichzeitig wird die Standardabweichung zwischen den Messungen angezeigt. Die Messwerte wurden nur bei einer Standardabweichung von $\leq 5\%$ (geringste messbare Standardabweichung des Tono-Pen® XL) verwendet, ansonsten wurde die Messung wiederholt. Das Gerät wurde mit den vom Hersteller empfohlenen „Tip-

Covern“ (Ocu-Film[®], Reichert Technologies, Depew, USA) (siehe Abbildung 7, Seite 22) genutzt, um das Risiko einer Augeninfektion zu minimieren, und vor der ersten Messung des Tages, oder wenn vom Gerät dazu aufgefordert, gemäß der Medizinproduktinformation kalibriert.



Abbildung 7 - Ocu-Film[®] - Cover.

2.1.3.2.2 Messpunkte

Bei den Patienten wurde zunächst in Rückenlage nach Intubation die Baseline des IOP bestimmt. Ein weiteres Mal wurde direkt nach Erreichen der endgültigen OP-Lage des Patienten gemessen. Diese Messung wurde als Zeitpunkt 0 definiert. Danach wurde der IOP alle 30 min bestimmt, sowie zusätzlich, wenn der Operateur den maximalen Abfluss des Liquors meldete. Am Ende der Operation wurde direkt vor und nach dem Umlagern des Patienten auf den Rücken gemessen. Bei jeder Messung wurden zusätzlich zum IOP auch der systolische und diastolische Blutdruckwert dokumentiert. Als weitere Parameter wurden die Diagnose sowie die anatomische Lokalisation der Pathologie, die OP-Dauer, der intraoperative Blutverlust und die Menge der intraoperativen Volumengabe erfasst. Zusätzlich wurden von den Patienten Geschlecht, Alter und BMI aufgezeichnet. Bei Patienten der Gruppe A, B und D wurde die Augeninnendruckmessung nur auf einem Auge durchgeführt. Bei Patienten der Gruppe C (Halbseitenlagerung) wurde der IOP auf beiden Augen gemessen, da in der Literatur gezeigt wurde, dass sich der IOP zwischen höher und tiefer gelegenem Auge bei rotiertem Kopf unterscheidet (Deniz et al. 2013). Die Messungen wurden ohne Störung des Operateurs oder Unterbrechung der Operation durchgeführt. Das verwendete Protokoll findet sich im Anhang (Anlage 2, Seite 83). Eine bildliche Darstellung der Messungen zeigt Abbildung 8, Seite 24.

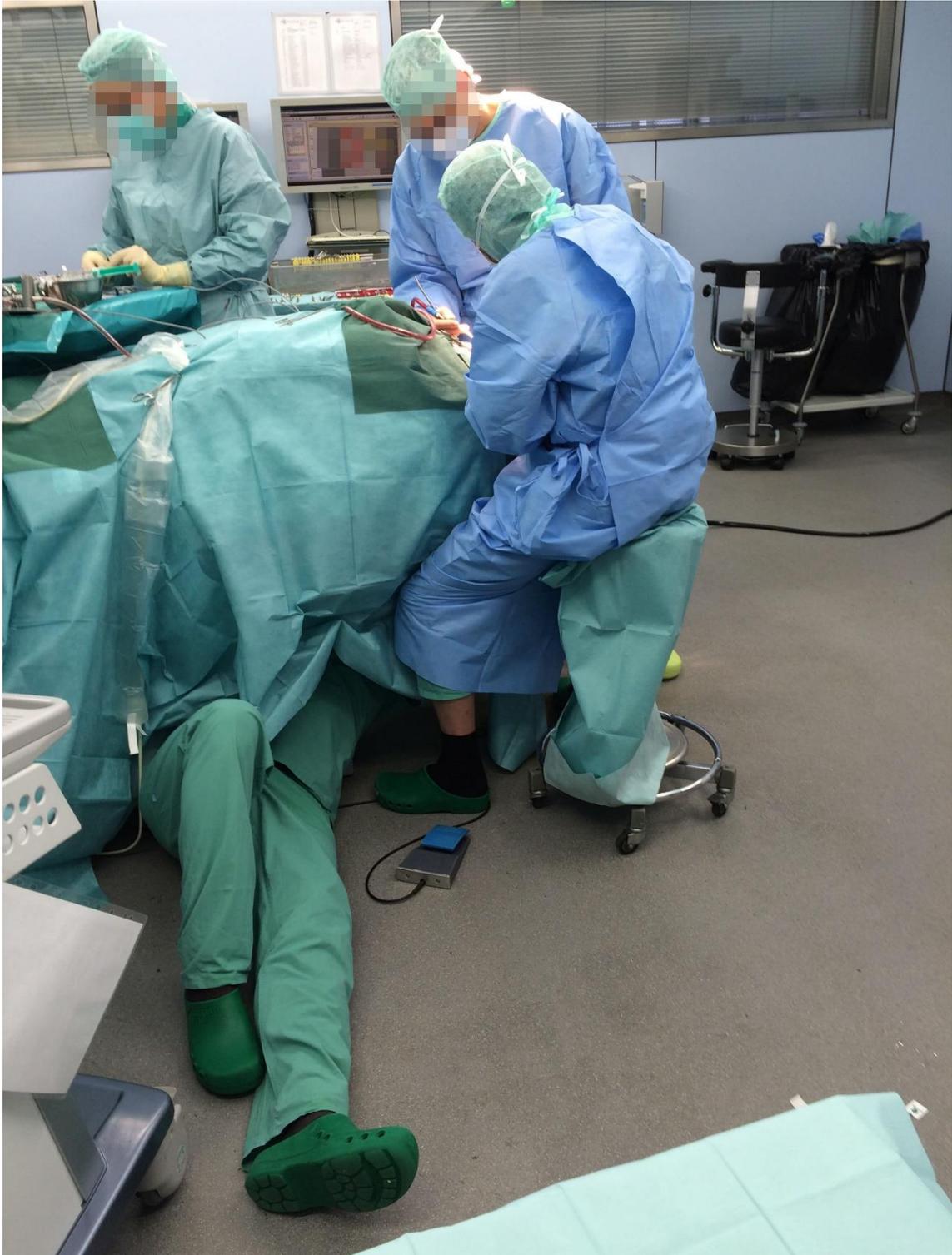


Abbildung 8 - Durchführung einer IOP-Messung.

2.1.3.2.3 Operationstisch

Die Lagerung erfolgte sachgemäß durch das OP-Team bestehend aus Ärzten und Pflege- sowie Lagerungskräften auf OP-Tischen der Firma Maquet® Modell MAGNUS (Maquet Getinge Group, Göteborg, Schweden, siehe Abbildung 9, Seite 25).



Abbildung 9 - OP Tisch der Firma Maquet® im Spine OP des UKE.

2.1.3.2.4 OP-Lagerung

2.1.3.2.4.1 Kopffixierung

In der Neurochirurgie werden mehrere mögliche Kopffixierungen regelmäßig angewandt. Eine nicht invasive Lagerung ist die Lagerung auf dem „Horseshoe Headrest“ (siehe Abbildung 10, Seite 26). Des Weiteren ist es möglich, den Kopf invasiv zu fixieren. Hierfür wird häufig die Mayfield-Klemme genutzt. Bei Operationen in Bauchlage ist ebenfalls die Nutzung eines weichen Kissens möglich (Rozet und Vavilala 2007).

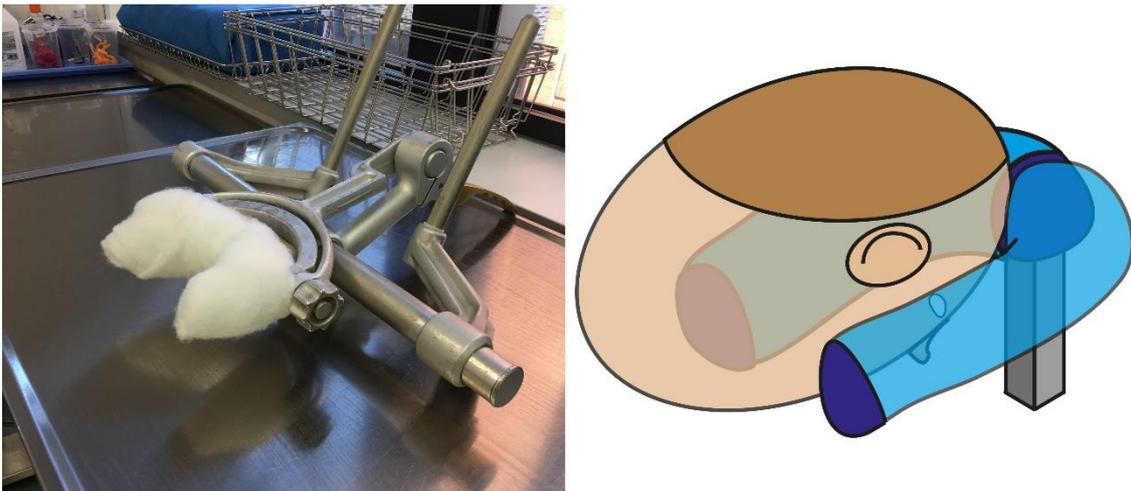


Abbildung 10 - Horseshoe Headrest und Anwendungsbeispiel.

2.1.3.2.4.1.1 Mayfield-Klemme

Die Mayfield-Klemme ist ein u-förmiges Gestell mit drei Spitzen (siehe Abbildungen 11 und 12, Seite 27). Sie wird insbesondere während kranieller neurochirurgischer Operationen genutzt, um die intraoperative Bewegung des Kopfes so gering wie möglich zu halten. Eine Anwendung der Mayfield-Klemme kann sowohl für Operationen in Bauch- bzw. Rückenlage als auch in sitzender Lagerung genutzt werden. Die Mayfield-Klemme und andere invasive Fixierungen benötigen eine Form der Analgesie (Allgemein- oder Lokalanästhesie). Die Fixierung des Kopfes mit einem invasiven Fixateur wie der Mayfield-Klemme ist deutlich stabiler, allerdings besteht das Risiko einer Blutung und einer Luftembolie. Gerade für mikrochirurgische, intrakranielle Eingriffe ist diese absolut ruhige Position des Kopfes aber unabdingbar (Rozet und Vavilala 2007).



Abbildung 11 - Mayfield-Klemme (unten) und Tischhalterung (oben).

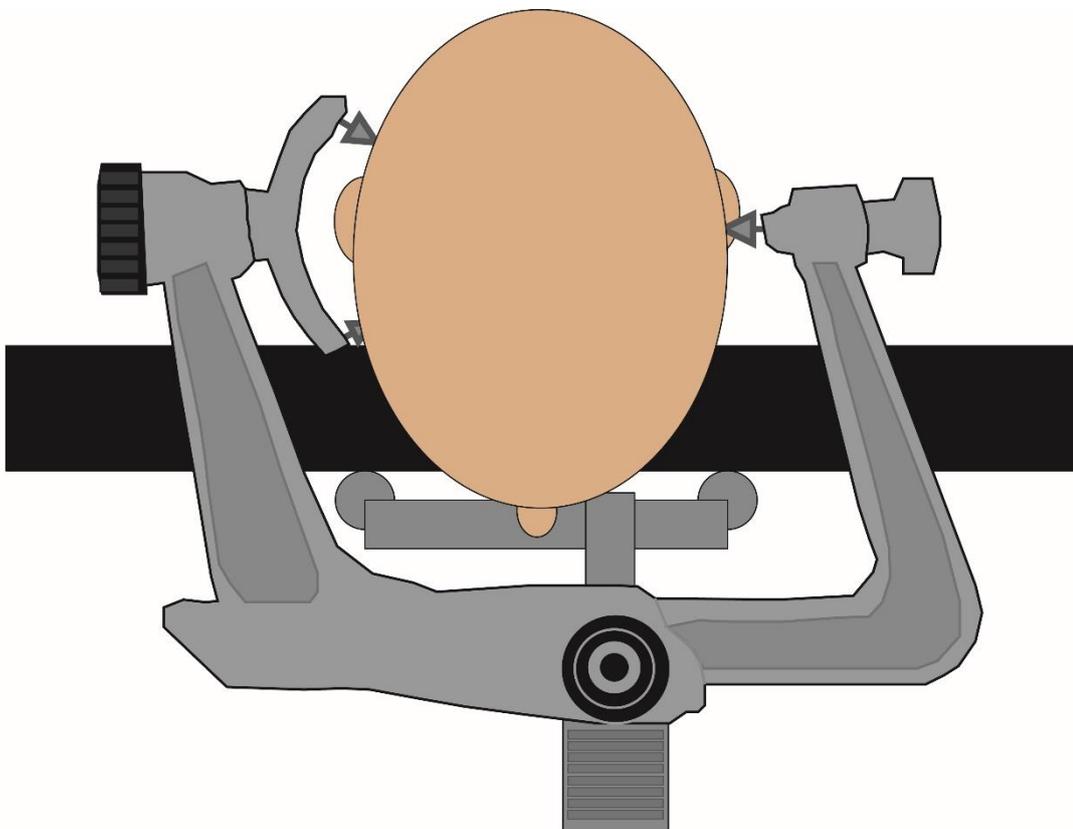


Abbildung 12 - Mayfield-Klemme. Anwendungsbeispiel in Bauchlage.

2.1.3.2.4.2 Rückenlagerung

Die Rückenlagerung (siehe Abbildung 13, Seite 28) ist die Standardlagerung bei fast allen viszeralchirurgischen Eingriffen und Operationen an der Mamma. In der Neurochirurgie ist sie ebenfalls eine häufig genutzte Position. Sie wird in der Neurochirurgie genutzt bei Eingriffen am Kopf, den Carotiden (im Anglo-Amerikanischen Raum durchgeführt von Neurochirurgen) oder ventralen Zugängen zu der Wirbelsäule. Eine starke Reklination des Kopfes sollte vermieden werden, die Halswirbelsäule sollte in Neutralstellung belassen werden (Henne-Bruns et al. 2008; Rozet und Vavilala 2007; Heck et al. 2017).

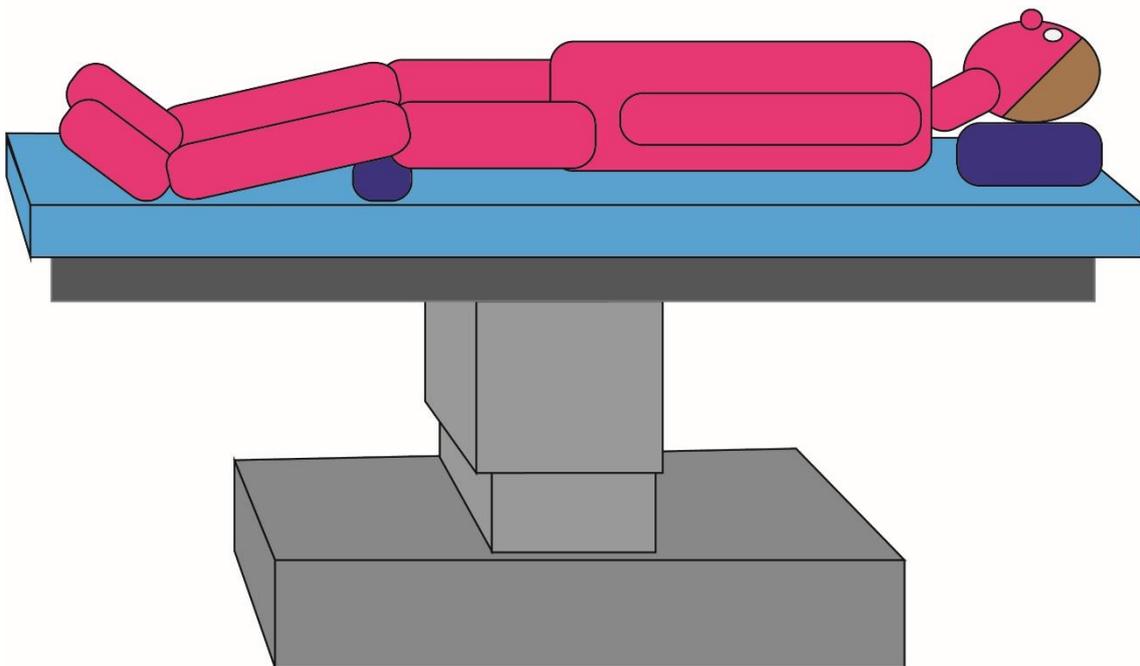


Abbildung 13 - Rückenlagerung.

2.1.3.2.4.2.1 Trendelenburg-Lagerung

Die Trendelenburg-Lagerung (siehe Abbildung 14, Seite 29) ist eine Variante der Rückenlagerung, bei der der Kopf tiefer als das Herz gelagert wird, weswegen diese Positionierung auch als Kopftieflagerung bekannt ist. Die Trendelenburg-Lagerung wird genutzt bei Eingriffen im Unterbauch oder dem kleinen Becken, unter anderem auch bei Eingriffen an der Prostata (Henne-Bruns et al. 2008). Die venöse Drainage aus den unteren Extremitäten wird verbessert, während der Druck in den oberen Bereichen des Körpers erhöht wird. Befindet sich der Kopf

unter Herzniveau, nimmt der venöse Druck proportional zum hydrostatischen Druckgradienten zu (Rozet und Vavilala 2007; Heck et al. 2017).

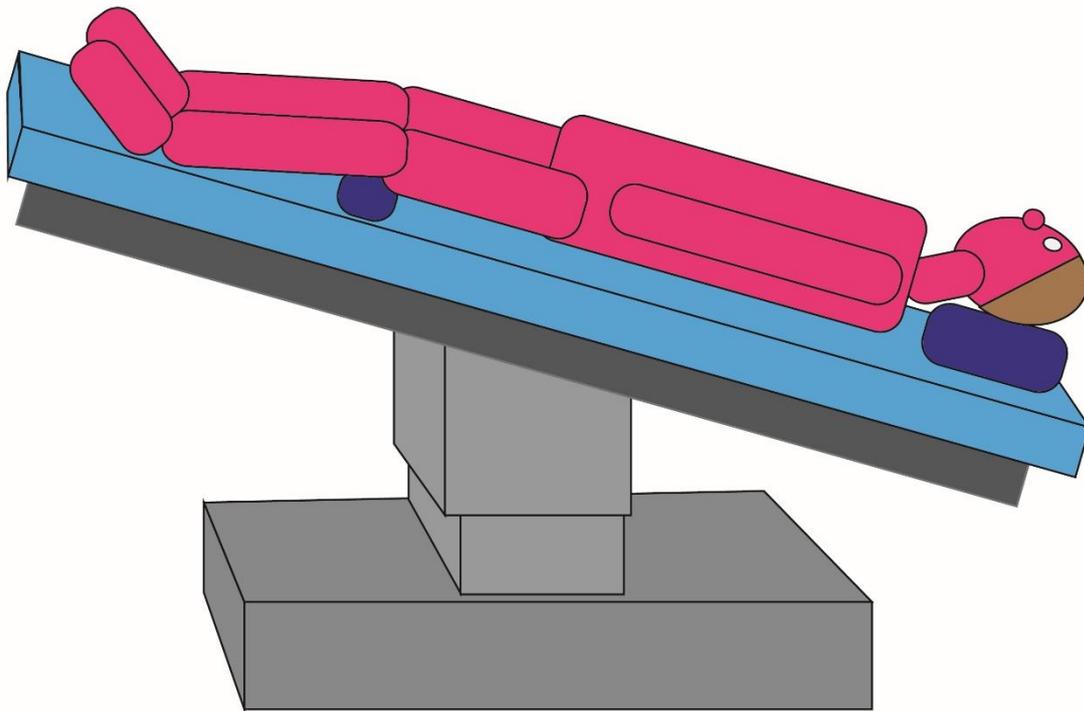


Abbildung 14 - Trendelenburg Lagerung.

