

Aus dem  
Department für Neurochirurgie und Neurotechnologie  
Universitätsklinik für Neurochirurgie Tübingen

**Der postoperative Pneumocephalus bei der  
retrosigmoidalen Resektion von  
Vestibularisschwannomen in halbsitzender Lagerung**

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität  
zu Tübingen**

**vorgelegt von**

**Leuze, Felix Johannes**

**2022**

Dekan: Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Professor Dr. M. Tatagiba

2. Berichterstatter: Professor Dr. B. Drexler

Tag der Disputation: 21.03.2022

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	VI
1 Einleitung.....	1
1.1. Historie.....	1
1.2. Epidemiologie .....	2
1.3. Anatomie.....	3
1.4. Symptomatik .....	4
1.5. Diagnostik.....	5
1.6. Therapieoptionen.....	9
1.6.1. Wait-and-scan.....	9
1.6.2. Strahlentherapie .....	10
1.6.3. Operation.....	11
1.6.3.1. Lagerung.....	13
1.6.3.2. Operative Zugangswege.....	15
1.6.4. Komplikationen der halbsitzenden Lagerung bei der chirurgischen Resektion des VS .....	18
1.6.5. Weitere Komplikationen der chirurgischen Resektion über den retrosigmoidalen Zugang .....	20
1.7. Fragestellung und Zielsetzung.....	22

2	Material und Methoden .....	24
2.1.	Untersuchungszeitraum und Patientenkollektiv .....	24
2.2.	Datenerhebung .....	24
2.3.	Bestimmung der intrakraniellen Luft .....	26
2.4.	Verwendete Scores .....	27
2.4.1.	Klassifizierung der Tumorgröße .....	27
2.4.2.	Klassifizierung der Facialispause .....	28
2.5.	Statistische Methoden .....	29
3	Ergebnisse .....	31
3.1.	Eigenschaften des Patientenkollektivs .....	31
3.1.1.	Alter und Geschlecht .....	31
3.1.2.	Verteilung der Tumorgrößen .....	31
3.1.3.	Patienten, mit einer bekannten Neurofibromatose II .....	32
3.2.	Operationsbezogene Daten .....	32
3.2.1.	Lagerung .....	32
3.2.2.	Operationsdauer .....	33
3.3.	Komplikationen .....	34
3.3.1.	Pneumozephalus .....	35
3.3.1.1.	Verteilung der intrakraniellen Luft .....	35
3.3.1.2.	Prädiktoren der intrakraniellen Luft .....	36

3.3.1.3.	Spannungspneumocephalus .....	38
3.3.2.	Facialisparese.....	40
3.3.3.	Weitere Komplikationen.....	42
3.4.	Stationäre Aufenthaltsdauer .....	43
3.4.1.	Aufenthalt auf der Intensivstation.....	43
3.4.2.	Hospitationsdauer.....	44
3.5.	Zusammenhang zwischen der Dauer des stationären Aufenthaltes und verschiedener Komplikationen .....	46
4	Diskussion .....	48
4.1.	Diskussion des Patientenkollektivs .....	48
4.2.	Diskussion der operationsbezogenen Daten .....	49
4.3.	Der Pneumocephalus als Komplikation der chirurgischen VS-Therapie ....	49
4.4.	Weitere Komplikationen bei der chirurgischen Therapie des VS .....	55
5	Zusammenfassung .....	59
6	Literaturverzeichnis.....	61
7	Erklärung zum Eigenanteil.....	74
8	Danksagung.....	75
9	Veröffentlichungen.....	76

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Positionierung in Rückenlagerung mit Fixierung des Kopfes in einer Mayfield Klemme .....	14
Abbildung 2 Halbsitzende Lagerung mit Fixierung des Kopfes in einer Mayfield Klemme .....	15
Abbildung 3 Bildschirmaufnahme einer Matlab-Programmierung zur Bestimmung der intrakraniellen Luft .....	27
Abbildung 4 Verteilung der Tumorgößen .....	31
Abbildung 5 Operationslagerung in Abhängigkeit der Tumorgöße nach der Hannover Klassifikation .....	33
Abbildung 6 Verteilung der intrakraniellen Luft in ml im postoperativen CT .....	36
Abbildung 7 Boxplot zum Verhältnis der intrakraniellen Luft zur Operationslagerung .....	38
Abbildung 8 Boxplot zum Vergleich der intrakraniellen Luft in ml bei Patienten mit und ohne Luftaustausch .....	39
Abbildung 9 Grad der Facialisparesie nach HB im Verlauf .....	41
Abbildung 10 Grad der Facialisparesie nach House-Brackmann 15 Monaten postoperativ in Abhängigkeit der präoperativen Tumorgöße .....	42
Abbildung 11 Balkendiagramm zur Verteilung der postoperativen Nächte auf der Intensivstation .....	44
Abbildung 12 Anzahl der Patienten in Bezug auf die postoperative Klinikaufenthaltsdauer nach Vestibularisschwannom-Resektion .....	45
Abbildung 13 Boxplot zur Auswirkung der Komplikationen auf die postoperative Hospitationsdauer in Nächten .....	47

Abbildung 14 Balkendiagramm zur Auswirkung der Komplikationen auf die durchschnittliche Aufenthaltsdauer auf Intensivstation in Nächten..... 47

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Erhobene Patientendaten .....	25
Tabelle 2 Hannover-Klassifikation der Tumorausdehnung (Samii and Matthies, 1997b) .....	28
Tabelle 3 Einteilung der Facialisfunktion nach House und Brackman (J. W. House et al., 1985) .....	29
Tabelle 4 Anzahl (n) und relative Häufigkeit in % der postoperativen Komplikationen .....	35
Tabelle 5 Multivariate lineare Regression der intrakraniellen Luft .....	37
Tabelle 6 Anzahl und Prozent der Therapie "Luftaustausch" in Abhängigkeit der postoperativen intrakraniellen Luft.....	39
Tabelle 7 Übersicht der Inzidenz des Spannungspneumocephalus in der Literatur .....	54
Tabelle 8 Häufigkeiten von Komplikationen in % bei der chirurgischen Therapie des VS über den retrosigmoidalen Zugang .....	58



# 1 Einleitung

Das Vestibularisschwannom (VS) ist ein benigner Tumor, der vom achten Hirnnerven (Nervus vestibulocochlearis) ausgeht. In der klinischen Sprache ist häufig auch vom Akustikusneurinom anstatt dem VS die Rede. Allerdings geht der Tumor von den Hüllen des Gleichgewichtsnerve (Nervus vestibularis) aus, so dass der Hörnerv (N. acusticus, beziehungsweise N. cochlearis) nur durch die Kompression des Tumors in Mitleidenschaft gezogen wird (Kaschke, 2017; Rosahl and Hamm, 2011). Im Folgenden beschränken wir uns daher auf die Bezeichnung „VS“.

## 1.1. Historie

Im Jahr 1894 wurde das erste Mal über eine erfolgreiche Operation an einem VS berichtet. Sir Charles Balance (1856–1936) führte diese durch eine Fingerexstirpation nach subokzipitalem Zugang durch. Jedoch ist es unklar, ob es sich tatsächlich um ein VS oder ein Meningeom handelte (Ramsden, 1995; Stone, 1999).

Zum Anfang des 20. Jahrhunderts lag bei der chirurgischen Therapie des VS die Mortalitätsrate immer noch zwischen 68 und 86 % und die Operation ging oft mit Komplikationen einher. Es wurden jedoch auf Grund der schlechteren diagnostischen Möglichkeiten im Vergleich zu heute meist nur sehr große Tumore mit stark beeinträchtigender Symptomatik operiert (Machinis et al., 2005).

Erst im Jahr 1917 konnte Harvey Cushing die Letalität der Operation deutlich senken, indem er eine intrakapsuläre Resektion durchführte (Cushing, 1917; Machinis et al., 2005). Durch die Methode der alleinigen intrakapsulären Dekompression schaffte es Walter E. Dandy die Operationsletalität weiter zu senken (Dandy, 1925). Die Funktion hatte zu diesem Zeitpunkt noch keine so große Bedeutung, so dass es regelmäßig zu Hirnnervenausfällen postoperativ kam. Mit der Hilfe des Operationsmikroskops (OPMI-1, Littmann, Firma Zeiss)

erreichte William F. House 1961 erstmals über einen subtemporalen Zugang die mikrochirurgische Resektion eines VS. Dies ermöglichte auch eine funktionserhaltende Operation der Hirnnerven (W. F. House, 1961). Ein paar Jahre später (1969) ermöglichten Lars Leksell und Bjorn Meyerson erstmals eine stereotaktische Strahlentherapie des VS (D. G. Leksell, 1987; L. Leksell, 1983).

Mit der Verbreitung der Magnetresonanztomografie (MRT) in den achtziger Jahren kam es neben einer verbesserten Diagnostik auch zu einer neuen Behandlungsoption, der sogenannten „wait-and-scan“ Option. Dabei wird der Tumor und sein Wachstumsverhalten durch eine engmaschige bildgebende und audiometrische Diagnostik kontrolliert (Machinis et al., 2005; Rosahl and Hamm, 2011).

Heutzutage konnte durch die Einführung modernerer Verfahren in der Mikrochirurgie, Anästhesie und Antiseptik die Mortalität bei der retrosigmoidalen Therapie des VS auf unter 0,3 % gesenkt und die Komplikationsrate stark verringert werden (Ansari et al., 2012; Sade et al., 2006; Samii et al., 2006; Sughrue et al., 2011).

## **1.2. Epidemiologie**

Das VS macht 6-8 % aller intrakraniellen Tumore aus, wobei es sich bei Tumoren im Kleinhirnbrückenwinkel (KHBW) zu 80-90 % um VS handelt (Haid, 1998; Hassepass et al., 2012; Rosahl et al., 2017).

Es wird über eine Inzidenz zwischen 0,2 und 1,7 pro 100.000 Einwohner pro Jahr berichtet (Lin et al., 2005; Stangerup et al., 2006) . Bei ca. 95 % der Patienten treten die Tumore einseitig auf (Neff et al., 2006; Welling, 1998). Zu einem beidseitigen Auftreten kommt es meist bei Patienten im Rahmen einer Neurofibromatose Typ II (NFII) (Mautner et al., 1996). Es sind um die 5 % aller Patienten mit einem VS an der NFII erkrankt (D. G. R. Evans et al., 2005). Bei dieser Erbkrankheit kommt es meist zum Wachstum weiterer Tumore, wie Meningeome und Gliome (Kluwe and Mautner, 2009).

Meistens werden die Tumore im Alter zwischen 30 und 70 Jahren symptomatisch, mit einem verstärkten Auftreten zwischen dem 40. und 60. Lebensjahr (Kasantikul et al., 1980). NF II Patienten erkranken früher mit einem Durchschnittsalter von 18 bis 24 Jahren (Evans et al., 1992).

Kasantikul und Brown berichteten über ein vermehrtes Auftreten bei Frauen, wohingegen andere Studien keinen Unterschied zwischen den Geschlechtern feststellen konnten (Kasantikul and Brown, 1981; Matthies and Samii, 1997a; Stangerup et al., 2010).

### **1.3. Anatomie**

Für die operative Therapie des VS bedarf es sehr genauer Kenntnisse über die Anatomie des KHBW, der hinteren Schädelgrube sowie des inneren und äußeren Gehörgangs. Das VS kann entlang des kompletten Verlaufs des N. vestibularis auftreten, geht jedoch meist Meatus acusticus internus (Innerer Gehörgang) aus (Ebner and Tatagiba, 2019). Der innere Gehörgang im Os petrosum (Felsenbein) wird durch drei Knochenleisten (Crista transversa, Crista verticalis inferior, Crista verticalis superior) in verschiedene Quadranten unterteilt (Rhoton, 2000a). Der N. vestibularis superior tritt in dem oberen posterioren Bereich ein, wohingegen sich die Eintrittsstelle des N. vestibularis inferior im unteren posterioren Quadranten befindet. Vestibularisschwannome in diesem Bereich des inneren Gehörgangs verursachen aufgrund der engen anatomischen Nähe zum N. facialis im vorderen oberen Quadranten und dem N. cochlearis im vorderen unteren Quadranten bereits bei geringer Tumorgöße klinische Symptome (Berrettini et al., 1996; Moffat et al., 1993; Tatagiba et al., 2014).

Bei einer extrameatalen Lage im Bereich der hinteren Schädelgrube kommt es dahingegen meist erst bei großen Tumorgößen zu Symptomen. Diese Symptome werden dabei durch die Kompression des tumorösen N. vestibularis im gemeinsamen Verlauf mit dem N. facialis und dem N. cochlearis im Bereich des KHBW vom Hirnstamm zum inneren Gehörgang verursacht. Bei starker Größenzunahme kann sich der Tumor bereits bis zur Kleinhirntonsille und der Pons des Hirnstammes ausdehnen (Moffat et al., 1993). Als KHBW wird die

anatomische Region zwischen Kleinhirn, Hirnstamm und Felsenbein bezeichnet und beinhaltet einen mit Liquor gefüllten Raum, die Cisterna pontocerebellaris. Darin verlaufen neben dem N. vestibulocochlearis und dem N. facialis auch der N. trigeminus und die A. cerebelli inferior anterior (AICA), aus welcher meist die Innenohr versorgende A. labyrinthi entspringt. In der benachbarten zisternenartigen Erweiterung des Subarachnoidalraums zwischen Medulla oblongata und der Unterseite des Kleinhirns befindet sich die Cisterna cerebellomedullaris, durch welche unter anderem die Hirnnerven IX-XI verlaufen (Grunwald et al., 2006; Rhoton, 2000b). Diese treten durch das Foramen jugulare nach extrakraniell aus und sind aufgrund der kaudalen Lage eher selten von dem Tumorwachstum betroffen (Lescanne et al., 2008; Moffat et al., 1993).

#### **1.4. Symptomatik**

Die Symptomatik entsteht durch Kompression des VS auf die umgebenden anatomischen Strukturen. Die Symptome des Patienten sind deshalb vor allem von der Größe und der Lokalisation des Tumors abhängig und können in ihrer Ausprägung sehr vielfältig sein (Wright and Bradford, 1995).

In 95 % der Fälle kommt es durch die Kompression des cochleären Teils des N. vestibulocochlearis zu akustischen Symptomen. Diese äußern sich am häufigsten durch eine einseitige Hörminderung. Die Hörminderung kann akut, progredient oder auch schleichend sein. Ebenso ist sie teilweise mit einem oder mehreren Hörstürzen assoziiert (Lee et al., 2011; Matthies and Samii, 1997a; Moffat et al., 1994).

63-75 % der Patienten berichten über ein begleitendes oder dem Hörverlust vorausgehendes Geräusch auf dem betreffenden Ohr, was auch als Tinnitus bezeichnet wird (Kameda et al., 2010; Myrseth et al., 2007; Naros et al., 2017).

Bei 61 % der Patienten kommt es neben den audiologischen Symptomen zu einer vestibulären Symptomatik. Diese kann sich durch Schwindel und Gangunsicherheit äußern. Es kann sowohl zu konstanten als auch zu intermittierenden Störungen kommen. Die Symptomatik kann durch zentrale

Kompensation unterdrückt werden, sodass es bei manchen Patienten zu keinen beziehungsweise nur diskreten Symptomen kommt (Matthies and Samii, 1997a; Selesnick et al., 1993).

Kommt es durch den Tumor zur Kompression weiterer umgebenden Strukturen, kann es zu Symptomen im Versorgungsgebiet des N. facialis (VII. Hirnnerv) und des N. trigeminus (V. Hirnnerv) kommen. Wird der N. trigeminus in seinem Verlauf durch den Tumor gestört, kommt es meist zu Hypästhesien, Parästhesien oder Schmerzen im sensiblen Versorgungsgebiet des Nervens (Matthies and Samii, 1997a; Samii et al., 2006; Schick and Unterberg, 2011).

Meistens kommt es erst im späteren Krankheitsverlauf mit zunehmender Tumorgröße zu einer Funktionsstörung des N. facialis. Diese kann sich durch Gesichtszuckungen mit eventuell begleitenden Paresen und/oder Geschmacksveränderungen äußern (Matthies and Samii, 1997a; Selesnick and Jackler, 1992).

Wenn die Tumore größer als 3 cm sind, kann es durch eine Hirnstammkompression oder einer Beeinträchtigung der Hirnnerven zu Doppelbildern, Schluckstörungen und zu einer ataktischen Gangstörung kommen. Zusätzlich können sich durch einen möglichen Liquoraufstau Zeichen eines erhöhten Hirndrucks wie Übelkeit und Kopfschmerzen entwickeln (Schick and Unterberg, 2011).

### **1.5. Diagnostik**

Vor jeder apparativen Diagnostik sollte eine ausführliche Anamnese mit besonderer Aufmerksamkeit auf den neurootologischen Symptomen erfolgen. Die klinische Untersuchung sollte eine Ohrmikroskopie, Spiegeluntersuchung, einen Stimmgabeltest nach Weber und Rinne sowie eine symptomorientierte Schwindeldiagnostik beinhalten (Hasepass et al., 2012).

Eine festgestellte Symptomkonstellation aus Hörminderung, Tinnitus und Gleichgewichtsstörungen in jeder möglichen Kombination sollte weiter abgeklärt

werden. Es spielen dabei verschiedene Verfahren zur apparativen Diagnostik eine Rolle. Meist kommt es durch das Frühsymptom einer Hörminderung zuerst zu einer audiologischen Testung. Kann durch diese ein VS nicht ausgeschlossen werden, wird anschließend üblicherweise eine Bildgebung durchgeführt. Zur Sicherung der Diagnose ist mittlerweile die MRT der Goldstandard (Moffat *et al.*, 1993; Chandrasekhar, Brackmann and Devgan, Myrseth *et al.*, 2007). Mit einer sehr hohen Sensitivität und Spezifität bei der Diagnosestellung eines VS ist die MRT das Mittel der Wahl (Hofmann and Choné, 2011; Myrseth *et al.*, 2007; Schick and Unterberg, 2011). Es können bereits Tumore mit einer Größe von 2-3 mm durch die MRT detektiert werden (Neary *et al.*, 1996).

Es sollte jeweils eine hochaufgelöste T2-gewichtete Messung und eine T1-gewichtete Messung vor und nach Kontrastmittelgabe erfolgen. Im T1-Bild ist der Tumor hypo- bis isointens zum Hirngewebe und reichert sich nach Gadolinium-Injektion stark mit dem Kontrastmittel an. Die T2-Aufnahme, bei der sich der Tumor leicht hyperintens zeigt, dient vor allem der Darstellung des neurovaskulären Bündels und dessen Lagebeziehung zum Tumor (Hofmann and Choné, 2011; Somers *et al.*, 2001). Für die exakte Tumorausdehnung in Bezug auf den Fundus des inneren Gehörgangs sollte darüber hinaus eine stark T2-gewichtete Frequenz (3D constructive interference in steady-state, CISS)-Sequenz durchgeführt werden, in welcher sich der Tumor als eine hypointense Aussparung zeigt (Hasepass *et al.*, 2012).

Die Computertomographie (CT) nimmt neben der MRT nach wie vor eine wichtige Rolle bezüglich der Operationsplanung ein. Sie liefert Informationen über die knöchernen Verhältnisse vor der Operation. Es werden dadurch auch anatomische Besonderheiten und komplizierende Faktoren, wie ein Hochstand des Bulbus venae jugularis und eine Pneumatisation des Schläfenbeins um den Inneren Gehörgang, dargestellt. Um dem Operateur eine bessere Übersicht zu bieten, wird ihm auch der Verlauf des Sinus sigmoideus und der Emissarvene visualisiert (Hofmann and Choné, 2011; Matthies *et al.*, 1997; Schick and Unterberg, 2011).

Die erste Diagnostik bei Patienten, die mit dem Leitsymptom einer Schwerhörigkeit auffällig werden, ist meistens die Tonaudiometrie und Sprachaudiometrie. Dabei fällt eine Schallempfindungsstörung auf, die vor allem im hohen Frequenzbereich auftritt (Berrettini et al., 1996; Neary et al., 1996). Zusätzlich zeigt sich im Vergleich zur Tonaudiometrie in der Sprachaudiometrie häufig eine schlechte Sprachdiskrimination. Die Sensitivität des Sprachdiskriminationsverlusts ist bei kleinen Tumoren (<1 cm) gering (Hömann and Dornhoffer, 1994). Jedoch ist ein reduziertes Ergebnis im Sprachdiskriminationstest kombiniert mit einem Hochtonverlust ein Warnzeichen für eine Schädigung des N. vestibulocochlearis, wie sie bei einem VS auftritt (Møller, 1994).

Neben dem Ergebnis des Sprachdiskriminationstests und dem Reintonaudiogramm muss für eine vollständige audiologische Beurteilung auch die Messung der Hirnstammpotentiale früher Latenz (FAEP: frühe akustisch evozierte Potentiale, englisch: BAEP: brainstem auditory evoked potentials) ausgewertet werden (Tatagiba et al., 2014; Tatagiba and Acioly de Sousa, 2008b).

Es werden dabei akustische Reize über einen Kopfhörer abgegeben. Die dadurch hervorgerufenen Potenziale (Hirnströme) werden über eine Elektroenzephalografie (EEG) abgeleitet und stellen sich in Form von fünf Wellen dar. Sie spiegeln die Erregungsbildung vom proximalen Teil des Hörnervens bis in den Hirnstamm wider (Vogel and Aroyo, 2018). Dieses Verfahren dient dem Erkennen von Hörstörungen und gibt Rückschluss auf den Ort einer Schädigung. Es kann dadurch zwischen einer cochleären und einer retrocochleären Störung, wie sie beim VS vorliegt, unterschieden werden. Für eine retrocochleäre Störung sprechen verlängerte Interpeaklatenzen zwischen den Wellen I-III und I-V (Maurer, 1982). Eine verlängerte Latenzdifferenz zwischen den beiden Ohren ist ebenfalls typisch (Hassepass et al., 2012).

Es handelt sich bei den FAEP um den sensitivsten audiologischen Test für die Diagnose eines VS (Berrettini et al., 1996; Matthies and Samii, 1997b).

Brackmann und Devgan konnte zeigen, dass bei Tumoren, die größer als 2 cm sind, die Potenziale zu 100 % pathologisch ausfallen, wohingegen es bei Tumoren, kleiner als 1 cm, nur bei 76,5 % zu einem auffälligen Ergebnis kommt. Dies führt dazu, dass bei klinischem Verdacht auf ein VS eine MRT gegenüber den FAEP bevorzugt wird (Chandrasekhar et al., 1995).

Um Defizite der vestibulären Funktion aufzudecken, sollte ein Spontan- und Provokationsnystagmus untersucht werden. Dieser lässt sich durch ein Elektronystagmographie (ENG) nach Reizung des Vestibularorgans aufzeichnen (Kaschke, 2017). Zusätzlich geben die vestibulär evozierten Potentiale (VEMP) Rückschlüsse auf vestibuläre Defizite. Es wird dabei die durch das Vestibularorgan ausgelöste Muskelaktivität gemessen (Kaschke, 2017).

Die Funktion des N. facialis kann sowohl initial als auch im Verlauf klinisch untersucht werden. Unterstützend kann die Aktivität der mimischen Muskulatur durch ein EMG aufgezeichnet werden (Tatagiba et al., 2014). Bei einem Schirmer-Test wird die Tränensekretion mit einem Lackmuspapierstreifen im Seitenvergleich gemessen (Strutz et al., 2014).

Neben dem N. facialis sollte auch die Funktion der weiteren Hirnnerven überprüft werden, vor allem der Hirnnerven V und VII-XI (Hasepass et al., 2012).

Bei an NFII erkrankten Patienten kommt es zu 96 % zu einem VS, meist beidseitig. Es sollte deshalb bei Patienten mit einem VS auf klinische Zeichen der NFII geachtet werden. Bei bestätigtem Verdacht sollten zusätzlich genetische Untersuchungen und bildgebende Verfahren der Wirbelsäule zum Ausschluss intraspinaler Tumore erfolgen (Mautner et al., 1996; Rosahl and Hamm, 2011; Tatagiba et al., 2014). Ebenfalls sollte bei allen Patienten mit Schmerzen oder einer Steifigkeit der Halswirbelsäule präoperativ ein Röntgen der Halswirbelsäule durchgeführt werden, um schwere degenerative Erkrankungen oder eine Instabilität auszuschließen (Tatagiba et al., 2014).

Kam es bereits präoperativ aufgrund der Tumorkompression zu einem Hydrozephalus, sollte vor der Tumorresektion entweder eine endoskopische



Ventrikulostomie oder die Anlage eines Hirnwasser (Liquor)-Shunts erfolgen (Tatagiba et al., 2014).

Differentialdiagnostisch muss vor allem an ein Meningeom gedacht werden, welches nach dem VS der am zweithäufigsten auftretende Tumor im KHBW ist (Brackmann and Bartels, 1980). Weitere mögliche Raumforderungen im KHBW sind Hämangiome, Glomustumore, Lipome, Cholesteatome und Karzinom-Metastasen. Andere Neurinome, vor allem des N. facialis, können ebenfalls im KHBW auftreten (Brackmann and Bartels, 1980; Wilcke, 1973). Die Multiple Sklerose, Morbus Menière und ein akuter Hörsturz können ebenfalls der Symptomatik des VS ähneln. Durch eine Bildgebung ist es jedoch möglich, diese vom VS zu unterscheiden (Haid, 1998).

## **1.6. Therapieoptionen**

Zur Therapie des VS stehen drei verschiedene Therapieoptionen zur Auswahl. Die Entscheidung ist vor allem abhängig von der Tumorgröße, dem Wachstumsverhalten des Tumors, der klinischen Symptomatik sowie dem Zustand und dem Alter des Patienten (Kaschke, 2017).

### **1.6.1. *Wait-and-scan***

Das VS ist ein gutartiger und langsam wachsender Tumor mit einer durchschnittlichen Größenzunahme von 1-2 mm/Jahr. Aufgrund dessen besteht die Möglichkeit eines konservativen Vorgehens (Nikolopoulos et al., 2010). Es werden dabei regelmäßige neuroradiologische Kontrollen mittels MRT und klinische Kontrollen durch eine Audiometrie durchgeführt. Dies ermöglicht die Wachstumsdynamik der VS abzuschätzen (Ebner and Tatagiba, 2019). Insbesondere Patienten mit kleinen, symptomarmen Tumoren oder auch ältere, multimorbide Patienten profitieren von der „wait-and-scan“ Strategie. Bei Patienten, bei denen auf der nicht Tumor betreffenden Seite ein Hördefizit besteht, sollte ebenfalls ein konservatives Vorgehen in Betracht gezogen werden (Hoistad et al., 2001; Stangerup et al., 2006; Whitehouse et al., 2010). Es konnte gezeigt werden, dass vor allem die Tumorgröße bei Erstdiagnose der

entscheidende Prädiktor für das Wachstumsverhalten des Tumors darstellt. Ab einem intrakraniellen Durchmesser von 15 mm kam es häufig zu einer weiteren Größenzunahme im Verlauf, sodass diesen Patienten primär eine interventionelle Therapie empfohlen werden sollte (Suryanarayanan et al., 2010). Kommt es innerhalb des ersten Jahrs nach Diagnosestellung zu einer Größenzunahme des Tumors von über 1 cm, ist ebenfalls eine Behandlung indiziert (Schick and Unterberg, 2011; Whitehouse et al., 2010).

Das konservative Vorgehen birgt jedoch durch eine mögliche Größenprogredienz des Tumors auch ein erhöhtes Risiko für Nervenschädigungen, welche mit einem Schwindel, Schwerhörigkeit und einer beeinträchtigten Facialisfunktion einhergehen können (Kaschke, 2017). Es konnte sogar gezeigt werden, dass auch bei nicht wachsenden Tumoren ein erhöhtes Risiko besteht, im Verlauf einen Hörverlust zu erleiden (Graamans et al., 2003). Sollte im weiteren Verlauf doch operiert werden, steigt mit zunehmender Symptombdauer ebenfalls die Gefahr eines postoperativen Hörverlusts (Magdziarz et al., 2000; Samii and Matthies, 1997a). Zudem ist zu beachten, dass im Rahmen einer „wait-and-scan“ Strategie gehäuft über eine abnehmende Compliance der Patienten berichtet wird (Grayeli et al., 2005; Hoistad et al., 2001).

### **1.6.2. Strahlentherapie**

Neben der operativen Resektion besteht für einen Teil der Patienten mit VS die Möglichkeit der Bestrahlung. Die Bestrahlung kann dabei entweder im Rahmen einer sogenannten stereotaktischen Radiochirurgie (Cyber-Knife oder Gamma-Knife) in nur einer Sitzung mit der kompletten Strahlendosis durchgeführt werden oder man verteilt die Gesamtstrahlenmenge auf mehr als fünf einzelne Behandlungssitzungen, was vor allem bei großen Tumoren Anwendung findet (Kaschke, 2017; Rosahl and Hamm, 2011; Tatagiba and Acioly de Sousa, 2008b). Primäres Ziel beider Therapien ist es ein weiteres Tumorwachstum zu verhindern und dabei die Funktion der Gehirnnerven zu erhalten (Unger et al., 2011). Insbesondere bei älteren Patienten beziehungsweise Patienten mit erhöhtem Operationsrisiko oder einem Rest- oder Rezidivtumor nach

chirurgischer Resektion entscheidet man sich häufig für eine Strahlentherapie (Pollock, Lunsford, Flickinger, et al., 1998; Pollock, Lunsford, Kondziolka, et al., 1998; Tatagiba and Acioly de Sousa, 2008b). Darüber hinaus wird teilweise eine Strahlentherapie auch als Erstlinientherapie bei Tumoren mit einem Durchmesser kleiner als 30 mm empfohlen. Dabei sollen die neurologischen Funktionen, insbesondere die des Gehörnervs, im Vergleich zur chirurgischen Therapie besser erhalten werden können (Apicella et al., 2016; Wolbers et al., 2013). Jedoch muss hierbei beachtet werden, dass es im Rahmen der funktionellen mikrochirurgischen Therapie mittlerweile zu einem Rückgang an postoperativen neurologischen Funktionsstörungen kommt, sodass die Frage nach der bestmöglichen Therapie bei einem Tumordurchmesser kleiner als 30 mm nicht abschließend geklärt werden kann (Betka et al., 2014; Tatagiba and Acioly de Sousa, 2008b). Bei größeren Tumoren kommt es nach der Bestrahlung häufig im Bereich des Tumors zu einer Ödembildung, sodass die entstehende Schwellung zu einer Kompression des Hirnstamms führen kann, weswegen ab einem Tumordurchmesser von 30 mm primär eine operative Therapie empfohlen wird (Hamm et al., 2017; Nagano et al., 2008; Rosahl and Eßer, 2017a).

Ebenfalls ist zu beachten, dass es bei bis zu fünf Prozent der bestrahlten VS im Verlauf zu einer Größenzunahme kommt, sodass eine anschließende Operation notwendig wird (Iwai et al., 2007; Pollock, Lunsford, Kondziolka, et al., 1998). Aufgrund der strahlungsbedingten Verwachsungen und einer damit einhergehenden Verdickung der Arachnoidea wird die anschließende Operation erschwert (Misra and Churi, 2019; Samii and Matthies, 1997a).

### **1.6.3. Operation**

*„Das Ziel der mikrochirurgischen Behandlung ist die Resektion des Tumors unter Erhalt der Nervenfunktion“ (Ebner and Tatagiba, 2019, S.581).*

Die Kriterien für eine operative Behandlung des VS sind wie folgt von Ebner und Tatagiba (2019) dargestellt.

- *„Bildgebend dokumentierte Größenprogredienz des VS*

- *Zystische Komponente >50 % des Tumorumens*
- *Hirnstammkompression*
- *Anhaltende Schwindelsymptomatik*
- *Neurofibromatose Typ II*
- *Operationsfähigkeit des Patienten*
- *Ausdrücklicher Patientenwunsch“ (Ebner and Tatagiba, 2019, S.581)*

Für die operative Entfernung des VS stehen drei klassische Zugangswege zur Verfügung. Es kann dabei zwischen einem retrosigmoidalen, einem translabyrinthären sowie einem transtemporalen Zugang gewählt werden (Ebner and Tatagiba, 2019).

Der folgende Absatz basiert auf dem Vorgehen von Tatagiba et al. (2014) und Tatagiba und Macus André Acioly de Sousa (2008).

Es wird bei allen Zugangswegen ein intraoperatives neurophysiologisches Monitoring (IONM) durchgeführt, um das Risiko einer Nervenverletzung zu minimieren. Das IONM beinhaltet die Ableitung von sensorisch evozierten Potenzialen (SEP) und motorisch evozierten Potenzialen (MEP) zur Überwachung des Hirnstamms. Die MEP des ipsilateralen N. facialis (fMEP) sowie die direkte intraoperative Stimulation des ipsilateralen N. facialis geben Rückschluss über dessen Funktion. Die induzierte Muskelaktivität der Stimulation wird im Rahmen einer Elektromyographie (EMG) über subkutane Elektroden in der Gesichtsmuskulatur (M. orbicularis oculi und M. orbicularis oris) abgeleitet. Kommt es im Verlauf der Operation zu einer Abnahme der Stimulierbarkeit, wird das chirurgische Vorgehen modifiziert beziehungsweise kurzzeitig unterbrochen. Bei präoperativ erhaltenem Hörvermögen werden zur Überprüfung des N. cochlearis die frühen akustisch evozierten Potenziale abgeleitet (FAEP). Bei großen Tumoren der Größe T4 wird zusätzlich ein EMG der kaudalen Hirnnervengruppe durchgeführt.

Falls eine Operation in halbsitzender Lagerung geplant ist, sollte zum Ausschluss eines persistierenden Foramen ovale (PFO) präoperativ eine transthorakale Echokardiographie mit Valsalva-Manöver und intravenösem Echokontrastmittel

durchgeführt werden (Feigl et al., 2014). Die anästhesiologische Überwachung während der Operation beinhaltet standardmäßig eine Elektrokardiographie (EKG), invasive Blutdruckmessung, Pulsoxymetrie, Kapnographie und die Messung des zentralvenösen Druckes (Scheller et al., 2020).

#### **1.6.3.1. Lagerung**

Für den translabyrinthären und transtemporalen Zugang werden die Patienten in Rückenlagerung positioniert. Der Kopf wird dabei auf die kontralaterale Seite des Operationsfelds gedreht und parallel zum Boden in einer Drei-Punkt-Schädel-Fixier-Klemme (Mayfield Klemme) fixiert (Chamoun et al., 2012; Rosahl et al., 2017).

Bei dem retrosigmoidalen Operationszugang gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten der Lagerung. Die Patienten können in liegender oder in halbsitzender Position gelagert werden. In liegender Position kann zwischen der Rückenlagerung und einer „Parkbanklagerung“ unterschieden werden (Rosahl and Eßer, 2017b; Tatagiba and Acioly de Sousa, 2008a).

In Rückenlage wird der Kopf mittels einer Mayfield Klemme an drei Punkten fixiert (einzelner Stift an der seitlichen Stirnhaarlinie des Tumors und doppelter Stift dorsal an der Mittellinie oder leicht kontralateral) (Machetanz et al., 2020). Der Kopf ist wie auf Abbildung 1 erkennbar um ca. 80° auf die kontralaterale Seite des Operationsfelds gedreht und leicht nach hinten gekippt. Die Schultern werden nicht gepolstert und kommen am Ende des Operationstisches zu liegen (Machetanz et al., 2020).



*Abbildung 1 Positionierung in Rückenlagerung mit Fixierung des Kopfes in einer Mayfield Klemme*

Bei größeren Tumoren wird in der Regel von den meisten Operateuren die halbsitzende Lagerung bevorzugt. Bei größeren Tumoren muss das Operationsfeld öfters gespült werden, sodass sich neben dem Blut und Liquor auch Spülflüssigkeit im Operationsfeld ansammelt. Da diese in halbsitzender Position schwerkraftbedingt frei abfließen kann, profitiert der Operateur von einer verbesserten Übersicht und es besteht die Annahme, dass in halbsitzender Lagerung häufiger der komplette Tumor entfernt werden kann als in Rückenlage (Rosahl et al., 2017; Scheller et al., 2020). Zusätzlich wird durch die halbsitzende Lagerung der venöse Rückfluss gesteigert und der intrakranielle Druck gesenkt (Porter et al., 1999).

Die Patienten sind bei der halbsitzenden Lagerung mit einer maximalen Beugung von  $90^\circ$  in der Hüfte gelagert, sodass sich die Beine über dem Herzniveau befinden (siehe Abbildung 2). Hierdurch entsteht ein erhöhter venöser Rückfluss, wodurch das Risiko einer Luftembolie gesenkt wird (Tatagiba and Acioly de Sousa, 2008a). Zusätzlich dient eine ausgeglichene Flüssigkeitszufuhr und ein positiver endexpiratorischer Druck ebenfalls der Prävention einer venösen Luftembolie (Jadik et al., 2009). Die Schultern werden am oberen Ende des Operationstisches platziert. Der Kopf wird anschließend in einer Anteposition und leichter Inkliniation zum Sternum für  $30\text{-}40^\circ$  zur Tumorseite rotiert und in der Mayfield Klemme fixiert. Vor Beginn der Operation muss noch sichergestellt werden, dass die Jugularvenen beidseits für eine intraoperative Kompression frei

zugänglich sind und kein venöses Abflusshindernis besteht (Machetanz et al., 2020; Tatagiba et al., 2014). Sollte es während der Positionierung des Patienten zu einer Veränderung der Amplitude oder der Latenz der SEP kommen, muss die Lagerung korrigiert werden. Möglich auftretende Luftembolien werden durch Luftblasen in der transösophagealen Echokardiographie und einen endexpiratorischen CO<sub>2</sub>-Abfall detektiert (Feigl et al., 2014; Tatagiba and Acioly de Sousa, 2008a).



*Abbildung 2 Halbsitzende Lagerung mit Fixierung des Kopfes in einer Mayfield Klemme*

Die Auswahl der Operationslagerung sollte stets eine individuell patientenorientierte Entscheidung sein (Spektor et al., 2015). Neben der Tumorgröße sind dabei auch Risikofaktoren, wie kardiovaskuläre Vorerkrankungen und das chirurgische Therapieziel von Bedeutung (Scheller et al., 2020). Schlussendlich wird das Risiko der Operation vor allem dadurch gesenkt, dass der Operateur und sein Team den Zugangsweg auswählen, mit dem sie am meisten vertraut sind (Samii and Matthies, 1997a).

### **1.6.3.2. Operative Zugangswege**

*Transtemporaler Operationszugang:*

Dieser Zugang eignet sich bei kleinen (gewöhnlich <10 mm) Tumoren, die vor allem im lateralen Teil des Meatus acusticus internus liegen. Es besteht hierbei die Möglichkeit das Hörvermögen zu erhalten (Chamoun et al., 2012; Schick and

Unterberg, 2011). Jedoch existiert durch das Anheben des Temporallappens die Gefahr von Blutungen, Ödemen, Krampfanfällen sowie Sprachdefiziten (Minovi et al., 2005).

Es wird eine temporale Kraniotomie durchgeführt und daraufhin die Dura von der Pyramidenoberkante abgelöst. Anschließend wird die Eminentia arcuata, der N. petrosus major, die A. meningea media und der Sinus petrosus superior dargestellt. Der innere Gehörgang wird mit einem Diamantbohrer freigelegt, wobei Verletzungen der umliegenden Strukturen (Labyrinth, Cochlea, N. facialis) verhindert werden sollten. Anschließend wird nach Eröffnung der Dura des inneren Gehörganges der N. facialis und der N. cochlearis von dem Tumor frei präpariert, um den Tumor in der Folge zu entfernen (Chamoun et al., 2012; Kaschke, 2017).

#### *Translabyrinthärer Operationszugang:*

Befindet sich das VS vor allem intrameatal und hat der Patient bereits präoperativ ein stark eingeschränktes Hörvermögen beziehungsweise bei einem großen Tumor eine niedrige Chance der Hörerhaltung, wird der translabyrinthäre Zugang bevorzugt (Chamoun et al., 2012).

Der Zugang erlaubt eine übersichtliche Darstellung der hinteren Schädelgrube, insbesondere der N. facialis kann dabei sicher dargestellt werden. Bezüglich der kaudalen Hirnnerven besteht jedoch nur eine eingeschränkte Kontrolle. Gegenüber dem retrosigmoidalen Zugang kommt es zu keiner Retraktion des Kleinhirns, jedoch muss der Patient über einen postoperativen Hörverlust auf der operierten Seite aufgeklärt werden (Chamoun et al., 2012; Minovi et al., 2005).

Der innere Gehörgang wird durch eine Mastoidektomie und Labyrinthektomie eröffnet. Dabei kommen der Sinus sigmoideus, die Dura der hinteren Schädelgrube und der knöcherne Verlauf des N. facialis zur Darstellung. Anschließend wird der N. cochlearis und der N. facialis vom Tumor gelöst, sodass der Tumor entfernt werden kann (Chamoun et al., 2012; Kaschke, 2017).



### *Retrosigmoidaler Zugang:*

Der klassische Zugang in der Neurochirurgie ist der retrosigmoidale Zugang. Er kann bei allen Tumorgrößen und Lokalisationen (extra- und intrameatal) verwendet werden und wird häufig aufgrund der sehr guten Übersicht im Kleinhirnbrückenwinkel favorisiert, wodurch auch die kaudalen Hirnnerven frühzeitig dargestellt werden können. Der Zugang zum Tumor ist ausschließlich infratentoriell, sodass es lediglich zu einer Retraktion des Kleinhirns ohne Manipulationen am Großhirn kommt (Ebner and Tatagiba, 2019). Im Vergleich zum translabyrinthären Zugang ist eine Tumorentfernung mit postoperativem Hörerhalt möglich. Durch die Einführung der endoskopassistenten Technik ist es nun auch möglich laterale Tumoranteile im Meatus acusticus internus vollständig einzusehen (Ebner and Tatagiba, 2019).

Zusätzlich kann das Operationsfeld leicht erweitert werden, sodass mehrere Tumore, wie sie häufig bei NF2 Patienten auftreten, in einer Operation entfernt werden können (Samii and Matthies, 1997a; Tatagiba and Acioly de Sousa, 2008b).

Das operative Vorgehen wird nun im Folgenden aus der Veröffentlichung von Tatagiba et al. (2014) zusammengefasst.

Nachdem das Operationsfeld rasiert, desinfiziert und chirurgisch abgedeckt wurde, kann der geplante Operationsschnitt gesetzt werden. Es werden dabei nacheinander die Kutis, Subkutis, und die Nackenmuskulatur eröffnet, bis der Knochen sichtbar ist. Anschließend werden die Emissarvenen mit Knochenwachs verschlossen um Luftembolien zu verhindern. Das Gebiet um das Asterion wird identifiziert und die Mastoidspitze kommt zum Vorschein. Es erfolgt nur eine Kraniotomie mit einer partiellen Mastoidektomie. Die Begrenzung der Kraniotomie wird lateral durch den Sinus sigmoideus, superior durch den Sinus transversus und inferior durch den horizontalen Teil der hinteren Schädelgrube gebildet. Die Dura wird mit einer C-förmigen Inzision, parallel zum Verlauf des Sinus sigmoideus eröffnet. Für die Liquordrainage aus der Cisterna

cerebellomedullaris muss der untere Teil des Kleinhirns vorsichtig angehoben werden.

Auf der hinteren Oberfläche des Felsenbeins kann nun ein Bereich vertikaler Durafalten identifiziert werden. Die obere Ebene, an der die Falten enden und die Dura fest mit dem Knochen verwachsen ist, wird als Tübinger Linie bezeichnet. Die Tübinger Linie dient bei großen VS als Landmarke für die Projektion des Meatus acusticus internus (Campero et al., 2011). Die Dura wird über der Tübinger Linie inzidiert und abgeschoben, sodass die hintere Wand des inneren Gehörgangs zur Darstellung kommt. Diese wird mit Diamantfräsen von lateral nach medial schrittweise um 180° aufgebohrt, sodass nach Identifikation der Hirnnerven VII und VIII der intrakanalikuläre Tumoranteil reseziert werden kann. Im nächsten Schritt wird von der dorsalen Oberfläche des intrazisternalen Tumoranteils die arachnoidale Grenzschicht abpräpariert, sodass anschließend der Tumor mit einem Ultraschallaspirator ausgehöhlt werden kann. Es kommt nun in bimanueller Präparationstechnik zu einer schrittweisen Lösung der Hirnnerven VII und VIII von der ausgehöhlten Tumoroberfläche. In endoskopassistierter Technik werden noch mögliche Tumorreste im lateralen Meatus acusticus internus entfernt. Nach erfolgter Blutstillung kann nun der eröffnete innere Gehörgang sowie eventuell eröffnete Mastoidzellen mit einem Fett- oder Muskelinterponat abgedichtet werden. Abschließend wird die Dura mit einer fortlaufenden Naht verschlossen und der Knochendefekt mit einem Gel-Schwamm und einer Methylmetacrylat-Plastik gedeckt, sodass die Operationswunde zugenäht werden kann (Tatagiba et al., 2014).

#### ***1.6.4. Komplikationen der halbsitzenden Lagerung bei der chirurgischen Resektion des VS***

Bei der chirurgischen Therapie des VS können die Patienten entweder in Rückenlage oder in einer halbsitzenden Position gelagert werden. Den bereits erwähnten Vorteilen der halbsitzenden Lagerung werden häufig lagerungsassoziierte Komplikationen wie die venöse Luftembolie oder der Pneumozephalus gegenübergestellt. Bezüglich der Wertigkeit eines

postoperativen Pneumozecephalus gibt es relativ wenig Informationen. Dies nahmen wir zum Anlass, unsere Patientenkohorte diesbezüglich auszuwerten.

Zu einem postoperativen Pneumozecephalus kommt es vor allem nach Eingriffen in halbsitzender Position (Di Lorenzo et al., 1986; Toung et al., 1986). Es wird angenommen, dass ein Pneumozecephalus aufgrund des Liquorverlusts und dem damit einhergehenden Lufteintritt während der Operation entsteht (Lunsford et al., 1979; Toung et al., 1983). Da es in halbsitzender Lagerung der Gravitation entsprechend zu einem vermehrten Liquorabfluss kommt, kommt es dabei häufiger als in Rückenlagerung zu einem postoperativen Pneumozecephalus (Toung et al., 1986). In den meisten Fällen bleiben die postoperativen intrakraniellen Gaseinschlüsse asymptomatisch (Di Lorenzo et al., 1986; Himes et al., 2017; Standefer et al., 1984). Entwickeln die Patienten jedoch typische Symptome wie Bewusstseinsstörungen, Kopfschmerzen, Krampfanfälle oder fokale neurologische Defizite, spricht man von einem Spannungspneumozecephalus (Beloartsev and Theilen, 2011). Es ist anzunehmen, dass mit zunehmendem intrakraniellen Luftvolumen das Risiko für die Entwicklung eines Spannungspneumozecephalus steigt (Monajati and Cotanch, 1982). Es gibt jedoch keine Informationen, ab welchem Volumen das Auftreten eines Spannungspneumozecephalus wahrscheinlich wird und ob neben der halbsitzenden Lagerung weitere Prädiktoren bestehen.

Wird aufgrund eines verspäteten Aufwachens aus der Narkose der Verdacht auf einen Spannungspneumozecephalus gestellt und bestätigt sich dieser in der anschließend durchgeführten cranialen Computertomographie (CCT), sollte ein Luftaustausch durchgeführt werden. Dabei wird nach Haarrasur und Hautdesinfektion eine Stichinzision mit einem 5-mm Bohrloch am seitlichen Haaransatz platziert. Bei der anschließenden Punktierung der Dura mit zwei Kanülen muss eine frontale Stichrichtung gewählt werden, um eine Verletzung des Gehirns zu vermeiden. Über eine der Kanülen wird in den Subduralraum eine Ringer-Lösung gespritzt, sodass über die andere Kanüle die Luft entweichen kann. Diese Methode ermöglicht einen drucklosen und vollständigen

Luftaustausch. Zuletzt werden die Kanülen entfernt und die Wunde wird verschlossen (Machetanz et al., 2020; Tatagiba and Acioly de Sousa, 2008a).