2.1.3.2.4.2.2 Anti-Trendelenburg-Lagerung

Die Anti-Trendelenburg-Lagerung (siehe Abbildung 15, Seite 30) ist eine weitere Variante der Rückenlagerung. Der Kopf nimmt die höchste Position des Körpers ein (Henne-Bruns et al. 2008). In der Regel handelt es sich um eine Kippung des Tisches um 10-15°. Sie wird beispielsweise im Rahmen der Rapid-Sequence-Induction (Nicht-Nüchtern-Einleitung, Ileus-Einleitung) und Eingriffen am Oberbauch genutzt (Heck et al. 2017; Henne-Bruns et al. 2008).

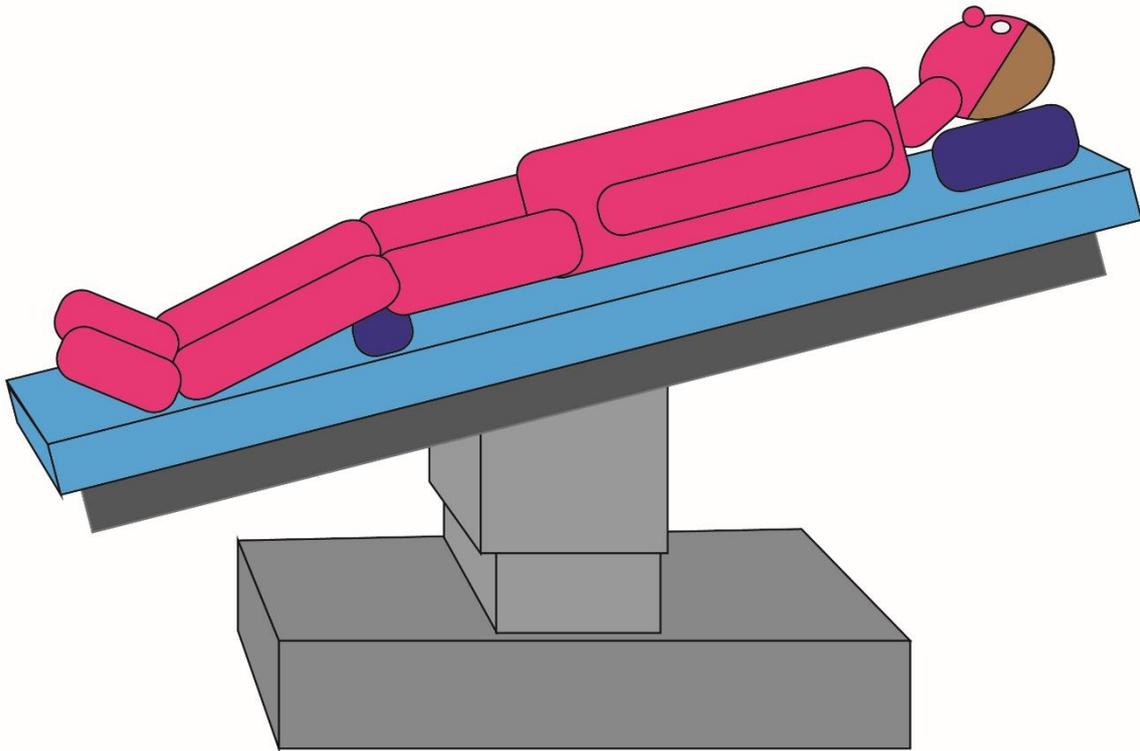


Abbildung 15 - Anti-Trendelenburg-Lagerung.

2.1.3.2.4.3 Bauchlagerung

Bei der Bauchlagerung (siehe Abbildung 16, Seite 31) wird der Patient mit angelegten Armen auf dem Bauch positioniert. Diese findet vor allem Anwendung in der Wirbelsäulenchirurgie, bei Operationen im Iliosakralbereich, im Glutealbereich oder den dorsalen Extremitäten. Des Weiteren findet die Bauchlagerung Anwendung bei Eingriffen an der hinteren Schädelgrube sowie bei suboccipitalen Schnittführungen zur Freilegung des dorsalen kraniozervikalen Übergangs. Das Becken und der Kopf werden gepolstert, das Gesicht und die Augen werden freigelassen. Der Kopf wird auf speziellen, druckfreien Kissen oder einer „Horseshoe“ Stütze gelagert. Eine Einklemmung des Kopfes mit einer Mayfield-Klemme (siehe 2.1.3.2.4.1.1 sowie Abbildung 17, Seite 31) ist möglich. Für die Anästhesiologie ist die Position anspruchsvoller, da der Zugang zum Tubus und Zugängen erschwert wird. Ähnlich der Rückenlagerung kommt es bei Kopftieflagerung zu einem erhöhten venösen Druck im Kopfbereich, während sich der Rückfluss aus den Beinen erhöht (Rozet und Vavilala 2007).

Die Narkoseeinleitung findet in der Regel auf einem separaten Tisch in Rückenlage statt (Henne-Bruns et al. 2008; Aschemann 2009).

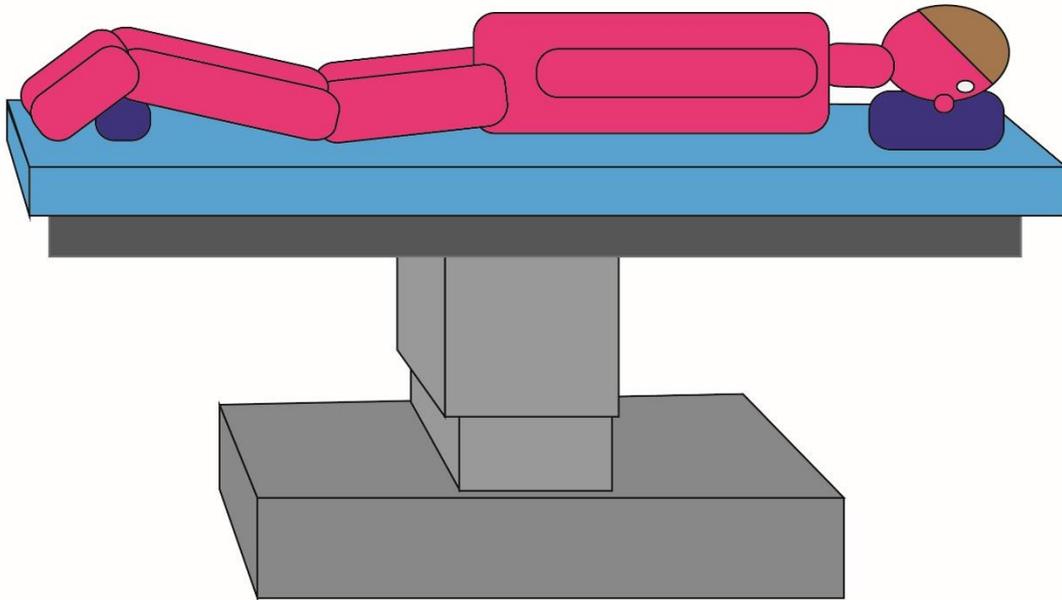


Abbildung 16 - Bauchlage.

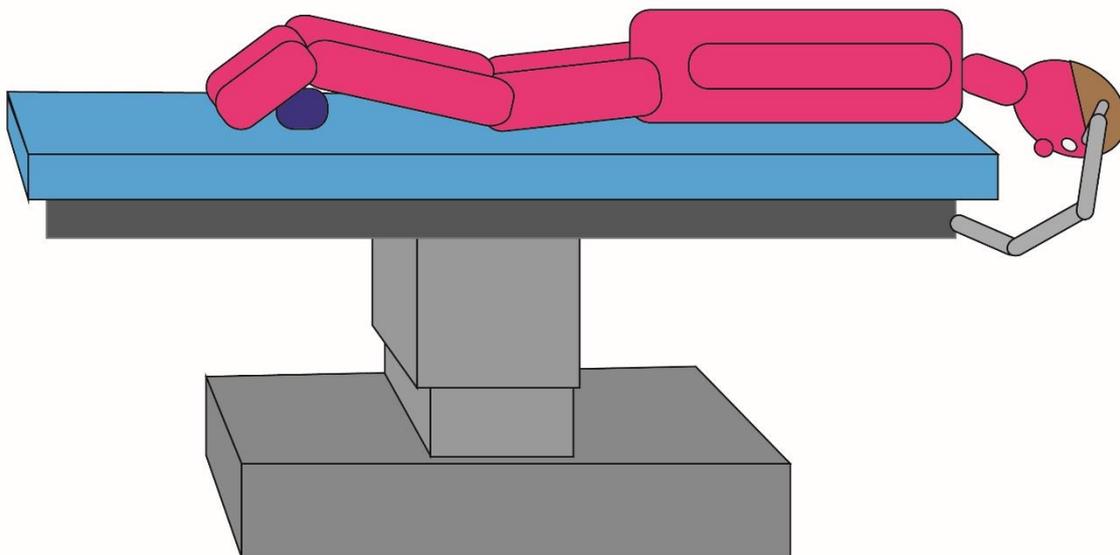


Abbildung 17 - Bauchlage mit in der Neurochirurgie üblichen Fixierung des Kopfes mit Mayfield-Klemme.

2.1.3.2.4.3.1 Concorde-Lagerung

Die Concorde-Lagerung (siehe Abbildung 18, Seite 32) ist eine Abwandlung der Bauchlagerung. Diese Lagerung wird vor allem bei Zugängen zum occipitalen Tentorium genutzt oder wenn Zugang zum supracerebellären, infratentoriellen Bereich notwendig ist. Der Kopf ist meist nicht rotiert. Der Körper wird in einer Anti-Trendelenburg-Lagerung positioniert, die Arme werden angelegt. Der Kopf ist meist stark anteflektiert und in einer Mayfield-Klemme fixiert (Taghizadeh 2017; Kobayashi et al. 1983).

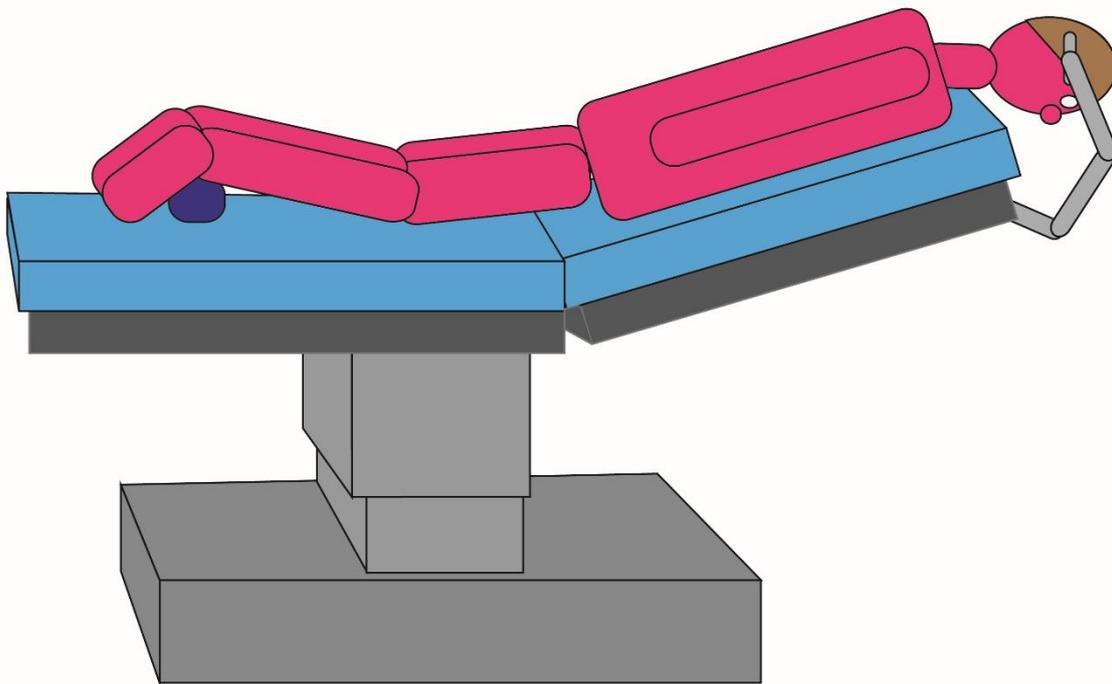


Abbildung 18 - Concorde-Lagerung.

2.1.3.2.4.3.2 Wilson Frame

Der Wilson Frame (siehe Abbildung 19, Seite 33) ist eine spezielle Lagerungshilfe, welche sich zwischen dem Abdomen des Patienten und dem OP-Tisch befindet, um so eine bessere OP-Lagerung bei Eingriffen an der Wirbelsäule, insbesondere Bandscheibenoperationen, zu erreichen, da durch den Wilson Frame die Lumballordose aufgehoben wird, es so zu einer maximalen segmentalen Distraction kommt und ein besserer Zugang zu den Bandscheibenfächern ermöglicht wird. (Taghizadeh 2017; Nowicki 2014; Cardoso und Rosner 2010). Eine spezielle Kopffixierung ist kein Standard.

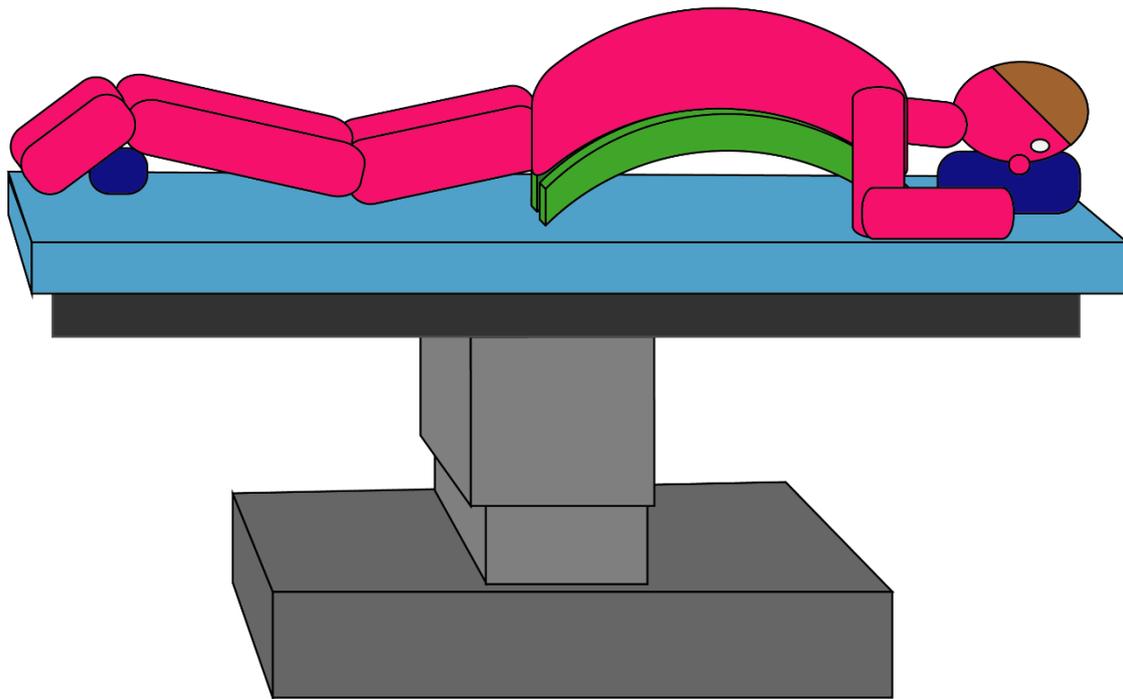


Abbildung 19 - Wilson Frame (Grün) - Anwendungsbeispiel.

2.1.3.2.4.4 Seitenlagerung

Die Seitenlagerung (siehe Abbildungen 20 und 21, Seite 34) wird meistens bei Eingriffen an Nieren oder Nebennieren genutzt. Die Seitenlagerung kann aber auch in der Neurochirurgie für Eingriffe, insbesondere im Kleinhirnbrückenwinkel, angewendet werden. Der Patient wird auf die Seite gedreht (Henne-Bruns et al. 2008). Die Seitenlagerung findet darüber hinaus bei Eingriffen am Temporallappen, der Schädelbasis oder auch retroperitonealen Zugängen zur thorakalen Wirbelsäule Anwendung. Bei kraniellen Eingriffen wird in der Regel zur Fixierung des Kopfes eine Mayfield-Klemme genutzt (Rozet und Vavilala 2007).

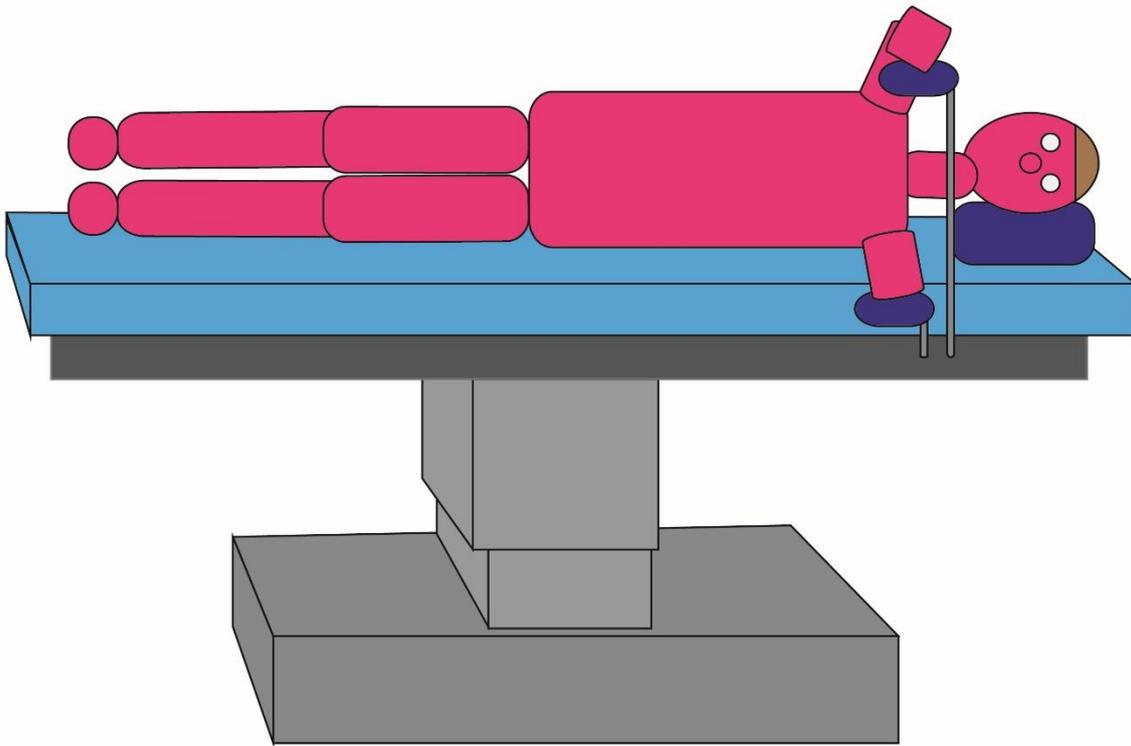


Abbildung 20 - Seitenlagerung.

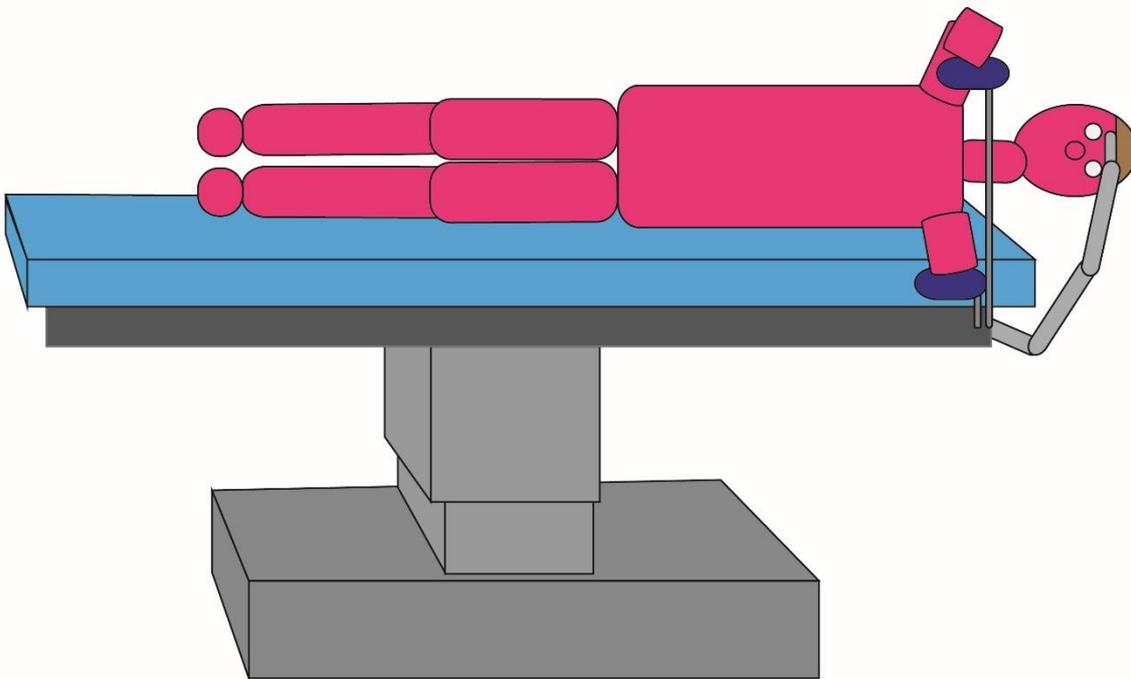


Abbildung 21 - Seitenlagerung mit Mayfield-Klemme.

2.1.3.2.4.1 Halbseitenlagerung

Die Halbseitenlagerung (Abbildung 22, Seite 35) wird bei Eingriffen in der hinteren Schädelgrube oder parietooccipitalen Zugängen unter Fixierung des Kopfes in der Mayfield-Klemme genutzt. Hämodynamisch ähnelt sie der Bauchlage (Rozet und Vavilala 2007).

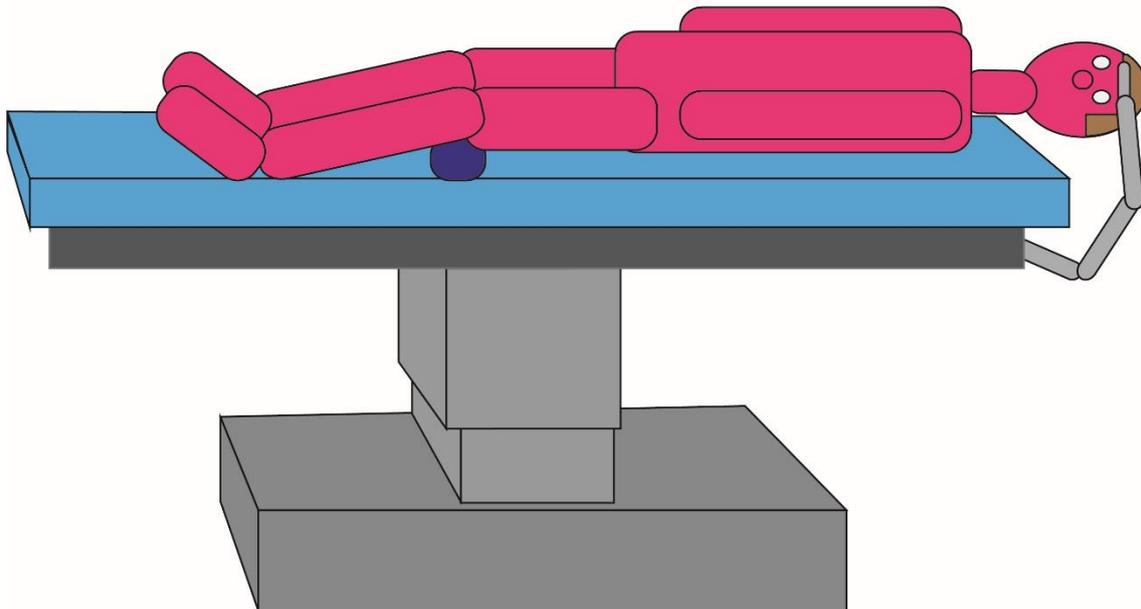


Abbildung 22 - Halbseitenlagerung.

2.1.3.2.4 Anästhesie

Die Allgemeinanästhesie wurde eingeleitet mit 0,2 – 0,3 mg/kg Körpergewicht (KG) Sufentanil i.v.. Die Aufrechterhaltung erfolgte entweder mit 2 – 3 mg/kg KG Propofol i.v. oder 0,2 – 0,3 mg/kg KG Etomidat i.v.. Zur Muskelrelaxation und Erleichterung der Intubation wurden 0,5 mg/kg KG Atracurium i.v. oder 1 – 1,5 mg/kg KG Suxamethoniumchlorid i.v. (Succinylcholin) verwendet. Das genutzte Anästhesiegerät im Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf ist das Dräger Primus Infinity® (Drägerwerk AG & Co. KGaA, Lübeck, Deutschland).

2.1.3.2.5 Blutdruckmessung

Die perioperative Blutdruckmessung erfolgte mit Blutdruckmanschetten der Firma quimedica (quimedica nichtinvasive technologien, Norderstedt, Deutschland) oder durch invasive Blutdruckmessung mittels kanülierter Arterie der Firma Braun (B. Braun Melsungen AG, Melsungen, Deutschland). Gemessen wurde in beiden

Fällen mit Infinity® Delta Monitoren der Firma Dräger (Drägerwerk AG & Co. KGaA, Lübeck, Deutschland).

2.2 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit der Software Graphpad Prism 7.0® (GraphPad Software, Californien, USA). Die Ergebnisse wurden mit einem 95 % Konfidenzintervall als signifikant gewertet. Zum Vergleich der Messpunkte wurde ein paired Student's T-Test genutzt. Die Auswertung des Blutverlustes und der Volumengabe erfolgte mit einem einfachen Varianztest (ANOVA) in Kombination mit einer Pearson Korrelation. Einige weitere Berechnungen wurden mit IBM SPSS 22® (IBM Corporation, New York, USA) durchgeführt. Zusätzliche Tabellen wurden erstellt mit Microsoft Excel® (Microsoft Cooperation, Washington, USA).

2.3 Bilder und Abbildungen

Für die verwendeten Bilder wurde, wenn nötig, die entsprechende Genehmigung des Urheberrechtinhabers eingeholt (siehe Abbildungsverzeichnis). Im Falle abgebildeter Personen wurde deren Einverständnis zur Reproduktion der Bilder eingeholt oder die Person wurde durch technische Maßnahmen unkenntlich gemacht.

3. Ergebnisse

3.1 Patientenkollektiv

Das Patientenkollektiv wurde zwischen März 2015 und Oktober 2017 aus Patienten der Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie sowie der Wirbelsäulenchirurgie der Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf rekrutiert. Die Aufteilung erfolgte in 4 Gruppen mit jeweils 16 Patienten, gemäß der Beschreibung unter 2.1.1 (siehe Seite 17).

Von den 64 Patienten waren 35,9 % männlich (12,5 % in Gruppe A, 50 % in Gruppe B, 43,8 % in Gruppe C und 37,5 % in Gruppe D, $p = 0,1309$).

Das Durchschnittsalter der Patienten lag bei 52,1 Jahren $\pm 15,1$ Jahre. Das Alter unterschied sich nicht signifikant zwischen den Gruppen (Gruppe A: $50,19 \pm 13,6$; Gruppe B: $49,75 \pm 19,5$, A zu B: $p = 0,9363$; Gruppe C: $55,06 \pm 15,3$, A zu C: $p = 0,3747$, B zu C: $p = 0,3336$; Gruppe D: $53,38 \pm 12,4$, A zu D: $p = 0,5609$, B zu D: $p = 0,5086$, C zu D: $p = 0,7579$).

Der durchschnittliche BMI lag bei $23,9 \pm 3,4$ kg/m² ohne statistisch signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen (Gruppe A: $24,8 \pm 3,5$ kg/m²; Gruppe B: $24,2 \pm 2,6$ kg/m², A zu B: $p = 0,6123$; Gruppe C: $24,3 \pm 3,4$ kg/m², A zu C: $p = 0,7122$, B zu C: $p = 0,8901$; Gruppe D: $22,5 \pm 4,0$ kg/m², A zu D: $p = 0,0642$, B zu D: $p = 0,1738$, C zu D: $p = 0,1350$).

3.2 Diagnosen und Lokalisationen

Die Mehrzahl der rekrutierten Patienten (35 Patienten, ~55 %) musste an einer Neoplasie operativ behandelt werden, davon 14 Patienten (~21 %) mit primär malignen Neoplasien (Metastasen oder einem Glioblastoma Multiforme WHO IV). Die zweite Gruppe (13 Patienten, ~20 %) bildete sich aus degenerativen Erkrankungen oder Entzündungen an der Wirbelsäule. Auf die übrigen 16 Patienten (25 %) entfielen die restlichen Diagnosen (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1 - Pathologien

Diagnose	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C	Gruppe D	Total
Metastase	1	3	5	2	11
Glioblastoma multiforme WHO IV		2	1		3
Ependyom WHO I	1	1			2
Pilozytisches Astrozytom WHO I	1	3			4
Hämangioblastom WHO I		1	1		2
Meningeom WHO I	6		2		8
Neurofibrom/Neurinom WHO I	2		3		5
Trigeminus Neuralgie			2		2
Cavernom	3	1			4
Chiari-Malformation		3		1	4
Degenerative spinale Erkrankungen inkl. Frakturen und Abszesse der Wirbelkörper				13	13
Andere	2	2	2		6
Summe Total					64

3.2.1 Lokalisationen

In unserer Studie waren 14 der 32 Pathologien der Gruppen A und D im zervikalen Bereich der Wirbelsäule (44 %), 11 Pathologien im thorakalen Bereich (34 %). Bei sieben Patienten lag das Operationsgebiet am kranio-zervikalen Übergang, am zerviko-thorakalen Übergang sowie an der lumbalen Wirbelsäule (22 %) (siehe Tabelle 2, Seite 39).

Tabelle 2 - Lokalisationen

Lokalisation	Gruppe A	Gruppe D	Total
Kranio-zervikaler Übergang	3	1	4
Zervikale Wirbelsäule	5	9	14
Zervikal-thorakaler Übergang	1		1
Thorakale Wirbelsäule	7	4	11
Lumbale Wirbelsäule		2	2
Summe Total			32

3.2 Augeninnendruck-Werte

3.2.1 Gruppe A

Vor der Operation lag der durchschnittliche IOP bei $15,6 \text{ mmHg} \pm 2,2 \text{ mmHg}$ (Spannweite 11 – 18 mmHg). Nach der Einleitung der Analgosedierung in Rückenlage reduzierte sich der IOP auf durchschnittlich $10,5 \text{ mmHg} \pm 3,5 \text{ mmHg}$ (Spannweite 6 mmHg – 19 mmHg, $p < 0,0001$). Nach Umlagerung in die Bauchlage erhöhte sich der IOP auf $23,0 \text{ mmHg} \pm 5,2 \text{ mmHg}$ (Spannweite 15 – 34 mmHg, $p < 0,0001$).

Während der Operation und vor Eröffnung der Dura mater mit Ablassen des Liquors stieg der IOP bis $28,6 \text{ mmHg} \pm 6,2 \text{ mmHg}$ an (Spannweite 19 – 40 mmHg). Nach dem Eröffnen der Dura mater und Drainage der maximalen Liquormenge sank der IOP auf $23,44 \text{ mmHg} \pm 4,9$ (Spannweite 12 – 30 mmHg, $p < 0,0007$). Diese signifikante Reduktion des IOP blieb für 30 Minuten bestehen ($23,5 \text{ mmHg} \pm 5,6 \text{ mmHg}$, Spannweite 9 – 31 mmHg, $p = 0,0028$), war jedoch nach 60 Minuten nicht mehr statistisch signifikant ($24,5 \text{ mmHg} \pm 6,3 \text{ mmHg}$, Spannweite 17 – 35 mmHg, $p = 0,15$), im Vergleich zur letzten Messung vor der Eröffnung der Dura mater und Verlust des Liquors. Verglichen mit der letzten IOP-Messung vor der Eröffnung der Dura Mater ($28,6 \text{ mmHg} \pm 6,2 \text{ mmHg}$, Spannweite 19 – 40 mmHg) fanden wir keinen statistisch signifikanten Unterschied zum letzten in Bauchlage erhobenen IOP-Wert ($26,3 \pm 6,1 \text{ mmHg}$, Spannweite 18 – 39 mmHg, $p = 0,24$). Zwischen den prä- und postoperativen IOP-Werten, unter Verwendung des Matched Student's T-Test bei 13 Patienten, ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied ($15,9 \text{ mmHg} \pm 1,9 \text{ mmHg}$, Spannweite 12 – 18 mmHg vs. $15,7 \text{ mmHg} \pm 2,8 \text{ mmHg}$, Spannweite 13 – 21, $p = 0,81$). Zwischen dem IOP-Wert nach Intubation ($10,5 \text{ mmHg} \pm 3,5 \text{ mmHg}$, Spannweite 6 mmHg – 19 mmHg) und dem IOP-Wert nach Rücklagerung in Rückenlage am Ende der OP zeigte sich, dass der Wert am Ende der OP statistisch signifikant erhöht war ($19,9 \text{ mmHg} \pm 8,4 \text{ mmHg}$, Spannweite 9 – 45, $p = 0,0008$). Es zeigte sich ein signifikanter Abfall des IOP-Wertes zwischen dem letzten Wert in Bauchlage und dem ersten Wert in Rückenlage ($p = 0,0117$).

3.2.2 Gruppe B

Präoperativ lag der IOP in Gruppe B bei $15,4 \text{ mmHg} \pm 2,5 \text{ mmHg}$ (Spannweite 11 – 20 mmHg). Der IOP reduzierte sich auf $12,4 \text{ mmHg} \pm 3,5 \text{ mmHg}$ (Spannweite 8 – 19 mmHg, $p = 0,0052$) nach der Einleitung der Analgosedierung und der Rückenlagerung der Patienten. Nach dem Umdrehen der Patienten in die Bauchlagerung erhöhte sich der IOP auf $24,1 \text{ mmHg} \pm 3,3 \text{ mmHg}$ (Spannweite 16 – 28 mmHg, $p < 0,0001$).

Intraoperativ, vor Eröffnung der Dura mater und dem Ablassen des Liquors, stieg der IOP auf $28,1 \text{ mmHg} \pm 5,0 \text{ mmHg}$ (Spannweite 19 – 37 mmHg) an. Der IOP sank auf $23,5 \text{ mmHg} \pm 6,1 \text{ mmHg}$ (Spannweite 10 – 33 mmHg, $p = 0,0039$) nach dem Eröffnen der Dura mater. Diese signifikante Reduktion des IOP bestand sowohl nach 30 Minuten ($23,6 \text{ mmHg} \pm 6,0 \text{ mmHg}$, Spannweite 12 – 34 mmHg, $p = 0,0039$), als auch nach 60 Minuten ($23,7 \text{ mmHg} \pm 6,0 \text{ mmHg}$, Spannweite 10 – 33 mmHg, $p = 0,0189$), verglichen mit dem letzten IOP-Wert vor Eröffnung der Dura mater und Drainage des Liquors. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen dem letzten IOP-Wert vor Öffnung der Dura mater ($28,1 \text{ mmHg} \pm 5,0 \text{ mmHg}$, Spannweite 19 – 37 mmHg) und der letzten IOP-Messung in Bauchlage festgestellt werden ($28,4 \text{ mmHg} \pm 5,3 \text{ mmHg}$, Spannweite 21 – 36 mmHg, $p = 0,80$). Zwischen dem präoperativen IOP-Wert (Matched Student's T-Test 10 Patienten) ($15,5 \text{ mmHg} \pm 2,1 \text{ mmHg}$, Spannweite 12 – 20 mmHg) und dem postoperativen Wert ($17,0 \text{ mmHg} \pm 1,6 \text{ mmHg}$, Spannweite 15 – 19 mmHg, $p = 0,14$) konnte kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Es zeigte sich eine signifikante Erhöhung des IOP-Wertes zwischen dem Wert nach Intubation (Student's T-Test 15 Patienten) ($12,5 \text{ mmHg} \pm 3,5 \text{ mmHg}$, Spannweite 8 – 19 mmHg) und dem Wert nach Rückenlagerung am Ende der OP ($18,5 \text{ mmHg} \pm 4,6 \text{ mmHg}$, Spannweite 12 – 27 mmHg, $p = 0,0005$). Zwischen dem letzten Augeninnendruck in Bauchlage (Student's T-Test 15 Patienten) ($28,9 \text{ mmHg} \pm 5,2 \text{ mmHg}$, Spannweite 21 – 36 mmHg) und dem ersten nach Umlagerung in die Rückenlage zeigte sich ein signifikanter Abfall ($p < 0,0001$).

3.2.3 Gruppe C

3.2.3.1 Gruppe C – Inferiores Auge

Am unteren Auge bei Gruppe C maßen wir vor der Operation einen IOP von 14,6 mmHg \pm 2,7 mmHg (Spannweite 10 – 20 mmHg). Nach Durchführung der Allgemeinanästhesie und der Lagerung der Patienten auf dem Rücken reduzierte sich der IOP auf 10,7 mmHg \pm 6,1 mmHg (Spannweite 1 – 24 mmHg, $p = 0,05$). Nach der Umlagerung des Patienten in die Halbseitenlage erhöhte sich der IOP auf 18,2 mmHg \pm 5,2 mmHg (Spannweite 11 – 30 mmHg, $p = 0,0002$).

Während der Operation, vor der Drainage des Liquors und Eröffnung der Dura mater, erreichte der IOP Werte von 19,8 mmHg \pm 5,8 mmHg (Spannweite 12 – 32 mmHg), welche nach Eröffnung der Dura mater und Drainage des Liquors auf 14,7 mmHg \pm 5,5 mmHg (Spannweite 7 – 24 mmHg, $p = 0,0007$) absanken. Sowohl nach 30 Minuten (16,5 mmHg \pm 4,0 mmHg, Spannweite 7 – 23 mmHg, $p = 0,0477$), als auch nach 60 Minuten (17,6 mmHg \pm 2,5 mmHg, Spannweite 14 – 21 mmHg, $p = 0,0243$) konnte diese signifikante Reduktion des IOP, verglichen mit dem letzten IOP-Wert vor Drainage des Liquors nach Eröffnung der Dura mater registriert werden. Zwischen dem IOP-Wert vor Drainage des Liquors (19,8 mmHg \pm 5,8 mmHg, Spannweite 12– 32 mmHg) und dem letzten IOP-Wert in Bauchlage (18,4 mmHg \pm 3,4 mmHg, Spannweite 12 – 24, $p = 0,32$) konnte keine signifikante Korrelation gefunden werden. Die präoperative Augeninnendruckmessung (Matched Student's T-Test 11 Patienten) (15,5 mmHg \pm 2,6 mmHg, Spannweite 11 – 20 mmHg) zeigte keinen statistisch signifikanten Unterschied zu den postoperativen IOP-Werten (15,4 mmHg \pm 2,5 mmHg, Spannweite 12 – 21, $p = 0,88$). Der IOP-Wert unterschied sich nicht signifikant von dem Wert nach Intubation (10,9 mmHg \pm 6,0 mmHg, Spannweite 1 – 24 mmHg) und dem IOP-Wert nach Rücklagerung am Ende der Operation (14,1 mmHg \pm 3,7 mmHg, Spannweite 6 – 20 mmHg, $p = 0,0851$). Die IOP-Werte der letzten Bauchlage und der Rückenlage nach Umlagerung am Ende unterschieden sich signifikant ($p = 0,0029$).

3.2.3.2 Gruppe C – Superiores Auge

Im Rahmen der augenärztlichen Voruntersuchung lag der IOP bei $14,9 \text{ mmHg} \pm 2,4 \text{ mmHg}$ (Spannweite 10 – 20 mmHg). Die Messung des IOP nach Durchführung der Analgosedierung und der Lagerung des Patienten in Rückenlage zeigte einen auf $11,4 \text{ mmHg} \pm 5,4 \text{ mmHg}$ (Spannweite 4 – 21 mmHg, $p = 0,012$) abgesunkenen IOP. Der IOP-Wert erhöhte sich nach der Lagerung in Halbseitenlage auf $14,4 \text{ mmHg} \pm 3,5 \text{ mmHg}$ (Spannweite 9 – 21 mmHg, $p = 0,0155$).