Eine venöse Luftembolie tritt ebenfalls vor allem bei Operationen in halbsitzender Lagerung auf. Von vielen Autoren wurde angenommen, dass ein persistierendes Foramen ovale (PFO) mit einem erhöhten Risiko für eine venösen Luftembolie einhergeht (Jadik et al., 2009). Feigl *et al.* (2014) konnten jedoch zeigen, dass unter sorgfältigem anästhesiologischen und neurochirurgischen Management die Gefahr für eine venösen Luftembolie bei Patienten mit einem PFO ebenfalls sehr gering ist (Feigl et al., 2014). Weitere Komplikationen, die gehäuft mit der halbsitzenden Lagerung einhergehen, sind eine arterielle Hypotension und selten die postoperative Tetraplegie. Durch eine lagerungsbedingte Kompression und einer Zugkraft auf das Rückenmark im Bereich der Halswirbelsäule, gepaart mit einer Sauerstoffunterversorgung, kann in seltenen Fällen eine postoperative Tetraplegie entstehen (Wilder, 1982). Das Risiko hierfür wird minimiert, indem man bereits bei der Patientenlagerung auf eine Veränderung der Amplitude oder der Latenz der SEP mit einer Korrektur der Lagerung reagiert (Beloartsev and Theilen, 2011).

#### **1.6.5. Weitere Komplikationen der chirurgischen Resektion über den retrosigmoidalen Zugang**

Die weiteren postoperativen Komplikationen können in neurologische und nicht neurologische Komplikationen eingeteilt werden.

Eine sehr häufige postoperative Komplikation der chirurgischen Therapie des VS ist die Liquorfistel. Es kann dabei zwischen einer inneren Liquorfistel, welche durch den eröffneten inneren Gehörgang entsteht, und einer äußeren Liquorfistel unterschieden werden. Diese tritt im Rahmen des retrosigmoidalen Zugangs durch das Eröffnen der Pars squamosa des Os temporale auf und wird ebenfalls aufgrund der Verbindung des Mittelohrs mit der Eustachi-Röhre durch eine Rhinoliqorrhoe auffällig (Ebner and Tatagiba, 2019). Die Therapie erfolgt über

das Durchführen einer Lumbaldrainage für 5 Tage, mit dem Ziel den Liquorabfluss zu reduzieren. Eine ausbleibende Besserung erfordert eine Wundrevision, wobei die eröffneten Luftzellen am inneren Gehörgang verschlossen werden (Ebner and Tatagiba, 2019). Zusätzlich, teilweise auch als Folge der Liquorfistel, besteht die Gefahr einer bakteriellen Meningitis (Betka et al., 2014; Samii and Matthies, 1997b). Insgesamt kommt es bei ca. 2 % der Patienten zu postoperativen Infektionen, wobei darunter ca. 78 % von einer Meningitis betroffen sind (Sughrue et al., 2011).

Ebenfalls müssen Patienten über die Gefahr einer intrazerebralen Blutung aufgeklärt werden, welche meist innerhalb der ersten 24 Stunden postoperativ symptomatisch wird (Rahimpour et al., 2016). Es kommt dabei vor allem zu Blutungen aus der Arteria anterior inferior cerebellaris (AICA). Die Äste der AICA verlaufen zwischen dem siebten und achten Hirnnerven und können in den Tumor eingebettet sein (Martin et al., 1980). Im Rahmen der Nachblutung kann auch eine Hirnstammdysfunktion (Vigilanzminderung, Hemiparese) oder ein Hydrozephalus entstehen. Bei dem Verdacht auf eine intrakranielle Blutung muss nach einer Bestätigung im CCT meist eine sofortige Revisionsoperation durchgeführt werden (Betka et al., 2014; Schick and Unterberg, 2011).

Die häufigsten postoperativen neurologischen Defizite sind auf eine Funktionsstörung der N. vestibulocochlearis und des N. facialis zurückzuführen. Bezüglich eines postoperativen Hörerhalts liefert bereits die präoperative MRT prognostische Informationen. Sowohl die Ausdehnung des Tumors bis an den Fundus des inneren Gehörgangs als auch eine präoperative Flüssigkeits-Signalsteigerung in der CISS-Sequenz in der Gehörschnecke gehen mit dem Risiko eines postoperativ beeinträchtigten Hörvermögens einher (Somers et al., 2001).

Der N. facialis kann bei Durchführung eines erfahrenen Operateurs in 96 bis 98,5 % anatomisch erhalten werden (Samii et al., 2006; Tatagiba et al., 2014). Jedoch muss beachtet werden, dass die anatomische Kontinuität nicht zwangsläufig mit einem Funktionserhalt einhergeht. Durch das IONM sollen

Verletzungen des N. facialis durch Druck, Zug und thermische Reize vermieden werden (Prell et al., 2019). Es besteht die Annahme, dass die halbsitzende Lagerung im Vergleich zur Rückenlagerung mit einer postoperativen Funktionssteigerung des N. facialis einhergeht (Scheller et al., 2020). Bei bis zu 19 % der Patienten wurde das Phänomen beobachtet, dass sie zwei bis drei Wochen postoperativ plötzlich eine periphere Facialisparesis aufweisen können (Carlstrom et al., 2016). Mögliche Auslöser hierfür könnten ein Ödem des N. facialis, ein Entzündungsprozess, eine Virusreaktivierung oder ein Vasospasmus sein (Carlstrom et al., 2016). Es besteht dabei jedoch eine sehr gute Chance auf eine spontane und vollständige Erholung der Nervenfunktion (Carlstrom et al., 2016; Ebner and Tatagiba, 2019). Bei einer vollständigen Facialisparesis erhalten die Patienten einen Uhrglasverband und Augentropfen. Bleibt die Gesichtslähmung über einen längeren Zeitraum bestehen, besteht die Möglichkeit einer Hypoglossus-Facialisanastomose (Samii and Matthies, 1997c).

Während der Operation sollten Verletzungen weiterer Hirnnerven vermieden werden. Eine Störung des V. Hirnnerven (N. trigeminus) wird meist durch Sensibilitätsausfälle auffällig, wohingegen bei Verletzungen der Hirnnerven IX-XI häufig eine Dysphagie (Schluckstörung) resultiert. Zum Schutz vor einer Aspirationspneumonie sollten diese Patienten vor der Extubation eine Magensonde erhalten (Samii and Matthies, 1997b).

Darüber hinaus können sich weitere neurologische Störungen wie zerebrale Embolien, Krampfanfälle, Kopfschmerzen oder eine persistierende Kleinhirnfunktionsstörung entwickeln (Ansari et al., 2012; Betka et al., 2014).

### **1.7. Fragestellung und Zielsetzung**

Ziel dieser Studie ist es, neben der Häufigkeitsdarstellung von Komplikationen bei der Resektion von VS über einen retrosigmoidalen Zugang die klinische Relevanz dieser anhand der Hospitalisationsdauer beziehungsweise der Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation abzuschätzen. Insbesondere für seltener auftretende Komplikationen wie den Pneumocephalus liegen relativ wenig Studien vor. Es wird zum ersten Mal anhand einer Voxel-basierten

Volumetrie die postoperative intrakranielle Luft ausgewertet und zu Patienten- und Operationsdaten (Geschlecht, Tumorgroße, Operationslagerung, Operationsdauer) in Verhältnis gesetzt. Es konnte bereits gezeigt werden, dass die halbsitzende Lagerung mit einer Zunahme an postoperativer intrakranieller Luft einhergeht (Toung et al., 1986). Darüber hinaus vermuten wir, dass es bei einer subokzipitalen Kraniotomie mit Eröffnung der basalen Zisternen und damit einhergehendem Liquorverlust ebenfalls zu vermehrten intrakraniellen Gaseinschlüssen kommt. Aufgrund der häufigeren Eröffnung der basalen Zisternen bei größeren Tumoren stellen wir die Hypothese auf, dass neben der halbsitzenden Lagerung auch die Tumorgroße ein positiver Prädiktor für die postoperative intrakranielle Luft ist.

Durch die Analyse möglicher prädiktiver Faktoren und unter Berücksichtigung der klinischen Relevanz eines Spannungspneumozephalus soll die individuelle Beratung der Patienten, insbesondere bezüglich der Auswahl der Operationslagerung, erleichtert werden. Zudem erhoffen wir uns durch die Volumetrie der intrakraniellen Lufteinschlüsse eine Orientierung zu schaffen, ab welchem Luftvolumen ein Spannungspneumozephalus wahrscheinlich wird und eine Intervention erfordert. Darüber hinaus soll ermittelt werden, in welchem Ausmaß sich die Therapie eines Spannungspneumozephalus auf den Patienten auswirkt.

Die Vielzahl an Resektionen von VS in Tübingen ermöglicht hierbei genauere Aussagen über das individuelle Risiko eines Patienten bei der Durchführung einer solchen Operation in einem hochspezialisierten Zentrum zu treffen und somit die Beratung zu verbessern. Zudem kann durch die Analyse des Vorgehens bei den Komplikationen eine Verbesserung des Managements und somit der Patientenversorgung erreicht werden.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1. Untersuchungszeitraum und Patientenkollektiv**

Es handelt sich bei der vorliegenden Arbeit um eine retrospektive Studie. Alle Patienten wurden von Januar 2011 bis März 2017 wegen eines VS in der Tübinger Universitätsklinik für Neurochirurgie operiert. Es wurde stets der retrosigmoidale Zugang gewählt. Insgesamt wurden die Daten von 554 Patienten erfasst, wovon 17 zweifach operiert wurden, sodass insgesamt 571 Eingriffe analysiert wurden. Bei sechs Patienten fanden während des stationären Aufenthaltes mehrere nicht komplikationsassoziierte Eingriffe statt. Die Operationen wurden alle von dem Chefarzt der Neurochirurgischen Klinik in Tübingen oder einem von vier erfahrenen Oberärzten durchgeführt.

Die Studie wurde durch die Ethikkommission der Eberhard Karls Universität in Tübingen akzeptiert (Registrierungsnummer: 057/2020BO2).

### **2.2. Datenerhebung**

Die in *Tabelle 1* aufgeführten Parameter wurden anhand der klinischen Dokumente (präoperative Bildgebung, Arztbriefe, Operationsprotokolle) erhoben.



*Tabelle 1 Erhobene Patientendaten*

Daten	Parameter
Demographische Daten	Alter Geschlecht
Präoperative Befunde	Tumorgröße Betroffene Seite Vorliegen von NF II Facialisparese
Operationsbezogene Daten	Datum der Operation Operationsdauer Operationslagerung
Postoperative Befunde	Komplikationen Grad der Facialisparese
Klinische Angaben	Klinikaufenthaltsdauer Aufenthaltsdauer auf Intensivstation Therapie

Es wurde anhand von klinischen Untersuchungen, Blutwertanalysen sowie bildgebenden Verfahren untersucht, ob folgende postoperativen Komplikationen während des stationären Aufenthaltes aufgetreten sind.

- Liquorfistel
- Intrakranielle Blutung
- Hydrozephalus
- Infektionen (Meningitis, Pneumonie)
- Thrombose
- Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS)
- Pneumocephalus

- Todesfall
- Neurologisches Defizit, wobei ein Ohrgeräusch (Tinnitus aurium), Gleichgewichtsstörungen und ein Hördefizit nicht berücksichtigt wurden.

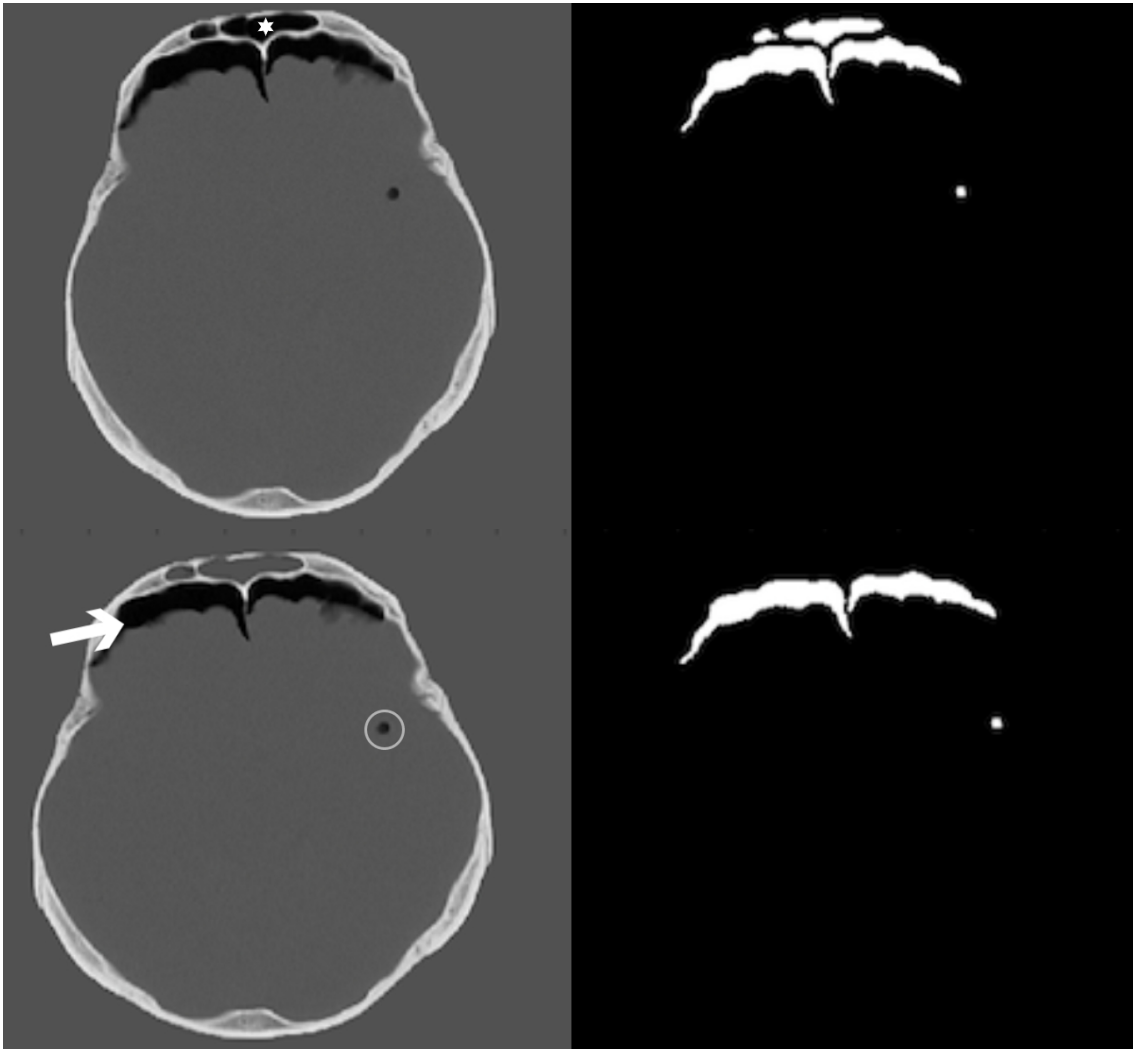
Das Auftreten einer Facialisparese wurde gesondert betrachtet, da diese nicht zwingend als Komplikation (d.h. vermeidbares, unerwünschtes Ereignis), sondern eher als unvermeidbares Risiko der Operation betrachtet werden muss. Die Funktionsfähigkeit der Gesichtsmuskulatur wurde jeweils präoperativ, drei bis fünf Tage postoperativ, nach drei Monaten und nach 15 Monaten bestimmt.

### **2.3. Bestimmung der intrakraniellen Luft**

Zur Bestimmung der intrakraniellen Luft wurden die axialen Schnittbilder der CCT's (3 mm Schichtdicke, Mehrschicht-CT, Siemens Medical GmbH) aus der Datenbank der neuroradiologischen Abteilung der Universität Tübingen heruntergeladen. Eine dafür angefertigte Matlab-Programmierung (Version R2019a, MathWorks, Natick, MA, USA) konnte anhand Luft-isodenser Gitterpunkte (Hounsfield Einheiten für Luft -1000) die intrakranielle Luft automatisch markieren (siehe rechte Bildhälfte Abbildung 3). Durch manuelle Markierung wurde die Luft in den Nasennebenhöhlen entfernt (mit einem Sternchen markiert in Abbildung 3), sodass die Größe des postoperativen Pneumozephalus auf der unteren Bildhälfte bestimmt werden konnte. Der postoperative Pneumozephalus in Rückenlage ist gekennzeichnet durch intrakranielle Luft, vor allem im Bereich der Frontallappen (Mount Fuji sign, mit Pfeil markiert in Abbildung 3) und gelegentlich im Subarachnoidalraum (gekennzeichnet durch einen Kreis in Abbildung 3).

Zusätzlich mussten alle Schichtaufnahmen tiefer der frontalen Schädelbasis manuell entfernt werden, um nicht fälschlicherweise die Luft der Ethmoidalzellen mitzubestimmen. Zur Unterscheidung zwischen der intrakraniellen Luft und der Luft im Sinus frontalis wurden die CCTs im Knochenfenster beurteilt. Das anschließend bestimmte Volumen an intrakranieller Luft wurde in Kubikzentimeter, beziehungsweise Milliliter (ml) angegeben.

Bei allen Patienten wurde das CCT spätestens innerhalb von zwei Tagen nach der Operation durchgeführt. Bei dem Verdacht auf eine relevante Komplikation wurde das CT direkt am Operationstag aufgenommen.



*Abbildung 3 Bildschirmaufnahme einer Matlab-Programmierung zur Bestimmung der intrakraniellen Luft*

## **2.4. Verwendete Scores**

### **2.4.1. Klassifizierung der Tumorgröße**

Bei allen Patienten erfolgte präoperativ eine MRT-Untersuchung des Schädels mit und ohne Kontrastmittel (Gadolinium). Danach konnte die Tumorgröße nach

der Hannover-Klassifikation (Samii and Matthies, 1997b) in vier Kategorien eingeteilt werden (siehe Tabelle 2).

*Tabelle 2 Hannover-Klassifikation der Tumorausdehnung (Samii and Matthies, 1997b)*

Grad	Tumorausbreitung
T1	Tumor nur intrameatal
T2	Tumor intrameatal und gerade extrameatal
T3	Tumor füllt den KHBW aus
T4	Tumor komprimiert den Hirnstamm

#### **2.4.2. Klassifizierung der Facialisparesse**

Das Ausmaß einer Facialisparesse wurde nach der Klassifikation von House und Brackmann (1985) eingeteilt (siehe Tabelle 3).

*Tabelle 3 Einteilung der Facialisfunktion nach House und Brackman (J. W. House et al., 1985)*

House-Brackman-Skala	Klinische Präsentation
I normal	normale, symmetrische Funktion in allen Regionen
II leichte Parese	leichte motorische Schwäche, nur sichtbar bei genauer Inspektion; vollständiger Lidschluss mit minimaler Anstrengung
III mäßige Parese	deutliche, einseitige motorische Schwäche, vollständiger Lidschluss mit Anstrengung, Asymmetrie der Mundbewegung bei maximaler Intention
IV mäßig starke Parese	deutliche Asymmetrie der mimischen Muskulatur, inkompletter Lidschluss, deutliche Mundasymmetrie bei maximaler Anstrengung, Synkinesie und Massenbewegung
V starke Parese	kaum nachweisbare Bewegung der mimischen Muskulatur auf der betroffenen Seite, geringe Bewegung des Mundwinkels
VI Paralyse	keine Bewegung der mimischen Muskulatur, Verlust des Muskeltonus

## **2.5. Statistische Methoden**

Die erhobenen Daten wurden in einer Datenbank des Programms Microsoft Excel 2000 (Unterschleißheim, Deutschland) tabellarisch erfasst und danach in das Statistikprogramm SPSS 13.0 (Statistical Product and Service Solution, München, Deutschland) eingelesen. Alle Analysen und statistischen Tests wurden mit SPSS und MATLAB (MathWorks, Inc., Natick, MA, USA) durchgeführt. Zur Überprüfung, ob sich die zentrale Tendenz unabhängiger Gruppen unterscheidet, wurde der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Bei

kategorial verteilten Variablen wurde zur Überprüfung auf Verteilungsunterschiede der Pearson Chi-Quadrat-Test verwendet. Um mögliche Prädiktoren der intrakraniellen Luft zu bestimmen wurde eine schrittweise multivariate lineare Regression durchgeführt. Bei der schrittweisen Selektion werden wie bei der Vorwärtsselektion die Variablen mit der höchsten Validität schrittweisen in das Modell aufgenommen. Zusätzlich wird in jedem Schritt überprüft, ob überflüssige Variablen aufgrund einer Beziehung zu den anderen Variablen wieder entfernt werden können, ohne dass es zu einer signifikanten Abnahme des Bestimmtheitsmaßes kommt (Schneider et al., 2010). Die folgenden Daten werden als Mittelwert (M) ± Standardabweichung (SD) angegeben. P-Werte < 0,05 werden als signifikant bezeichnet.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1. Eigenschaften des Patientenkollektivs

##### 3.1.1. Alter und Geschlecht

Das Alter der Patienten lag zwischen 12 und 87 Jahren und betrug im Durchschnitt zum Zeitpunkt der Operation  $46,7 \pm 14,8$  Jahre. 288 Patienten (50,4 %) waren weiblich, 283 Patienten (49,6 %) männlich.

##### 3.1.2. Verteilung der Tumorgößen

Die Tumorgöße wurde folgendermaßen nach der Hannover Klassifikation verteilt. 25 Patienten (4,4 %) zeigten einen T1 Tumor, 122 (21,4 %) einen T2 Tumor. 227 Patienten (39,8 %) hatten einen Tumor der Klasse T3 und 196 (34,4 %) einen Tumor der Klasse T4 (siehe auch Abbildung 4).

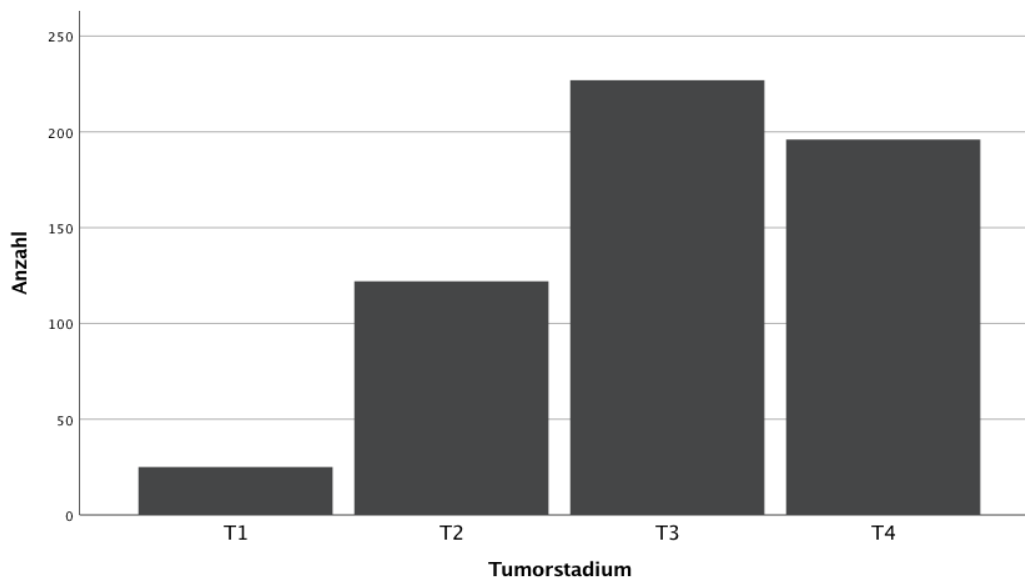


Abbildung 4 Verteilung der Tumorgößen

Die Tumorgöße unterschied sich nicht bezüglich des Geschlechts,  $X^2 (3, N = 570) = 3,80, p = ,284$  Ebenfalls ergab der Kruskal-Wallis-Testes unter den

Tumorgrößen keinen signifikanten Unterschied bezüglich des Alters,  $H(3) = 6,42$ ,  $p = ,093$ .

### **3.1.3. Patienten mit einer bekannten Neurofibromatose II**

Bei 60 Patienten (10,5 %) war die Diagnose Neurofibromatose II bereits bekannt. Die Patienten mit Neurofibromatose 2 hatten zu 51,7 % (31 Patienten) einen T4 Tumor, wohingegen die anderen Patienten zu 32,3 % (165 Patienten) an einem Tumor der Größe T4 erkrankten. Bezüglich der Tumorgröße ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Patienten mit und ohne NF II,  $X^2(3, N = 566) = 8,92$ ,  $p = ,030$ .