Vor Eröffnung der Dura mater und Drainage der maximalen Liquormenge wurde der IOP intraoperativ bei $14,3 \text{ mmHg} \pm 6,9 \text{ mmHg}$ (Spannweite 8 – 27 mmHg) gemessen. Es folgte ein Absinken des IOP auf $12,3 \text{ mmHg} \pm 4,8$ (Spannweite 4 – 17 mmHg, $p = 0,4$) nach Eröffnung der Dura mater und Drainage der maximalen Liquormenge. Wir konnten keine signifikante Reduktion des IOP nach 30 Minuten ($11,7 \text{ mmHg} \pm 4,4 \text{ mmHg}$, Spannweite 6 – 21 mmHg, $p = 0,083$) bzw. nach 60 Minuten ($12,0 \text{ mmHg} \pm 4,0 \text{ mmHg}$, Spannweite 6 – 16 mmHg, $p = 0,3632$), im Vergleich zum letzten vor der Drainage bestimmten IOP, feststellen. Der letzte IOP-Wert vor Eröffnung der Dura mater (Matched Student's T-Test 13 Patienten) ($15,0 \text{ mmHg} \pm 5,2 \text{ mmHg}$, Spannweite 8 – 27 mmHg) und dem zuletzt in Bauchlage erhobenen IOP-Wert ($15,5 \text{ mmHg} \pm 4,4 \text{ mmHg}$, Spannweite 10 – 23, $p = 0,79$) unterschieden sich nicht signifikant. Der präoperative IOP-Wert (Matched Student's T-Test 11 Patienten) ($15,6 \text{ mmHg} \pm 2,0 \text{ mmHg}$, Spannweite 12 – 20 mmHg) wich nicht signifikant vom postoperativen Wert ($15,5 \text{ mmHg} \pm 2,6 \text{ mmHg}$, Spannweite 12 – 21, $p = 0,89$) ab. Kein signifikanter Unterschied bestand zwischen dem Wert nach Beginn der Allgemeinanästhesie ($11,4 \text{ mmHg} \pm 5,4 \text{ mmHg}$, Spannweite 4 – 21 mmHg) und dem Wert in Rückenlage am Ende der Operation ($12,5 \text{ mmHg} \pm 3,5 \text{ mmHg}$, Spannweite 6 – 18 mmHg, $p = 0,3861$). Es bestand ein signifikanter Abfall zwischen dem letzten IOP-Wert in Bauchlage (Student's T-Test 15 Patienten) ($15,3 \text{ mmHg} \pm 4,4 \text{ mmHg}$, Spannweite 10 – 23 mmHg) und dem ersten nach Rücklagerung ($p = 0,0392$).

3.2.3.3 Gruppe C – Vergleich: Inferiores Auge mit superiorem Auge

Nach Beginn der Analgosedierung zeigte der IOP zwischen beiden Augen keinen signifikanten Unterschied (11,4 mmHg vs. 10,9 mmHg, $p = 0,81$). Bereits nach der Lagerung des Patienten in Halbseitenlage mit Drehung des Kopfes ergab sich ein signifikanter Unterschied (höher vs. tiefer: 14,4 mmHg vs. 18,2 mmHg, $p = 0,0231$). Des Weiteren konnte ein signifikanter Unterschied zwischen oberem und unterem Auge 30 Minuten vor Ablassen des Liquors (15,0 mmHg vs. 19,8 mmHg, $p = 0,0306$) gezeigt werden. Zum Zeitpunkt der maximalen Entlastung des Liquors konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (12,7 mmHg vs. 14,7 mmHg, $p = 0,4114$), dafür aber 30 Minuten (11,8 mmHg vs. 16,5 mmHg, $p = 0,0061$), 60 Minuten (12,3 mmHg vs. 17,6 mmHg, $p = 0,0029$) und 90 Minuten (13,6 vs. 18,3 mmHg, $p = 0,0327$) nach maximaler Liquordrainage. Weder nach der Hautnaht vor der Rücklagerung des Patienten (15,6 mmHg vs. 18,4 mmHg, $p = 0,0514$), noch nach der Umlagerung in die Rückenposition (12,7 mmHg vs. 14,1 mmHg, $p = 0,3128$) gab es einen statistisch signifikanten Unterschied.

3.2.4 Gruppe D

Im Rahmen der initialen augenärztlichen Untersuchung lag der IOP bei 16,2 mmHg \pm 3,3 mmHg (Spannweite 9 – 20 mmHg). Zu Beginn der Operation, nach dem Start der Allgemeinanästhesie und der Lagerung der Patienten auf dem Rücken, reduzierte sich der IOP auf 11,7 mmHg \pm 4,1 mmHg (Spannweite 6 – 23 mmHg, $p = 0,0029$). Nach Lagerung des Patienten in die Bauchlagerung erhöhte sich der IOP auf 23,6 mmHg \pm 6,0 mmHg (Spannweite 13 – 35 mmHg, $p = 0,0001$).

Zu Beginn der Operation lag der IOP bei 28,6 mmHg \pm 8,7 mmHg (Spannweite 21 – 45 mmHg). Weder nach 30 Minuten (27,14 mmHg \pm 5,3 mmHg, $p = 0,4547$), noch nach 60 Minuten (29,27 mmHg \pm 4,6 mmHg, $p = 0,7837$), bzw. nach 90 Minuten (30,6 mmHg \pm 4,2 mmHg, $p = 0,6673$), zeigte sich während der Operation ein statistisch signifikanter Anstieg oder Abfall des IOP. Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den prä- (Matched Student's T-Test 9 Patienten) (17,7 mmHg \pm 2,5 mmHg, Spannweite 14 – 20 mmHg) und postoperativen IOP-Werten (17,6 mmHg \pm 1,7 mmHg, Spannweite 14 – 19

mmHg, $p = 0,88$). Es zeigte sich ein signifikanter Anstieg zwischen dem Augeninnendruckwert nach Intubation ($11,5 \text{ mmHg} \pm 4,1 \text{ mmHg}$, Spannweite 6 – 23 mmHg) und dem Wert nach Umlagerung auf den Rücken am Ende der Operation ($18,1 \text{ mmHg} \pm 4,4 \text{ mmHg}$, Spannweite 10 – 26 mmHg, $p = 0,0007$). Ein signifikanter Abfall des IOP-Wertes fand zwischen dem letzten in Bauchlage gemessenen Wert ($28,8 \text{ mmHg} \pm 5,4 \text{ mmHg}$, Spannweite 21 – 39 mmHg) und dem nach der Umlagerung in Rückenlage gemessenen Wert ($p < 0,0001$) statt.

Die graphische Darstellung dieser Ergebnisse wird in Abbildung 23, 24, 25, 26 und 27 (Seiten 46 – 48) präsentiert.

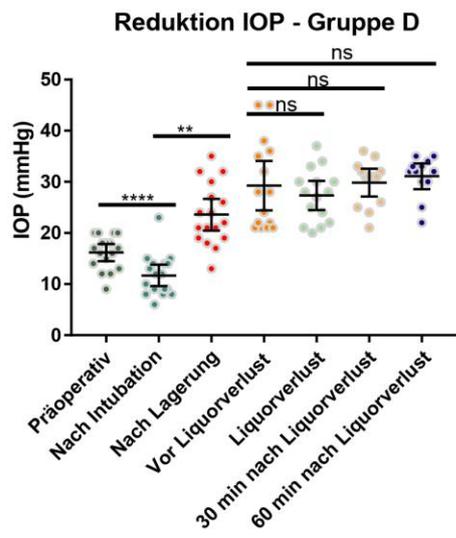
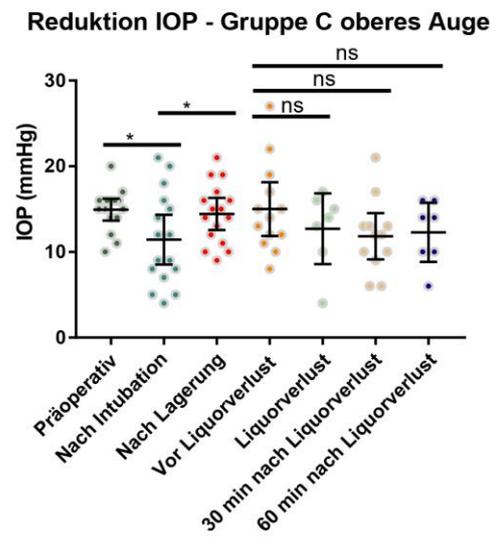
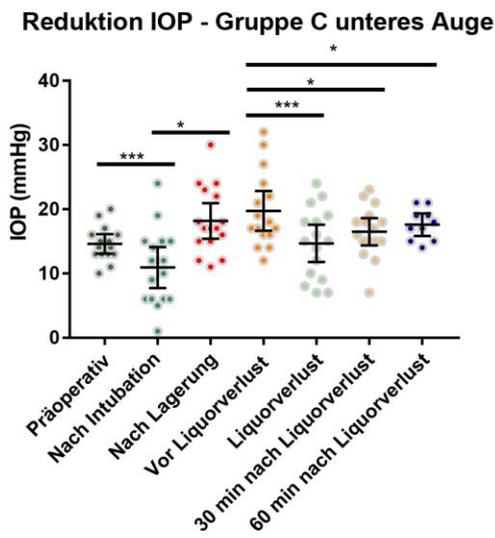
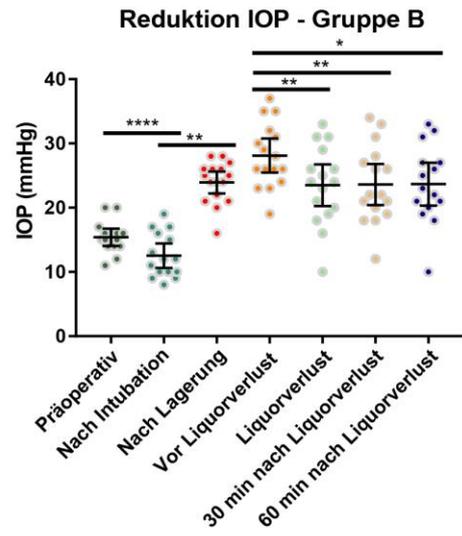
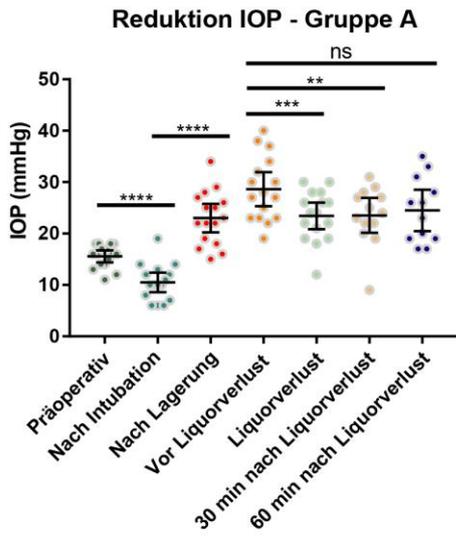


Abbildung 23 - Reduktion des IOP (Czorlich et al. 2018, Modifiziert). Mit freundlicher Genehmigung der Journal of Neurosurgery Publishing Group.

Abkürzungen: Intraocular pressure (IOP).

ns = Nicht signifikant; * = $p < 0.01$; ** = $p < 0.001$; *** = $p < 0.0001$; **** = $p < 0.00001$.

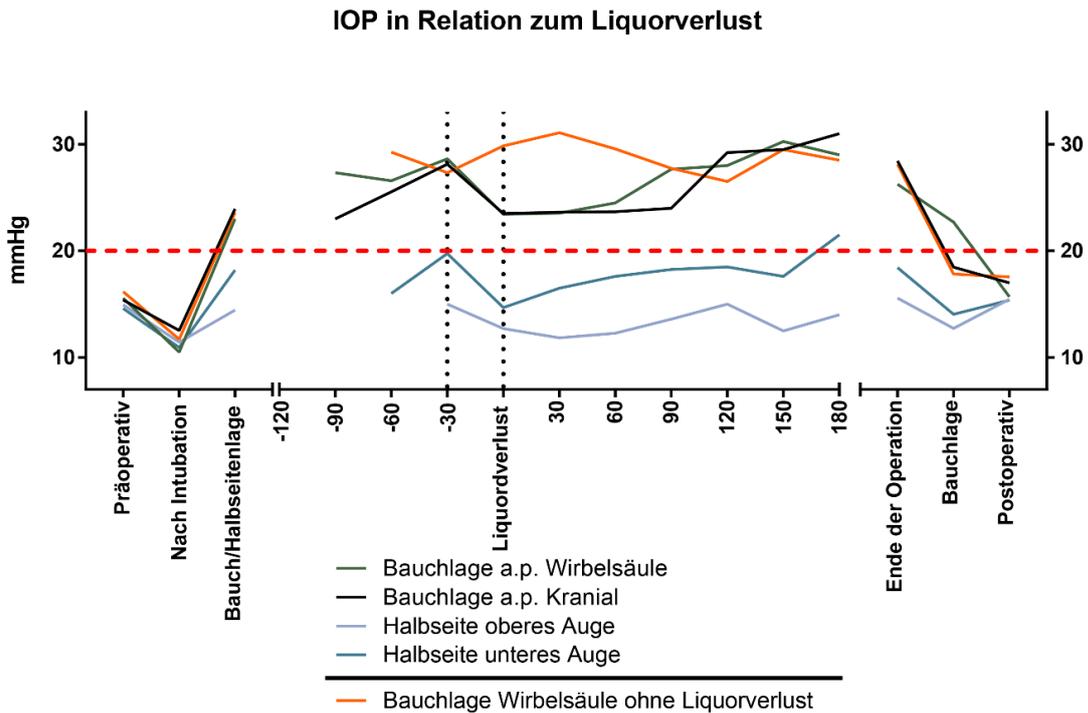


Abbildung 24 - IOP in Abhängigkeit mit abgelassenem Liquor (Czorlich et al. 2018, Modifiziert). Mit freundlicher Genehmigung der Journal of Neurosurgery Publishing Group. Zeit in Minuten.

Abkürzung: Anterior-Posterior (a.p).

IOP Verlauf - Letzter Wert vor Dura Öffnung vs. Letzter Wert in Bauchlage

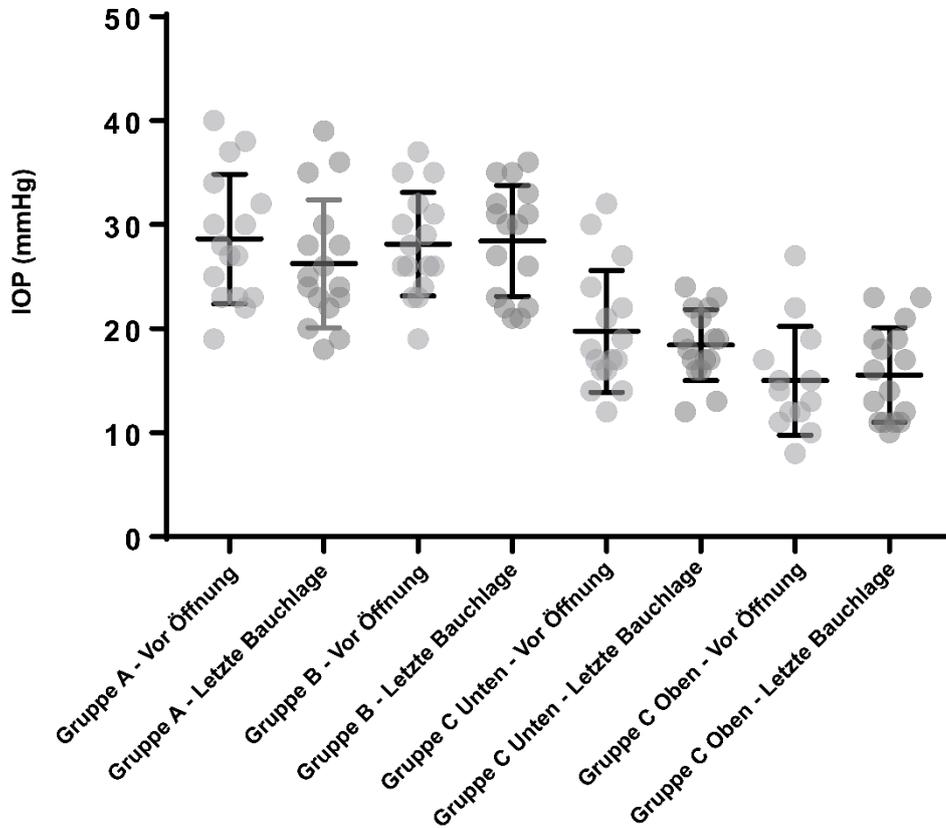


Abbildung 25 - IOP Verlauf: Letzter Wert vor Eröffnung der Dura mater und Drainage des Liquors im Vergleich zum letzten Wert in Bauchlage.

IOP Verlauf Präoperativ vs. Postoperativ

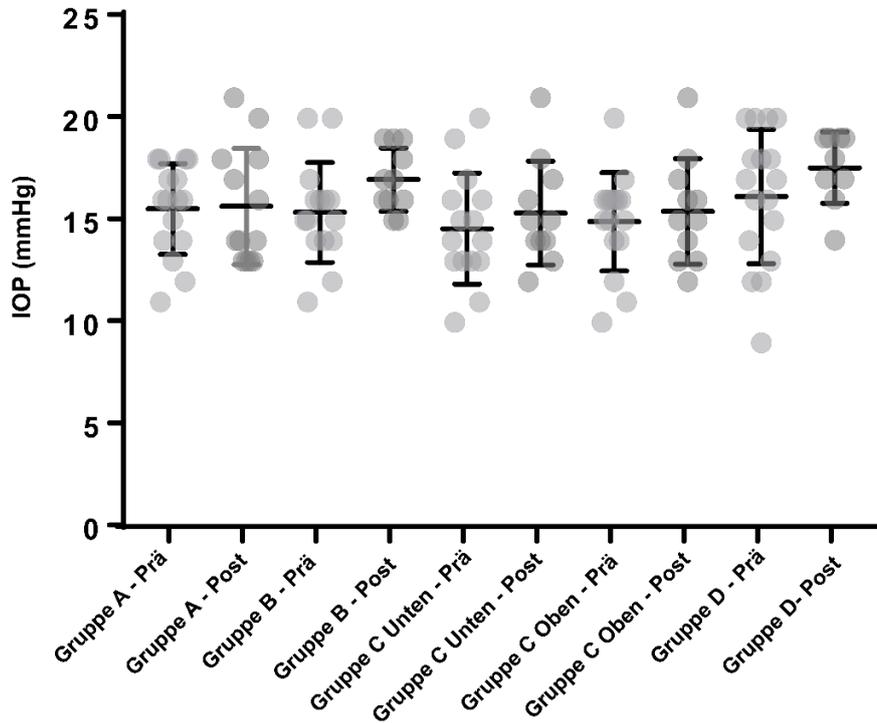


Abbildung 26 - IOP Verlauf: Vergleich zwischen präoperativen IOP-Werten und postoperativen IOP-Werten.

IOP Verlauf nach Intubation vs. Rücklagerung

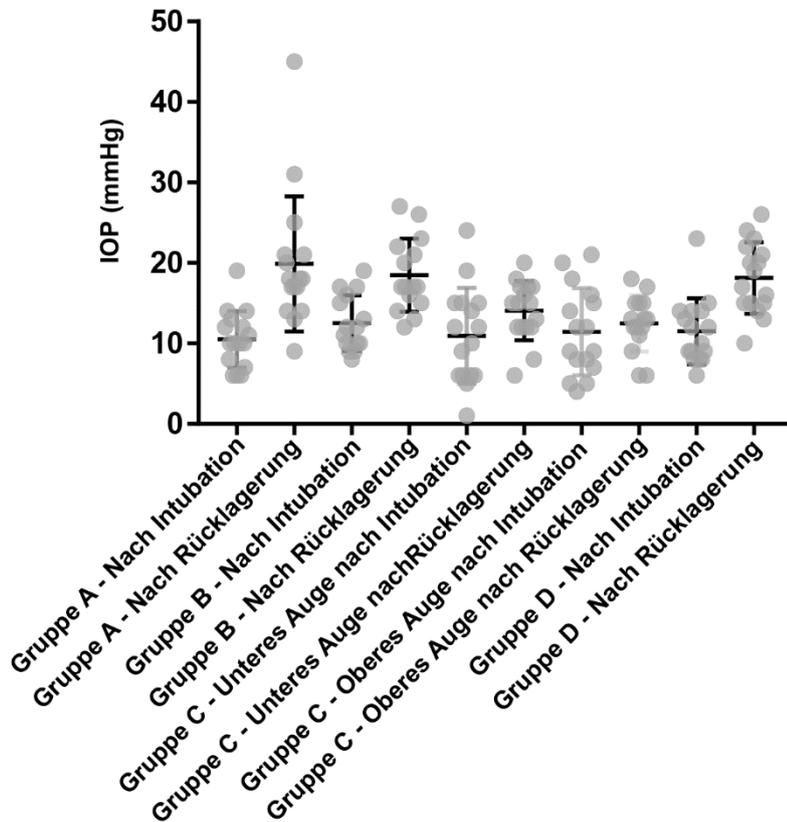


Abbildung 27 - IOP Verlauf: Nach Intubation vs. Rückenlage.

3.3 Perioperativer Blutdruck

Der Blutdruck vor der Lagerung war $101 \text{ mmHg} \pm 18 / 58 \text{ mmHg} \pm 13 \text{ mmHg}$ (systolisch / diastolisch) in der Gruppe A, in der Gruppe B: $105 \text{ mmHg} \pm 18 \text{ mmHg} / 60 \text{ mmHg} \pm 12 \text{ mmHg}$, in der Gruppe C: $112 \text{ mmHg} \pm 17 \text{ mmHg} / 54 \text{ mmHg} \pm 8 \text{ mmHg}$ und in der Gruppe D: $116 \text{ mmHg} \pm 33 \text{ mmHg} / 71 \text{ mmHg} \pm 20 \text{ mmHg}$.

Vor dem Ablassen des Liquors wurde ein Blutdruck (BD1) in der Gruppe A von $107 \pm 13 / 60 \pm 8 \text{ mmHg}$, in der Gruppe B von $111 \pm 11 / 65 \pm 10 \text{ mmHg}$ und in der Gruppe C von $115 \pm 15 / 60 \pm 10 \text{ mmHg}$ gemessen.

Nach dem Ablassen des Liquors bei maximaler Drainage lag der Blutdruck (BD2) in der Gruppe A: $102 \text{ mmHg} \pm 12 \text{ mmHg} / 58 \text{ mmHg} \pm 8 \text{ mmHg}$, in der Gruppe B: $111 \text{ mmHg} \pm 13 \text{ mmHg} / 62 \text{ mmHg} \pm 8 \text{ mmHg}$ und in der Gruppe C: $113 \text{ mmHg} \pm 13 \text{ mmHg} / 59 \text{ mmHg} \pm 8 \text{ mmHg}$.

In Gruppe D lag der Blutdruck zu Beginn der Operation bei $120 \text{ mmHg} \pm 18 \text{ mmHg} / 64 \text{ mmHg} \pm 10 \text{ mmHg}$ (BD1) und nach 60 Minuten bei $109 \text{ mmHg} \pm 9 \text{ mmHg} / 62 \text{ mmHg} \pm 11 \text{ mmHg}$ (BD2).

Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen dem Blutdruck 1 (BD1) und dem Blutdruck 2 (BD2) in den genannten Gruppen festgestellt werden (BD1/BD2 Gruppe A: $p = 0,1792 / p = 0,3748$; Gruppe B: $p = 0,9199 / p = 0,2926$; Gruppe C: $p = 0,4379 / p = 0,5992$; Gruppe D: $p = 0,2665 / p = 0,9836$). Siehe Tabelle 3 und Abbildung 28 (Seite 50).

Tabelle 3 - Blutdruckwerte

Gruppe	Blutdruck vor Lagerung	BD1	BD2
A	$101 \pm 18 / 58 \pm 13$	$107 \pm 13 / 60 \pm 8$	$102 \pm 12 / 58 \pm 8$
B	$105 \pm 18 / 60 \pm 12$	$111 \pm 11 / 65 \pm 10$	$111 \pm 13 / 62 \pm 8$
C	$112 \pm 17 / 54 \pm 8$	$115 \pm 15 / 60 \pm 10$	$113 \pm 13 / 59 \pm 8$
D	$116 \pm 33 / 71 \pm 20$	$120 \pm 18 / 64 \pm 10$	$109 \pm 9 / 62 \pm 11$

Alle Angaben in mmHg

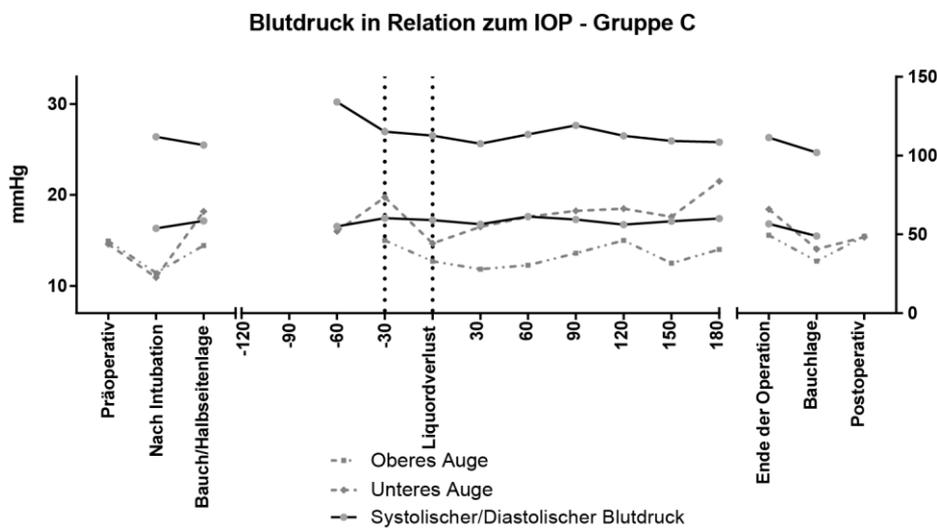
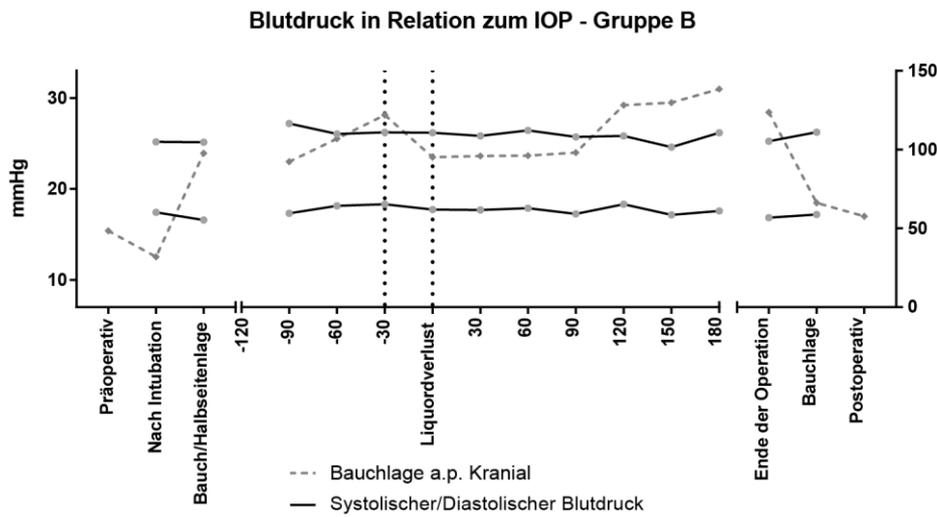
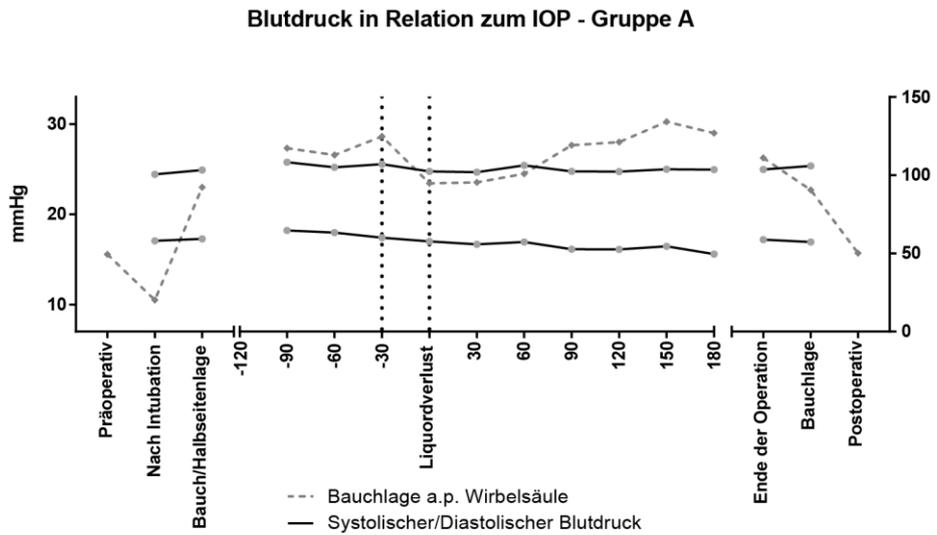


Abbildung 28 - Blutdruck im Verlauf in Relation zum IOP. (Czorlich et al. 2018, Modifiziert). Mit freundlicher Genehmigung der Journal of Neurosurgery Publishing Group. Zeit in Minuten

3.4 Blutverlust

Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem IOP und dem Blutverlust innerhalb eines Rahmens von 30 Minuten vor Ablassen des Liquors bis zum Ablassen des Liquors durch Eröffnung der Dura mater (Pearson $r = 0,049$, $p = 0,749$) oder zwischen Eröffnung der Dura mater und 30 Minuten später (Pearson $r = 0,139$, $p = 0,35$).

Zwischen den Gruppen zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied bei der Menge des Blutverlustes (Gruppe A: $576,7 \text{ ml} \pm 374,6 \text{ ml}$; Gruppe B: $353,1 \text{ ml} \pm 363,5 \text{ ml}$; Gruppe C: $340,6 \text{ ml} \pm 257 \text{ ml}$; Gruppe D: $615 \text{ ml} \pm 719,2 \text{ ml}$).

3.5 Perioperative Volumensubstitution

In unseren Daten zeigte sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang, innerhalb von 30 Minuten vor Drainage des Liquors durch Eröffnung der Dura mater bis zur Drainage des Liquors, zwischen dem IOP und der Gabe von Kristalloiden (Pearson $r = -0,029$, $p = 0,849$) oder zwischen der Eröffnung der Dura mater und dem Zeitraum bis 30 Minuten später (Pearson $r = 0,007$, $p = 0,961$).

Ebenfalls zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen bei der Gabe von Kristalloiden (Gruppe A: $2129 \text{ ml} \pm 1388 \text{ ml}$; Gruppe B: $2150 \text{ ml} \pm 879,4 \text{ ml}$; Gruppe C: $2053 \text{ ml} \pm 1050 \text{ ml}$, Gruppe D: $1922 \text{ ml} \pm 1211 \text{ ml}$).

3.6 Augenärztliche Untersuchungsergebnisse

Bei einem Patienten zeigte sich präoperativ ein Pterygium an der Hornhaut. Keine Pathologien der Vorderkammer zeigten sich bei 48 Patienten, während 15 Patienten einen Katarakt aufwiesen. Ein Patient präsentierte sich mit einer vorbekannten Anisokorie ohne pupillomotorische Einschränkung.

54 der untersuchten Patienten zeigten einen Fundus ohne Pathologien bzw. mit einem altersentsprechenden Normalbefund. Ein Patient präsentierte sich mit Zustand nach einer Glaskörperextraktion, bei drei Patienten zeigte sich eine Papillenexkavation und bei einem Patienten zeigte sich eine Papillenprominenz. In insgesamt 5 Fällen wurde der Fundus nicht untersucht bzw. konnte nicht untersucht werden.

Die retinalen Blutgefäße waren bei 49 Patienten ohne pathologischen Befund oder zeigten einen altersentsprechenden Normalbefund. Bei 15 Patienten wurden die Gefäße am Augenhintergrund nicht beurteilt. Siehe Tabelle 4.

Tabelle 4 - Pathologien des Auges

Pathologien Vorderkammer	Anzahl
Ohne pathologische Befunde	48
Cataracta	15
Sonstige	1
Summe Total	64

Pathologie Fundus	Anzahl
Ohne pathologische Befunde/Altersentsprechend	54
Glaskörperextraktion	1
Papillenexkavation	3
Papillenprominenz	1
Keine Angabe	5
Summe Total	64

Pathologie Gefäße	Anzahl
Ohne pathologische Befunde/Altersentsprechend	49
Pathologischer Befund	0
Keine Angabe	15
Summe Total	64

3.6.1 Visusbestimmung

Bei den untersuchten Patienten zeigte sich in einem Paired-Test keine statistisch signifikante Differenz zwischen dem prä- und postoperativen Visus am rechten Auge (präoperativer Durchschnitt: $0,84 \pm 0,22$ vs. postoperativer Durchschnitt: $0,85 \pm 0,21$, $p = 0,3353$) bzw. dem linken Auge (präoperativer Durchschnitt: $0,87 \pm 0,20$ vs. postoperativer Durchschnitt: $0,88 \pm 0,18$, $p = 0,6279$).

4. Diskussion

Im Rahmen der durchgeführten Studie konnte erstmals der Zusammenhang zwischen dem intraoperativen Verlust des Liquors nach Eröffnung der Dura mater und dem IOP in Abhängigkeit der Lagerung des Kopfes bei neurochirurgischen Eingriffen am Kopf und an der Wirbelsäule nachgewiesen werden. Es konnte gezeigt werden, dass der Verlust des Liquors zu einem signifikanten Abfall des IOP führt und dass dieser Effekt bis zu 60 Minuten anhalten kann. Dies galt in unserer Studie sowohl für Eingriffe am Schädel, als auch für Eingriffe an der Wirbelsäule, unabhängig davon, ob sich beide Augen auf demselben oder auf unterschiedlichem Niveau befanden. Darüber hinaus konnte unsere Studie diesen Effekt erstmals im Rahmen durchgeführter kranieller Operationen untersuchen und nachweisen; im Gegensatz zu anderen Studien, die nur bei gesunden Probanden gemessen haben, welche in verschiedenen Operationspositionen untersucht worden sind (Cheng et al. 2001; Hunt et al. 2004; Ozcan et al. 2004; Walick et al. 2007; Carey et al. 2014; Grant et al. 2010; Deniz et al. 2013).

4.1 Bisherige Forschung

In der bisher publizierten Literatur zur vorliegenden Thematik sind ausschließlich IOP Messungen bei geschlossener Dura mater beschrieben worden. So zeigten Cheng et al. bereits 2001 eine intraoperative Zunahme des IOP bei 20 Patienten, die in Bauchlage an der Wirbelsäule operiert wurden. Messzeitpunkte des IOP waren vor der Einleitung der Analgosedierung, in Rückenlage, zu Beginn und am Ende der Bauchlage sowie abermals in Rückenlage. Cheng et al. konnten des Weiteren eine zeitabhängige zusätzliche Erhöhung des IOP in Bauchlage zeigen (Cheng et al. 2001).

Die Ergebnisse von Cheng et al. konnten dann 2004 in Teilen von Hunt et al. bestätigt werden. Es erfolgte auch in dieser Studie eine Messung an 20 Patienten in Bauchlage, welche an der Wirbelsäule operiert wurden. Die Messpunkte waren zu denen von Cheng vergleichbar, wenn auch insgesamt weniger oft gemessen wurde. Zwar zeigte sich ein Anstieg des IOP bei Hunt et al. in der Bauchlage, allerdings konnte die Zeitabhängigkeit im Gegensatz zu Cheng nicht bestätigt werden (Hunt et al. 2004).

Ozcan et al. konnten ebenfalls 2004 an zehn wachen, gesunden Probanden zeigen, dass die Körperposition einen Einfluss auf den IOP besitzt. Hierzu wurden die Studienteilnehmer in zwei Messungsreihen in zwei unterschiedlichen OP-Positionen gelagert und dann die Inklination des Körpers geändert (-10° , 0° , 10°), mit IOP-Messungen nach jedem Lagewechsel. Die Arbeitsgruppe konnte nachweisen, dass sowohl die Körperposition als auch die Neigung des Tisches einen Einfluss auf den IOP haben. Es zeigte sich, dass die Lagerung in 10° -Anti-Trendelenburg-Lagerung den durch die Bauchlagerung erhöhten IOP leicht reduzieren konnte, wohingegen eine Kopftieflage den IOP weiter ansteigen ließ (Ozcan et al. 2004).

Diese Erkenntnisse konnten durch Walick et al. im Jahr 2007 bestätigt werden. Im Rahmen des Studienprotokolls wurde an 20 wachen, gesunden Probanden zusätzlich der Effekt einer Trendelenburg-Position mit -7° Kopftieflagerung untersucht. Die IOP-Werte wurden alle 10 min über eine Dauer von einer Stunde bzw. nach einem Lagewechsel gemessen. Hierbei zeigte sich, dass der IOP der Gruppe mit Kopftieflagerung gegenüber der Gruppe in reiner Bauchlagerung erhöht war. Darüber hinaus konnte die zeitliche Abhängigkeit der IOP-Werte in Kombination mit der Kopftieflagerung bestätigt werden. Die Effekte von Bauchlagerung und Kopftieflagerung auf den IOP wirkten in dieser Studie additiv aufeinander (Walick et al. 2007).

Der Verlauf des IOP bei einer Anti-Trendelenburg-Lagerung wurde 2014 von Carey et al. untersucht. 19 Patienten, welche sich einem operativen Eingriff an der Wirbelsäule in Bauchlage unterziehen mussten, wurden eingeschlossen und randomisiert einer Tischposition (0° , 5° oder 10°) zugeordnet. Die IOP-Messungen wurden bei Lagewechseln, 30 und 60 min nach Bauchlagerung und dann stündlich für den Rest der OP durchgeführt. Die Arbeit konnte zeigen, dass bereits eine Lagerung in 5° umgedrehter Trendelenburg-Lagerung zu einem signifikant niedrigeren IOP als eine Lagerung mit 0° führen kann. Somit wäre es möglich, Patienten mit leichter Kopfhochlagerung zu operieren, um einen weniger drastischen Anstieg des IOP zu erhalten (Carey et al. 2014).

Eine Arbeitsgruppe um Grant war 2010 in der Lage, an zehn gesunden Probanden zu zeigen, dass nicht nur der IOP zeitabhängig in Bauchlage zunimmt, sondern auch die Dicke der Choroidea und der Durchmesser des N.

opticus. Erwähnenswert ist, dass in keinem Fall Volumen intravenös substituiert wurde, was bisher in vielen Studien als Risikofaktor oder sogar als Pathomechanismus des erhöhten IOP vermutet wurde. Grant et al. schlussfolgerten aus diesen Ergebnissen, dass sowohl der IOP Anstieg, als auch die Zunahme der Dicke der Choroidea sowie die Durchmesserzunahme des N. opticus durch einen erhöhten Druck der Orbitalvenen in Kopftieflage ausgelöst werden. Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Arbeiten konnte jedoch kein Absinken des IOP bei Zunahme der Kopfhochlage festgestellt werden (Grant et al. 2010).