Bezüglich des Alters bestand ebenfalls ein signifikanter Unterschied ( $X^2 = 113,22$ ,  $p < 0,001$ ; Kruskal-Wallis). Patienten mit der Diagnose einer NF II waren zum Zeitpunkt der Operation durchschnittlich  $25,3 \pm 10,2$  Jahre alt, wohingegen die anderen Patienten durchschnittlich im Alter von  $49,2 \pm 13,2$  Jahren operiert wurden.

## **3.2. Operationsbezogene Daten**

Bei allen Eingriffen wurde der retrosigmoidale Zugang gewählt. Es wurden 285 (49,9 %) Tumore auf der rechten und 286 (50,1 %) Tumore auf der linken Seite operiert.

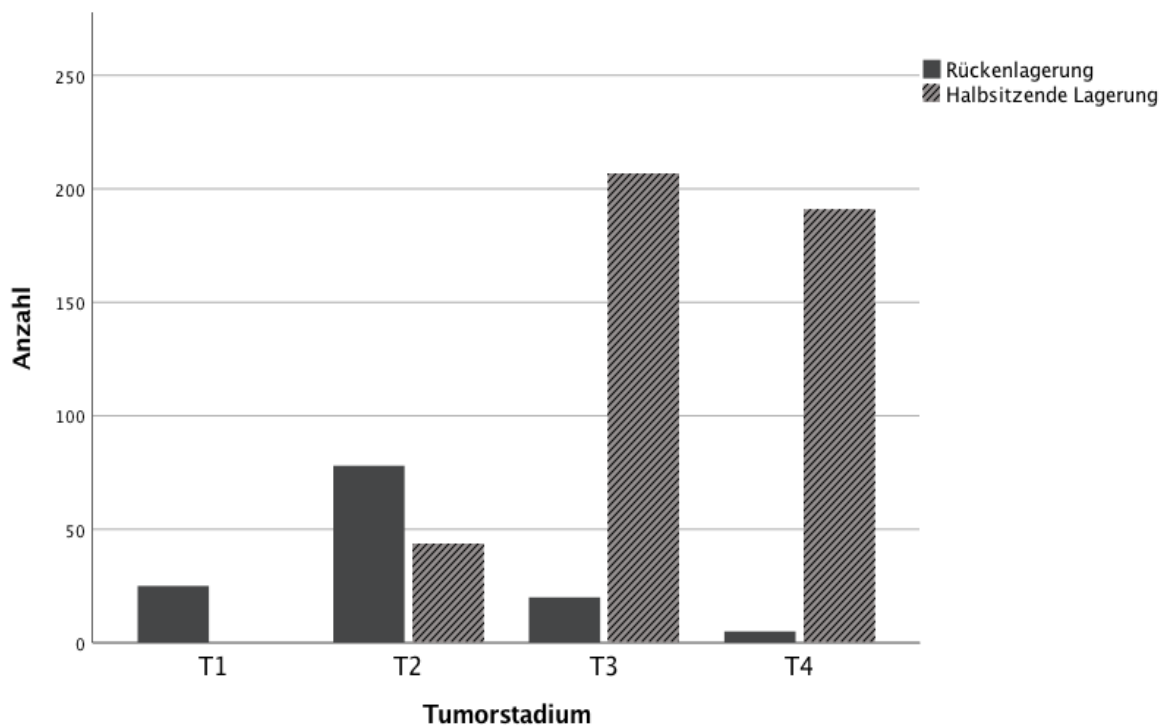
### **3.2.1. Lagerung**

Bei 443 Patienten (77,6 %) wurde der Eingriff in halbsitzender Lagerung durchgeführt und bei 128 (22,4 %) in Rückenlagerung. Kleinere Tumore der Klasse T1 und T2 wurden signifikant häufiger in Rückenlagerung als in der halbsitzenden Lagerung operiert ( $X^2 = 257,42$ ,  $p < 0,001$ ; Kruskal-Wallis).

Abbildung 5 zeigt die Verteilung der Operationslagerung auf die verschiedenen Tumorgrößen. So wurden alle 25 Tumore (100 %) der Klasse T1 in Rückenlagerung operiert. Tumore der Klasse T2 wurden zu 63,9 % (78 Patienten) in Rückenlagerung operiert und zu 36,1 % (44 Patienten) in



halbsitzender Lagerung. Bei 207 Patienten (91,2 %) wurde ein Tumor der Größe T3 in halbsitzender Lagerung entfernt und bei 20 (8,8 %) wurde der Tumor in Rückenlagerung operiert. Es wurden 191 (97,4 %) Tumore der Klasse T4 in halbsitzender Lagerung operiert und lediglich 5 (2,6 %) in Rückenlagerung.



*Abbildung 5 Operationslagerung in Abhängigkeit der Tumorgröße nach der Hannover Klassifikation*

### **3.2.2. Operationsdauer**

Im Durchschnitt dauerte die Operation  $303 \pm 76$  Minuten. Die kürzeste Operationszeit betrug 132 Minuten, die längste 645 Minuten (bei einem 15-jährigen Patienten ohne Komplikationen). 90,0 % der Operationen waren nach 390 Minuten beendet. Es ist zu beachten, dass es sich hierbei nicht um die Schnitt-Naht-Zeit handelt, sondern die Zeit vom Eintritt des Patienten in den Operationssaal (inklusive Lagerung) bis zur Hautnaht.

Die Operationszeit zwischen den zwei verschiedenen Lagerungstechniken unterschied sich signifikant ( $\chi^2 = 14,40$ ,  $p < 0,001$ ; Kruskal-Wallis). So dauerte eine Operation in Rückenlagerung im Durchschnitt  $283 \pm 62$  Minuten, wohingegen in halbsitzender Lagerung die Operation durchschnittlich  $309 \pm 79$  Minuten dauerte.

Ebenfalls gab es einen signifikanten Unterschied bezüglich der Operationszeit zwischen kleinen (T1 und T2) und großen Tumoren (T3 und T4) ( $\chi^2 = 37,62$ ,  $p < 0,001$ ; Kruskal-Wallis). Bei kleinen Tumoren wurde durchschnittlich  $273 \pm 57$  Minuten operiert und bei großen Tumoren  $314 \pm 80$  Minuten.

### **3.3. Komplikationen**

Zu einer oder mehreren postoperativen Komplikationen kam es bei 68 von 571 (11,9 %) Eingriffen. Bei 58 Patienten trat eine Komplikation auf, bei 7 Patienten kam es zu zwei Komplikationen und 3 Patienten entwickelten drei Komplikationen. Eine Übersicht über die 81 auftretenden Komplikationen gibt Tabelle 4. Es kam in unserem Patientenkollektiv zu keinen Todesfällen, sodass die Mortalität bei 0 % lag.

*Tabelle 4 Anzahl (n) und relative Häufigkeit in % der postoperativen Komplikationen*

Komplikation	n	%
Liquorfistel	41	7,2
Spannungspneumozephalus	14	2,5
Subdurale Blutung	9	1,6
Epidurale Blutung	2	0,4
Sinusvenenthrombose	4	0,7
Hydrozephalus	4	0,7
Neurologisches Defizit	3	0,5
ARDS	2	0,4
Pneumonie	1	0,2
Meningitis	1	0,2

Im Folgenden wird auf die Komplikationen und deren Therapie genauer eingegangen, insbesondere des Pneumozephalus, beziehungsweise des Spannungspneumozephalus.

### **3.3.1. Pneumozephalus**

Die Ergebnisse im folgenden Kapitel (3.3.1.Pneumozephalus) wurden teilweise bereits veröffentlicht (Machetanz et al., 2020).

#### **3.3.1.1. Verteilung der intrakraniellen Luft**

Bei 31 der 571 durchgeführten Operationen konnte nicht auf ein postoperatives CT zurückgegriffen werden. Bei der Auswertung von 540 postoperativen CT's zeigte sich bei 517 Patienten (95,7 %) eine supratentorielle intrakranielle Luftansammlung (Volumen > 0 ml). Im Durchschnitt konnten in den postoperativen CT's Gaseinschlüsse mit einem Volumen von  $32,2 \pm 33,5$  ml nachgewiesen werden. Wie aus Abbildung 6 zu entnehmen ist, hatten die meisten Patienten (N=187; 34,6 %) weniger als 10 ml an Luft im postoperativen

CCT. Das größte gemessene Volumen betrug 179,1 ml. Es zeigte sich lediglich bei 5 der 517 Patienten (1,0 %) eine intraventrikuläre Luftansammlung, wohingegen sich bei 512 Patienten (99,0 %) die Luft subdural ansammelte.

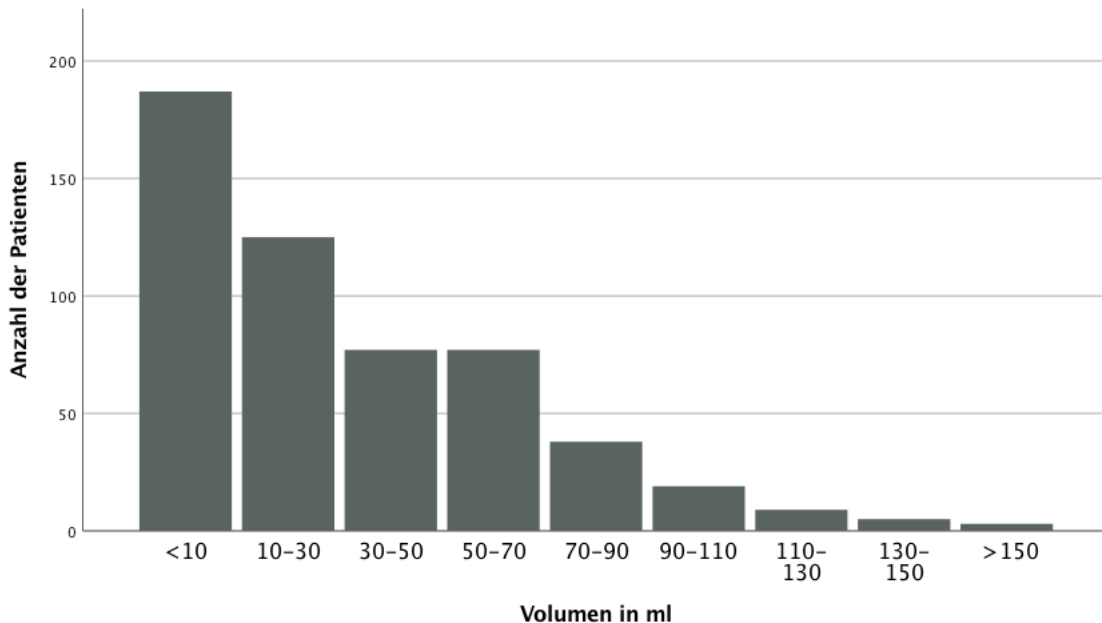


Abbildung 6 Verteilung der intrakraniellen Luft in ml im postoperativen CT

### 3.3.1.2. Prädiktoren der intrakraniellen Luft

Es wurde untersucht, ob sich die Lagerung, das Patientenalter und Geschlecht, die Operationsdauer und die Tumorgröße als Prädiktoren für die intrakranielle Luft darstellen. Die Tumorgröße wurde als Dummy Variable kodiert. Es wurde daraufhin eine schrittweise multivariate lineare Regression durchgeführt. Es ergab sich nach fünf Wiederholungen eine signifikante Regression ( $R^2 = 0,286$ ,  $F=42,55$ ,  $p < 0,001$ ). Diese zeigt, dass die Patientenlagerung, das Alter und Geschlecht der Patienten, die Operationsdauer und Tumore der Größe T4 einen signifikanten Einfluss auf die Menge an intrakranieller Luft haben. Aus Tabelle 5 ist der Einfluss der einzelnen Faktoren auf das Volumen der intrakraniellen Luft ersichtlich. Die halbsitzende Lagerung, das männliche Geschlecht, das Alter und

die Operationsdauer wurden als positive Prädiktoren identifiziert. Dagegen zeigte sich ein großer Tumor der Größe T4 als negativer Prädiktor.

Aus Tabelle 5 sind Regressionskoeffizienten (B) mit Standardfehler (SE B), standardisierte Regressionskoeffizienten ( $\beta$ ), 95 %-Konfidenzintervall und der p-Wert der jeweiligen Prädiktoren abzulesen.

*Tabelle 5 Multivariate lineare Regression der intrakraniellen Luft*

	B	SE B	$\beta$	95 %-KI		p-Wert
Konstante	-86,835	9,540		-105,575	-68,094	<0,001
Lagerung	41,255	3,251	0,496	34,870	47,641	<0,001
Alter	0,431	0,089	0,182	0,257	0,606	<0,001
Geschlecht	6,819	2,474	0,102	1,959	11,680	0,006
T4 Größe	-9,794	2,986	-0,139	-15,659	-3,928	0,001
Zeit	0,058	0,018	0,134	0,023	0,093	0,001

*Anmerkung: Alter in Jahren; Zeit in min; B= Regressionskoeffizienten; SE B= Standardfehler des Regressionskoeffizienten;  $\beta$ = standardisierter Regressionskoeffizient; 95%-KI= 95% Konfidenzintervall*

Als stärkster Prädiktor zeigte sich die Lagerung. So hatten Patienten, die in halbsitzender Lagerung operiert wurden, im postoperativen CCT durchschnittlich  $40,3 \pm 33,0$  ml an intrakranieller Luft, wohingegen in Rückenlage durchschnittlich  $0,8 \pm 1,4$  ml nachweisbar war. Alle Patienten, bei denen über 10,2 ml an Luft im CCT nachweisbar war, wurden in halbsitzender Lagerung operiert. Die Auswirkung der Operationslagerung auf die Verteilung der intrakraniellen Luft soll Abbildung 7 verdeutlichen.

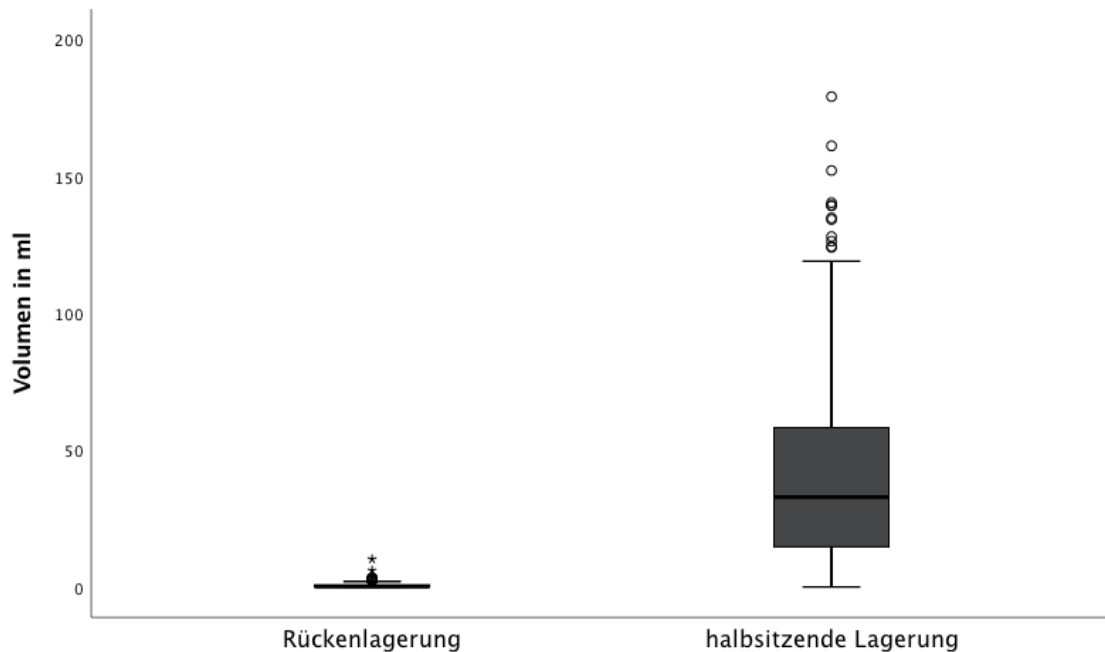


Abbildung 7 Boxplot zum Verhältnis der intrakraniellen Luft zur Operationslagerung

### 3.3.1.3. Spannungspneumozecephalus

Kam es durch den Pneumozecephalus zu einem verspäteten Aufwachen aus der Narkose mit einer damit einhergehenden erschwerten Extubation innerhalb von 60 Minuten postoperativ, wurde ein Luftaustausch durchgeführt.

Dieser erwähnte Spannungspneumozecephalus trat bei 14 der 540 Patienten (2,6 %) auf. Alle Patienten mit einem Spannungspneumozecephalus wurden in halbsitzender Lagerung operiert. Im postoperativ durchgeführten CCT konnten andere Komplikationen, insbesondere Blutungen, ausgeschlossen werden. Es war dabei im postoperativen CCT mindestens 65,8 ml an intrakranieller Luft nachweisbar. Die Menge an intrakranieller Luft unterschied sich signifikant zwischen der Patientenkohorte ohne und mit Luftaustausch ( $X^2 = 37,18$ ,  $p < 0,001$ ; Kruskal-Wallis). Im Durchschnitt hatten die Patienten mit einem Luftaustausch  $119,6 \pm 26,8$  ml an intrakranieller Luft, wohingegen die Patientengruppe ohne Luftaustausch durchschnittlich  $32,2 \pm 33,5$  ml an

intrakranieller Luft hatte, was durch Abbildung 8 verdeutlicht wird. Wie aus Tabelle 6 ersichtlich ist, kam es bei 9 von 17 Patienten (52,9 %) mit mehr als 110 ml zum Luftaustausch.

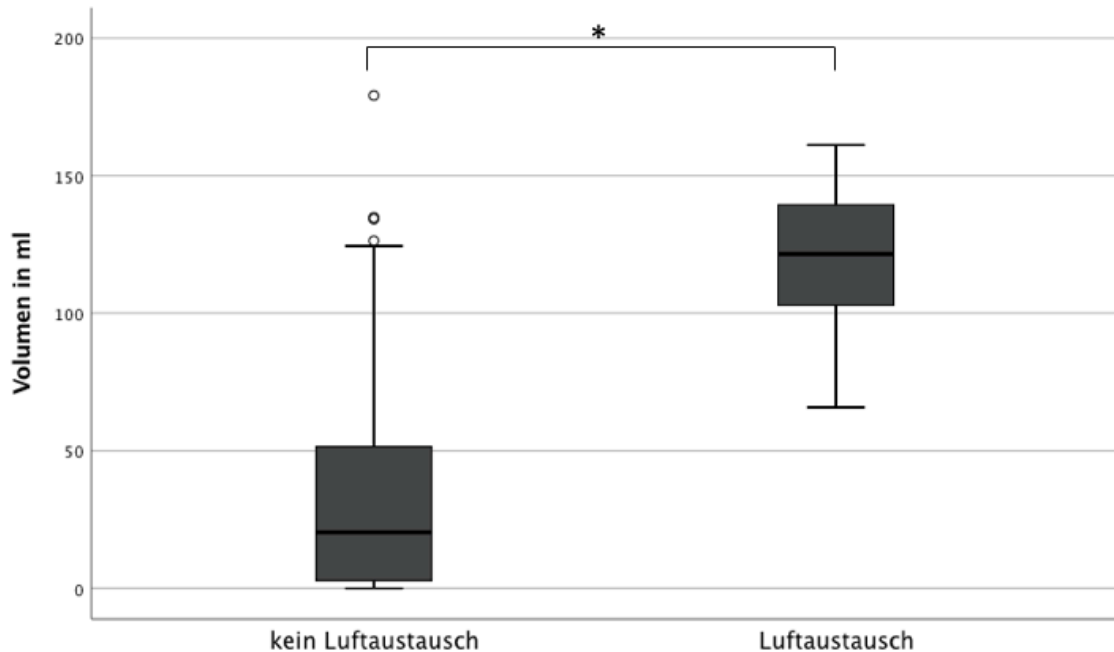


Abbildung 8 Boxplot zum Vergleich der intrakraniellen Luft in ml bei Patienten mit und ohne Luftaustausch. \* =  $p < 0,05$

Tabelle 6 Anzahl und Prozent der Therapie "Luftaustausch" in Abhängigkeit der postoperativen intrakraniellen Luft

Intrakranielle Luft in ml	Luftaustausch in
50-69	1/77 (1,3 %)
70-89	1/38 (2,6 %)
90-109	3/19 (15,8 %)
110-129	4/9 (44,4 %)
130-149	3/5 (60,0 %)
≥150	2/3 (66,6 %)

Bei der Intervention des Luftaustauschs kam es in allen 14 Fällen zu keinen Komplikationen. Bei einem Patienten trat neben dem Pneumocephalus eine Blutung im Kleinhirnbrückenwinkel und ein Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) auf, sodass sich dessen Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation auf elf Tage verlängerte. Bei den anderen 13 Patienten mit einem erfolgten Luftaustausch zeigte sich im Vergleich zum restlichen Patientenkollektiv eine minimal verlängerte Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation ( $1,3 \pm 0,6$  Tage gegenüber  $1,1 \pm 1,9$  Tage,  $p= 0,010$ ; Kruskal-Wallis). Ebenfalls verlängerte sich deren gesamte Hospitationsdauer ( $8,6 \pm 2,1$  Tage gegenüber  $8,0 \pm 3,9$  Tage,  $p= 0,018$ ; Kruskal-Wallis). Trat neben dem Pneumocephalus zusätzlich eine Blutung auf oder fanden mehrere nicht komplikationsassoziierte Eingriffe statt, wurden diese Fälle aus dem Gruppenvergleich ausgeschlossen.

### **3.3.2. Facialisparesie**

Die Funktion des N. facialis wurde zu vier verschiedenen Zeitpunkten nach der HB-Klassifikation dokumentiert. Zum einen präoperativ, drei bis 5 Tage postoperativ und jeweils nach drei und nach 15 Monaten. Es fehlen die Daten von 26 Patienten (4,6 %) drei bis fünf Tage postoperativ, von 156 Patienten (27,3 %) nach drei Monaten und von 184 Patienten (32,2 %) 15 Monate postoperativ.

Von den 523 Patienten (91,8 %), die vor der Operation keine Einschränkungen der mimischen Muskulatur aufwiesen, zeigten direkt postoperativ 254 (46,6 %) weiterhin keine Einschränkungen. Von einer geringen Funktionsstörung (H&B°II) waren nach der Operation 129 Patienten (23,7 %) betroffen. Die restlichen 162 Patienten (29,7 %) klagten über eine mäßige bis schwere (H&B° III-VI) Funktionseinschränkung. Dabei lag bei 6 Patienten (1,1 %) eine vollständige Paralyse (H&B° VI) vor. Wie in Abbildung 9 ersichtlich wird, verbesserte sich die Funktion des Gesichtsnervs über die Kontrollen nach 3 und 15 Monaten. So hatten nach 3 Monaten 318 Patienten (76,6 %) und nach 15 Monaten 332 der Patienten (85,8 %) keinerlei Einschränkungen (Grad 1).



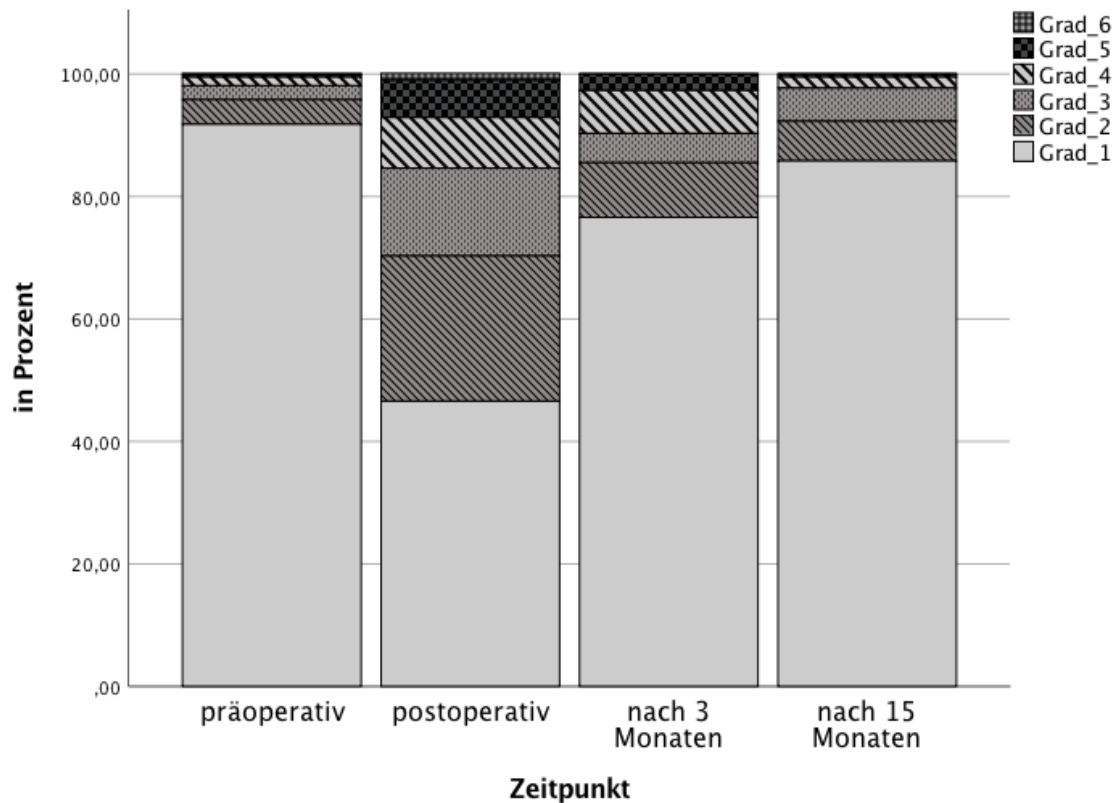
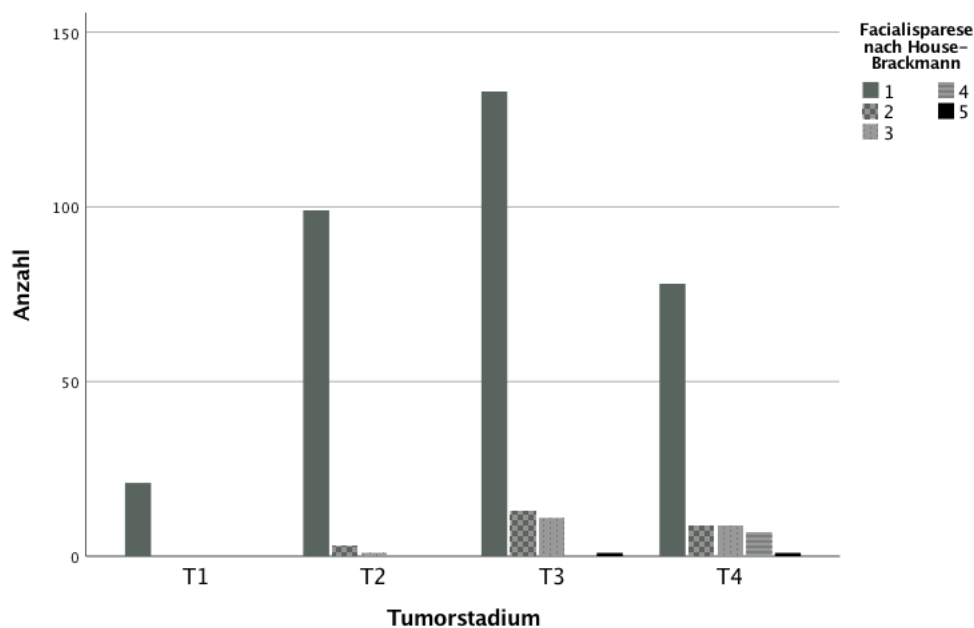


Abbildung 9 Grad der Facialisparesie nach HB im Verlauf

Der Zusammenhang zwischen der Funktionseinschränkung der mimischen Muskulatur nach 15 Monaten und der Tumorgroße soll durch Abbildung 10 verdeutlicht werden.

Alle 21 Patienten mit einem T1 Tumor (100 %) hatten nach 15 Monaten keine Funktionseinschränkung (Grad 1). Bei Tumoren der Größe T2 hatten 99 Patienten (96,1 %) eine normale Facialisfunktion und 3 Patienten (2,9 %) eine geringe Funktionsstörung (Grad 2). Bestand präoperativ ein Tumor der Größe T3, zeigten 15 Monate postoperativ 133 Patienten (84,2 %) eine normale Facialisfunktion und 13 Patienten (8,2 %) eine geringe Funktionsstörung. Bei Tumoren der Größe T4 gab es bei 78 Patienten (75,0 %) keine Einschränkungen der Facialisfunktion und 9 Patienten (8,7 %) wiesen eine geringe Funktionsstörung auf.



*Abbildung 10 Grad der Facialisparese nach House-Brackmann 15 Monate postoperativ in Abhängigkeit der präoperativen Tumorgroße*

### **3.3.3. Weitere Komplikationen**

Bei 41 Patienten (7,2 %) entwickelte sich nach der Operation eine Liquorfistel. Alle 41 Patienten wurden zunächst konservativ mit einer Lumbalpunktion, beziehungsweise einer Lumbaldrainage behandelt. Bei 8 der 41 Patienten (19,5 %) kam es im Verlauf zusätzlich zu einer Wundrevision mit erneutem Verschluss der Dura mater. Ein Patient mit Liquorfistel entwickelte während seines stationären Aufenthaltes das klinische und laborchemische Bild einer Meningitis.

In unserem Patientenkollektiv kam es bei 11 Patienten (1,9 %) zu einer Blutung als Folge der Operation. Dabei erlitten 9 Patienten (81,8 %) eine subdurale Blutung und 2 Patienten (18,2 %) eine epidurale Blutung. Bei 4 von den 9 Patienten (44,4 %) mit einer subduralen Blutung entwickelte sich ein sekundärer Hydrozephalus. Bei einem dieser Patienten reichte ein ventrikulo-peritonealer Shunt zur Beschwerdefreiheit aus. Bei den anderen drei Patienten wurde neben der Anlage eines ventrikulo-peritonealen Shunt eine operative Revision der

Nachblutung durchgeführt. Bei einem dieser Patienten bestand postoperativ eine Tetraplegie. Sechs Monate postoperativ zeigte dieser bei einer Kontrolluntersuchung keine Lähmungen mehr, jedoch ein ataktisches Gangbild.

Neben einer subduralen Blutung entwickelten 2 der 9 Patienten (22,2 %) zusätzlich ein ARDS aufgrund einer Luftembolie. Einer dieser zwei Patienten entwickelte eine Hemiparese des linken Armes, die jedoch im Verlauf des Klinikaufenthaltes rückläufig war. Bei dem zweiten Patienten bestand zusätzlich ein Spannungspneumocephalus. Bei den weiteren drei Patienten mit einer subduralen Blutung kam es zu keiner sekundären Komplikation und es musste nicht interveniert werden. Eine dieser Nachblutungen war durch einen Faktor VIII Mangel begünstigt.

Zu einer epiduralen Blutung kam es bei zwei Patienten. Bei einem Patienten wurde die Blutung operativ ausgeräumt, bei dem anderen war kein Eingriff erforderlich. Zusätzlich wurde bei einem dieser zwei Patienten neben der epiduralen Blutung eine Sinusvenenthrombose diagnostiziert. Insgesamt wiesen 4 Patienten (0,7 %) postoperativ eine Sinusvenenthrombose auf, welche alle mit einer Antikoagulation behandelt wurden.

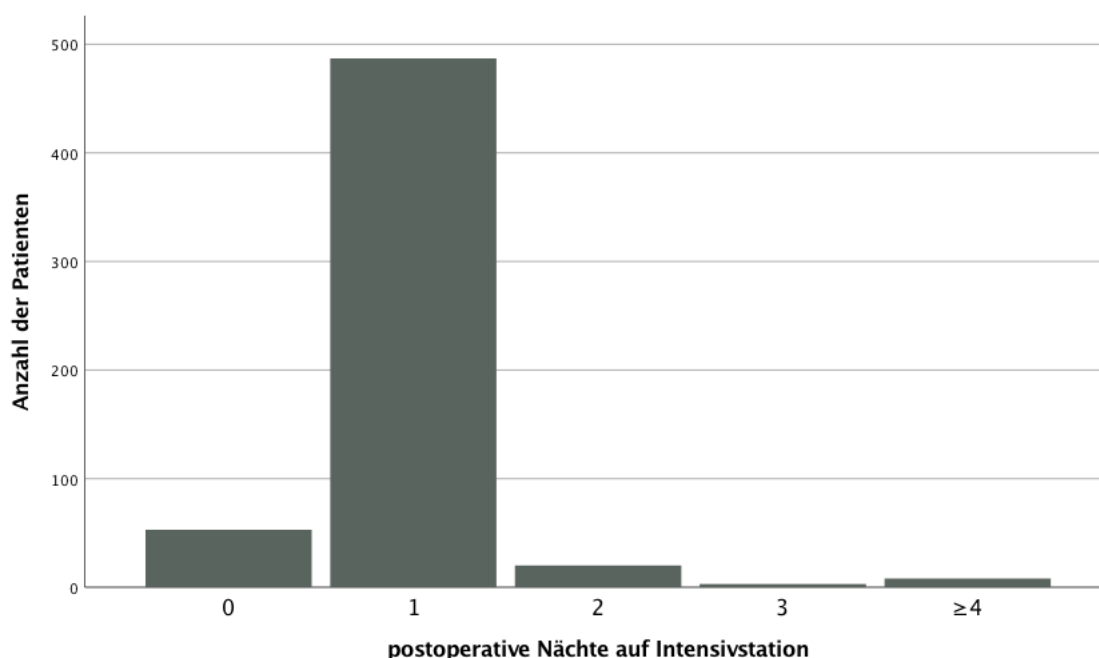
Ein Patient berichtete postoperativ über Schluckstörungen, sodass er kurzzeitig eine Magensonde benötigte. Als weitere Komplikation entwickelte sich bei einem Patienten während des stationären Aufenthaltes eine Pneumonie, die antibiotisch behandelt wurde.

### **3.4. Stationäre Aufenthaltsdauer**

#### **3.4.1. Aufenthalt auf der Intensivstation**

Im Durchschnitt blieben die Patienten  $1,1 \pm 1,9$  Nächte postoperativ auf der Intensivstation. 53 Patienten (9,3 %) konnten die Intensivstation am selben Tag der Operation noch verlassen, beziehungsweise wurden direkt nach der Operation auf die Normalstation verlegt. Aus Abbildung 11 ist ersichtlich, dass der Großteil (487 Patienten, 85,3 %) nach einer Nacht auf der Intensivstation

wieder auf die Normalstation verlegt wurde. 20 Patienten (3,5 %) konnten nach zwei Nächten die Intensivstation verlassen und 3 Patienten (0,5 %) blieben für drei Nächte auf der Intensivstation. Länger als drei Nächte blieben 8 Patienten (1,4 %). Dabei verlängerte sich die Aufenthaltszeit auf der Intensivstation bei sieben aufgrund einer Nachblutung. Bei einem Patienten bestand bereits präoperativ ein Hydrozephalus, welcher im postoperativen Verlauf mit einem ventrikulo-peritonealen Shunt behandelt wurde, sodass sich dessen Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation auf 16 Tage verlängerte.



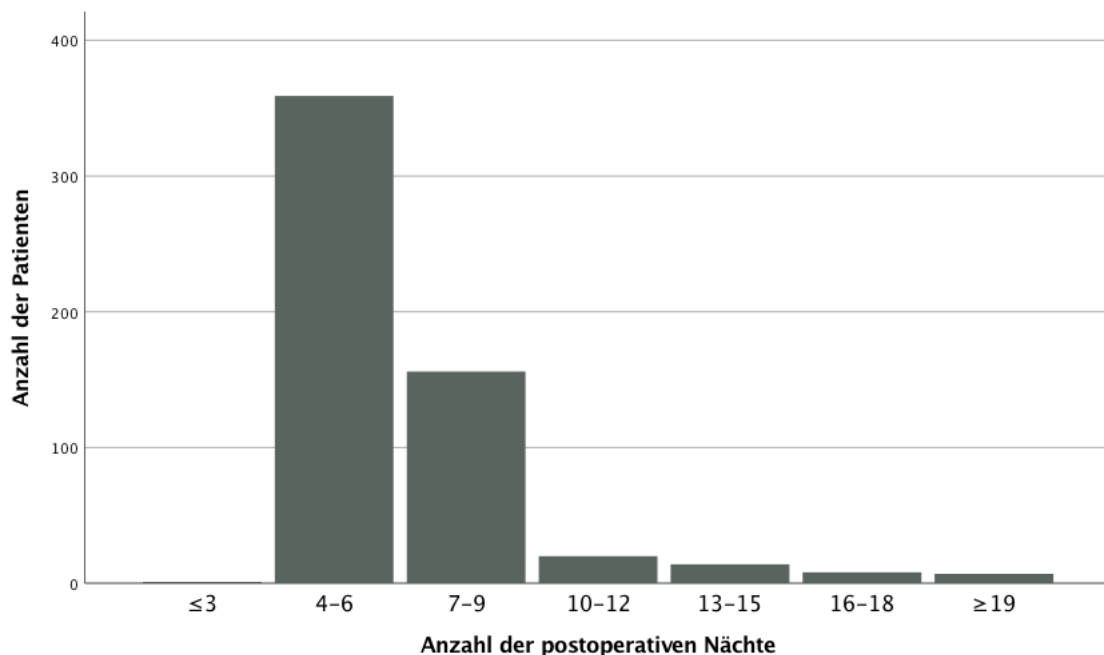
*Abbildung 11 Balkendiagramm zur Verteilung der postoperativen Nächte auf der Intensivstation*

### **3.4.2. Hospitationsdauer**

Bei 6 der 571 Patienten fanden während des stationären Aufenthaltes mehrere nicht komplikationsassoziierte Eingriffe statt, sodass diese bezüglich der Hospitationsdauer nicht berücksichtigt wurden.

Bei 559 Patienten (98,9 %) wurde die Operation innerhalb von zwei Tagen nach der Klinikaufnahme durchgeführt. 5 Patienten (0,9 %) wurden am dritten Tag operiert und bei einem Patienten wurde der Tumor am vierten Tag nach Klinikaufnahme entfernt.

Abbildung 12 gibt einen Überblick über die Verteilung der postoperativen Aufenthaltsdauer in der Klinik. Im Durchschnitt verblieben die Patienten postoperativ  $6,9 \pm 3,6$  Nächte in der Klinik. Es konnten 23 Patienten (4,1 %) die Klinik bereits vier Nächte nach der Operation wieder verlassen. Nach sieben Nächten postoperativ konnten 478 Patienten (84,6 %) den stationären Aufenthalt beenden. Neun Patienten mussten erneut aufgenommen werden, alle aufgrund einer Liquorfistel, sodass sich deren Hospitationsdauer dadurch verlängerte. Die zwei längsten Aufenthaltsdauern in der Klinik mit 47 und 48 postoperativen Tagen hatten jeweils zwei Patienten mit einer subduralen Blutung.



*Abbildung 12 Anzahl der Patienten in Bezug auf die postoperative Klinikaufenthaltsdauer nach Vestibularisschwannom-Resektion*

### **3.5. Zusammenhang zwischen der Dauer des stationären Aufenthaltes und verschiedener Komplikationen**

In diesem Abschnitt werden Patienten mit mehreren postoperativen Komplikationen, beziehungsweise mit mehreren Eingriffen während des Klinikaufenthaltes nicht berücksichtigt.

Patienten mit einem komplikationslosen Aufenthalt verblieben im Durchschnitt  $6,1 \pm 1,1$  postoperative Nächte in der Klinik und  $0,9 \pm 0,4$  Tage auf der Intensivstation. Wie aus Abbildung 13 und Abbildung 14 ersichtlich wird, verblieben Patienten mit einer postoperativen Hirnblutung am längsten in der Klinik und auf der Intensivstation ( $22,3 \pm 16,7$  postoperative Nächte in der Klinik und  $9,4 \pm 12,6$  Nächte auf der Intensivstation). Sowohl die Aufenthaltsdauer in der Klinik, ( $X^2 = 24,83$   $p < 0,001$ ; Kruskal-Wallis), als auch die Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation ( $X^2 = 69,17$ ,  $p < 0,001$ ; Kruskal-Wallis) unterschied sich signifikant zu der Aufenthaltsdauer bei Patienten mit einem komplikationslosen Aufenthalt. Durch eine Liquorfistel verlängerte sich die postoperative Aufenthaltsdauer in der Klinik signifikant auf durchschnittlich  $12,0 \pm 4,4$  Nächte ( $X^2 = 110,31$ ,  $p < 0,001$ ; Kruskal-Wallis), wohingegen sich die Zeit auf der Intensivstation bei durchschnittlich  $0,8 \pm 0,4$  Nächten nicht verlängerte. Bei drei Patienten, bei denen eine Sinusvenenthrombose ohne andere Komplikationen auftrat, verlängerte sich die postoperative Hospitationsdauer auf durchschnittlich  $10,7 \pm 5,5$  Nächte und  $1,3 \pm 0,6$  Nächte auf der Intensivstation.

Vor der Operation bestand bei zwei Patienten bereits ein Hydrozephalus. Beide entwickelten nach der Operation eine Liquorfistel. Bei einem entwickelte sich daraufhin eine Meningitis. Dieser verbrachte 23 Nächte postoperativ in der Klinik und einen Tag auf der Intensivstation. Der andere verbrachte 17 Nächte postoperativ in der Klinik und zwei Nächte auf der Intensivstation. Ein Patient klagte nach der Operation über Schluckstörungen, weshalb ihm eine Magensonde gelegt wurde. Er verbrachte 13 postoperative Nächte in der Klinik und einen Tag auf der Intensivstation. Ein weiterer Patient entwickelte während

seines stationären Aufenthaltes eine Pneumonie und verblieb so 14 postoperative Nächte in der Klinik und einen Tag auf der Intensivstation.

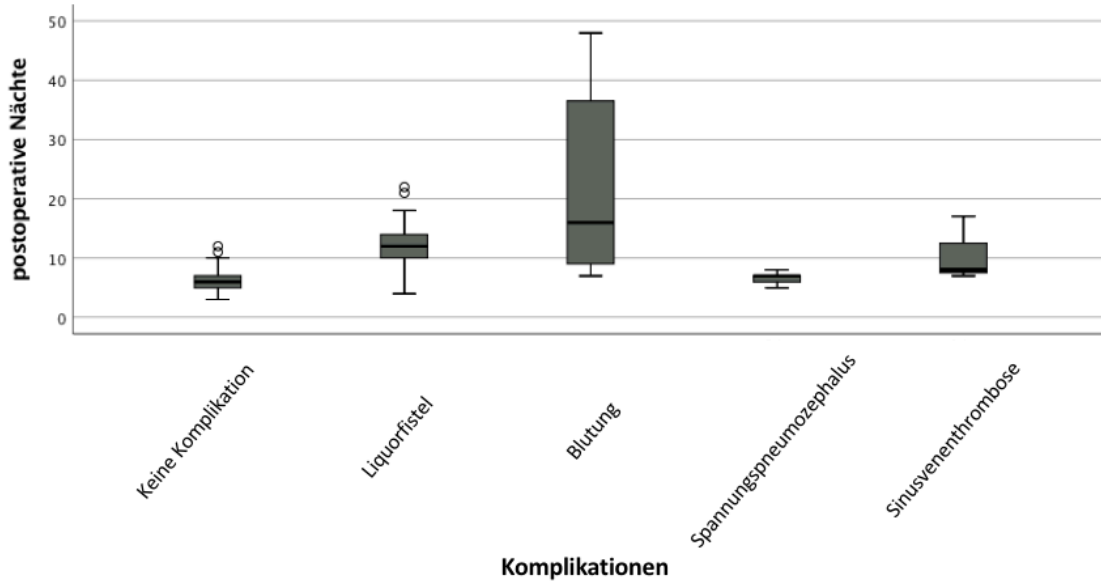


Abbildung 13 Boxplot zur Auswirkung der Komplikationen auf die postoperative Hospitationsdauer in Nächten

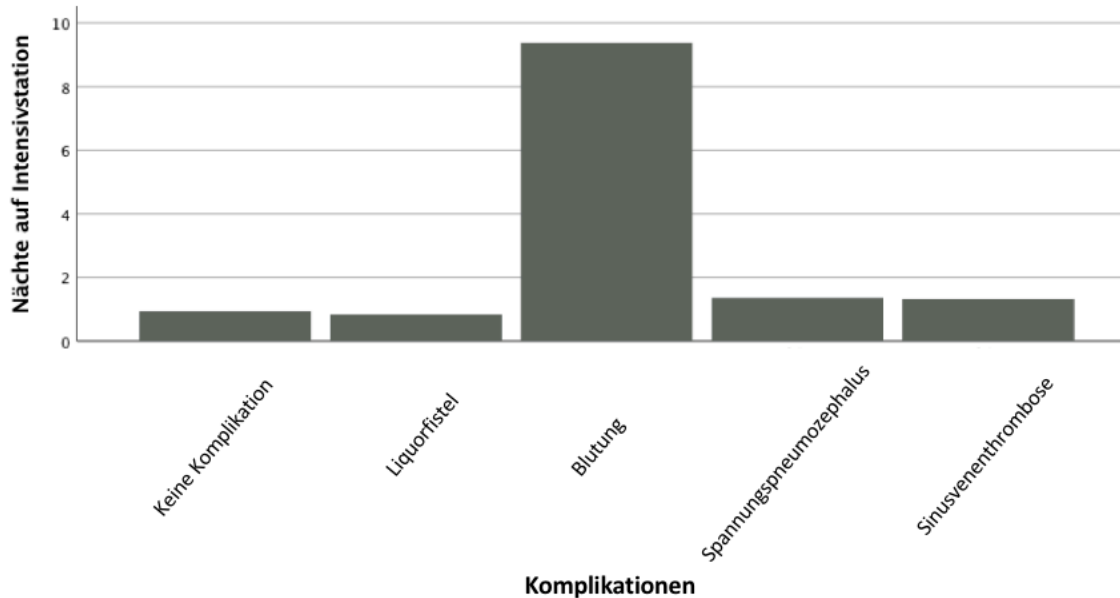


Abbildung 14 Balkendiagramm zur Auswirkung der Komplikationen auf die durchschnittliche Aufenthaltsdauer auf Intensivstation in Nächten

## **4 Diskussion**

Bei der neurochirurgischen Therapie des VS wird stets über die beste Lagerung für den Patienten diskutiert. Bei der halbsitzenden Lagerung werden dem großen Vorteil eines übersichtlicheren Arbeitens häufig mögliche Komplikationen gegenübergestellt, die mit dieser Lagerung vermehrt einhergehen. Dabei ist neben der venösen Luftembolie oder einer intraoperativen arteriellen Hypotension insbesondere der Pneumozephalus eine typische Komplikation, die mit der halbsitzenden Lagerung assoziiert ist. Die vorliegende Arbeit soll dabei helfen, das Auftreten eines Pneumozephalus und dessen klinische Konsequenz anhand der Hospitations- und Intensivaufenthaltsdauer für den Patienten abzuschätzen. Es wurde dabei zum ersten Mal das genaue Ausmaß des postoperativen Pneumozephalus in einer großen Patientenkohorte anhand einer Voxel-basierten Volumetrie bestimmt.

Zusätzlich soll durch die Häufigkeitsdarstellung weiterer Komplikationen bei der chirurgischen Therapie über den retrosigmoidalen Zugang das Komplikationsrisiko in einem hochspezialisierten Zentrum aufgezeigt werden und welchen Einfluss die verschiedenen Komplikationen auf die Aufenthaltsdauer in der Klinik beziehungsweise auf der Intensivstation haben.

### **4.1. Diskussion des Patientenkollektivs**

In der vorliegenden Arbeit wurde eine retrospektive Analyse bei 571 durchgeführten Resektionen von VS im Zeitraum von Januar 2011 bis März 2017 über den postoperativen Verlauf durchgeführt. Es wurde dabei stets der retrosigmoidale Zugang gewählt. Patienten mit einem Rezidivtumor oder einem bereits im Vorfeld bestrahlten Tumor wurden nicht gesondert betrachtet. Präoperativ wurde zwar stets eine vollständige Resektion angestrebt, es ist jedoch aus den Daten nicht vollständig ersichtlich, ob teilweise auch ein Tumorrest intraoperativ belassen wurde. Das analysierte Patientenkollektiv zeigte eine ausgeglichene Geschlechterverteilung mit einem durchschnittlichen Alter von ca. 47 Jahren. Dies entspricht auch dem durchschnittlichen Alter zum



Zeitpunkt der Operation bei anderen Studien (Matthies and Samii, 1997a). Die Diagnose einer NF2 lag bei 10,5 % vor, ähnlich wie in dem Studienkollektiv von Samii, Matthies und Tatagiba (1997), wo bei 12 % der Operationen (120 von 1000 Operationen) eine NF2 bekannt war. Die Tumorgröße wurde durch die präoperative MRT-Aufnahme anhand der Hannover-Klassifikation (Samii and Matthies, 1997b) eingeteilt. Große Tumore der Größe T3 und T4 machten in unserem Studienkollektiv 74,2 % aus, was ebenfalls annähernd der Verteilung der Tumorgrößen im Studienkollektiv von Matthies und Samii (1997a) entspricht, bei welchem Tumore der Größe T3 und T4 80 % ausmachten.

#### **4.2. Diskussion der operationsbezogenen Daten**

Die durchschnittliche Operationsdauer in unserem Patientenkollektiv betrug ca. 300 Minuten. Bei der Interpretation der Daten muss beachtet werden, dass in unserer Studie große Tumore (T3 und T4) zu 94,2 % in halbsitzender Lagerung operiert wurden. Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass die in unserem Patientenkollektiv angegebene Operationsdauer bei Eintritt des Patienten in den Operationssaal gemessen wurde und dadurch die präoperativen Lagerungsmaßnahmen beinhaltet. Dies erschwert den Vergleich zu den Operationsdauern anderer Studien. Bei Spektor *et al.* (2015) dauerten die Operationen ebenfalls länger in halbsitzender Lagerung mit einer durchschnittlichen Operationsdauer von 595 Minuten. Demgegenüber berichten Scheller *et al.* (2020) und Roessler *et al.* (2016) über kürzere Operationsdauern (Schnitt-Naht-Zeiten ohne Lagerungsmaßnahmen) in halbsitzender Lagerung als in Rückenlagerung mit 239 Minuten und 183 Minuten.

#### **4.3. Der Pneumozephalus als Komplikation der chirurgischen VS-Therapie**

Von den 571 eingeschlossenen Patienten konnte bei 31 Patienten kein postoperatives CCT aufgerufen werden, sodass in der durchgeführten Auswertung bezüglich eines Pneumozephalus nur 540 Patienten berücksichtigt wurden. Dabei kam es bei 95,7 % der Patienten zu intrakraniellen Gaseinschlüssen, wobei das Ausmaß in halbsitzender Lagerung signifikant

höher war als in Rückenlagerung. So wurden alle Patienten mit einem Spannungspneumozecephalus in halbsitzender Lagerung operiert. Unsere Daten stehen in Einklang mit den verfügbaren Daten, wobei diese jedoch nicht zahlreich vorliegen. Es wird dabei eine Häufigkeit des Pneumozecephalus nach Eingriffen in halbsitzender Position von 42,1 % (40/95) bis 100 % (30/30 bzw. 32/32) angegeben (Di Lorenzo et al., 1986; Sloan, 2010; Toung et al., 1986). Das Auftreten eines symptomatischen Spannungspneumozecephalus ist jedoch deutlich seltener, wie aus Tabelle 7 ersichtlich wird. Velho *et al.* (2019) modifizierten die halbsitzende Lagerung zu einer seitlich-halbsitzenden Lagerung. In ihrem Studienkollektiv mit 154 Patienten kam es dabei zu keinem Spannungspneumozecephalus. Am häufigsten trat mit einer Inzidenz von 7 % (nach 7/100 Eingriffen) ein Spannungspneumozecephalus bei Daszkiewicz und Dziedzic (2017) auf. Das häufigere Auftreten könnte darauf zurückzuführen sein, dass nur Patienten im Alter von 4 bis 17 Jahren operiert wurden, bei welchen häufig bereits präoperativ ein Hydrozecephalus bestand. In unserem Patientenkollektiv benötigten 2,5 % der Patienten (3,3 % nach halbsitzender Lagerung) einen Luftaustausch aufgrund eines postoperativen Spannungspneumozecephalus. Bei allen 14 Patienten mit einem Spannungspneumozecephalus waren Luftvolumina von mindestens 60 ml nachweisbar. Es ist bisher nicht geklärt, wann aus einem asymptomatischen Pneumozecephalus ein symptomatischer Spannungspneumozecephalus entsteht. Es ist jedoch anzunehmen, dass vor allem die Größe des Pneumozecephalus entscheidend für die Entwicklung von Symptomen ist (Machetanz et al., 2020). Diesbezüglich gibt es jedoch nur wenige quantitative Analysen des postoperativen Pneumozecephalus. In der Studie von Sloan et al. (2010) wurden 95 Patienten nach Eingriffen in der hinteren Schädelgrube in halbsitzender Position auf einen postoperativen Pneumozecephalus untersucht, wobei sich ein Luftvolumen zwischen 6 und 280 ml zeigte. Obwohl dabei teilweise von symptomatischen Verläufen berichtet wurde, musste keiner von ihnen behandelt werden (Sloan, 2010).

Monajati et al. (1982) berichteten über ähnliche Ergebnisse wie in unserer Studie, wobei ein Luftvolumen von mehr als 65 ml mit einem symptomatischen

Pneumozephalus einherging und ein Luftvolumen kleiner als 20 ml mit einem asymptomatischen postoperativen Verlauf assoziiert war. Aufgrund dieser übereinstimmenden Ergebnisse ist anzunehmen, dass bei typischen postoperativen klinischen Symptomen eines Spannungspneumozephalus, einhergehend mit einem Luftvolumen von mindestens 60 ml, eine neurochirurgische Intervention erforderlich wird. Befinden sich die Luftansammlungen jedoch vor allem im intraventrikulären Raum, kann bereits ein geringeres Luftvolumen zu einem symptomatischen Verlauf führen (Sachkova et al., 2018). Eine Ursache für den postoperativen Pneumozephalus nach Operationen in halbsitzender Lagerung wurde von Lunsford et al. (1979) anhand des "Inverted soda-bottle" Mechanismus erklärt. Dabei kommt es der Schwerkraft entsprechend zu einem verstärkten Liquorabfluss, wobei gleichzeitig Luft eintritt und aufsteigt, welche in der Folge nicht mehr entweichen kann (Lunsford et al., 1979). Es bleibt weiterhin nicht vollständig geklärt, warum suboccipitale Kraniotomien im Vergleich zu HWS-Operationen in halbsitzender Lagerung ein signifikant höheres Risiko für einen postoperativen Pneumozephalus haben (Himes et al., 2017; Standefer et al., 1984). In unserer Veröffentlichung Machetanz et al. (2020) stellen wir die Hypothese auf, dass es nach subokzipitaler Kraniotomie durch die Eröffnung der basalen Zisternen und des vierten Ventrikels auf Höhe der Foramen Luschkae zu einem erleichterten Liquorabfluss aus den inneren und äußeren Liquorräumen kommen kann und dadurch das Risiko eines postoperativen Pneumozephalus entsprechend ansteigt. Zusätzlich ermöglicht die Eröffnung der Arachnoidea-Barriere-Schicht die Ausbreitung der Luft (Machetanz et al., 2020). Die anschließende intrakranielle Luft verteilte sich in unserem Patientenkollektiv überwiegend subdural, wobei intraventrikuläre Luft nur bei fünf Patienten sichtbar war. Dies stimmt mit früheren Erkenntnissen überein, wonach die Eröffnung des vierten Ventrikels mit einem ventrikulären Pneumozephalus einhergeht und ein chirurgischer Eingriff im Kleinhirnbrückenwinkel prädisponierend für einen subduralen Pneumozephalus ist (Sachkova et al., 2018).

Aufgrund der häufigeren Eröffnung der basalen Zisternen bei größeren Tumoren stellten wir im Vorfeld die Hypothese auf, dass neben der halbsitzenden

Lagerung auch die Tumorgröße ein positiver Prädiktor für die postoperative intrakranielle Luft ist. Diese Hypothese wird von unseren Ergebnissen jedoch nicht unterstützt. Bei der Korrelationsanalyse zwischen der VS-Größe und einem postoperativen Pneumozehalus muss jedoch beachtet werden, dass kleinere Tumore in der Regel in Rückenlage operiert werden. Entgegen unserer Erwartungen zeigte sich in unserer Studie (Machetanz et al., 2020) ein Tumor der Größe T4 als negativer Prädiktor für einen Pneumozehalus. Koval und Krempaská (2010) konnten bereits zeigen, dass es bei großen Tumoren (T4) zu einem Verschluss des ipsilateralen Foramen Luschkae kommen kann, wodurch ein weiterer Liquor-Verlust aus dem vierten Ventrikel während der Operation verhindert wird. Dies könnte zu dem geringeren Ausmaß des subduralen Pneumozehalus bei Patienten mit einem T4-Tumor im Vergleich zu Patienten mit einem T3-Tumor während der VS-Operation in halbsitzender Position beitragen. Darüber hinaus sind in der vorliegenden Studie das Alter des Patienten, das männliche Geschlecht und die Operationszeit positive Prädiktoren für eine postoperative intrakranielle Luftansammlung. Hiermit übereinstimmend konnte auch in bisherigen Studien gezeigt werden, dass ein zunehmendes Patientenalter und eine Operationsdauer von mehr als 4,5 Stunden mit einem postoperativen Pneumozehalus korrelieren (Sachkova et al., 2018; Sloan, 2010). In der Studie von Sachkova et al. (2018) wurde ebenfalls gezeigt, dass männliche Patienten ein höheres Risiko für einen postoperativen Pneumozehalus haben. Es wird vermutet, dass es bei Männern aufgrund eines höheren Liquorvolumens und einer größeren Tendenz zur Gehirnatrophie zu einem verstärkten postoperativen Pneumozehalus kommt (Coffey et al., 1998; Gur et al., 1991). Es konnte mehrfach gezeigt werden, dass es nach Operationen in der hinteren Schädelgrube sehr häufig zu subduralen Luftansammlungen kommt. Das Risiko für einen postoperativen Spannungspneumozehalus, der einen chirurgischen Luftersatz erfordert, ist jedoch bei Eingriffen im KHBW geringer als bei Läsionen mit Beteiligung des vierten Ventrikels (Daszkiewicz and Dziedzic, 2017; Sachkova et al., 2018). Um dabei das Risiko eines Spannungspneumozehalus zu reduzieren, sollte bei Operationen im Bereich des vierten Ventrikels auf einem möglichst geringen Liquorverlust geachtet

werden. Neben einem sorgfältigen duralen Verschluss kann bei Operationen im Bereich des vierten Ventrikels versucht werden, den Aquädukt während der Operation kurzzeitig zu verschließen und das verloren gegangene Liquorvolumen möglichst vollständig durch eine warme physiologische Kochsalzlösung zu ersetzen (Daszkiewicz and Dziedzic, 2017).

Bei einem asymptomatischen oder gering ausgeprägten Pneumozephalus reicht häufig eine konservative Sauerstoffinhalation aus (Gore et al., 2008; Hong et al., 2015; Paiva et al., 2014). Das Ziel dabei ist, einen hohen Diffusionsgradienten für den intrakraniellen Stickstoff zu erzeugen, sodass der Stickstoff aus der Schädelhöhle diffundiert (Dexter and Reasoner, 1996). Inwieweit eine spontane Luftresorption bereits zu einer Abnahme des Pneumozephalus führt, wurde in unserer Studie nicht untersucht. Es konnte jedoch in früheren Studien gezeigt werden, dass es am dritten postoperativen Tag zu einem verbleibenden intrakraniellen Luftvolumen von 39,1 % (Sachkova et al., 2018) beziehungsweise 19 % (Sloan, 2010) kommt. Die Aussagekraft zur spontanen Luftresorption ist jedoch begrenzt, da die Studien entweder nur eine geringe Patientenzahl hatten beziehungsweise nicht nur Patienten mit VS-Operation berücksichtigten oder sich auf das Absorptionsverhalten bei unterschiedlichen Beatmungsmodi konzentrierten (Gore et al., 2008; Hong et al., 2015; Sachkova et al., 2018; Song et al., 2018).

Musste in den seltenen Fällen doch ein Luftaustausch über ein 5-mm Bohrloch durchgeführt werden, wurde der Aufenthalt auf der Intensivstation bzw. im Krankenhaus nur geringfügig verlängert (Aufenthaltsdauer auf Intensivstation: 1,4 Nächte vs. 0,9 Nächte; Hospitationsdauer insgesamt 6,7 Nächte vs. 6,1 Nächte). Unsere Ergebnisse bestätigen den Luftaustausch trotz des invasiven Eingriffs mit den damit verbundenen Risiken (Infektion, Blutung, Wundheilungsstörung usw.), als komplikationsarmes Verfahren, wie bereits auch von Gupta *et al.* (2018) gezeigt wurde. Die Entscheidung für einen Luftaustausch sollte dabei stets auf der Grundlage des klinischen Erscheinungsbildes (z.B. Bewusstseinsstörungen, Krampfanfälle oder fokale neurologische Defizite) durchgeführt werden. Aus den vorliegenden Ergebnissen kann abgeleitet

werden, dass das Risiko eines postoperativen Pneumozephalus keine Kontraindikation für die halbsitzende Lagerung darstellen sollte.

*Tabelle 7 Übersicht der Inzidenz des Spannungspneumozephalus in der Literatur*

Studien	PZ	Inzidenz	Kommentar
Machetanz et al. (2020)	429	3,3 %	
Velho et al. (2019)	154	0,0 %	Lagerung in seitlich-halbsitzender Position
Sachkova et al. (2018)	307	4,2 %	12 Fälle ventrikulär; 1Fall subdural
Daszkiewicz & Dziedzic (2017)	100	7,0 %	Studienkollektiv: 4-17Jahre 3/7 Patienten mit SP präoperativ Hydrozephalus
Himes et al. (2017)	450	0,2 %	
Sloan et al. (2010)	95	0,0 %	Teilweise lethargische Patienten bei Extubation
Hernández-Palazón et al. (2003)	90	2,2 %	
Toung et al. (1986)	32	0,0 %	
Di Lorenzo et al. (1986)	30	0,0 %	
Standefer et al. (1984)	234	3,4 %	

*Anmerkung: Bei allen Studien wurde eine suboccipitale Kraniotomie in halbsitzender Lagerung durchgeführt bei unterschiedlichen Pathologien im Kleinhirnbrückenwinkel. PZ= Patientenzahl; SP= Spannungspneumozephalus*

#### **4.4. Weitere Komplikationen bei der chirurgischen Therapie des VS**

Die in unserer Studie am häufigsten aufgetretenen Komplikationen werden im folgenden Kapitel in Zusammenhang zu der aktuellen Literatur gesetzt, wobei Tabelle 8 einen Überblick gibt.

Als Komplikation bei der chirurgischen Therapie des VS trat in unserem Patientenkollektiv neben dem Spannungspneumozephalus am häufigsten eine postoperative Liquorfistel und eine Nachblutung auf. Es handelt sich dabei um bekannte Komplikationen, die beide mit einer signifikant verlängerten Hospitationsdauer einhergingen.

Eine postoperative Liquorfistel trat bei 7,2 % der operierten Patienten auf. Wie aus Tabelle 8 zu entnehmen ist, schwankt das Auftreten einer Liquorfistel von 3,1 % (Scheller et al., 2020) bis zu 63,1 % (Betka et al., 2014), wobei es laut einer Metaanalyse von Sughrue et al. zu einem durchschnittlichen Auftreten von 6 % (244/3757) kam (Sughrue et al., 2011). Das gehäufte Vorkommen bei Betka et al. war zu 99 % durch laterale Liquor fisteln bedingt (Betka et al., 2014). Eine mögliche Ursache für das erhöhte Vorkommen könnte ein insuffizienter Wundverschluss sein (Betka et al., 2014). Als Folge der Liquorfistel kam es in unserem Patientenkollektiv bei einem Patienten zu einer bakteriellen Meningitis. Bei anderen Studien wird dabei meist über ein häufigeres Auftreten von bis zu 3 % berichtet (Samii and Matthies, 1997b).

Zu einer postoperativen Blutung kam es in unserem Patientenkollektiv bei 2,0 %. In bisherigen Studien wird eine Häufigkeit von 1 % (Scheller et al., 2020) bis zu 8,2 % angegeben (Guo et al., 2021). Am häufigsten kommt es dabei zu einer intraduralen Blutung im KHBW. Bei 1000 operierten VS von Samii und Matthies (1997) trat die höchste Blutungsneigung bei zystischen und abgekapselten Tumoren auf, was wahrscheinlich auf eine schwierigere Darstellung der AICA-Äste zurückzuführen ist (Samii and Matthies, 1997b). Weitere Risikofaktoren für eine Blutung sind Tumore größer als 30 mm, ein periläsionales Ödem und eine unvollständige Resektion (Guo et al., 2021). Im postoperativen Verlauf könnte zudem eine kontinuierliche und präzise Blutdruckkontrolle hilfreich sein, um eine

Blutung zu verhindern (Guo et al., 2021). Eine postoperative Nachblutung führte bei vier der elf betroffenen Patienten zu einem sekundären Hydrozephalus und bei zwei Patienten zu Muskelparesen, die im weiteren Verlauf jedoch rückläufig waren.

In unserem Patientenkollektiv seltener auftretende Komplikationen, wie eine Störung der kaudalen Hirnnerven oder eine Sinusvenenthrombose, sind ebenfalls als schwerwiegende Komplikationen bekannt, welche die Hospitationsdauer verlängern und die auf ein Minimum reduziert werden sollten (Rahimpour et al., 2016; Rosahl and Eßer, 2017a). Zu Verletzungen der Hirnnerven IX-XI kommt es bei 1,5 bis 6 % (Betka et al., 2014; Samii et al., 2006; Samii and Matthies, 1997b).

Zusätzlich stellt heutzutage die Funktionserhaltung des Gesichtsnervs ein primäres Ziel der Operation dar. Es konnte mehrfach gezeigt werden, dass die Funktion der mimischen Gesichtsmuskulatur einen großen Einfluss auf die postoperative Lebensqualität hat (Cross et al., 2000; Lassaletta et al., 2006; Tavares-Brito et al., 2019; Turel et al., 2015). In unserem Patientenkollektiv hatten 70,3 % der Patienten drei bis fünf Tage nach der Operation eine gute Facialisfunktion (HB I-II). In vergleichbaren Studien wird eine gute Facialisfunktion (HB I-II) wenige Tage nach der Operation zwischen 36,2 % und 66 % angegeben (Betka et al., 2014; Breun et al., 2019; Huang et al., 2017; Samii et al., 2006; Samii and Matthies, 1997b). Eine Übersichtsarbeit von Zou *et al.* (2014) zu großen VS mit einer Größe von mindestens 30 mm kommt zu dem Ergebnis, dass es nach Operationen über den retrosigmoidalen Zugang bei 62,9 % zu einer Facialisparese nach HB I-II im Verlauf kommt. Bei einer aktuelleren Meta-Analyse von Starnoni *et al.* (2020), bei denen über verschiedene Zugangswege operiert wurde, wiesen 60,1 % der Patienten eine Facialisparese nach HB I-II auf. Im postoperativen Verlauf erholte sich in unserem Patientenkollektiv die Facialisfunktion, sodass 15 Monate nach der Operation 92,2 % eine gute Funktion der Gesichtsmuskulatur (HB I-II) hatten. Es ist dabei jedoch zu beachten, dass in unserer Studie lediglich bei 68 % der Patienten Daten zur Kontrolluntersuchung nach 15 Monaten vorlagen. Auch in



anderen Studien wurde eine postoperative Verbesserung der mimischen Muskulatur dokumentiert, sodass zwei Jahre nach der Operation bis zu 88,7 % eine gute Facialisfunktion zeigten (Tonn et al., 2000). In der Studie von Bozhkov et al. (2021), bei welcher die Patienten ebenfalls über den retrosigmoidalen Zugang in halbsitzender Position operiert wurden, wiesen 86 % der Patienten bereits drei Monate postoperativ eine gute Funktion der Gesichtsmuskulatur (HB I-II) auf. Wir führen die überdurchschnittlich guten Ergebnisse in unserer Studie bezüglich der Funktion des N. facialis auf die langjährige Erfahrung der Operateure in einem hochspezialisierten Zentrum, kombiniert mit einem sorgfältigen IONM aus Facialis-MEP, -EMG und direkter Stimulationsantwort zurück (Ebner and Tatagiba, 2019). Durch das Belassen eines Tumorrestes bei Anzeichen für eine Funktionsstörung des N. facialis durch das IONM ist es möglich, noch bessere Ergebnisse zu erreichen, sodass in der Studie von Elsayed *et al.* (2021) 95 % der Patienten sechs Monate postoperativ eine gute Facialisfunktion (HB I-II) aufwiesen.

Nach dem Auftreten einer venösen Luftembolie, welche ebenfalls vor allem bei Operationen in halbsitzender Position auftritt, wurde in unserem Patientenkollektiv nicht gezielt gesucht. Es wurden lediglich zwei Patienten mit einem ARDS aufgrund einer Luftembolie auffällig. Die Häufigkeit einer venösen Luftembolie, welche zu einer Hypotension führt, wird von einem Review-Artikel mit 1-6 % angegeben (Gale and Leslie, 2004).

In unserem Studienkollektiv mit 571 Patienten traten keine Todesfälle auf. In vergleichbaren Studien kommt es meist ebenfalls zu einer Mortalität kleiner 1 %, mit einer durchschnittlichen Mortalität von 0,3 % (Ansari et al., 2012; Breun et al., 2019; Feigl et al., 2014; McCutcheon et al., 2016; Samii et al., 2006; Scheller et al., 2020).

Die eher niedrigen Komplikationsraten in unserem Patientenkollektiv führen wir auf eine überdurchschnittliche Erfahrung der Operateure bei einer Vielzahl an Resektionen in einem hochspezialisierten Zentrum zurück. Dazu passend

konnten Hatch *et al.* (2018) zeigen, dass in Kliniken mit einer hohen Anzahl an VS Operationen das Komplikationsrisiko abnimmt.

Tabelle 8 Häufigkeiten von Komplikationen in % bei der chirurgischen Therapie des VS über den retrosigmoidalen Zugang

	N	Mort.	Liquor-fistel	Blutung	Kaudale HN St.	Men- ingitis	HZ
Aktuelle Studie	571	0,0	7,2	2,0	0,2	0,2	0,7
Scheller et al. (2020)	97	0,0	3,1	1,0	NB	NB	0,0
Breun et al. (2019)	502	0,4	9,2	3,8	2,9	1,2	NB
Visagan et al. (2019)	46	0,0	8,7	2,2	4,3	NB	13
McCutcheon et al. (2016) <sup>1</sup>	565	0,9	5,0	NB	NB	0,7	0,7
Betka et al. (2014)	333	3,0	63,1	5,0	6,0	0,0	NB
Matthies (2008) Gruppe1	1000	1,1	9,2	2,2	NB	1,3	2,3
Matthies (2008) Gruppe2	1289	0,2	5,2	1,2	NB	0,0	2,2
Tonn et al. (2000)	508	0,4	9,2	1,5	4,7	2,9	NB
Samii und Matthies (1997)	1000	1,1	9,2	4,4	5,5	3,0	2,3

Anmerkung: N= Studienteilnehmer; Mort.= Mortalität; HN= Hirnnerven; St.= Störung; HZ= Hydrozephalus; NB= nicht berichtet

<sup>1</sup>verschiede HN Neoplasien wurden eingeschlossen

## 5 Zusammenfassung

Das Vestibularisschwannom (VS) ist ein gutartiger Tumor des achten Hirnnervens. Die chirurgische Resektion ist aufgrund der anatomischen Verhältnisse weiterhin herausfordernd. In den letzten Jahrzehnten entwickelte sich der retrosigmoidale Zugang als Goldstandard in der neurochirurgischen Therapie des VS. Der akademische Diskurs dreht sich seither um die optimale Lagerung des Patienten. Durch den schwerkraftbedingten Abfluss der Operationsflüssigkeiten führt die halbsitzende Lagerung zu einer besseren Übersicht des Chirurgen über das Operationsfeld als in Rückenlage. Allerdings birgt die halbsitzende Positionierung das Risiko für lagerungsabhängige Komplikationen, z.B. einen postoperativen Pneumozephalus. Unter Pneumozephalus versteht man intrakranielle Lufteinschlüsse nach neurochirurgischen Eingriffen. Während dieses Phänomen in der Neurochirurgie weitverbreitet ist und üblicherweise keinerlei Therapierelevanz hat, ist der postoperative Pneumozephalus nach Eingriffen in halbsitzender Lagerung aufgrund des intraoperativen Liquorverlustes akzentuiert. In einigen Fällen führt der Pneumozephalus zu einer Steigerung des intrakraniellen Druckes und damit zu einer neurologischen Verschlechterung des Patienten. In diesen Fällen spricht man von einem Spannungspneumozephalus, der chirurgisch therapiert werden muss. Durch den Mangel an entsprechenden Veröffentlichungen ist die klinische Wertigkeit des postoperativen (Spannungs-) Pneumozephalus jedoch weiterhin unklar. Ziel der vorliegenden Promotionsarbeit war es, die Inzidenz des postoperativen Pneumozephalus und weiterer Komplikationen nach VS-Operationen sowie deren klinische Konsequenz in einer großen Patientenkohorte zu bestimmen. Des Weiteren sollte die Frage beantwortet werden, welche Faktoren die Entwicklung eines Spannungspneumozephalus begünstigen. Erstmals sollte hierfür eine Voxel-basierte Volumetrie der postoperativen Lufteinschlüsse erfolgen. Wir führten daher eine retrospektive Analyse von 571 VS-Operationen in unserer Klinik durch. Erfasst wurden hierfür neben den demographischen Patientendaten die Tumoreigenschaften, die Operationskennzahlen sowie die Intensiv- und Hospitationsdauern. Die

Bestimmung des Volumens der postoperativen Lufteinschlüsse erfolgte prospektiv mit Hilfe einer Voxel-basierten Volumetrie auf der Basis der postoperativen Computertomographien.

Unsere Ergebnisse bestätigen das häufige Auftreten des Pneumocephalus nach VS-Operationen in halbsitzender Lagerung. Eine klinische Symptomatik entstand dabei jedoch nur sehr selten. Als Prädiktoren für einen Pneumocephalus zeigten sich neben der halbsitzenden Lagerung eine lange Operationsdauer, ein höheres Patientenalter und das männliche Geschlecht. Große VS mit Kompression des Hirnstamms stellten sich dabei als negative Prädiktoren für einen postoperativen Pneumocephalus dar, obwohl ein erhöhter Liquorverlust im Rahmen dieser Operationen erwartet wird. Wir stellten die Vermutung auf, dass diese großen Tumore durch einen Verschluss des Foramen Luschkae einen weiteren Liquorverlust verhindern und sich dadurch weniger subdurale Luft ansammeln kann. Ein interventionsbedürftiger Spannungspneumocephalus entwickelte sich in unserer Fallserie bei 2,5 % aller untersuchten Patienten bzw. in 3,3 % aller Operationen in halbsitzender Lagerung. Die Entstehung eines Spannungspneumocephalus wurde mit zunehmendem intrakraniellen Luftvolumen wahrscheinlicher. Bei Patienten mit der Notwendigkeit zur chirurgischen Intervention zeigte sich ein Luftvolumen von mindestens 60 ml. Das Auftreten eines postoperativen Spannungspneumocephalus und der folgende chirurgische Luftaustausch beeinflussten die Intensiv- und Hospitationsdauer nur geringfügig. Im Gegensatz hierzu führten andere Komplikationen, wie eine postoperative Liquorfistel oder eine Nachblutung, zu einer deutlichen Zunahme des Aufenthaltes auf der Intensiv- und/oder Normalstation. Aus den vorliegenden Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass das Risiko eines postoperativen Pneumocephalus keine Kontraindikation für die halbsitzende Lagerung darstellen sollte. Zudem bestätigen unsere Ergebnisse die chirurgische Resektion des VS über den retrosigmoidalen Zugang als komplikationsarmes Verfahren, insbesondere bei Durchführung an einem hochspezialisierten Zentrum mit einer entsprechend großen Erfahrung.

## 6 Literaturverzeichnis

- Ansari, S. F., Terry, C., & Cohen-Gadol, A. A. (2012). Surgery for vestibular schwannomas: A systematic review of complications by approach. *Neurosurgical Focus*, 33(3). <https://doi.org/10.3171/2012.6.FOCUS12163>
- Apicella, G., Paolini, M., Deantonio, L., Masini, L., & Krenkli, M. (2016). Radiotherapy for vestibular schwannoma: Review of recent literature results. *Reports of Practical Oncology and Radiotherapy*, 21(4), 399–406. <https://doi.org/10.1016/j.rpor.2016.02.002>
- Beloartsev, A., & Theilen, H. (2011). Operative Eingriffe in sitzender Position: Anästhesiologische Besonderheiten. *Anaesthesist*, 60(9), 863–877. <https://doi.org/10.1007/s00101-011-1920-1>
- Berrettini, S., Ravecca, F., Sellari-Franceschini, S., Bruschini, P., Casani, A., & Padolecchia, R. (1996). Acoustic neuroma: correlations between morphology and otoneurological manifestations. *Journal of the Neurological Sciences*, 144(1–2), 24–33. [https://doi.org/10.1016/s0022-510x\(96\)00174-8](https://doi.org/10.1016/s0022-510x(96)00174-8)
- Betka, J., Zvěřina, E., Balogová, Z., Profant, O., Skřivan, J., Kraus, J., Lisý, J., Syka, J., & Chovanec, M. (2014). Complications of microsurgery of vestibular schwannoma. *BioMed Research International*. <https://doi.org/10.1155/2014/315952>
- Board, E. (2006). -- Head and Neck Surgery Head and Neck Surgery. *Ymhn*, 5998(06), 5–6. [https://doi.org/10.1016/S0194-5998\(06\)00507-9](https://doi.org/10.1016/S0194-5998(06)00507-9)
- Bozhkov, Y., Shawarba, J., Feulner, J., Winter, F., Rampp, S., Hoppe, U., Doerfler, A., Iro, H., Buchfelder, M., & Roessler, K. (2021). Prediction of Hearing Preservation in Vestibular Schwannoma Surgery According to Tumor Size and Anatomic Extension. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, 019459982110126. <https://doi.org/10.1177/01945998211012674>
- Brackmann, D. E., & Bartels, L. J. (1980). Rare Tumors of the Cerebellopontine Angle. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, 88(5), 555–559. <https://doi.org/10.1177/019459988008800508>
- Breun, M., Nickl, R., Perez, J., Hagen, R., Lohr, M., Vince, G., Trautner, H., Ernestus, R. I., & Matthies, C. (2019). Vestibular Schwannoma Resection in a Consecutive Series of 502 Cases via the Retrosigmoid Approach: Technical Aspects, Complications, and Functional Outcome. *World Neurosurg*, 129, e114–e127. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.05.056>
- Campero, A., Martins, C., Rhoton, A., & Tatagiba, M. (2011). Dural landmark to locate the internal auditory canal in large and giant vestibular schwannomas: The Tübingen line. *Neurosurgery*, 69(1). <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e31821664c6>
- Carlstrom, L. P., Copeland, W. R., Neff, B. A., Castner, M. L., Driscoll, C. L. W., & Link, M. J. (2016). Incidence and risk factors of delayed facial palsy after vestibular schwannoma resection. *Neurosurgery*, 78(2), 251–255. <https://doi.org/10.1227/NEU.0000000000001015>
- Chamoun, R., MacDonald, J., Shelton, C., & Couldwell, W. T. (2012). Surgical

- approaches for resection of vestibular schwannomas: Translabyrinthine, retrosigmoid, and middle fossa approaches. *Neurosurgical Focus*, 33(3). <https://doi.org/10.3171/2012.6.FOCUS12190>
- Chandrasekhar, S. S., Brackmann, D. E., & Devgan, K. K. (1995). Utility of auditory brainstem response audiometry in diagnosis of acoustic neuromas. *The American Journal of Otology*, 16(1), 63–67.
- Coffey, C. E., Lucke, J. F., Saxton, J. A., Ratcliff, G., Unitas, L. J., Billig, B., & Bryan, R. N. (1998). Sex differences in brain aging: A quantitative magnetic resonance imaging study. *Archives of Neurology*, 55(2), 169–179. <https://doi.org/10.1001/archneur.55.2.169>
- Cross, T., Sheard, C. E., Garrud, P., Nikolopoulos, T. P., & O'Donoghue, G. M. (2000). Impact of facial paralysis on patients with acoustic neuroma. *Laryngoscope*, 110(9), 1539–1542. <https://doi.org/10.1097/00005537-200009000-00024>
- Cushing, H. (1917). Tumors of the Nervous Acousticus and the syndrome of the cerebellopontile angle. *Philadelphia: WB Saunders*, 2(2), 33–73.
- Dade Lunsford, L., Maroon, J. C., Sheptak, P. E., & Albin, M. S. (1979). Subdural tension pneumocephalus. Report of two cases. *Journal of Neurosurgery*, 50(4), 525–527. <https://doi.org/10.3171/jns.1979.50.4.0525>
- Dandy, W. E. (1925). Contributions to brain surgery: A. Removal of certain deep-seated brain tumors; B. Intracranial approach with concealed incisions. *Annals of Surgery*, 82(4), 513–525. <https://doi.org/10.1097/00000658-192510010-00001>
- Daszkiewicz, P., & Dziedzic, D. (2017). Tension pneumocephalus following suboccipital sitting craniotomy in the pediatric population. *Neurologia i Neurochirurgia Polska*, 51(4), 286–289. <https://doi.org/10.1016/j.pjnns.2017.04.006>
- Dexter, F., & Reasoner, D. K. (1996). Theoretical assessment of normobaric oxygen therapy to treat pneumocephalus: Recommendations for dose and duration of treatment. *Anesthesiology*, 84(2), 442–447. <https://doi.org/10.1097/00000542-199602000-00024>
- Di Lorenzo, N., Caruso, R., Floris, R., Guerrisi, V., Bozzao, L., & Fortuna, A. (1986). Pneumocephalus and tension pneumocephalus after posterior fossa surgery in the sitting position: a prospective study. *Acta Neurochirurgica*, 83(3–4), 112–115.
- Ebner, F. H., & Tatagiba, M. (2019). Update on diagnostics and microsurgical treatment of vestibular schwannoma. *Nervenarzt*, 90(6), 578–586. <https://doi.org/10.1007/s00115-019-0721-7>
- Elsayed, M., Jia, H., Hochet, B., Sterkers, O., Torres, R., Nguyen, Y., Bernat, I., Lahlou, G., & Kalamarides, M. (2021). Intraoperative facial nerve electromyography parameters to optimize postoperative facial nerve outcome in patients with large unilateral vestibular schwannoma. *Acta Neurochirurgica*. <https://doi.org/10.1007/s00701-021-04814-2>
- Evans, D. G., Huson, S. M., Donnai, D., Neary, W., Blair, V., Newton, V., & Harris,

- R. (1992). A clinical study of type 2 neurofibromatosis. *The Quarterly Journal of Medicine*, 84(304), 603–618.
- Evans, D. G. R., Moran, A., King, A., Saeed, S., Gurusinghe, N., & Ramsden, R. (2005). Incidence of vestibular schwannoma and neurofibromatosis 2 in the North West of England over a 10-year period: higher incidence than previously thought. *Otology & Neurotology: Official Publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*, 26(1), 93–97.
- Feigl, G. C., Decker, K., Wurms, M., Krischek, B., Ritz, R., Unertl, K., & Tatagiba, M. (2014). Neurosurgical Procedures in the Semisitting Position: Evaluation of the Risk of Paradoxical Venous Air Embolism in Patients with a Patent Foramen Ovale. *World Neurosurgery*, 81(1), 159–164. <https://doi.org/10.1016/J.WNEU.2013.01.003>
- Gale, T., & Leslie, K. (2004). Anaesthesia for neurosurgery in the sitting position. *Journal of Clinical Neuroscience*, 11(7), 693–696. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2004.05.007>
- Gore, P. A., Maan, H., Chang, S., Pitt, A. M., Spetzler, R. F., & Nakaji, P. (2008). Normobaric oxygen therapy strategies in the treatment of postcraniotomy pneumocephalus. *Journal of Neurosurgery*, 108(5), 926–929. <https://doi.org/10.3171/JNS/2008/108/5/0926>
- Graamans, K., Van Dijk, J. E., & Janssen, L. W. (2003). Hearing deterioration in patients with a non-growing vestibular schwannoma. *Acta Oto-Laryngologica*, 123(1), 51–54. <https://doi.org/10.1080/0036554021000028075>
- Grayeli, A. B., Kalamarides, M., Ferrary, E., Bouccara, D., Elgharem, H., Rey, A., & Sterkers, O. (2005). Conservative management versus surgery for small vestibular schwannomas. *Acta Oto-Laryngologica*, 125(10), 1063–1068. <https://doi.org/10.1080/00016480510038013>
- Grunwald, I., Papanagiotou, P., Nabhan, A., Politi, M., & Reith, W. (2006). Anatomie des kleinhirnbrückenwinkels. *Radiologe*, 46(3), 192–196. <https://doi.org/10.1007/s00117-006-1341-3>
- Guo, X., Zhu, Y., Wang, X., Xu, K., & Hong, Y. (2021). Peritumoral Edema Is Associated With Postoperative Hemorrhage and Reoperation Following Vestibular Schwannoma Surgery. *Frontiers in Oncology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.633350>
- Gupta, P., Rath, G., Prabhakar, H., & Bithal, P. (2018). Complications related to sitting position during Pediatric Neurosurgery: An institutional experience and review of literature. *Neurology India*, 66(1), 217. <https://doi.org/10.4103/0028-3886.222852>
- Gur, R. C., Mozley, P. D., Resnick, S. M., Gottlieb, G. L., Kohn, M., Zimmerman, R., Herman, G., Atlas, S., Grossman, R., Berretta, D., Erwin, R., & Gur, R. E. (1991). Gender differences in age effect on brain atrophy measured by magnetic resonance imaging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 88(7), 2845–2849. <https://doi.org/10.1073/pnas.88.7.2845>

- Haid, C.-T. (1998). Leitsymptome beim Akustikusneurinom. In W. Stoll (Ed.), *Differentialdiagnose Schwindel* (pp. 29–38). Springer-Verlag.
- Hamm, K., Herold, H. U., Surber, G., & Rosahl. (2017). Radiochirurgie und fraktionierte stereotaktische Radiotherapie des Vestibularisschwannoms. *HNO*, *65*(5), 434–442. <https://doi.org/10.1007/s00106-016-0319-3>
- Hassepass, F., Bulla, S. B., Aschendorff, A., & Maier, W. (2012). Vestibularisschwannom: Teil I: Epidemiologie und Diagnostik. *HNO*, *60*(9), 837–846. <https://doi.org/10.1007/s00106-012-2533-y>
- Hatch, J. L., Bauschard, M. J., Nguyen, S. A., Lambert, P. R., Meyer, T. A., & McRackan, T. R. (2018). Does Hospital Volume Affect Outcomes in Patients Undergoing Vestibular Schwannoma Surgery? *Otology and Neurotology*, *39*(4), 481–487. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000001718>
- Hernández-Palazón, J., Martínez-Lage, J. F., De la Rosa-Carrillo, V. N., Tortosa, J. A., López, F., & Poza, M. (2003). Anesthetic technique and development of pneumocephalus after posterior fossa surgery in the sitting position. *Neurocirugia*, *14*(3), 216–221. [https://doi.org/10.1016/S1130-1473\(03\)70540-5](https://doi.org/10.1016/S1130-1473(03)70540-5)
- Himes, B. T., Mallory, G. W., Abcejo, A. S., Pasternak, J., Atkinson, J. L. D., Meyer, F. B., Marsh, W. R., Link, M. J., Clarke, M. J., Perkins, W., & Van Gompel, J. J. (2017). Contemporary analysis of the intraoperative and perioperative complications of neurosurgical procedures performed in the sitting position. *Journal of Neurosurgery*, 182–188. <https://doi.org/10.3171/2016.5.JNS152328>
- Hofmann, E., & Choné, L. (2011). Neuroradiologische Bildgebung des Akustikusneurinoms (Vestibularisschwannoms): Durchbruch oder Dilemma? *Hno*, *59*(1), 9–15. <https://doi.org/10.1007/s00106-010-2188-5>
- Höhmann, D., & Dornhoffer, J. L. (1994). Klinische Präsentation und Diagnose kleiner Akustikusneurinome TT - Clinical Presentation and Diagnosis of Small Acoustic Neuromas. *Laryngo-Rhino-Otol*, *73*(06), 320–323. <https://doi.org/10.1055/s-2007-997139>
- Hoistad, D. L., Melnik, G., Mamikoglu, B., Battista, R., O'Connor, C. A., & Wiet, R. J. (2001). Update on conservative management of acoustic neuroma. *Otology and Neurotology*, *22*(5), 682–685. <https://doi.org/10.1097/00129492-200109000-00021>
- Hong, B., Biertz, F., Raab, P., Scheinichen, D., Ertl, P., Grosshennig, A., Nakamura, M., Hermann, E. J., Lang, J. M., Lanfermann, H., & Krauss, J. K. (2015). Normobaric hyperoxia for treatment of pneumocephalus after posterior fossa surgery in the semisitting position: A prospective randomized controlled trial. *PLoS ONE*, *10*(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125710>
- House, J. W., Brackmann, D. E., & Angeles, L. (1985). Facial nerve grading system. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, *93*(2), 146–147.
- House, W. F. (1961). Surgical exposure of the internal auditory canal and its contents through the middle, cranial fossa. *The Laryngoscope*, *71*(11),



- 1363–1385. <https://doi.org/10.1288/00005537-196111000-00004>
- Huang, X., Xu, J., Xu, M., Chen, M., Ji, K., Ren, J., & Zhong, P. (2017). Functional outcome and complications after the microsurgical removal of giant vestibular schwannomas via the retrosigmoid approach: A retrospective review of 16-year experience in a single hospital. *BMC Neurology*, *17*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12883-017-0805-6>
- Iwai, Y., Yamanaka, K., Yamagata, K., & Yasui, T. (2007). Surgery after radiosurgery for acoustic neuromas: Surgical strategy and histological findings. *Neurosurgery*, *60*(2 SUPPL.1). <https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000249251.78794.45>
- Jadik, S., Wissing, H., Friedrich, K., Beck, J., Seifert, V., & Raabe, A. (2009). A standardized protocol for the prevention of clinically relevant venous air embolism during neurosurgical interventions in the semisitting position. *Neurosurgery*, *64*(3), 533–538. <https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000338432.55235.D3>
- Kameda, K., Shono, T., Hashiguchi, K., Yoshida, F., & Sasaki, T. (2010). Effect of tumor removal on tinnitus in patients with vestibular schwannoma. *Journal of Neurosurgery*, *112*(1), 152–157. <https://doi.org/10.3171/2009.3.JNS081053>
- Kasantikul, V., & Brown, W. J. (1981). Estrogen receptors in acoustic neurilemmomas. *Surgical Neurology*, *15*(2), 105–109. [https://doi.org/10.1016/0090-3019\(81\)90023-9](https://doi.org/10.1016/0090-3019(81)90023-9)
- Kasantikul, V., Netsky, M. G., Glasscock, M. E., & Hays, J. W. (1980). Acoustic neurilemmoma. Clinicoanatomical study of 103 patients. *Journal of Neurosurgery*, *52*(1), 28–35. <https://doi.org/10.3171/jns.1980.52.1.0028>
- Kaschke, O. (2017). Diagnostik und Behandlung des Vestibularisschwannoms. *HNO Nachrichten*, *47*(4), 34–42.
- Kluwe, L., & Mautner, V. F. (2009). Neurofibromatose Typ 2: Klinik und Genetik. In *Medizinische Genetik* (Vol. 21, Issue 4, pp. 532–538). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11825-009-0204-5>
- Koval, J., & Krempaská, S. (2010). Tumor size and foramen luschka in vestibular schwannoma surgery. *Journal of International Advanced Otolaryngology*, *6*(2), 141–148.
- Lassaletta, L., Alfonso, C., Del Rio, L., Roda, J. M., & Gavilan, J. (2006). Impact of facial dysfunction on quality of life after vestibular schwannoma surgery. In *Annals of Otolaryngology, Rhinology and Laryngology* (Vol. 115, Issue 9 I, pp. 694–698). Annals Publishing Company. <https://doi.org/10.1177/000348940611500908>
- Lee, J. D., Lee, B. D., & Hwang, S. C. (2011). Vestibular schwannoma in patients with sudden sensorineural hearing loss. *Skull Base : Official Journal of North American Skull Base Society ... [et Al.]*, *21*(2), 75–78. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1261257>
- Leksell, D. G. (1987). Stereotactic radiosurgery. Present status and future trends. *Neurological Research*, *9*(2), 60–68.

<https://doi.org/10.1080/01616412.1987.11739775>

- Leksell, L. (1983). Stereotactic radiosurgery. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 46(9), 797–803. <https://doi.org/10.1136/jnnp.46.9.797>
- Lescanne, E., François, P., & Velut, S. (2008). Cerebellopontine cistern: Microanatomy applied to vestibular schwannomas. *Progress in Neurological Surgery*, 21, 43–53. <https://doi.org/10.1159/000156580>
- Lin, D., Hegarty, J. L., Fischbein, N. J., & Jackler, R. K. (2005). The Prevalence of “Incidental” Acoustic Neuroma. *JAMA Otolaryngology–Head & Neck Surgery*, 131(3), 241–244. <https://doi.org/10.1001/archotol.131.3.241>
- Lunsford, L. D., Maroon, J. C., Sheptak, P. E., & Albin, M. S. (1979). Subdural tension pneumocephalus. Report of two cases. *Journal of Neurosurgery*, 50(4), 525–527. <https://doi.org/10.3171/jns.1979.50.4.0525>
- Machetanz, K., Leuze, F., Mounts, K., Trakolis, L., Gugel, I., Grimm, F., Tatagiba, M., & Naros, G. (2020). Occurrence and management of postoperative pneumocephalus using the semi-sitting position in vestibular schwannoma surgery. *Acta Neurochirurgica*, 162(11), 2629–2636. <https://doi.org/10.1007/s00701-020-04504-5>
- Machinis, T. G., FOUNTAS, K. N., DIMOPOULOS, V., & ROBINSON, J. S. (2005). History of acoustic neurinoma surgery. *Neurosurgical Focus*, 18(4), 18–21.
- Magdziarz, D. D., Wiet, R. J., Dinces, E. A., & Adamiec, L. C. (2000). Normal audiologic presentations in patients with acoustic neuroma: An evaluation using strict audiologic parameters. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 122(2), 157–162. [https://doi.org/10.1016/S0194-5998\(00\)70232-4](https://doi.org/10.1016/S0194-5998(00)70232-4)
- Martin, R. G., Grant, J. L., Peace, D., Theiss, C., & Rhoton, A. L. (1980). Microsurgical relationships of the anterior inferior cerebellar artery and the facial-vestibulocochlear nerve complex. *Neurosurgery*, 6(5), 483–507. <https://doi.org/10.1227/00006123-198005000-00001>
- Matthies, C. (2008). Functional Microsurgery of Vestibular Schwannomas. In *Samii's Essentials in Neurosurgery* (pp. 189–203). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-49250-4\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-540-49250-4_19)
- Matthies, C., & Samii, M. (1997a). Management of 1000 vestibular schwannomas (acoustic neuromas): clinical presentation. *Neurosurgery*, 40(1), 1–9; discussion 9-10.
- Matthies, C., & Samii, M. (1997b). Management of vestibular schwannomas (acoustic neuromas): the value of neurophysiology for evaluation and prediction of auditory function in 420 cases. *Neurosurgery*, 40(5), 919–930. <https://doi.org/10.1097/00006123-199705000-00007>
- Matthies, C., Samii, M., & Krebs, S. (1997). Management of vestibular schwannomas (acoustic neuromas): radiological features in 202 cases--their value for diagnosis and their predictive importance. *Neurosurgery*, 40(3), 462–469. <https://doi.org/10.1097/00006123-199703000-00009>

- Maurer, K. (1982). Wellenveränderungen der frühen akustisch evozierten Potentiale (FAEP) beim Akustikusneurinom (AN). *Laryngologie Rhinologie Otologie*, 61(9), 505–509. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1008617>
- Mautner, V. F., Lindenau, M., Baser, M. E., Hazim, W., Tatagiba, M., Haase, W., Samii, M., Wais, R., & Pulst, S. M. (1996). The neuroimaging and clinical spectrum of neurofibromatosis 2. *Neurosurgery*, 38(5), 880–886. <https://doi.org/10.1097/00006123-199605000-00004>
- McCutcheon, B. A., Grauberger, J., Murphy, M., Kerezoudis, P., Rinaldo, L., Shepherd, D., Maloney, P., Snyder, K., Carter, B. S., Bydon, M., Van Gompel, J. J., & Link, M. J. (2016). Is Patient Age Associated with Perioperative Outcomes after Surgical Resection of Benign Cranial Nerve Neoplasms? *World Neurosurgery*, 89, 101–107. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2016.01.089>
- Minovi, A., Mangold, R., Kollert, M., Hofmann, E., Draf, W., & Bockmühl, U. (2005). Functional results, cognitive and effective quality of life disturbances after transtemporal resection of acoustic neuroma. *Laryngo-Rhino-Otologie*, 84(12), 915–920. <https://doi.org/10.1055/s-2005-870573>
- Misra, B., & Churi, O. (2019). Microsurgery of Vestibular Schwannoma Post-radiosurgery. *Neurology India*, 67(5), 1274–1278. <https://doi.org/10.4103/0028-3886.271243>
- Moffat, D. A., Baguley, D. M., von Blumenthal, H., Irving, R. M., & Hardy, D. G. (1994). Sudden deafness in vestibular schwannoma. *The Journal of Laryngology and Otology*, 108(2), 116–119. <https://doi.org/10.1017/s0022215100126052>
- Moffat, D. A., Golledge, J., Baguley, D. M., & Hardy, D. G. (1993). Clinical correlates of acoustic neuroma morphology. *The Journal of Laryngology and Otology*, 107(4), 290–294. <https://doi.org/10.1017/s0022215100122856>
- Møller, M. B. (1994). Audiological evaluation. *Journal of Clinical Neurophysiology: Official Publication of the American Electroencephalographic Society*, 11(3), 309–318. <http://europepmc.org/abstract/MED/8089203>
- Monajati, A., & Cotanch, W. W. (1982). Subdural tension pneumocephalus following surgery. *Journal of Computer Assisted Tomography*, 6(5), 902–906. <https://doi.org/10.1097/00004728-198210000-00006>
- Myrseth, E., Pedersen, P.-H., Møller, P., & Lund-Johansen, M. (2007). Treatment of vestibular schwannomas. Why, when and how? *Acta Neurochirurgica*, 149(7), 647–660; discussion 660. <https://doi.org/10.1007/s00701-007-1179-0>
- Nagano, O., Higuchi, Y., Serizawa, T., Ono, J., Matsuda, S., Yamakami, I., & Saeki, N. (2008). Transient expansion of vestibular schwannoma following stereotactic radiosurgery: Clinical article. *Journal of Neurosurgery*, 109(5), 811–816. <https://doi.org/10.3171/JNS/2008/109/11/0811>
- Naros, G., Sandritter, J., Liebsch, M., Ofori, A., Rizk, A. R., Del Moro, G., Ebner, F., & Tatagiba, M. (2017). Predictors of Preoperative Tinnitus in Unilateral

- Sporadic Vestibular Schwannoma. *Frontiers in Neurology*, 8, 378. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00378>
- Neary, W. J., Newton, V. E., Laoide-Kemp, S. N., Ramsden, R. T., Hillier, V. F., & Kan, S. W. (1996). A clinical, genetic and audiological study of patients and families with unilateral vestibular schwannomas. II. Audiological findings in 93 patients with unilateral vestibular schwannomas. *Journal of Laryngology and Otology*, 110(12), 1120–1132. <https://doi.org/10.1017/S0022215100135923>
- Neff, B. A., Welling, D. B., Akhmametyeva, E., & Chang, L.-S. (2006). The molecular biology of vestibular schwannomas: dissecting the pathogenic process at the molecular level. *Otology & Neurotology: Official Publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*, 27(2), 197–208. <https://doi.org/10.1097/01.mao.0000180484.24242.54>
- Nikolopoulos, T. P., Fortnum, H., O'Donoghue, G., & Baguley, D. (2010). Acoustic neuroma growth: A systematic review of the evidence. *Otology and Neurotology*, 31(3), 478–485. <https://doi.org/10.1097/MAO.0b013e3181d279a3>
- Paiva, W. S., de Andrade, A. F., Figueiredo, E. G., Amorim, R. L., Prudente, M., & Teixeira, M. J. (2014). Effects of hyperbaric oxygenation therapy on symptomatic pneumocephalus. *Therapeutics and Clinical Risk Management*, 10, 769–773. <https://doi.org/10.2147/TCRM.S45220>
- Pollock, B. E., Lunsford, L. D., Flickinger, J. C., Clyde, B. L., & Kondziolka, D. (1998). Vestibular schwannoma management. Part I. Failed microsurgery and the role of delayed stereotactic radiosurgery. *Journal of Neurosurgery*, 89(6), 944–948. <https://doi.org/10.3171/jns.1998.89.6.0944>
- Pollock, B. E., Lunsford, L. D., Kondziolka, D., Sekula, R., Subach, B. R., Foote, R. L., & Flickinger, J. C. (1998). Vestibular schwannoma management. Part II. Failed radiosurgery and the role of delayed microsurgery. *Journal of Neurosurgery*, 89(6), 949–955. <https://doi.org/10.3171/jns.1998.89.6.0949>
- Porter, J. M., Pidgeon, C., & Cunningham, A. J. (1999). The sitting position in neurosurgery: A critical appraisal. *British Journal of Anaesthesia*, 81(1), 117–128. <https://doi.org/10.1093/bja/82.1.117>
- Prell, J., Strauss, C., Rampp, S., & Szelenyi, A. (2019). Neurophysiologic Monitoring of the Facial Nerve in Vestibular Schwannoma Surgery: The State of the Art. *Klinische Neurophysiologie*, 50(4), 213–219. <https://doi.org/10.1055/a-1009-4083>
- Rahimpour, S., Friedman, A. H., Fukushima, T., & Zomorodi, A. R. (2016). Microsurgical resection of vestibular schwannomas: complication avoidance. In *Journal of Neuro-Oncology* (Vol. 130, Issue 2, pp. 367–375). Springer New York LLC. <https://doi.org/10.1007/s11060-016-2260-4>
- Ramsden, R. T. (1995). Historical Article ' A brilliant surgical result , the first recorded ': Annandale ' s. *The Journal of Laryngology and Otology May 1995, Vol. 109, Pp. 369-373, 109(May 1895), 369–373.*

- Rhoton, A. L. (2000a). The Cerebellopontine Angle and Posterior Fossa Cranial Nerves by the Retrosigmoid Approach. *Neurosurgery*, 47(3), 93–129. <https://doi.org/10.1097/00006123-200009001-00013>
- Rhoton, A. L. (2000b). The Posterior Fossa Cisterns. *Neurosurgery*, 47(3), 287–297. <https://doi.org/10.1097/00006123-200009001-00029>
- Roessler, K., Krawagna, M., Bischoff, B., Rampp, S., Ganslandt, O., Iro, H., Schmitt, H., & Buchfelder, M. (2016). Improved Postoperative Facial Nerve and Hearing Function in Retrosigmoid Vestibular Schwannoma Surgery Significantly Associated with Semisitting Position. *World Neurosurgery*, 87, 290–297. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2015.11.089>
- Rosahl, Bohr, C., Lell, M., Hamm, K., & Iro, H. (2017). Diagnostics and therapy of vestibular schwannomas – an interdisciplinary challenge. *GMS Current Topics in Otorhinolaryngology, Head and Neck Surgery*, 16, 1–38.
- Rosahl, & Eßer. (2017a). Chirurgische Indikation und Komplikationsmanagement beim Vestibularisschwannom. *HNO*, 65(5), 388–394. <https://doi.org/10.1007/s00106-016-0320-x>
- Rosahl, & Eßer. (2017b). Chirurgische Techniken zur Behandlung des Vestibularisschwannoms. *Hno*, 65(5), 395–403. <https://doi.org/10.1007/s00106-017-0353-9>
- Rosahl, & Hamm, K. (2011). Das Akustikusneurinom – Chancen und Risiken der Therapie. *Neuroonkologische Informationen Der Deutschen Hirntumorhilfe e.V Ausgabe 1/2011*.
- Sachkova, A., Schemmerling, T., Goldberg, M., Solomiichuk, V., Rohde, V., von Eckardstein, K., & Schatlo, B. (2018). Predictors of ventricular tension pneumocephalus after posterior fossa surgery in the sitting position. *Acta Neurochirurgica*, 160(3), 525–538. <https://doi.org/10.1007/s00701-017-3444-1>
- Sade, B., Mohr, G., & Dufour, J. J. (2006). Vascular complications of vestibular schwannoma surgery: A comparison of the suboccipital retrosigmoid and translabyrinthine approaches. *Journal of Neurosurgery*, 105(2), 200–204. <https://doi.org/10.3171/jns.2006.105.2.200>
- Samii, M., Gerganov, V., & Samii, A. (2006). Improved preservation of hearing and facial nerve function in vestibular schwannoma surgery via the retrosigmoid approach in a series of 200 patients. *Journal of Neurosurgery*, 105(4), 527–535. <https://doi.org/10.3171/jns.2006.105.4.527>
- Samii, M., & Matthies, C. (1997a). Management of 1000 vestibular schwannomas (acoustic neuromas): Hearing function in 1000 tumor resections. *Neurosurgery*, 40(2), 248–262. <https://doi.org/10.1097/00006123-199702000-00005>
- Samii, M., & Matthies, C. (1997b). Management of 1000 vestibular schwannomas (acoustic neuromas): surgical management and results with an emphasis on complications and how to avoid them. *Neurosurgery*, 40(1), 11–13. <https://doi.org/10.1097/00006123-199701000-00002>
- Samii, M., & Matthies, C. (1997c). Management of 1000 vestibular schwannomas

- (acoustic neuromas): The facial nerve - Preservation and restitution of function. *Neurosurgery*, 40(4), 684–695. <https://doi.org/10.1097/00006123-199704000-00006>
- Scheller, C., Rampp, S., Tatagiba, M., Gharabaghi, A., Ramina, K. F., Ganslandt, O., Bischoff, B., Matthies, C., Westermaier, T., Pedro, M. T., Rohde, V., von Eckardstein, K., & Strauss, C. (2020). A critical comparison between the semisitting and the supine positioning in vestibular schwannoma surgery: Subgroup analysis of a randomized, multicenter trial. *Journal of Neurosurgery*, 133(1), 249–256. <https://doi.org/10.3171/2019.1.JNS181784>
- Schick, U., & Unterberg, A. (2011). Akustikusneurinome (Vestibularisschwannome). *HNO*, 59(1), 16–21. <https://doi.org/10.1007/s00106-010-2189-4>
- Schneider, A., Hommel, G., & Blettner, M. (2010). Lineare Regressionsanalyse - Teil 14 der Serie zur Bewertung wissenschaftlicher Publikationen. *Deutsches Arzteblatt*, 107(44), 776–782. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2010.0776>
- Selesnick, S. H., & Jackler, R. K. (1992). Clinical manifestations and audiologic diagnosis of acoustic neuromas. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 25(3), 521–551. <http://europepmc.org/abstract/MED/1625864>
- Selesnick, S. H., Jackler, R. K., & Pitts, L. W. (1993). The changing clinical presentation of acoustic tumors in the MRI era. *The Laryngoscope*, 103(4 Pt 1), 431–436. <https://doi.org/10.1002/lary.5541030412>
- Sloan, T. (2010). The incidence, volume, absorption, and timing of supratentorial pneumocephalus during posterior fossa neurosurgery conducted in the sitting position. *Journal of Neurosurgical Anesthesiology*, 22(1), 59–66. <https://doi.org/10.1097/ANA.0b013e3181ba99a7>
- Somers, T., Casselman, J., de Ceulaer, G., Govaerts, P., & Offeciers, E. (2001). Prognostic value of magnetic resonance imaging findings in hearing preservation surgery for vestibular schwannoma. *Otology & Neurotology: Official Publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*, 22(1), 87–94.
- Song, H., Ma, C., Xu, D., Yu, M., Feng, J., & Sun, L. (2018). Prognostic value of transcranial facial nerve motor-evoked potentials in predicting facial nerve function following cerebellopontine angle tumorectomy. *Medicine (United States)*, 97(40). <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000012576>
- Spektor, S., Fraifeld, S., Margolin, E., Saseedharan, S., Eimerl, D., & Umansky, F. (2015). Comparison of outcomes following complex posterior fossa surgery performed in the sitting versus lateral position. *Journal of Clinical Neuroscience*, 22(4), 705–712. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2014.12.005>
- Standefor, M., Bay, J. W., & Trusso, R. (1984). The sitting position in neurosurgery: A retrospective analysis of 488 cases. *Neurosurgery*, 14(6), 649–658. <https://doi.org/10.1227/00006123-198406000-00001>
- Stangerup, S.-E., Caye-Thomasen, P., Tos, M., & Thomsen, J. (2006). The

- natural history of vestibular schwannoma. *Otology & Neurotology: Official Publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*, 27(4), 547–552. <https://doi.org/10.1097/01.mao.0000217356.73463.e7>
- Stangerup, S.-E., Tos, M., Thomsen, J., & Caye-Thomasen, P. (2010). True incidence of vestibular schwannoma? *Neurosurgery*, 67(5), 1335–1340; discussion 1340. <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e3181f22660>
- Starnoni, D., Giammattei, L., Cossu, G., Link, M. J., Roche, P. H., Chacko, A. G., Ohata, K., Samii, M., Suri, A., Bruneau, M., Cornelius, J. F., Cavallo, L., Meling, T. R., Froelich, S., Tatagiba, M., Sufianov, A., Paraskevopoulos, D., Zazpe, I., Berhouma, M., Jouanneau, E., Verheul, J. B., Tuleasca, C., George, M., Levivier, M., Messerer, M., & Daniel, R. T. (2020). Surgical management for large vestibular schwannomas: a systematic review, meta-analysis, and consensus statement on behalf of the EANS skull base section. In *Acta Neurochirurgica* (Vol. 162, Issue 11, pp. 2595–2617). Springer. <https://doi.org/10.1007/s00701-020-04491-7>
- Stone, J. L. (1999). Sir Charles Ballance: pioneer British neurological surgeon. *Neurosurgery*, 44(3), 610–612. <https://doi.org/10.1097/00006123-199903000-00100>
- Strutz, J., Mann, W. J., Arndt, O., Bonkowsky, V., Decot, E., Ernst, A., Gassner, H. G., Gosepath, J., Haxel, B., Helling, K., Hosemann, W., Jacob, R., Janke, K., Jecker, P., Keilmann, A., Klimek, L., Kühnel, T., Kwok, P., Lindenberger, M., Lippert, B. M., Maurer, J., Neumann, H. J., Schapowal, A., Schüssler, J., Schultz-Coulon, H. J., Steffens, T., Vogl, T. J., Weisser, P., Welkoborsky, H.-J., & Wienke, A. (2014). Praxis der HNO-Heilkunde, Kopf- und Halschirurgie. In *Praxis der HNO-Heilkunde, Kopf- und Halschirurgie*. Georg Thieme Verlag. <https://doi.org/10.1055/b-001-2148>
- Sughrue, M. E., Yang, I., Aranda, D., Rutkowski, M. J., Fang, S., Cheung, S. W., & Parsa, A. T. (2011). Beyond audiofacial morbidity after vestibular schwannoma surgery: Clinical article. *Journal of Neurosurgery*, 114(2), 367–374. <https://doi.org/10.3171/2009.10.JNS091203>
- Suryanarayanan, R., Ramsden, R. T., Saeed, S. R., Aggarwal, R., King, A. T., Rutherford, S. A., Evans, D. G., & Gillespie, J. E. (2010). Vestibular schwannoma: Role of conservative management. *Journal of Laryngology and Otology*, 124(3), 251–257. <https://doi.org/10.1017/S0022215109992362>
- Tatagiba, M., & Acioly de Sousa, M. A. (2008a). Retrosigmoid approach to the posterior and middle fossae. In *Samii's Essentials in Neurosurgery* (pp. 137–153). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-49250-4\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-540-49250-4_15)
- Tatagiba, M., & Acioly de Sousa, M. A. (2008b). Vestibular Schwannoma: Current State of the Art. In *Samii's Essentials in Neurosurgery* (pp. 175–187). Springer Berlin Heidelberg.
- Tatagiba, M., Roser, F., Schuhmann, M. U., & Ebner, F. H. (2014). Vestibular schwannoma surgery via the retrosigmoid transmeatal approach. *Acta Neurochirurgica*, 156(2), 421–425; discussion 425.

<https://doi.org/10.1007/s00701-013-1915-6>

- Tavares-Brito, J., van Veen, M. M., Dusseldorp, J. R., Bahmad, F., & Hadlock, T. A. (2019). Facial Palsy-Specific Quality of Life in 920 Patients: Correlation With Clinician-Graded Severity and Predicting Factors. In *Laryngoscope* (Vol. 129, Issue 1, pp. 100–104). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/lary.27481>
- Tonn, J.-C., Schlake, H.-P., Goldbrunner, R., Milewski, C., Helms, J., & Roosen, K. (2000). Acoustic neuroma surgery as an interdisciplinary approach: a neurosurgical series of 508 patients. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 69, 161–166. <https://doi.org/10.1136/jnnp.69.2.161>
- Toung, T. J. K., Donham, R. T., Lehner, A., Alano, J., & Campbell, J. (1983). Tension pneumocephalus after posterior fossa craniotomy: Report of four additional cases and review of postoperative pneumocephalus. *Neurosurgery*. <https://doi.org/10.1227/00006123-198302000-00005>
- Toung, T. J. K., McPherson, R. W., Ahn, H., Donham, R. T., Alano, J., & Long, D. (1986). Pneumocephalus: Effects of patient position on the incidence and location of aerocele after posterior fossa and upper cervical cord surgery. *Anesthesia and Analgesia*, 65(1), 65–70. <https://doi.org/10.1213/0000539-198601000-00010>
- Turel, M. K., Thakar, S., & Rajshekhar, V. (2015). Quality of life following surgery for large and giant vestibular schwannomas: A prospective study. *Journal of Neurosurgery*, 122(2), 303–311. <https://doi.org/10.3171/2014.10.JNS14534>
- Unger, F., Dominikus, K., & Haselsberger, K. (2011). Stereotaktische Radiochirurgie und Radiotherapie bei Akustikusneurinomen. *Hno*, 59(1), 31–37.
- Velho, V., Naik, H., Bhide, A., Bhopale, L., & Gade, P. (2019). Lateral semi-sitting position: A novel method of patient's head positioning in suboccipital retrosigmoid approaches. *Asian Journal of Neurosurgery*, 14(1), 82. [https://doi.org/10.4103/ajns.ajns\\_203\\_17](https://doi.org/10.4103/ajns.ajns_203_17)
- Visagan, R., Hall, A., Bradford, R., Khalil, S., & Saeed, S. R. (2019). Is There a Difference in Hospital Stay between Patients undergoing Translabyrinthine or Retrosigmoid Surgery for Vestibular Schwannoma Stratified by Tumor Size? *J Neurol Surg B Skull Base*, 80(3), 310–315. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1668541>
- Vogel, P., & Aroyo, I. (2018). 6 Frühe akustisch evozierte Potenziale (FAEP). In *Kursbuch Klinische Neurophysiologie* (pp. 162–164). Georg Thieme Verlag. <https://doi.org/10.1055/b-0037-148807>
- Welling, D. B. (1998). Clinical manifestations of mutations in the neurofibromatosis type 2 gene in vestibular schwannomas (acoustic neuromas). *The Laryngoscope*, 108(2), 178–189. <https://doi.org/10.1097/00005537-199802000-00005>
- Whitehouse, K., Foroughi, M., Shone, G., & Hatfield, R. (2010). Vestibular schwannomas when should conservative management be reconsidered? *British Journal of Neurosurgery*, 24(2), 185–190.



<https://doi.org/10.3109/02688690903272634>

- Wilcke, O. (1973). Differentialdiagnose der Tumoren im Kleinhirnbrückenwinkel. *Acta Neurochirurgica*, 28(4), 305–313. <https://doi.org/10.1007/BF01405648>
- Wilder, B. L. (1982). Hypothesis: The etiology of midcervical quadriplegia after operation with the patient in the sitting position. *Neurosurgery*, 11(4), 530–531. <https://doi.org/10.1227/00006123-198210000-00014>
- Wolbers, J. G., Dallenga, A. H. G., Romero, A. M., & Van Linge, A. (2013). What intervention is best practice for vestibular schwannomas? A systematic review of controlled studies. *BMJ Open*, 3(2). <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2012-001345>
- Wright, A., & Bradford, R. (1995). Fortnightly Review: Management of acoustic neuroma. *Bmj*, 311(7013), 1141–1144. <https://doi.org/10.1136/bmj.311.7013.1141>
- Zou, P., Zhao, L., Chen, P., Xu, H., Liu, N., Zhao, P., & Lu, A. (2014). Functional outcome and postoperative complications after the microsurgical removal of large vestibular schwannomas via the retrosigmoid approach: A meta-analysis. In *Neurosurgical Review* (Vol. 37, Issue 1, pp. 15–21). Springer. <https://doi.org/10.1007/s10143-013-0485-7>

## 7 Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in der Klinik für Neurochirurgie unter Betreuung von Oberarzt Dr. med. Georgios Naros durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte durch mich in Zusammenarbeit mit Dr. med. Georgios Naros.

Die retrospektive Datenerhebung wurde ausschließlich von mir durchgeführt. Die prospektive Voxel-basierte Volumetrie wurde nach Anleitung durch Dr. med. Georgios Naros ebenfalls von mir durchgeführt. Auch die statistische Auswertung erfolgte nach Anleitung von Dr. med. Georgios Naros durch mich.

Teilergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden in folgender Veröffentlichung vorab publiziert:

Machetanz, K., Leuze, F., Mounts, K., Trakolis, L., Gugel, I., Grimm, F., Tatagiba, M., Naros, G. et al. (2020) 'Occurrence and management of postoperative pneumocephalus using the semi-sitting position in vestibular schwannoma surgery', *Acta Neurochirurgica*, 162(11), pp. 2629–2636.

Die Publikation basiert auf den Ergebnissen aus dem Dissertationskapitel 3.3.1. Mein Eigenanteil an der Publikation erstreckt sich auf die Erhebung und Auswertung der Daten, sowie der Erstellung der Abbildungen nach Anleitung durch Dr. med. Georgios Naros. Die Literaturrecherche und das Schreiben des Manuskripts der oben genannten Veröffentlichung wurden von mir in Zusammenarbeit mit Dr. med. Kathrin Machetanz durchgeführt.

Ich versichere, das Manuskript selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Tübingen, den 25.06.2021

## **8 Danksagung**

Ich möchte Herrn Dr. med. Georgios Naros danken für die intensive und produktive Betreuung dieser Arbeit. Ohne seine wertvolle Hilfe wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Mein besonderer Dank gilt zusätzlich meinem Doktorvater Prof. Dr. med. Marcos Soares Tatagiba, der meine Arbeit stets mit viel Verständnis unterstützt hat.

Außerdem möchte ich mich bei meiner Familie für ihre liebevolle und uneingeschränkte Unterstützung während der gesamten Studienzeit sowie ihr großes Vertrauen bedanken.

## 9 Veröffentlichungen

Teile der vorliegenden Dissertationsschrift wurden bereits in den folgenden Publikationen veröffentlicht:

Machetanz, K., Leuze, F., Mounts, K., Trakolis, L., Gugel, I., Grimm, F., Tatagiba, M., Naros, G. (2020) 'Occurrence and management of postoperative pneumocephalus using the semi-sitting position in vestibular schwannoma surgery', *Acta Neurochirurgica*, 162(11), pp. 2629–2636.