Einen weiteren Einfluss auf den IOP wird auch der Rotation des Kopfes zugeschrieben. Deniz et al. konnten 2013 bei 45 Patienten im Rahmen einer Nierensteinentfernung einen signifikanten Abfall des IOP bei dem nach der Kopfrotation oben liegenden Auge nachweisen. Hierfür wurden die Patienten in zwei Gruppen randomisiert, eine mit dem Kopf in Neutralstellung und die andere mit dem Kopf um 45° zur Seite rotiert. Es zeigte sich nicht nur, dass der IOP bei beiden Gruppen in Bauchlage im Gegensatz zum präoperativen Befund erhöht war, sondern auch, dass der IOP des oberen Auges nach der Operation signifikant niedriger war als der IOP des unteren Auges, und auch signifikant niedriger war als der IOP der Gruppe, bei welcher sich beide Augen auf demselben Niveau befanden (Deniz et al. 2013).

4.2 Ergebnisse

Wir waren in der Lage zu zeigen, dass es zu einem signifikanten Abfall des IOP nach Eröffnung der Dura mater und Drainage des Liquors kommt, welcher bis zu 60 Minuten anhalten kann. Des Weiteren konnten wir zeigen, dass sich die IOP-Werte zwischen prä- und postoperativer Kontrolle nicht signifikant unterscheiden. Wir konnten keinen signifikanten Unterschied zwischen den IOP-Werten zwischen dem letzten Wert vor Eröffnung der Dura mater und dem letzten Wert in Bauchlage feststellen.

Die vorliegende Arbeit konnte die Ergebnisse der bisherigen Studien bestätigen, die eine Erhöhung des IOP durch Lageänderung von der Rückenlage in die Bauchlage demonstrierten (Walick et al. 2007; Ozcan et al. 2004; Hunt et al. 2004; Deniz et al. 2013). Ebenso zeigte sich, analog zur Studie von Hunt et al,

keine statistisch signifikante Zunahme des IOP in Abhängigkeit der OP-Dauer (Hunt et al. 2004), jedoch konnte dieser Effekt von anderen Studien belegt werden (Walick et al. 2007; Cheng et al. 2001). Wir konnten die Ergebnisse von Deniz et al. bestätigen, dass bei Patienten mit rotiertem Kopf bzw. in Halbseitenlage für das obere Auge geringere IOP-Werte resultieren als für das untere Auge. Dies gilt, obwohl die Lagerung der Patienten in unserer Studie diskrepant war zur OP-Lagerung bei einer Nierensteinentfernung, aufgrund der neurochirurgischen Spezifika (Deniz et al. 2013). Bei uns zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Blutverlust, perioperativen Blutdruck oder der perioperativen Volumensubstitution und dem IOP. Diese Faktoren gelten gemeinhin als Risikofaktoren für die POVL (Kla und Lee 2016; Lee 2013). Im Rahmen unserer Untersuchungen konnte erfreulicherweise keine POVL festgestellt werden, so dass wir keine Aussagen in Bezug auf die Inzidenz bzw. mögliche Risikofaktoren machen können, was allerdings auch keine Fragestellung in unserem Studiendesign darstellte.

4.3 Mögliche Pathogenese

4.3.1 Minderperfusion durch Auswirkung des Augeninnendrucks auf die Arterie

Die genaue Pathogenese der POVL ist bis heute nicht eindeutig geklärt, insbesondere hinsichtlich der Pathogenese von ION. Unsere Studienergebnisse unterstützen den Pathomechanismus, welcher auf einer Stauung der orbitalen Venen beruht. Allerdings unterstützen die beschriebenen Ergebnisse unserer Studie auch die Hypothese, dass es durch einen erhöhten IOP im Vergleich zum Mittleren Arteriellen Druck (MAP) zu einer Minderperfusion des N. opticus kommt. Die Berechnung des MAP erfolgt herzforn bei Herzfrequenzen um den Ruhewert näherungsweise mit der Formel: $MAP = ((Diastole + Diastole + Systole)/3)$ (Rogers und Oosthuysen 2000). Da sich der Perfusionsdruck, wie oben beschrieben (Kapitel 1.1.3.1, Seite 8), aus der Differenz zwischen MAP und IOP (Perfusionsdruck = MAP – IOP) ergibt (Walick et al. 2007), unterstützt dies die Pathogenese der Minderperfusion. Bei spinalen Operationen wird zur Verhinderung von Blutungen bei Bedarf eine Hypotension herbeigeführt (Cheng et al. 2001). Außerdem kann es auch durch einen ungewollten Blutverlust während der Operation zu einem Abfall des Blutdrucks kommen. Beides setzt

den MAP herab. In Kombination mit dem erhöhten IOP könnte die Folge sein, dass der Perfusionsdruck im Auge so weit gesenkt wird, dass es zu einer mangelnden Durchblutung und damit zu einer Ischämie kommt. Da eine Korrelation zwischen dem IOP und dem intrakraniellen Druck besteht (Jonas et al. 2014; Li et al. 2012), würde somit ein verminderter intrakranieller Druck nach Ablassen des Liquors ebenfalls zu einem verminderten IOP führen. Damit würde sich die Gleichung wieder in Richtung „mehr Perfusion“ verschieben, da der MAP unverändert bleibt.

4.3.2 Minderperfusion durch zu hohen Druck

Nach Ergebnissen von Newman sollte der IOP allerdings auf die Blutversorgung des vorderen Abschnittes des Sehnervs nur einen minimalen und auf die des hinteren Abschnittes des N. opticus keinen Einfluss haben (Newman 2008). Wahrscheinlicher und besser unterstützt ist die Hypothese, dass es durch einen erhöhten venösen Druck sowohl zur Erhöhung des IOP als auch zur Stauung des venösen Systems am Auge und dadurch retrograd wirkend zur arteriellen Minderdurchblutung des N. opticus kommt. Insbesondere PIONs wären so gut zu erklären, da die Blutversorgung des hinteren Teils des Augenabschnittes physiologisch gering ist und überwiegend durch kleine Blutgefäße erfolgt (Newman 2008). Folgt man dieser Hypothese, so wäre der erhöhte IOP mehr Symptom als Ursache der pathophysiologischen perioperativen Vorgänge. Diese Hypothese wird auch durch die Case Reports von Patienten unterstützt, welche nach einer Halsoperation mit Ligatur der Jugularvenen einen erhöhten Venendruck und intrakraniellen Druck aufwiesen und eine ION entwickelten (Weiss et al. 1993; Pazos et al. 1999). Additiv auswirken könnte sich die Tatsache, dass sich der intrakranielle Druck bei Bauchlage sowohl gegenüber der Rückenlage als auch der stehenden Position erhöht (Andresen et al. 2015; Robba et al. 2016; Roth et al. 2014). Dass eine Korrelation zwischen erhöhtem ICP und dem Durchmesser, und somit der Füllung bzw. Stauung, der V. ophthalmica superior besteht, konnten Lirng et al zeigen (Lirng et al. 2003). Beachtet man nun, dass Reitsamer bei Kaninchen zeigen konnte, dass der Druck in den Orbitalvenen mit dem IOP korreliert, erhält man ein gutes Modell, um sowohl die Durchblutungsstörung des N. opticus, den IOP Anstieg in Bauchlage, als auch den Abfall bei Ablassen des Liquors zu erklären (Reitsamer und Kiel

2002). Da durch orthostatische Effekte der Venendruck im Bereich des Kopfes im Liegen gegenüber einer stehenden Position um ein Vielfaches erhöht ist (Klinke et al. 2010), wäre es durchaus denkbar, dass es in Kombination mit einem durch die Bauchlage erhöhten ICP zu einer relevanten Stauung in den Orbitalvenen kommt. Infolgedessen würde es damit, aus Mangel an Kollateralen, auch zu einer arteriellen Minderperfusion des Sehnervs kommen und als Konsequenz hieraus eine Ischämie resultieren. Durch das Ablassen des Liquors besteht die Möglichkeit, dass sich der Druck auf die intrakranialen Sinusvenen und somit die vorgeschalteten Orbitalvenen verringert und dies den venösen Abfluss verbessert. Aus der Korrelation des Orbitalvenendruckes mit dem IOP lässt sich dann auch der Abfall des IOP erklären (siehe Abbildungen 29 und 30, Seite 59).

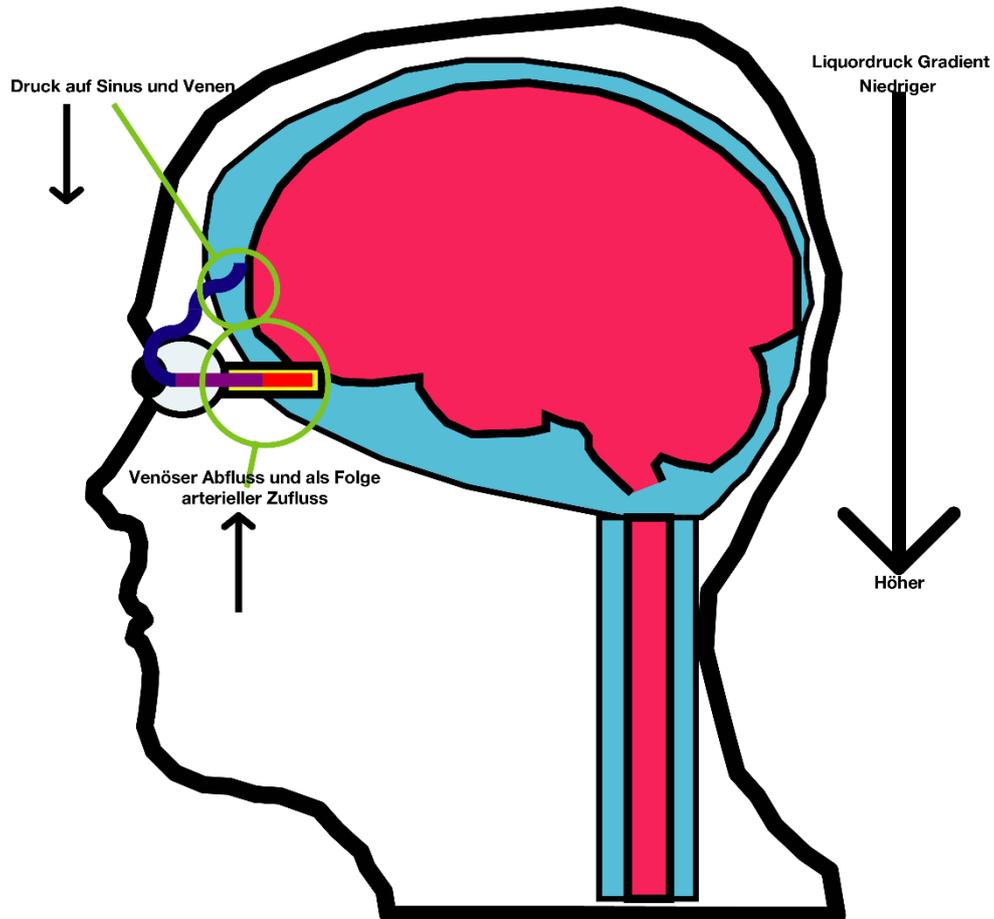


Abbildung 29 - Im Stehen steigt der Liquordruck von Kranial nach Kaudal. Der Druck auf die Sinusvenen ist gering, die Orbitalvenen sind weit und die Durchblutung des N. opticus ist am höchsten. Sauerstoffgehalt des Blutes (hoch zu gering) Rot > Lila > Blau.

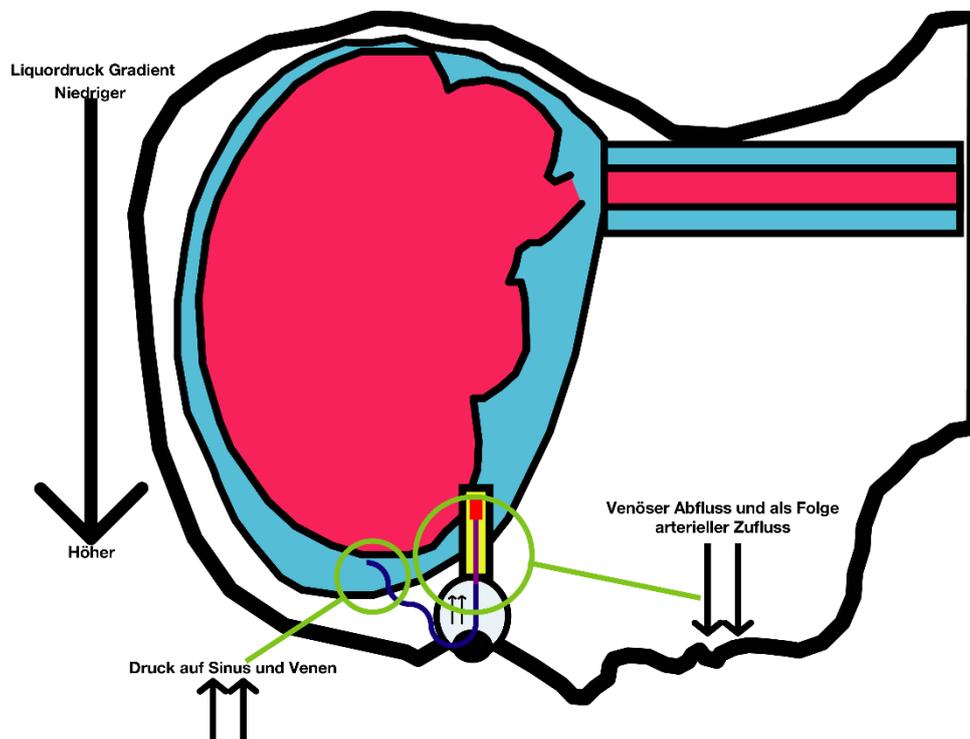


Abbildung 30 - In Bauchlage steigt der Liquordruck von Posterior nach Anterior. Der Druck auf die Sinusvenen ist höher, die Orbitalvenen sind komprimiert. Das Blut staut zurück, die arterielle Durchblutung wird beeinträchtigt.

4.4 Klinischer Ausblick

Die Ergebnisse dieser Studie liefern weitere Hinweise auf die mögliche Pathophysiologie des POVL und könnten auch Ansätze für die Prophylaxe des POVL bieten.

Da sich der POVL in allen seinen möglichen Formen bisher schlecht behandeln lässt, gilt es präventiv zu arbeiten. Die Tatsache, dass es nach Ablassen des Liquors zu einem signifikanten Abfall des IOP kommt und dieser allgemein als Risikofaktor für eine POVL gilt, legt die Überlegung nahe, zur Prävention des POVL eine präoperative Lumbalpunktion zur Entlastung oder eine perioperative lumbale Liquordrainage durchzuführen. Allerdings muss zwingend eine deutliche Nutzen-Risiken-Abwägung stattfinden, da auch diese Prozeduren nicht absolut risikofrei sind. So kann es z.B. bei der Lumbalpunktion zu Schmerzen, Übelkeit, Blutungen, lokalen Entzündungen, Ausfällen von Hirnnerven, Störung von Atmung und Kreislauf, Entzündung der Rückenmarkshaut, Subduralhämatom etc. kommen (Woitalla 2012). Bei der lumbalen Drainage sind die Komplikationen ähnlich (Prange und Bitsch 2004). Solche Maßnahmen würden tendenziell bei Patienten mit erhöhtem Risiko für eine POVL bzw. bei Patienten, welche unter ophthalmologisch relevanten Augenerkrankungen leiden, z.B. einem Glaukom, Anwendung finden (Kla und Lee 2016). Des Weiteren müsste idealerweise in prospektiv-randomisierten Studien gezeigt werden, dass es durch diese Maßnahmen zu einem signifikant niedrigeren IOP während der Operation kommt. Dies wird allerdings aufgrund der benötigten Patientenmenge nahezu unmöglich. Denkbar wäre allerdings eine weitere Datenbankanalyse der US-amerikanischen Kollegen. Der erstrebenswerte Nachweis, dass durch die beschriebenen Maßnahmen als Folge die Inzidenz der POVL tatsächlich gesenkt werden kann, würde aufgrund der niedrigen Inzidenz der POVL eine nicht realisierbare Studienpopulation zur Folge haben.

Seit einiger Zeit wird ein ähnliches Verfahren, im Speziellen eine perioperative lumbale Liquordrainage, bereits routinemäßig bei ausgewählten endovaskulären Eingriffen an der Aorta genutzt, um das Risiko von spinalen Ischämien zu verringern (Kotelis et al. 2015). Ein ähnliches Konzept könnte auch für den POVL denkbar sein.

Da, wie zuvor beschrieben, die Position des Kopfes und des Körpers einen Einfluss auf den IOP haben, wäre eine weitere Alternative, die Positionen der Patienten zu verändern und wenn möglich nicht in einer Lage zu operieren, die das Risiko einer POVL erhöht. Eine andere Möglichkeit zur Risikominimierung bestünde im Anheben des Kopfes des Patienten über 0° (Carey et al. 2014; Emery et al. 2015).

Auch der Effekt der Analgosedierung, des intraoperativen Blutverlustes und des perioperativen Volumenmanagements sollte bei der OP-Planung und Durchführung Beachtung finden. Im Allgemeinen gilt, dass es durch die Durchführung einer Allgemeinanästhesie zu einem Abfall des IOP kommt, unabhängig davon, ob diese Anästhesie als klassische volatile oder als intravenöse durchgeführt wird. Allerdings ist der Abfall des IOP bei einer Analgosedierung mit Propofol stärker und kann bis zu 40 % betragen (Kelly und Farrell 2017; Yamada et al. 2015; Zuche et al. 2015).

Auch die Muskelrelaxation zeigt einen Einfluss auf den IOP. Bei Patienten mit moderater Muskelentspannung konnte bei den Spitzenwerten des Augeninnendrucks im Schnitt ein um 3,34 mmHg höherer IOP gezeigt werden als bei Patienten mit tiefer Muskelentspannung durch Rocuronium (Yoo et al. 2015; Kelly und Farrell 2017). Eine Relaxation mit Succinylcholin hingegen führt zu einem Anstieg des IOP von bis zu 10 mmHg und sollte daher bei Operationen in Bauch- oder Halbseitenlage eher vermieden werden (Kelly und Farrell 2017; Murgatroyd und Bembridge 2008).

Die präventive Gabe einer Dosis von Dorzolamid-Timolol bei steiler Trendelenburg-Position zeigt einen signifikanten Abfall des IOP (Molloy et al. 2016). Ein weiterer Einfluss auf den IOP kann sich auch durch die verwendete Schmerzmedikation oder Alpha-2-Agonisten während der Narkose ergeben. So wird durch Opioide wie Remifentanyl, Fentanyl und Alfentanyl der IOP gesenkt (Kelly und Farrell 2017; Montazeri et al. 2015). Mit Hilfe von Alpha-2-Agonisten wie Clonidin und Dexmedetomidin kann der Anstieg des IOP abgeschwächt werden (Kelly und Farrell 2017). Eine übermäßige Versorgung mit Kristalloiden, insbesondere wenn die Infusion mit erhöhtem Druck erfolgt, kann den IOP hingegen erhöhen (Kelly und Farrell 2017). Sowohl eine Überwässerung als auch

ein erhöhter Blutverlust während der Operation erhöhen ebenfalls das Risiko eines POVL (Kelly und Farrell 2017).

Darüber hinaus wäre auch eine präventive Senkung des IOP vor der Operation eine Behandlungsoption. Zwar wurden in diesem Zusammenhang noch keine Untersuchungen durchgeführt, allerdings könnte eine Senkung der Liquorproduktion einen positiven Einfluss auf den IOP haben. Acetozalamid und Topiramat sind Carbonanhydrasehemmer, die bereits erfolgreich in der Therapie der idiopathischen intrakraniellen Hypertension eingesetzt werden und dort zu einer Senkung des Liquordrucks führen. Bei der idiopathischen intrakraniellen Hypertension ist ein Visusverlust bei langanhaltend erhöhten intrakraniellen Druckwerten ein häufiges Problem (Chan 2017).

Ist keine Senkung des IOP durch z.B. eine lumbale Liquordrainage möglich, gäbe es damit möglicherweise eine medikamentöse Alternative. Ebenfalls wäre es denkbar, während langanhaltender Operationen in Bauch- oder Halbseitenlage die Position der Patienten in gewissen Zeitintervallen zu verändern (Kopfhochlagerung), um wieder eine bessere Durchblutung des Sehnervs durch Senkung des IOP zu ermöglichen (Carey et al. 2014; Kelly und Farrell 2017).

Insgesamt ist es aufgrund der geringen Inzidenz von POVL fraglich, wie relevant solche Maßnahmen sind. Jegliche Form von medikamentösem oder interventionellem Eingriff am Patienten zur Minderung des intrakraniellen Drucks oder IOPs birgt ein eigenes Risiko für Komplikationen. Selbst die augenscheinlich einfache Methode des intraoperativen Umlagerns (Hochlagern) des Patienten in regelmäßigen Intervallen kann neue Probleme nach sich ziehen, da z.B. ggf. eine kurze Unterbrechung der Operation notwendig wäre. Auch wenn das Risiko, eine POVL zu entwickeln, für den einzelnen Patienten gering erscheinen mag, so können jedoch für den betroffenen Patienten erhebliche, teilweise auch dauerhafte Konsequenzen und Einschränkungen daraus resultieren. Oberste Prämisse in der Behandlung aller Patienten sollte es sein, jegliche Risiken und Beeinträchtigungen für die Patienten so gering wie möglich zu halten oder im Idealfall sogar komplett zu vermeiden.

4.5 Limitation der Studie

Die vorliegende Studie weist einige Limitationen auf.

Wünschenswert wäre eine kontinuierliche Messung bzw. dynamische Messung des Augeninnendrucks gewesen, wie sie mit Methoden wie der dynamischen Contour Tonometrie oder dem in Entwicklung befindlichen, implantierbaren Drucksensor Eyemate® möglich wären (Kanngiesser et al. 2005; Dick und Schultz 2017). In Übereinstimmung zu vorherigen Studien und aufgrund mangelnder Evidenz, bzw. im Falle des Eyemate® nicht gegebener Durchführbarkeit (Gerät nicht ubiquitär verfügbar, ein weiterer operativer Eingriff notwendig), bietet die gewählte intermittierende Messung des IOP mittels Tonopen® derzeit die beste Option zur Durchführung solch einer Studie.

Es gibt zahlreiche weitere mögliche Einflussfaktoren des perioperativen IOP, welche im Rahmen dieser Studie zur Homogenisierung des Patientenkollektivs nicht weiter Beachtung fanden. So wurde der genaue Winkel des Operationstisches, in dem die Patienten gelagert wurden, bewusst nicht erfasst. Auch wurden individuelle Unterschiede in den Lagerungen, wie beispielsweise, ob der Kopf mehr oder weniger stark rekliniert oder inkliniert war, nicht dokumentiert. Ziel der Studie war es nicht, absolute Werte des perioperativen IOP und dessen genauen Abfall nach Eröffnung der Dura mater zu ermitteln. Viel mehr war es die Intention der Studie, den Zusammenhang zwischen IOP und Liquorverlust nachzuweisen, welcher unserer Einschätzung nach grundsätzlich unabhängig von geringen Lagerungsunterschieden bestehen sollte; insbesondere, da im klinischen Alltag auf Unterschiede von wenigen Grad kaum ein Augenmerk gelegt wird bzw. werden kann.

Auch eine genaue Messung der Menge des abgelassenen Liquors wurde nicht vorgenommen, da dies nicht ohne einen weiteren, erheblichen technischen Aufwand möglich gewesen wäre, bzw. ohne den Fortgang der Operation zeitlich zu verzögern oder zu stören.

Da für die Durchführung der Studie das perioperative anästhesiologische Setting nicht geändert wurde, war es nicht möglich, bei allen Patienten eine Messung des paCO_2 durchzuführen, da nicht bei allen Patienten routinemäßig eine invasive Blutdruckmessung (zur Abnahme von Blutgasanalysen) oder eine

Messung des endexpiratorisch CO₂ durchgeführt wurde. Gleiches gilt für die Messung der Analgosedierung, z.B. mittels Bispectral Index Monitoring, da dies gemäß dem anästhesiologischen Standard nicht routinemäßig bei allen Operationen der eingeschlossenen Patienten durchgeführt wurde.

Auch wurden weitere, während der Operationen stattfindende Ereignisse nicht dokumentiert, wie z.B. die Entlastung von intrakraniellen Zysten, das Ausmaß des Tumors, etc. Diese Ereignisse und Faktoren können ebenfalls einen Einfluss auf den IOP besitzen.

Die große Stärke der von uns durchgeführten Studie ist, dass die IOP-Werte unter realen Bedingungen, während tatsächlicher intrakranieller und spinaler Eingriffe, gesammelt wurden und nicht, im Gegensatz zu zahlreichen anderen Studien, an gesunden Probanden. Eine weitere Stärke ist die im Vergleich zu anderen Studien größere Patientenpopulation sowie die Einhaltung des vor Studienbeginn festgelegten perioperativen Studienprotokolls.

5. Zusammenfassung

Der Perioperative Visual Loss (POVL) ist eine mögliche schwerwiegende Folge nach Operationen in Bauchlage. Die Pathogenese ist bis heute nicht vollständig geklärt, jedoch wird ein Zusammenhang mit dem IOP (intraocular pressure) und der Durchblutung des N. opticus vermutet. Der IOP erhöht sich durch intraoperative Bauchlagerungen, des Weiteren haben viele andere Faktoren ebenfalls einen Einfluss auf den IOP. Fragestellung dieser Arbeit ist, ob ein Zusammenhang zwischen dem Verlust des Liquors nach Eröffnung der Dura mater und dem IOP im zeitlichen Verlauf besteht. Wir haben dies in einer prospektiven single-center Beobachtungsstudie evaluiert, in der der IOP im Verlauf von neurochirurgischen Eingriffen am Schädel sowie an der Wirbelsäule, in Bauchlage und Halbseitenlage betrachtet wurde. Hierzu wurde bei Patienten, die am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf operiert wurden, intraoperativ der IOP mit einem Tono-Pen® XL in regelmäßigen Intervallen und zu definierten Zeitpunkten gemessen und u.a. in einer paired Student's T-Test Analyse ausgewertet. Es zeigte sich hierbei ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Verlauf des IOP und dem Verlust des Liquors, der ein Absinken des IOP zeigte, was bis zu 60 Minuten anhalten kann. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem IOP und dem intraoperativen Blutverlust, dem perioperativen Volumenmanagement oder dem Blutdruckverlauf ergab sich nicht. Die vorliegende Studie konnte erstmals einen Zusammenhang zwischen dem Verlust des Liquors während neurochirurgischen Operationen und dem Verlauf des IOP herstellen.

Wir waren nicht nur in der Lage, bestehende Studien zum Verlauf des IOP während Operationen in Bauchlage zu bestätigen, sondern auch durch den Nachweis des Zusammenhanges zwischen Liquordrainage und IOP-Absinken möglicherweise neue Hinweise auf die Pathogenese der POVL zu geben und somit Ansätze zur Prävention der POVL aufzuzeigen. Möglich ist ein Zusammenhang zwischen der Durchblutung des N. opticus und der POVL durch Ischämien des Sehnervs. Der IOP könnte sich auf die Durchblutung des N. opticus durch direkten Druck auf die arterielle Versorgung des N. opticus oder indirekt durch Druck auf das venöse System des Auges und einen Rückstau im Gefäßsystem auswirken.

Es stehen vergleichsweise einfache und sichere Methoden zur Verfügung, um den Liquordruck bzw. den intrakraniellen Druck sowohl temporär als auch für einen längeren Zeitraum zu senken. Somit gibt es möglicherweise Methoden, um einen POVL zu verhindern oder die Inzidenz deutlich zu reduzieren.

5.1 Abstract

Perioperative visual loss (POVL) is a possible major complication after surgeries in prone position. The Pathogenesis is still not completely known today, however a connection between intraocular pressure and the perfusion of the optic nerve is assumed. Turning the patient into prone position, as well as further factors, raise the intraocular pressure (IOP). We hypothesise that there is a connection between drainage of the cerebrospinal fluid (CSF) after opening the dura mater and the IOP during the duration of the surgery. We tested this in a prospective single-centre observational study in which we measured the IOP during cranial and spinal neurosurgical procedures, which were operated in prone and three-quarter prone position. We recruited our patients at the University Medical Center Hamburg-Eppendorf, intraoperative measurements were taken with the Tono-Pen® XL in defined intervals and defined events. Statistical analysis was conducted with paired students t-tests. We could show a significant correlation between the IOP and drainage of CSF, showing a decline in the pressure, which could last up to 60 minutes. We could find no significant correlation between the IOP and the blood pressure, perioperative volume therapy or intraoperative blood loss. We were the first to show a correlation between drainage of CSF and the progression of IOP in neurosurgical procedures.

We were not only able to confirm the existing literature on the progression of IOP during surgery in prone position, we were also able to possibly give new clues to the pathogenesis of POVL and therefore the prevention. Possibly there is a correlation between perfusion of the optic nerve and the POVL, where the perfusion might be restricted by direct pressure on arterial vessels or indirect pressure on venous vessels with a retrograde backlog.

There are simple and save measures to lower the CSF, respective the intracranial pressure. This might give methods to prevent POVL or lower its incidence.

6. Veröffentlichungen

6.1 Veröffentlichung

Czorlich, Patrick; Krätzig, Theresa; Kluge, Nikolas; Skevas, Christos; Knospe, Volker; Spitzer, Martin et al. (2018): Intraocular pressure during neurosurgical procedures in context of the head position and loss of cerebrospinal fluid. In: *Journal of Neurosurgery* (Angenommen zur Publikation, März 19 2018).

6.2 Vorträge

69. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Neurochirurgie, 3. bis 6 Juni 2018, Münster (als Vortrag angenommen):

Intraocular pressure during neurosurgical procedures in context of the head position and loss of cerebrospinal fluid

Patrick Czorlich¹, Nikolas Kluge¹, Christos Skevas², Volker Knospe², KC Mende¹, Manfred Westphal¹, Sven O. Eicker¹

DGNC Jahrestagung, 12. bis 15. Juni 2016, Frankfurt/Main

Intraokulärer Druck bei Wirbelsäuleneingriffen in Bauchlage – Vorläufige Ergebnisse einer prospektiven monozentrischen Studie

Sven O. Eicker¹, Nikolas Kluge, Christos Skevas², Volker Knospe², Manfred Westphal¹, **Patrick Czorlich**¹

Best of Session

10. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Wirbelsäulenchirurgie, 10. bis 12. Dezember 2015, Frankfurt/Main

Intraokulärer Druck bei Wirbelsäuleneingriffen in Bauchlage – Vorläufige Ergebnisse einer prospektiven monozentrischen Studie

Sven O. Eicker¹, Nikolas Kluge¹, Christos Skevas², Volker Knospe², Manfred Westphal¹, Patrick Czorlich¹

Auszeichnung „2. Posterpreis“

DGNC Sektionstagung intrakranieller Druck, Hirndurchblutung und Hydrozephalus, 6. bis 7. November 2015, Giesen

Intraokulärer Druck bei Wirbelsäuleneingriffen in Bauchlage – Vorläufige Ergebnisse einer prospektiven monozentrischen Studie

Patrick Czorlich¹, Nikolas Kluge¹, Christos Skevas², Volker Knospe², Manfred Westphal¹, Sven O. Eicker¹

DGNC Sektionstagung Wirbelsäule, 2. bis 3. Oktober 2015, Berlin:

Intraokularer Druck bei Wirbelsäuleneingriffen in Bauchlage – Vorläufige Ergebnisse einer prospektiven monozentrischen Studie

P. Czorlich¹, N. Kluge¹, T. Krätzig¹, C. Skevas², V. Knospe², M. Westphal¹, **S. O. Eicker¹**

Ausgezeichnet als „bester Vortrag“

¹*Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie*

²*Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf*

7. Eigenanteil

Meine Anteile an der Studie und Doktorarbeit waren wie folgend:

- Design des genutzten intraoperativen Protokolls zur Erfassung der Messwerte
- Intraoperative Messung des überwiegenden Anteils der 64 eingeschlossenen Patienten
- Erstellen der Datentabelle zur statistischen Auswertung
- Erstellen der Statistik
- Erstellen eigener verwendeter Tabellen und Graphen für die Dissertation
- Literaturrecherche für die Dissertation, anteilsweise für die Vorträge
- Bewertung und Diskussion der erhobenen Daten und der vorhandenen Literatur
- Text der Dissertation
- Erstellen von Abbildungen

8. Literaturverzeichnis

Amm, M; Hedderich, J (2005): Transpalpebrale Tonometrie mit einem digitalen, tragbaren Tonometer in gesunden Augen und nach perforierender Keratoplastik. In: *Der Ophthalmologe: Zeitschrift der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft* 102 (1), S. 70–76. DOI: 10.1007/s00347-004-1082-5.

Andresen, M; Hadi, A; Petersen, L G; Juhler, M (2015): Effect of postural changes on ICP in healthy and ill subjects. In: *Acta neurochirurgica* 157 (1), S. 109–113. DOI: 10.1007/s00701-014-2250-2.

Apfelbaum, J L; Roth, S; Connis, R T; Domino, K B; Lee, L A; Nickinovich, D G et al. (2012): Practice advisory for perioperative visual loss associated with spine surgery. An updated report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Perioperative Visual Loss. In: *Anesthesiology* 116 (2), S. 274–285. DOI: 10.1097/ALN.0b013e31823c104d.

Aschemann, D (2009): OP-Lagerungen für Fachpersonal. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-79317-5>.

Aumüller, G; Wurzinger, L J (2010): Anatomie. 208 Tabellen. 2. überarb. Aufl. Stuttgart: Thieme (Duale Reihe). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1055/b-002-46981>.

Berg, K T; Harrison, A R; Lee, M S (2010): Perioperative visual loss in ocular and nonocular surgery. In: *Clinical Ophthalmology (Auckland, N.Z.)* 4, S. 531–546.

Boron, W F (Hg.) (2009): Medical physiology. A cellular and molecular approach. 2. ed. Oxford: Elsevier Saunders.

Capon, M; van Boven, M; van Pesch, V; Hantson, P (2016): Visual evoked potentials monitoring in a case of transient post-operative visual loss. In: *Indian journal of anaesthesia* 60 (8), S. 590–593. DOI: 10.4103/0019-5049.187800.

Cardoso, M J; Rosner, M K (2010): Does the Wilson frame assist with optimizing surgical exposure for minimally invasive lumbar fusions? In: *Neurosurgical focus* 28 (5), E20. DOI: 10.3171/2010.1.FOCUS10325.

Carey, T W; Shaw, K A; Weber, M L; DeVine, J G (2014): Effect of the degree of reverse Trendelenburg position on intraocular pressure during prone spine

surgery: a randomized controlled trial. In: *The spine journal : official journal of the North American Spine Society* 14 (9), S. 2118–2126. DOI: 10.1016/j.spinee.2013.12.025.

Chan, J W (2017): Current concepts and strategies in the diagnosis and management of idiopathic intracranial hypertension in adults. In: *Journal of neurology* 264 (8), S. 1622–1633. DOI: 10.1007/s00415-017-8401-7.

Cheng, M A; Todorov, A; Tempelhoff, R; McHugh, T; Crowder, C M; Laurysen, C (2001): The effect of prone positioning on intraocular pressure in anesthetized patients. In: *Anesthesiology* 95 (6), S. 1351–1355.

Deniz, M N; Erakgun, A; Serto, N; Guven Yilmaz, S; Ates, H; Erhan, E (2013): The effect of head rotation on intraocular pressure in prone position: a randomized trial. In: *Brazilian journal of anesthesiology (Elsevier)* 63 (2), S. 209–212. DOI: 10.1016/S0034-7094(13)70217-4.

Dereine, T; van Pesch, V; van Boven, M; Hantson, P (2013): Transient perioperative visual loss after an elective neurosurgical procedure. In: *Acta anaesthesiologica Belgica* 64 (3), S. 109–113.

Dick, H B; Schultz, T (2017): Interessantes aus der Kataraktchirurgie. In: *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde* 234 (8), S. 979–985. DOI: 10.1055/s-0042-121423.

Dirnberger, G (2018): Pschyrembel online. Liquordruck. Hg. v. medizinische Fachredaktion Pschyrembel. Online verfügbar unter <https://www.pschyrembel.de/liquordruck/K0D75/doc/>, zuletzt aktualisiert am 20.06.2018, zuletzt geprüft am 16.02.2018.

Emery, S E; Daffner, S D; France, J C; Ellison, M; Grose, B W; Hobbs, G R; Clovis, N B (2015): Effect of Head Position on Intraocular Pressure During Lumbar Spine Fusion. A Randomized, Prospective Study. In: *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 97 (22), S. 1817–1823. DOI: 10.2106/JBJS.O.00091.

Grant, G P; Szirth, B C; Bennett, H L; Huang, S S; Thaker, R S; Heary, R F; Turbin, R E (2010): Effects of prone and reverse trendelenburg positioning on ocular parameters. In: *Anesthesiology* 112 (1), S. 57–65. DOI: 10.1097/ALN.0b013e3181c294e1.

Grehn, F (2012): Augenheilkunde. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Heck, M; Fresenius, M; Busch, C (Hg.) (2017): Repetitorium Anästhesiologie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Henne-Bruns, D; Kremer, B; Dürig, M; Barth, H (Hg.) (2008): Chirurgie. 311 Tabellen. 3., vollst. überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Thieme (Duale Reihe).

Hessemer, V; Rössler, R; Jacobi, K W (1988): Comparison of Intraocular Pressure Measurements With the Oculab Tono-Pen vs Manometry in Humans Shortly After Death. In: *American journal of ophthalmology* 105 (6), S. 678–682. DOI: 10.1016/0002-9394(88)90064-5.

Hoffmann-La Roche Aktiengesellschaft (2003): Roche-Lexikon Medizin. 5., neu bearb. und erw. Aufl. München: Urban & Fischer. Online verfügbar unter <http://els.pdn.ipublishcentral.com/reader/roche-lexikon-medizin3965>.

Hollenhorst, R W; Svien, H J; Benoit, C F (1954): Unilateral blindness occurring during anesthesia for neurosurgical operations. In: *A.M.A. archives of ophthalmology* 52 (6), S. 819–830.

Hoshikawa, Y; Tsutsumi, N; Ohkoshi, K; Serizawa, S; Hamada, M; Inagaki, K et al. (2014): The effect of steep Trendelenburg positioning on intraocular pressure and visual function during robotic-assisted radical prostatectomy. In: *The British journal of ophthalmology* 98 (3), S. 305–308. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2013-303536.

Hunt, K; Bajekal, R; Calder, I; Meacher, R; Eliahoo, J; Acheson, J F (2004): Changes in Intraocular Pressure in Anesthetized Prone Patients. In: *Journal of Neurosurgical Anesthesiology* 16 (4), S. 287–290. DOI: 10.1097/00008506-200410000-00005.

Irani, D N (2009): Cerebrospinal fluid in clinical practice. Philadelphia, PA: Saunders/Elsevier.

Jonas, J B; Wang, N; Wang, Y X; You, Q S; Xie, X; Yang, D; Xu, L (2014): Body height, estimated cerebrospinal fluid pressure and open-angle glaucoma. The Beijing Eye Study 2011. In: *PloS one* 9 (1), e86678. DOI: 10.1371/journal.pone.0086678.

Jonas, J B; Wang, N; Yang, D; Ritch, R; Panda-Jonas, S (2015): Facts and myths of cerebrospinal fluid pressure for the physiology of the eye. In: *Progress in retinal and eye research* 46, S. 67–83. DOI: 10.1016/j.preteyeres.2015.01.002.

Jorge, J; Ramoa-Marques, R; Lourenco, A; Silva, S; Nascimento, S; Queiros, A; Gonzalez-Meijome, J M (2010): IOP variations in the sitting and supine positions. In: *Journal of glaucoma* 19 (9), S. 609–612. DOI: 10.1097/IJG.0b013e3181ca7ca5.

Kanngiesser, H E; Kniestedt, C; Robert, Y C A (2005): Dynamic Contour Tonometry. In: *Journal of glaucoma* 14 (5), S. 344–350. DOI: 10.1097/01.ijg.0000176936.16015.4e.

Kao, S F; Lichter, P R; Bergstrom, T J; Rowe, S; Musch, D C (1987): Clinical comparison of the Oculab Tono-Pen to the Goldmann applanation tonometer. In: *Ophthalmology* 94 (12), S. 1541–1544.

Kelly, D J; Farrell, S M (2017): Physiology and Role of Intraocular Pressure in Contemporary Anesthesia. In: *Anesthesia and analgesia*. DOI: 10.1213/ANE.0000000000002544.

Kendrick, H (2012): Post-Operative Vision Loss (POVL) following Surgical Procedures. In: *J Anesthe Clinic Res* 03 (01). DOI: 10.4172/2155-6148.1000184.

Kla, K M; Lee, L A (2016): Perioperative visual loss. In: *Best practice & research. Clinical anaesthesiology* 30 (1), S. 69–77. DOI: 10.1016/j.bpa.2015.11.004.

Klinke, R; Pape, H-C; Kurtz, A; Silbernagl, S; Baumann, R; Brenner, B et al. (Hg.) (2010): Physiologie. 6., vollständig überarb. Aufl. Stuttgart: Thieme. Online verfügbar unter <http://ebooks.thieme.de/9783137960065>.

Kobayashi, S; Sugita, K; Tanaka, Y; Kyoshima, K (1983): Infratentorial approach to the pineal region in the prone position. Concorde position. Technical note. In: *Journal of Neurosurgery* 58 (1), S. 141–143. DOI: 10.3171/jns.1983.58.1.0141.

Kotelis, D; Bianchini, C; Kovacs, B; Müller, T; Bischoff, M; Böckler, D (2015): Early experience with automatic pressure-controlled cerebrospinal fluid drainage during thoracic endovascular aortic repair. In: *Journal of endovascular therapy : an official journal of the International Society of Endovascular Specialists* 22 (3), S. 368–372. DOI: 10.1177/1526602815579904.

Lee, L A (2013): Perioperative visual loss and anesthetic management. In: *Current opinion in anaesthesiology* 26 (3), S. 375–381. DOI: 10.1097/ACO.0b013e328360dcd9.

Lee, L A; Newman, N J; Wagner, T A; Dettori, J R; Dettori, N J (2010): Postoperative ischemic optic neuropathy. In: *Spine* 35 (9 Suppl), S105-16. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181d8344d.

Lee, L A; Roth, S; Posner, K L; Cheney, F W; Caplan, R A; Newman, N J; Domino, K B (2006): The American Society of Anesthesiologists Postoperative Visual Loss Registry: analysis of 93 spine surgery cases with postoperative visual loss. In: *Anesthesiology* 105 (4), 652-9; quiz 867-8.

Li, Z; Yang, Y; Lu, Y; Liu, D; Xu, E; Jia, J et al. (2012): Intraocular pressure vs intracranial pressure in disease conditions: a prospective cohort study (Beijing iCOP study). In: *BMC neurology* 12, S. 66. DOI: 10.1186/1471-2377-12-66.

Liang, Y; Downs, J C; Fortune, B; Cull, G; Cioffi, G A; Wang, L (2009): Impact of systemic blood pressure on the relationship between intraocular pressure and blood flow in the optic nerve head of nonhuman primates. In: *Investigative ophthalmology & visual science* 50 (5), S. 2154–2160. DOI: 10.1167/iovs.08-2882.

Lirng, J-F; Fuh, J-L; Wu, Z-A; Lu, S-R; Wang, S-J (2003): Diameter of the superior ophthalmic vein in relation to intracranial pressure. In: *AJNR. American journal of neuroradiology* 24 (4), S. 700–703.

Maramattom, B V; Sundar, S; Thomas, D; Panikar, D (2016): Postoperative posterior ischemic optic neuropathy (PION) following right pterional meningioma surgery. In: *Annals of Indian Academy of Neurology* 19 (3), S. 374–376. DOI: 10.4103/0972-2327.186826.

Molloy, B L; Cong, X; Watson, C (2016): Preventive Dorzolamide-Timolol for Rising Intraocular Pressure During Steep Trendelenburg Position Surgery. In: *AANA journal* 84 (3), S. 189–196.

Montazeri, K; Dehghan, A; Akbari, S (2015): Increase in intraocular pressure is less with propofol and remifentanil than isoflurane with remifentanil during cataract surgery: A randomized controlled trial. In: *Advanced biomedical research* 4, S. 55. DOI: 10.4103/2277-9175.151583.

- Murgatroyd, H; Bembridge, J (2008): Intraocular pressure. In: *Continuing Education in Anaesthesia, Critical Care & Pain* 8 (3), S. 100–103. DOI: 10.1093/bjaceaccp/mkn015.
- Newman, N J (2008): Perioperative visual loss after nonocular surgeries. In: *American journal of ophthalmology* 145 (4), S. 604–610. DOI: 10.1016/j.ajo.2007.09.016.
- Nowicki, R W A (2014): Anaesthesia for major spinal surgery. In: *Continuing Education in Anaesthesia, Critical Care & Pain* 14 (4), S. 147–152. DOI: 10.1093/bjaceaccp/mkt041.
- Ozcan, M S; Praetel, C; Bhatti, M T; Gravenstein, N; Mahla, M E; Seubert, C N (2004): The effect of body inclination during prone positioning on intraocular pressure in awake volunteers: a comparison of two operating tables. In: *Anesthesia and analgesia* 99 (4), 1152-8, table of contents. DOI: 10.1213/01.ANE.0000130851.37039.50.
- Patil, C G; Lad, E M; Lad, S P; Ho, C; Boakye, M (2008): Visual loss after spine surgery: a population-based study. In: *Spine* 33 (13), S. 1491–1496. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318175d1bf.
- Paulsen, F; Waschke, J (Hg.) (2017): Sobotta - Atlas der Anatomie. Elsevier Urban & Fischer. 24. Auflage. München: Elsevier. Online verfügbar unter <http://shop.elsevier.de/978-3-437-44010-6>.
- Pazos, G A; Leonard, D W; Blice, J; Thompson, D H (1999): Blindness after bilateral neck dissection: case report and review. In: *American journal of otolaryngology* 20 (5), S. 340–345.
- Pillunat, L E; Anderson, D R; Knighton, R W; Joos, K M; Feuer, W J (1997): Autoregulation of human optic nerve head circulation in response to increased intraocular pressure. In: *Experimental eye research* 64 (5), S. 737–744. DOI: 10.1006/exer.1996.0263.
- Prange, H; Bitsch, A (Hg.) (2004): Neurologische Intensivmedizin. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

Reichert Inc. (Hg.) (2017): Tono-Pen® XL Tonometer User Guide. Online verfügbar unter <http://doclibrary.com/MSC167/PRM/68E3441-Rev-J-XL-UG5018.pdf>, zuletzt geprüft am 10.07.2018.

Reitsamer, H A; Kiel, J W (2002): A rabbit model to study orbital venous pressure, intraocular pressure, and ocular hemodynamics simultaneously. In: *Investigative ophthalmology & visual science* 43 (12), S. 3728–3734.

Reitsamer, H A; Kiel, J W; Harrison, J M; Ransom, N L; McKinnon, S J (2004): Tonopen measurement of intraocular pressure in mice. In: *Experimental eye research* 78 (4), S. 799–804. DOI: 10.1016/j.exer.2003.11.018.

Riva, C E; Hero, M; Titze, P; Petrig, B (1997): Autoregulation of human optic nerve head blood flow in response to acute changes in ocular perfusion pressure. In: *Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol* 235 (10), S. 618–626. DOI: 10.1007/BF00946937.

Robba, C; Bragazzi, N L; Bertuccio, A; Cardim, D; Donnelly, J; Sekhon, M et al. (2016): Effects of Prone Position and Positive End-Expiratory Pressure on Noninvasive Estimators of ICP: A Pilot Study. In: *Journal of Neurosurgical Anesthesiology*. DOI: 10.1097/ANA.0000000000000295.

Rogers, G; Oosthuysen, T (2000): A comparison of the indirect estimate of mean arterial pressure calculated by the conventional equation and calculated to compensate for a change in heart rate. In: *International journal of sports medicine* 21 (2), S. 90–95. DOI: 10.1055/s-2000-8865.

Roth, C; Ferbert, A; Deinsberger, W; Kleffmann, J; Kastner, S; Godau, J et al. (2014): Does prone positioning increase intracranial pressure? A retrospective analysis of patients with acute brain injury and acute respiratory failure. In: *Neurocritical care* 21 (2), S. 186–191. DOI: 10.1007/s12028-014-0004-x.

Rozet, I; Vavilala, M S (2007): Risks and benefits of patient positioning during neurosurgical care. In: *Anesthesiology clinics* 25 (3), 631-53, x. DOI: 10.1016/j.anclin.2007.05.009.

Rüfer, F (2016): Erratum: Aktueller Stellenwert der Druckmessung: Messverfahren und Fehlerquellen. In: *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde* 233 (7), S. 855. DOI: 10.1055/s-0036-1585124.

Sachsenweger, M; Klauß, V (2003): Augenheilkunde. [Online-Ausg.], 2., vollst. überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Thieme (Duale Reihe). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1055/b-002-10325>.

Sagri, D; Lösche, C-C; Bestges, B-B; Krummenauer, F (2015): Wirklich gute Übereinstimmung zwischen Rebound- und Goldmann- Applanationstonometrie? Ergebnisse eines Systematic Review zum Zeitraum 01/2005 bis 08/2014. In: *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde* 232 (7), S. 850–857. DOI: 10.1055/s-0035-1545995.

Schlote, T; Landenberger, H (2005): Augeninnendruckmessung mit dem transpalpebralen Tonometer TGDc-01"PRA" im Vergleich zur Applanationstonometrie nach Goldmann bei Glaukompatienten. In: *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde* 222 (2), S. 123–131. DOI: 10.1055/s-2005-857881.

Sheeran, P; Bland, J M; Hall, G M (2000): Intraocular pressure changes and alterations in intracranial pressure. In: *Lancet (London, England)* 355 (9207), S. 899.

Shen, Y; Drum, M; Roth, S (2009): The prevalence of perioperative visual loss in the United States: a 10-year study from 1996 to 2005 of spinal, orthopedic, cardiac, and general surgery. In: *Anesthesia and analgesia* 109 (5), S. 1534–1545. DOI: 10.1213/ane.0b013e3181b0500b.

Shmygalev, S; Heller, A R (2011): Erblindung nach nichtophthalmologischen Eingriffen. In: *Der Anaesthesist* 60 (7), S. 683–694. DOI: 10.1007/s00101-011-1908-x.

Taghizadeh, H (2017): Pocket Guide Anästhesie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Trepel, M (2017): Neuroanatomie. Struktur und Funktion. 7. Auflage. München: Elsevier.

Walick, K S; Kragh, J E, JR; Ward, J A; Crawford, J J (2007): Changes in intraocular pressure due to surgical positioning: studying potential risk for postoperative vision loss. In: *Spine* 32 (23), S. 2591–2595. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318158cc23.

Weiss, K L; Wax, M K; Haydon, R C 3; Kaufman, H H; Hurst, M K (1993): Intracranial pressure changes during bilateral radical neck dissections. In: *Head & neck* 15 (6), S. 546–552.

Woitalla, D (2012): Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie. Diagnostische Liquorpunktion. In: *Deutsche Gesellschaft für Neurologie*, zuletzt geprüft am 21.12.2016.

Yamada, M H; Takazawa, T; Iriuchijima, N; Horiuchi, T; Saito, S (2015): Changes in intraocular pressure during surgery in the lateral decubitus position under sevoflurane and propofol anesthesia. In: *Journal of clinical monitoring and computing*. DOI: 10.1007/s10877-015-9787-3.

Yoo, Y-C; Kim, N Y; Shin, S; Choi, Y D; Hong, J H; Kim, C Y et al. (2015): The Intraocular Pressure under Deep versus Moderate Neuromuscular Blockade during Low-Pressure Robot Assisted Laparoscopic Radical Prostatectomy in a Randomized Trial. In: *PloS one* 10 (8), S. e0135412. DOI: 10.1371/journal.pone.0135412.

Zihl, J (2012): Zerebrale Blindheit und Gesichtsfeldausfälle. In: Hans-Otto Karnath und Peter Thier (Hg.): *Kognitive Neurowissenschaften*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch), S. 111–117.

Zuche, H; Morinello, E; Viestenz, A; Fiorentzis, M; Seitz, B; Volk, T (2015): Sinken des Augeninnendruckes und der okularen Pulsamplitude während der Intubationsnarkose. In: *Der Ophthalmologe: Zeitschrift der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft* 112 (9), S. 764–769. DOI: 10.1007/s00347-014-3180-3.

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 – 5: Paulsen, F; Waschke, J (Hg.) (2017): Sobotta - Atlas der Anatomie. Kopf, Hals und Neuroanatomie. 24. Auflage. München: Elsevier GmbH Urban & Fischer (Atlas der Anatomie des Menschen, / Sobotta; Band 3). Online verfügbar unter <http://els.pdn.ipublishcentral.com/reader/sobotta-atlas-der-anatomie-band-3-aufl-24>. Mit freundlicher Genehmigung der Elsevier GmbH.

Abbildungen 6 – 22: Vom Autor der Dissertation

Abbildungen 23 – 24: Czorlich, P; Krätzig, T; Kluge, N; Skevas, C; Knospe, V; Spitzer, M et al. (2018): Intraocular pressure during neurosurgical procedures in context of the head position and loss of cerebrospinal fluid. In: Journal of Neurosurgery (Angenommen zur Publikation, März 19 2018). Modifiziert. Mit freundlicher Genehmigung der Journal of Neurosurgery Publishing Group.

Abbildungen 25 – 27: Vom Autor der Dissertation

Abbildungen 28: Czorlich, P; Krätzig, T; Kluge, N; Skevas, C; Knospe, V; Spitzer, M et al. (2018): Intraocular pressure during neurosurgical procedures in context of the head position and loss of cerebrospinal fluid. In: Journal of Neurosurgery (Angenommen zur Publikation, März 19 2018). Modifiziert. Mit freundlicher Genehmigung der Journal of Neurosurgery Publishing Group.

Abbildungen 29 – 30: Vom Autor der Dissertation

10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Pathologien	38
Tabelle 2 - Lokalisationen	39
Tabelle 3 - Blutdruckwerte.....	49
Tabelle 4 - Pathologien des Auges.....	52

11. Abkürzungsverzeichnis

a.p.	Anterior-Posterior
AION	Anteriorere ischämische Optikusneuropathie
BCVA	Bestmögliche korrigierte Sehschärfe (best-corrected visual acuity)
CSF	Liquor (cerebrospinal fluid)
CSFP	Liquordruck (cerebrospinal fluid pressure)
ICP	Intrakranieller Druck (intracranial pressure)
ION	Ischämische Optikusneuropathie
IOP	Augeninnendruck (intraocular pressure)
KG	Körpergewicht
PION	Posteriore ischämische Optikusneuropathie
POVL	Perioperativer Visusverlust (perioperative visual loss)

12. Anhang

12.1 Anlage 1: Untersuchungsbogen Augenheilkunde

Untersuchungsbogen Augenheilkunde				
Patientencode	<input type="text"/>		Untersuchungsdatum	<input type="text"/>
Alter	<input type="text"/>		Geschlecht	<input type="text"/>
Diagnose	<input type="text"/>		OP-Lage	<input type="text"/>
IOP	<input type="text"/>		Lokalanaesthesie	<input type="text"/>
Medikamentöse Mydriasis:		Ja: <input type="text"/>	Nein: <input type="text"/>	
Pupillenstatus (Anisokorie)	<input type="text"/>		Lichtreaktion	Rechts: <input type="text"/> Links: <input type="text"/>
Befund Hornhaut: (Glatt, klar, spiegelnd)	<input type="text"/>			
Befund Vorderkammer: (Inspektorischer Befund, Linse, tief, leer; Konjunktiven)	<input type="text"/>			
Sehtest:	<input type="text"/>			
Gesichtsfeld:	<input type="text"/>			
Heidelberger Retina Tomograph:	<input type="text"/>			
Visuell evozierte Potenziale:	<input type="text"/>			
Befund Fundus: (Papille: Vitalität, Randscharf, Niveau Maculabefund-Blutung Ja/Nein?)	<input type="text"/>			
Netzhaut-Gefäße/Retinagefäße:	<input type="text"/>			
Datum				Untersucher

12.2 Anlage 2: Untersuchungsbogen Intraoperativ

Untersuchungsbogen Intraoperativ					
Patientencode	<input type="text"/>		Datum	<input type="text"/>	
Alter	<input type="text"/>		Geschlecht	<input type="text"/>	
Diagnose	<input type="text"/>		OP-Lage	<input type="text"/>	
	Liquor ex	OP-Zeitpunkt	Uhrzeit	IOP	RR
		Vor Lagerung			
		Nach Lagerung			
		30 Minuten			
		60 Minuten			
		90 Minuten			
		120 Minuten			
		150 Minuten			
		180 Minuten			
		210 Minuten			
		240 Minuten			
		270 Minuten			
		300 Minuten			
		330 Minuten			
		360 Minuten			
		390 Minuten			
		420 Minuten			
		450 Minuten			
		Liquor ex			
		OP-Ende vor Umlagerung			
		OP-Ende nach Umlagerung			
Blutverlust Gesamt	<input type="text"/>				
Volumengabe Gesamt	<input type="text"/>				
Datum				Untersucher	

13. Danksagung

Ich möchte mich bedanken bei meinem Doktorvater, PD Dr. med. Sven Oliver Eicker und bei meinem Betreuer, PD Dr. med. Patrick Czorlich, von der Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf. Ebenso bei Dr. med. Theresa Krätzig und Dr. med. Klaus Christian Mende von der Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie, ohne die die Durchführung der Studie und der statistischen Auswertung wesentlich länger gedauert hätte.

Ebenfalls danken möchte ich dem Direktor der Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf, Professor Dr. med. Manfred Westphal.

Ein weiterer Dank gilt auch PD Dr. med. Christos Skevas, Dr. med. Volker Knospe und Prof. Dr. med. Martin Spitzer der Klinik für Augenheilkunde des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf, sowie PD Dr. med. Marc Dreimann von der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf.

Ein Dank gilt auch Eik Vettorazzi vom Institut für Medizinische Biometrie und Epidemiologie des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf.

14. Lebenslauf

Name: Nikolas Kluge

Geburtsdatum/Ort: 14.09.1993

Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulbildung und Praktika:

2000 - 2004: Ostenberg Grundschule Dortmund

2004 - 2010: Leibniz-Gymnasium Dortmund, bilingualer Zweig

2010: Freiwilliges Praktikum im St. Johannes Hospital Dortmund

2010 - 2012: Gymnasium Grootmoor (Hamburg), Schulabschluss mit Allgemeiner Hochschulreife

Seit WiSe 2012/13: Studium der Humanmedizin an der Universität Hamburg

2013: 3-monatiges Pflegepraktikum

2014: Ablegen der Prüfung Normalfunktionen

2014: Famulatur „Ambulante Patientenversorgung“

Seit Oktober 2014: Nebenberufliche Tätigkeit als OP-Assistenz

2015: Erlangen der Äquivalenz zum 1. Staatsexamen
Famulatur in der Klinik für Neurochirurgie am UKE
Famulatur in der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie – Wirbelsäulenchirurgie des Amalie Sieveking-Krankenhauses

2016: Famulatur beim Hausarzt

2017: Studienarbeit „Transcranielle Doppleruntersuchung – Nutzen und Wertigkeit in der modernen Medizin“

Oktober 2017: Bestehen des 2. Staatsexamens Humanmedizin

15. Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift: