

Aus der Universitätsklinik für Neurochirurgie Tübingen

Ärztlicher Direktor: Professor Dr. M. Tatagiba

**Anatomische und mikrochirurgische Aspekte der
Eröffnung des inneren Gehörgangs zur Behandlung
von Vestibularisschwannomen über den
retrosigmoidalen Zugang unter besonderer
Berücksichtigung des endolymphatischen Systems –
eine prospektive Studie**

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

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

vorgelegt von

Maximilian Xaver Kleiter

aus

München

2013

Dekan:

Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter:

Professor Dr. M. Tatagiba

2. Berichterstatter:

Professor Dr. Dr. h. c. H.-P. Zenner

Für
meine Großmutter Dr. med. Susanne Lauer
In dankbarer Erinnerung

Abkürzungsverzeichnis	1
1 Einleitung	2
2 Grundlagen.....	3
2.1 Klinischer Hintergrund Vestibularisschwannom.....	3
2.1.1 Epidemiologie	3
2.1.2 Ätiologie und Pathologie	3
2.1.3 Therapieoptionen	4
2.1.4 Retrosigmoidaler Zugang und mögliche Komplikationen.....	4
2.2 Anatomische Grundlagen	5
2.2.1 Anatomie des retrosigmoidalen Zugangs und des Kleinhirnbrückenwinkels	5
2.2.2 Anatomie des Ductus und Saccus endolymphaticus	6
2.3 Radiologische Darstellung der knöchernen Labyrinthstrukturen durch High Resolution Computed Tomography	7
3 Patienten und Methoden	8
3.1 Patientenkollektiv	8
3.2 Operationstechnik	8
3.3 Bildgebende Verfahren.....	9
3.3.1 Präoperative Bildgebung durch Magnetresonanztomographie	9
3.3.2 Prä- und postoperative Bildgebung durch Computertomographie	9
3.3.3 Auswertungsverfahren	10
3.3.4 Erhobene Parameter.....	10
3.4 Hörvermögen	16
3.5 Statistik.....	16
4 Ergebnisse	17
4.1 Tumor.....	17
4.1.1 Tumorgröße nach Hannoverklassifikation	17
4.1.2 Ausdehnung des Tumors im Canalis acusticus internus (IAC)	18
4.2 Anatomie	19

4.2.1	Diameter des Canalis acusticus internus (IAC) und tumorbedingte Veränderungen.....	19
4.2.2	Länge des Canalis acusticus internus (IAC) und tumorbedingte Veränderungen.....	21
4.2.3	Lage der Apertura externa (EA) und tumorbedingte topographische Veränderungen.....	22
4.2.3.1	Vertikale Distanz zwischen Canalis acusticus internus (IAC) und Apertura externa (EA).....	22
4.2.3.2	Horizontale Distanz zwischen Canalis acusticus internus (IAC) und Apertura externa (EA).....	24
4.2.4	Diameter der Apertura externa (EA)	25
4.2.5	Verlauf des Aquaeductus vestibularis (VA) im Verhältnis zur Apertura externa (EA)	26
4.3	Integrität der endolymphatischen Strukturen.....	27
4.3.1	Inzidenz chirurgisch verursachter Integritätsverletzung des Aquaeductus vestibularis (VA)	27
4.3.2	Lokalisation der Integritätsverletzung des Aquaeductus vestibularis (VA)	28
4.3.3	Ausmaß der Integritätsverletzung des Aquaeductus vestibularis (VA)	29
4.3.4	Inzidenz chirurgisch verursachter Integritätsverletzung der Bogengänge.....	30
4.3.5	Postoperative Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA) und der Bogengänge.....	31
4.4	Operationstechnik	32
4.4.1	Parameter zur Spezifikation der Operationstechnik.....	32
4.4.2	Tumorresektion	33
4.5	Hörvermögen	34
4.6	Relationen	35
4.6.1	Tumorgröße und Diameter des Canalis acusticus internus (IAC)....	36
4.6.2	Tumoreigenschaften und Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)	37
4.6.3	Tumorgröße und Hörvermögen	41

4.6.3.1	Tumorgröße und präoperatives Hörvermögen	41
4.6.3.2	Tumorgröße und prä- und postoperatives Hörvermögen	43
4.6.4	Anatomische Gegebenheiten und Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)	46
4.6.4.1	Diameter des Canalis acusticus internus (IAC) und Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)	46
4.6.4.2	Länge des Canalis acusticus internus (IAC) und Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)	48
4.6.4.3	Lage der Apertura externa (EA) und Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)	50
4.6.4.4	Diameter der Apertura externa (EA) und Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)	54
4.6.4.5	Verlauf des Aquaeductus vestibularis (VA) und Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)	56
4.6.5	Chirurgische Arbeitsweise und postoperative Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)	57
4.6.5.1	Ausmaß des Fräsens des Canalis acusticus internus (IAC) und postoperative Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)	57
4.6.5.2	Abstand der Fräslinie zu Sinus sigmoideus (SS) und postoperative Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)	59
4.6.5.3	Winkel der Fräslinie und postoperative Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)	60
4.6.6	Chirurgische Arbeitsweise und Lokalisation der Integritätsverletzung des Aquaeductus vestibularis (VA)	61
4.6.6.1	Eröffnungsausmaß des Canalis acusticus internus (IAC) und Lokalisation der Integritätsverletzung des Aquaeductus vestibularis (VA)	62
4.6.6.2	Abstand der Fräslinie zu Sinus sigmoideus (SS) und Lokalisation der Integritätsverletzung des Aquaeductus vestibularis (VA)	63
4.6.6.3	Winkel der Fräslinie und Lokalisation der Integritätsverletzung des Aquaeductus vestibularis (VA)	63
4.6.7	Chirurgische Arbeitsweise und Umfang der Integritätsverletzung der endolymphatischen Strukturen	64
4.6.7.1	Ausmaß der Resektion des Canalis acusticus internus (IAC) und Umfang der Integritätsverletzung der endolymphatischen Strukturen	64

4.6.7.2 Abstand der Fräslinie zu Sinus sigmoideus (SS) und Umfang der Integritätsverletzung der endolymphatischen Strukturen.....	65
4.6.7.3 Winkel der Fräslinie und Umfang der Integritätsverletzung der endolymphatischen Strukturen	65
4.6.8 Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA) und Hörvermögen.....	66
4.6.9 Ausmaß der Integritätsverletzung und funktionelles Hörvermögen .	69
5 Diskussion.....	71
5.1 Patientenkollektiv	71
5.2 Tumor.....	71
5.2.1 Tumorresektion	71
5.2.2 Tumorgröße nach Hannoverklassifikation	71
5.2.3 Ausdehnung des Tumors im Canalis acusticus internus (IAC)	72
5.2.4 Tumorgröße und Diameter des Canalis acusticus internus (IAC)....	73
5.2.5 Tumorgröße und Hörvermögen	73
5.2.6 Tumoreigenschaften und Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)	74
5.2.7 Schlussfolgerung	74
5.3 Integrität der endolymphatischen Strukturen.....	75
5.3.1 Inzidenz chirurgisch verursachter Integritätsverletzung.....	75
5.3.2 Lokalisation und Ausmaß der Integritätsverletzung des Aquaeductus vestibularis (VA)	76
5.4 Anatomie	76
5.4.1 Tumorbedingte Veränderungen der Anatomie	76
5.4.2 Lage und Verlauf des Aquaeductus vestibularis (VA) und Lage der Apertura externa (EA)	79
5.4.3 Anatomische Gegebenheiten und Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)	79
5.4.4 Schlussfolgerung	80
5.5 Chirurgische Arbeitsweise und Integrität der endolymphatischen Strukturen.....	80
5.5.1 Ausmaß der Resektion des Canalis acusticus internus (IAC)	80
5.5.2 Abstand der Fräslinie zu Sinus sigmoideus (SS).....	81

5.5.3 Winkel der virtuellen Fräslinie	82
5.5.4 Lokalisation der Integritätsverletzung des Aquaeductus vestibularis (VA)	82
5.5.5 Umfang der Integritätsverletzung.....	82
5.5.6 Schlussfolgerung	82
5.6 Hörvermögen	83
5.6.1 Erhalt des Hörvermögens	83
5.6.2 Integrität der endolymphatischen Strukturen und Hörvermögen	83
5.6.3 Schlussfolgerung	85
6 Zusammenfassung	86
Literaturverzeichnis.....	88
Danksagung	94

Abkürzungsverzeichnis

AICA	Anterior inferior cerebellar artery = Arteria cerebelli anterior inferior
AEP	Akustisch evozierte Potentiale
CC	Crus communis
CT	Computertomographie
EA	External aperture = Apertura externa
ED	Endolymphatic duct = Ductus endolymphaticus
EMG	Elektromyographie
ES	Endolymphatic sac = Saccus endolymphaticus
IAC	Internal auditory canal = Canalis acusticus internus
HR-CT	High-Resolution-Computertomographie = hochauflösende Computertomographie
MEP	Motorisch evozierte Potentiale
MRT	Magnetresonanztomographie
N.	Nervus
SEP	somatisch evozierte Potentiale
SS	Sinus sigmoideus
ST	Sinus transversus
VA	Vestibular aqueduct = Aquaeductus vestibularis
VS	Vestibularisschwannom

1 Einleitung

Das Vestibularisschwannom (VS) ist ein gutartiger Tumor des Nervus (N.) vestibulocochlearis²², dessen derzeit meist angewandte Therapie die operative Entfernung ist⁴⁶. Für den in dieser Arbeit untersuchten retrosigmoidalen Zugang zur Entfernung des VS haben sich die postoperativen Mortalitäts- und Morbiditätsergebnisse seit den ersten Berichten durch Rand und Kurze im Jahr 1965 insgesamt deutlich verbessert²⁰. Die bisher berichteten Raten des postoperativen Hörerhalts für den retrosigmoidalen Zugang liegen zwischen 30,3% und 65%^{2,6,19,25,27,37,40,43,47} und sind folglich noch steigerbar.

Der retrosigmoidale Zugang erfordert eine Eröffnung des inneren Gehörgangs, indem dessen posteriore Wand gefräst wird³⁴. Exponierte und gefährdete Strukturen sind hierbei unter anderem der Ductus endolymphaticus (ED) innerhalb des knöchernen Aquaeductus vestibularis (VA) sowie der in einer Duraduplikatur an der Felsenbeinhinterwand gelegene Saccus endolymphaticus (ES)⁴¹. Da ED und ES eine wichtige Rolle in der Homöostase des Innenohrs spielen^{1,41}, sind Läsionen dieser Strukturen potentielle Ursache einer Hörminderung^{1,45}.

Die operativen Erfahrungen zeigen, dass das VS in aller Regel den inneren Gehörgang (IAC) aufweitet und die Anatomie des Felsenbeins verändert. Dadurch spiegeln am nicht pathologisch veränderten Humanpräparat erhobene anatomische Messungen nicht die Realität wider, und die praktische Anwendbarkeit bisheriger Studienergebnisse^{41,45} ist in Frage zu stellen. Durch die Datenerhebung mittels hochauflösender Computertomographie (HR-CT) an Patienten mit einem VS wollen wir Aufschlüsse über die tatsächlichen anatomischen Gegebenheiten erhalten, Zusammenhänge zwischen Anatomie, Operationsparametern und Integritätsverletzung der endolymphatischen Strukturen erkennen und daraus Empfehlungen für eine, die endolymphatischen Strukturen schonende, Operationstechnik ableiten.

Des Weiteren soll die Inzidenz der Integritätsverletzung endolymphatischer Strukturen erfasst werden. Zudem wird das Hörvermögen der Patienten erhoben, um möglicherweise einen Zusammenhang zwischen der Integritätsverlet-

zung der endolymphatischen Strukturen und einem postoperativen Hörverlust nachzuweisen.

2 Grundlagen

2.1 Klinischer Hintergrund Vestibularisschwannom

2.1.1 Epidemiologie

Die Inzidenz von VS liegt bei 1,15 diagnostizierten Tumoren pro 100 000 Personen/Jahr in Dänemark⁵¹. In den USA fand man Inzidenzraten von 0,6 diagnostizierten Tumoren pro 100 000 Personen/Jahr in der Erhebung des CBTRUS (Central Brain Tumor Registry of the United States) bzw. 0,8 diagnostizierten Tumoren pro 100 000 Personen/Jahr in den Daten des LACCSP (Los Angeles County Cancer Surveillance Program)³². Hierbei war die Inzidenzrate bei beiden Geschlechtern ähnlich, es waren mehr Weiße als Nichtweiße betroffen und die höchste Rate wurde in der Gruppe der 45- bis 64-jährigen festgestellt³². In beiden Ländern wurde ein Anstieg der Inzidenzrate beobachtet^{32,50,51}. Als mögliche Gründe werden die Einführung und vermehrte Anwendung der bildgebenden Diagnoseverfahren Magnetresonanztomographie (MRT) und Computertomographie (CT), eine gesteigerte Aufmerksamkeit der Ärzte oder aber eine tatsächliche Inzidenzerhöhung aufgeführt. Hierfür wird ein Zusammenhang zwischen der Inzidenzerhöhung von VS und der Benutzung von Mobiltelefonen diskutiert. Die meisten der durchgeführten Studien bestätigten diese Hypothese jedoch nicht oder lieferten teilweise widersprüchliche Ergebnisse³².

2.1.2 Ätiologie und Pathologie

Das VS ist ein gutartiger, langsam wachsender Tumor, der aus den Schwannzellen des vestibulären Anteils des N. vestibulocochlearis entsteht und intrakraniell extraaxial lokalisiert ist. Sowohl für die charakteristischerweise bilateral auftretenden VS im Rahmen einer Neurofibromatose Typ II als auch die unilateralen, sporadischen VS scheint eine Genmutation auf Chromosom 22 verantwortlich zu sein. Das veränderte Protein Merlin kontrolliert das Wachstum der Schwannzellen. Die Mutation ist bei Patienten mit Neurofibromatose Typ II in

allen somatischen Zellen, bei unilateralen VS nur in den betroffenen Schwannzellen zu finden²².

2.1.3 Therapieoptionen

Die Therapieoptionen des VS umfassen Beobachtung mittels Bildgebung, stereotaktische Bestrahlung und mikrochirurgische Entfernung^{3,22,46}. Die verbesserte radiologische Darstellung und die Entwicklung von Wachstumsmodellen des Tumors haben die Beobachtung unter wiederholter Bildgebung („wait and scan“) zu einer anerkannten Option v.a. für ältere Patienten mit asymptomatischen oder kleinen bis mittleren VS werden lassen^{3,46}. Die erstmals von Leksell durchgeführte stereotaktische Bestrahlung hat sich in den letzten Jahren technisch fortentwickelt und als Behandlungsmethode etabliert²². Ziel ist die Verzögerung bzw. das Stoppen des Tumorwachstums⁴⁶. Der Tumor soll biologisch inaktiviert werden²⁹. Eine anfängliche, schwellungsbedingte Größenzunahme kann auftreten, anschließend kommt es zu einem Schrumpfen oder Sistieren der Größe des VS²². Das bestrahlte Tumorgewebe muss aber lebenslang in regelmäßigen Abständen radiologisch nachkontrolliert werden²². Da es sich um eine relativ neue Methode handelt, sind die möglichen Langzeitfolgen insbesondere bei jungen Patienten nur unzureichend bekannt. Nach anfänglich sehr hohen Morbiditäts- und Mortalitätszahlen erlauben heute Fortschritte wie Einführung von Operationsmikroskop, intraoperativem elektrophysiologischen Monitoring, Ausarbeitung mikrochirurgischer Techniken, detaillierte anatomische Kenntnisse sowie ein verbessertes peri- und intraoperatives Management eine mikrochirurgische Totalresektion unter anatomischem und funktionellen Erhalt des N. facialis und des N. cochlearis mit dementsprechend gutem Outcome^{20,46}. Mögliche Zugänge der mikrochirurgischen Tumorentfernung sind translabyrinthär, subtemporal sowie retrosigmoidal³. Die mikrochirurgische Entfernung des VS ist die derzeit meistangewandte Therapieoption⁴⁶.

2.1.4 Retrosigmoidaler Zugang und mögliche Komplikationen

Die Mortalität der chirurgischen Therapie über den retrosigmoidalen Zugang wird mit unter 1% angegeben, die Chance auf Funktionserhalt des N. facialis mit über 90%⁵². In einer Operationsserie aus Tübingen wurde ein Erhalt des

N. facialis in 96% der Fälle erreicht³⁵. Dennoch können postoperativ und im Langzeitverlauf Komplikationen auftreten. So werden postoperativ Schwindel (56%), Tinnitus (35%), Kopfschmerzen (9%), Dysphagie (4,5%) und Trigeminushypästhesien (7%) bzw. –parästhesien (2%) als Beschwerden angegeben³⁸. Neurologische Komplikationen beinhalten v.a. Verlust des Gehörs und Funktionsverlust bzw. –einschränkungen des N. facialis^{38,52}. Als mögliche chirurgische Komplikationen können eine innere (1,6%) bzw. äußere (7,6%) Liquoristel, Nachblutungen (2,2%), Hydrozephalus (1,4%), Meningitis (3%), notwendige Wundrevision (0,8%) und eine Sinusvenenthrombose (0,01%) auftreten³⁸. Die mögliche Verletzung der endolymphatischen Strukturen ED bzw. ES kann zu einem akuten oder verzögerten Hörverlust führen^{1,45}.

2.2 Anatomische Grundlagen

2.2.1 Anatomie des retrosigmoidalen Zugangs und des Kleinhirnbrückenwinkels

Der Hautschnitt wird vertikal von der Ohrspitze bis 1 cm unterhalb der Mastoidspitze im Bereich des Asterions gesetzt³⁴, welches den Knotenpunkt der Sutura lambdoidea, parietomastoidea und occipitomastoidea bildet und die knöcherne Landmarke für den Übergang von Sinus transversus (ST) in den Sinus sigmoideus (SS) darstellt. Anatomische und radiologische Studien zeigen jedoch deutliche Variabilität in dieser Relation¹³, weshalb das erste Bohrloch medial und unterhalb des Asterions angelegt werden sollte. Für die Kraniotomie werden folgende Grenzen angegeben: superiore Begrenzung ist die Unterkante des ST, lateral der mediale Rand des SS und inferior der horizontal verlaufende Teil des Pars squamosa des Os occipitale. Nach halbmondförmiger Inzision der Dura parallel zum Sinusverlauf wird die Arachnoidalmembran über der Cisterna cerebellomedullaris eröffnet und Liquor abgelassen, damit das relaxierte Cerebellum von der Felsenbeinhinterkante zurückweicht³⁴. Die posteriore Fläche des Felsenbeins bildet den anterioren Anteil der hinteren Schädelgrube und des Kleinhirnbrückenwinkels. Nahe dem Zentrum findet sich der runde, größenvariable Meatus acusticus internus der sich nach lateral in den IAC fortsetzt²⁸. Im

Kleinhirnbrückenwinkel entspringen der N. vestibulocochlearis und der N. facialis medial am Hirnstamm im Bereich des lateralen Endes des pontomedullären Sulcus, wobei der N. facialis rostral des N. vestibulocochlearis austritt. Für die Orientierung können der posterior gelegene Flocculus des Cerebellum, der posterior-inferior gelegene aus dem Foramen Luschka austretende Plexus choroideus und die caudal gelegenen N. glossopharyngeus, N. vagus sowie N.accessorius herangezogen werden. Der Fundus des IAC wird horizontal durch die Crista transversa geteilt. Superior dieser Leiste treten anterior der N. facialis und posterior der N. vestibularis superior in Neuralforamina ein und werden durch die Crista verticalis, auch „Bill’s bar“ genannt, getrennt. Inferior der Crista transversa liegt anterior der N. cochlearis, posterior der N. vestibularis inferior. Durch das aus den vestibulären Nerven entstehende VS werden in der Regel der N. facialis nach ventral und der N. cochlearis nach kaudal hin verdrängt. Bei entsprechender Tumorgroße werden auch der kranial gelegene N. trigeminus oder die kaudalen Hirnnerven komprimiert. Die aus der A. basilaris abzweigende Arteria cerebelli anterior inferior (AICA) durchzieht den Kleinhirnbrückenwinkel in den meisten Fällen inferior des N. facialis und N. vestibulochochlearis. Aus der AICA entspringt die A. subarcuata. Anschließend teilt die AICA sich in einen rostralen und einen caudalen Truncus auf. Rhoton et al. fanden in 54% der untersuchten Fälle eine den IAC erreichende oder sogar hineinreichende AICA-Schlinge³⁴. Weitere arterielle Gefäße sind die aus der A. vertebralis abgehende Arteria cerebelli posterior inferior und die ebenfalls der A. basilaris entstammende Arteria cerebelli superior. Bedeutende venöse Gefäße der Region sind die Venen des Sulcus pontomedullaris, der Fissura cerebellomedullaris, des Pedunculus cerebellaris medius, und die Vena petrosa³⁴.

2.2.2 Anatomie des Ductus und Saccus endolymphaticus

Als Bestandteile des Innenohrs sind ED und ES teilweise in die im Felsenbein gelegene Capsula otica eingebettet. Deren knöchernes Labyrinth besteht aus Cochlea, Vestibulum, den Bogengängen sowie dem VA und Aquaeductus cochlearis. Der superiore und posteriore Bogengang bilden das Crus communis (CC), welches wie alle Ductus semicirculares im Vestibulum mündet. Der im posteriosuperioren Vestibulum beginnende VA zieht unter stufenweiser

Aufweitung in posterioinferiorer Richtung auf die posteriore Felsenbeinfläche zu und mündet dort in der Apertura externa (EA)²⁸. Der ED ist eine endolymphhaltige Weichteilstruktur innerhalb des knöchernen Vestibulums und des VA, die ca. 2 mm lang ist und ein singuläres Lumen aufweist²¹. Der ED entsteht aus dem Zusammenfluss des Ductus saccularis mit dem Ductus utricularis²¹. Sein proximaler Part verläuft in einem Sulcus innerhalb des posteromedialen Vestibulums, der Hauptanteil im horizontal liegenden Abschnitt des VA²¹. Distal verengt sich der ED im Isthmus des VA, um anschließend in den ES überzugehen²¹. Der proximale Part des ES verläuft im VA, in der EA tritt er auf die posteriore Felsenbeinfläche aus und liegt in einer Duraduplikatur²¹. Sowohl ES als auch EA variieren deutlich in ihren Ausmaßen²¹. Die Histologie des ES zeigt eine komplexe Struktur aus kommunizierenden Schläuchen, Krypten und Zisternen²¹. Die vaskuläre Versorgung erfolgt vermutlich über einen Ast der Arteria occipitalis, der venöse Abfluß direkt in den SS oder in die im paravestibulären Kanal gelegene Vene²¹. Funktionell werden dem ES sowohl sekretorische und absorptive als auch immunologische Funktionen zugeschrieben²¹. Dadurch spielen ED und ES eine wichtige Rolle in der Homöostase des Innenohrs^{1,41}. Läsionen dieser Strukturen sind potentielle Ursache einer akuten bzw. späten Hörminderung^{1,45}.

2.3 Radiologische Darstellung der knöchernen Labyrinthstrukturen durch High Resolution Computed Tomography

Zur Darstellung der knöchernen Labyrinthstrukturen ist die CT Methode der Wahl^{5,8,28}. Durch Spiral-CT-Technik und entsprechende Verarbeitungssoftware kann die Morphologie der cochlearen Windungen, des Vestibulums, der Bogengänge und der Ampulle detektiert werden⁵. Der VA mit der EA ist als knöcherner Umscheidung des ED und Teilen des ES sichtbar^{8,21}. Bei der präoperativen Vorbereitung einer VS-Operation wird standardmäßig eine HR-CT der Schädelbasis durchgeführt, um Anzahl und Lokalisation der Emissarvenen, Lage des Bulbus venae jugularis sowie Pneumatisation des Felsenbeines darzustellen^{7,13,39,47}.

3 Patienten und Methoden

Die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Eberhard-Karls-Universität Tübingen stimmte der Durchführung der Studie zu.

3.1 Patientenkollektiv

Wir untersuchten prospektiv 100 Patienten, die in der Klinik für Neurochirurgie aufgrund eines VS im Zeitraum von 2007 bis 2009 operiert wurden. Das Alter der Patienten lag zum Operationszeitpunkt zwischen 21 bis 71 Jahren. Das Durchschnittsalter betrug $44,6 \pm 11,4$ Jahre. Die Geschlechterverteilung lag bei 55 Frauen zu 45 Männern. Das VS war in 48 Fällen rechts und in 52 Fällen links lokalisiert. Die Einschlusskriterien waren das Vorhandensein eines einseitigen VS, das durch ein MRT diagnostiziert und postoperativ histologisch gesichert wurde, Indikation zur neurochirurgischen Operation sowie das Fehlen medizinischer Kontraindikationen zur Durchführung einer prä- und postoperativen CT. Die Ausschlusskriterien umfassten das Vorliegen einer Neurofibromatose Typ II, ein Rezidiv eines VS und bereits durchgeführte Voroperationen am Felsenbein.

3.2 Operationstechnik

Die Patienten wurden in Intubationsnarkose halbsitzend- im Falle rein intrakanalikulärer Tumoren in Rückenlage- positioniert. Der in der Mayfieldklemme eingespannte Kopf wurde extendiert, nach vorne positioniert, zur betroffenen Seite gedreht, anteflektiert und so befestigt. Die neurophysiologische Ableitung umfasste: somatisch evozierte Potentiale (SEP) und motorisch evozierte Potentiale (MEP) der beiden oberen Extremitäten, akustisch evozierte Potentiale (AEP), Elektromyographie (EMG) und MEP des N. facialis, sowie die Ableitung der kaudalen Hirnnerven im Falle eines großen VS (Größe T4). Von Seiten der Anästhesie wurden die in halbsitzender Position gelagerten Patienten mit einer transösophagealen Dopplersonografie hinsichtlich möglicher Luftembolien überwacht. Unter sterilen Kautelen wurde der retro-aurikuläre Hautschnitt

durchgeführt. Nach Abschieben der Galea und der Muskelansätze erfolgte die osteoklastische Kraniektomie suboccipital unter Darstellung des Sinusknies und des ST. Im Anschluss wurde die partielle Mastoidektomie durchgeführt und der SS dargestellt. Unter mikroskopischer Sicht fand die halbmondförmige Eröffnung der Dura, das Ablassen des Liquors aus der Cisterna cerebellomedullaris und die Darstellung des Tumors mittels Retraktor statt. Anschließend wurde die Dura dorsal des inneren Gehörgangs eröffnet und abgeschoben. Der IAC wurde mit der Hochgeschwindigkeitsfräse in einem Umfang von 180 Grad aufgefäst, die den Gehörgang auskleidende Dura eröffnet und die intrameatalen Tumoranteile entfernt. Es erfolgte die Identifizierung des N. facialis und N. cochlearis und darauffolgend das Debulking der Tumoranteile im Kleinhirnbrückenwinkel durch den „Cavitron Ultrasonic Surgical Aspirator“ sowie die Entfernung der Tumorkapsel unter Neuromonitoring. Nach der akkuraten Blutstillung wurde eine Muskelplombe mit Fibrinkleber auf den eröffneten Gehörgang gelegt, um so einer postoperativen inneren Liquorfistel vorzubeugen. Es erfolgte im Anschluss eine primäre Duranaht, das Anbringen einer Palacosplastik, eine waserdichte Fasziennaht sowie die Subkutan- und Hautnaht.

3.3 Bildgebende Verfahren

3.3.1 Präoperative Bildgebung durch Magnetresonanztomographie

Die präoperative Bildgebung durch MRT wurde in aller Regel extern durchgeführt, um die Diagnose zu sichern bzw. den aktuellen Stand vor der Überweisung an die neurochirurgische Klinik der Universität Tübingen zu dokumentieren. Hierdurch kamen unterschiedliche Geräte zum Einsatz. Die Erhebung der Parameter „Tumorgröße“ und „Tumorfremie Strecke des IAC“ erfolgte anhand auf Compact-Disc dokumentierten Bilderserien und der jeweiligen Software zur Darstellung der MRT-Bildgebung inklusive der kalibrierten Messwerkzeuge.

3.3.2 Prä- und postoperative Bildgebung durch Computertomographie

Die prä- und postoperative Bildgebung durch HR-CT erfolgte in der neuroradiologischen Klinik der Universität Tübingen mittels dem Gerätetyp Siemens Somatom Sensation 16 (SYNGO *(registered trademark of Siemens AG Copyright*

Siemens AG Berlin und München) CT 2007S) mit der Software Version VB30B in Inkrementaltechnik: 285mAs; 120KV; TI 1,0; cSL 0,8; Akq. 12 x 0,75; CTDIvol 63,84; Rekonstruktionsalgorithmus H70h multiplanar (axial und coronar); Schichtdicke 1,0mm; W2500, L600; Scanrichtung caudocranial.

3.3.3 Auswertungsverfahren

Die Erhebung der Parameter anhand der HR-CT-Bildgebung erfolgte mittels der Software Version SYNGO VB30B am Siemens SYNGO Workplace sowie an der 3D Workstation SYNGO LEONARDO VD10B mit der Software Version VX49B. Um vergleichbare Messdaten zu erhalten wurden die gescannten Aufnahmen in der axialen Schnittebene so ausgerichtet, dass die beiden Ductus semicirculares laterales auf einer Ebene lagen. In der sagittalen Schnittebene wurde eine Linie durch die Unterkante der Orbita an deren größter Ausdehnung und dem Unterrand des Os occipitale parallel zu den horizontalen Begrenzungen des Auswertungsfensters ausgerichtet.

3.3.4 Erhobene Parameter

Die folgenden Parameter wurden radiologisch aus CT- bzw. MRT-Aufnahmen erhoben:

- **Tumorgröße (MRT)**

Die Ausdehnung der VS wurde anhand der Hannover-Klassifikation durch MRT-Bildgebung eingeteilt: Klasse T1, komplett intrameatal gelegen; Klasse T2, intra- und extrameatal; Klasse T3, die cerebellopontine Zisterne ausfüllend; Klasse T4, den Hirnstamm komprimierend³⁸.

- **Tumorfremie Strecke des IAC (axiale Schnittebene MRT)**

Tumorfremie Strecke ab Fundus des IAC. Messung des liquorgefüllten Bereichs an der posterioren Wand des IAC auf Höhe des maximalen Diameters des IAC anhand präoperativer MRT-Bildgebung in T2-Wichtung.

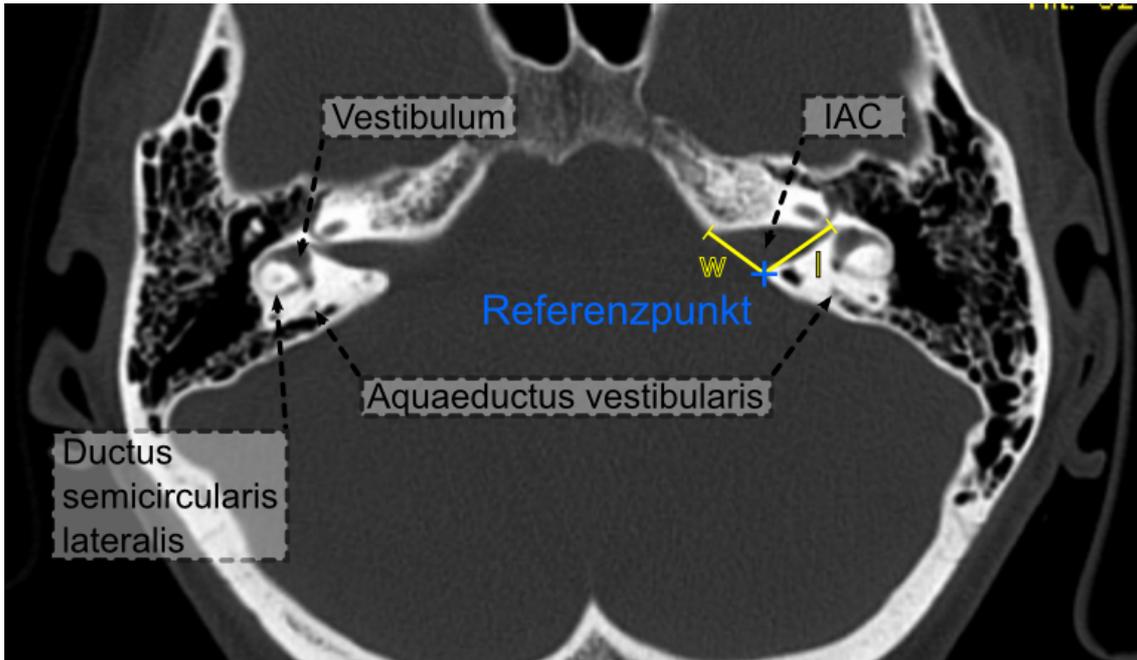


Abbildung 1: Diameter und Länge des IAC

Axiale Schnittebene (HR-CT).

Referenzpunkt = medialer Endpunkt der posterioren Wand des IAC auf Höhe des maximalen Diameters.

w = Diameter des IAC.

l = Länge des IAC.

- **Diameter IAC** (axiale Schnittebene CT)
Maximaler Diameter des IAC (s. Abbildung 1).
- **Länge IAC präoperativ** (axiale Schnittebene CT)
Länge des IAC, gemessen entlang der posterioren Wand auf Höhe des maximalen Diameters des IAC (s. Abbildung 1).
- **Länge IAC postoperativ** (axiale Schnittebene CT)
Länge des IAC, gemessen entlang der posterioren Wand auf Höhe des maximalen Diameters des IAC (s. Abbildung 1).

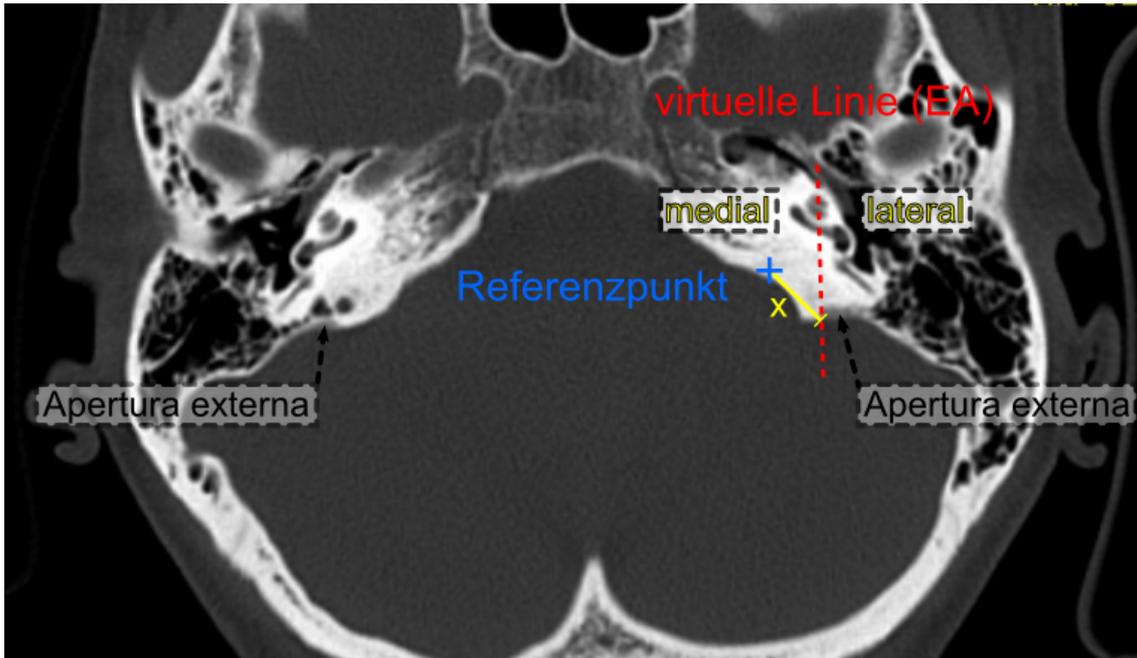


Abbildung 2: Horizontale Distanz EA zu IAC und Verlauf des VA
 Axiale Schnittebene (HR-CT). Schnittebene kaudal zu Abb. 1.
Referenzpunkt (s. Abb.1) = medialer Endpunkt der posterioren Wand des IAC.
x = horizontale Distanz der Apertura externa zu IAC.
virtuelle Linie (EA) = virtuelle Linie durch medialen Rand der Apertura externa, orthogonal auf eine horizontale Referenzlinie durch beide Crus communis (s. Abbildung 4 und Abbildung 5).
medial = Aquaeductus vestibularis kreuzt im Verlauf die virtuelle Linie.
lateral = Aquaeductus vestibularis im Verlauf komplett lateral der virtuellen Linie.

- **Horizontale Distanz EA zu IAC** (axiale Schnittebene CT)
 Distanz zwischen einer virtuellen Linie in der sagittalen Ebene durch den medialen Endpunkt der posterioren Wand des IAC auf Höhe des maximalen Diameters des IAC und der medialen Kante der EA (s. Abbildung 2).
- **Verlauf des VA** (axiale Schnittebene CT)
 Zur Bestimmung des Verlaufs des VA wurde eine virtuelle Linie durch die mediale Kante der EA orthogonal auf eine virtuelle horizontale Referenzlinie durch beide CC gezogen. Der Verlauf des VA wird in Bezug auf diese Linie in „medial“ (VA kreuzt Linie) bzw. „lateral“ (VA im gesamten Verlauf lateral der Linie) eingeteilt (s. Abbildung 2).

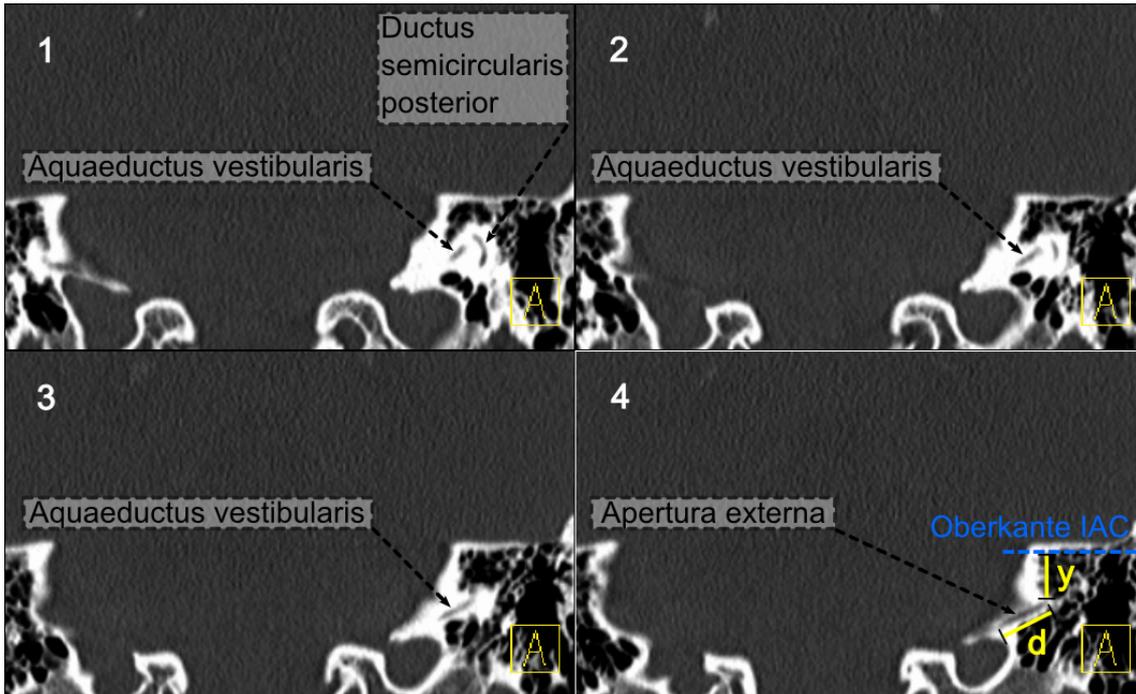


Abbildung 3: Aquaeductus vestibularis- vertikale Distanz und Diameter EA
 Coronare Schnittebene (HR-CT). Schnittebene von frontal (1) nach okzipital (4).
 y = vertikale Distanz der Apertura externa zu IAC
 d = Diameter Apertura externa

- **Vertikale Distanz EA zu IAC** (coronare Schnittebene CT)
 Distanz zwischen der Oberkante des IAC und der Oberkante der EA (s. Abbildung 3).
- **Diameter EA** (coronare Schnittebene CT)
 Maximaler Diameter der EA (s. Abbildung 3).

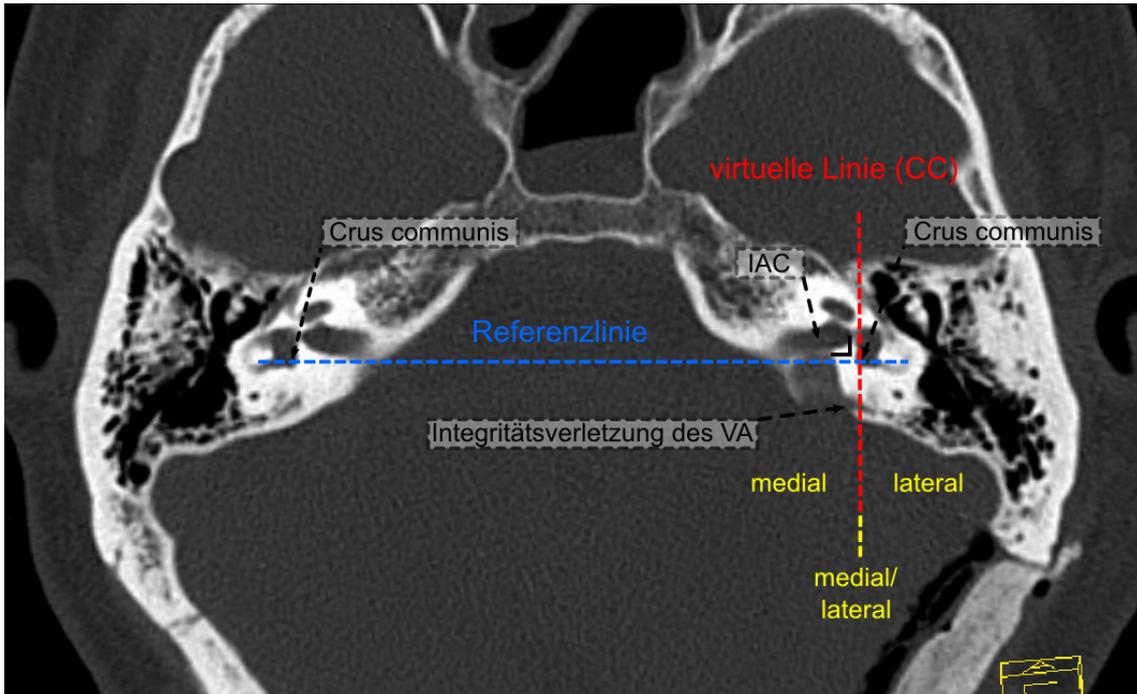


Abbildung 4: Lokalisation der Integritätsverletzung des VA

*Axiale Schnittebene (HR-CT). Mediale, subtotale Integritätsverletzung des VA.
virtuelle Linie (CC) = virtuelle Linie durch Crus communis der betroffenen Seite, orthogonal auf eine horizontale Referenzlinie durch beide Crus communis.
medial = Integritätsverletzung medial der virtuellen Linie
medial/ lateral = Integritätsverletzung wird von der virtuellen Linie geschnitten
lateral = Integritätsverletzung lateral der virtuellen Linie*

- **Integrität VA** (axiale Schnittebene CT)
 Integrität des VA, eingeteilt nach intakt und verletzt
 (s. Abbildung 4).
- **Lokalisation der Integritätsverletzung VA** (axiale Schnittebene CT)
 Zur Bestimmung der Lokalisation der Integritätsverletzung des VA wurde eine virtuelle Linie durch das CC der betroffenen Seite orthogonal auf eine virtuelle horizontale Referenzlinie durch beide CC gezogen. Lokalisation der Integritätsverletzung in Bezug auf diese Linie „medial“, „medial/lateral“ (Integritätsverletzung wird von der virtuellen Linie geschnitten) bzw. „lateral“ (s. Abbildung 4).
- **Ausmaß der Integritätsverletzung VA** (axiale Schnittebene CT)
 Ausmaß der Integritätsverletzung des VA, eingeteilt nach subtotal (mediale Wand unterbrochen, laterale Wand des VA im gesamten Verlauf erhalten) und total (beide Wände des VA im Verlauf unterbrochen) (s. Abbildung 4).

- **Integrität Bogengänge** (axiale Schnittebene CT)
Integrität der Bogengänge, eingeteilt nach intakt und verletzt.
Eine Verletzung der knöchernen Wände von Vestibulum, Canalis semicircularis posterior/ anterior/ lateralis wurde als „verletzt“ bewertet.
- **Ausmaß der Eröffnung des IAC** (axiale Schnittebene CT)
Differenz aus der präoperativen Länge des IAC und der postoperativen Länge des IAC.

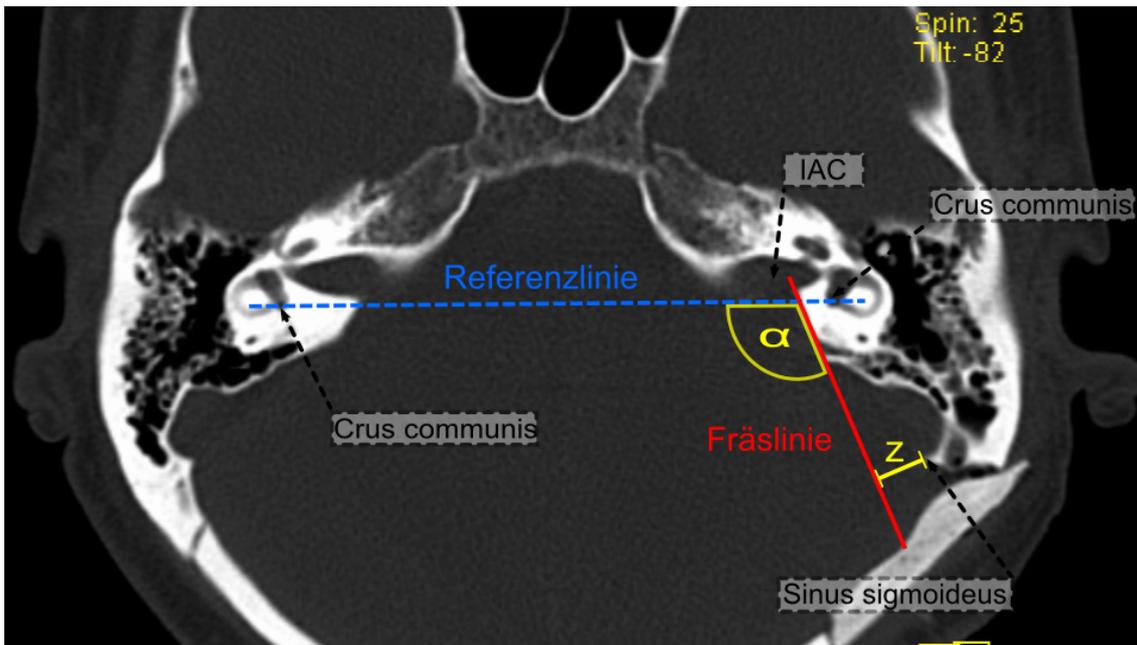


Abbildung 5: Abstand der Fräslinie zu Sinus sigmoideus und Winkel der Fräslinie.

Axiale Schnittebene (HR-CT).

α = Winkel der Fräslinie auf Referenzlinie durch beide Crus communis.

z = Abstand der Fräslinie zu Sinus sigmoideus.

- **Abstand der Fräslinie zum medialen Rand des Sinus sigmoideus**
(axiale Schnittebene CT)
Zur Bestimmung der Distanz zwischen der Fräslinie und der medialen, posterioren Begrenzung des SS, die anatomisch den Einblickwinkel in den Kleinhirnbrückenwinkel begrenzt, wurde eine virtuelle Linie entlang des gefrästen Felsenbeins gezogen und auf Höhe des Kraniektomiedefekts der Abstand zwischen der Linie und der medialen Sinuswand gemessen (z) (s. Abbildung 5).
- **Winkel der Fräslinie** (axiale Schnittebene CT)
Zur Bestimmung des Winkels der Fräslinie wurde eine virtuelle Linie entlang

des gefrästen Felsenbeins gezogen und der Winkel zwischen dieser und einer virtuellen Linie durch beide CC bestimmt (α) (s. Abbildung 5).

3.4 Hörvermögen

Die Dokumentation des Hörvermögens der Patienten wurde jeweils bei der Erstuntersuchung bzw. den Folgeuntersuchungen von Ärzten der Universitätsklinik für Neurochirurgie durchgeführt. Hierbei wurden externe bzw. an der Universitätsklinik für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde durchgeführte Tonaudiogramme verwendet. Unterschieden wurden: „gutes Hören“ vorhanden, d.h. der Patient hatte eine Hörminderung von bis zu 40dB; „Restgehör“ vorhanden, dies bedeutete eine Hörminderung größer 40 dB und noch erhaltener Wahrnehmung von Tönen und Geräuschen; „Anakusis“, also vollkommener Hörverlust auf der betroffenen Seite.

3.5 Statistik

Die statistische Auswertung und Darstellung der Ergebnisse erfolgte mit Microsoft Excel 2011 und IBM SPSS Statistics Version 19. Statistische Signifikanz wurde für eine Irrtumswahrscheinlichkeit $p < 0,05$ angenommen. Zur Überprüfung der statistischen Signifikanz von Unterschieden zweier Mittelwerte wurde der T-Test angewandt: ergaben sich die Mittelwerte jeweils aus der pathologischen bzw. der gesunden Gegenseite der Patienten, so fand der T-Test für abhängige bzw. gepaarte Stichproben Anwendung. Bei Mittelwerten, welche sich aus unterschiedlichen Patientengruppen ergaben, wurde der T-Test für unabhängige Stichproben verwendet. Zur Signifikanzermittlung von Unterschieden mehrerer Mittelwerte wurde die univariate Varianzanalyse angewendet. Der Chi-Quadrat-Test wurde für die Signifikanzüberprüfung bei Kreuztabellen verwendet. Zur Überprüfung von Korrelationen kam Cramers V zur Anwendung. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Balkendiagrammen, Kreisdiagrammen und mit Hilfe von „Box Plots“. Die Whisker der „Box Plots“ werden bis zu einer maximalen Länge des 1,5fachen der Interquartilabstände aufgeführt. Außerhalb liegende Werte sind als Ausreißer separat dargestellt.

4 Ergebnisse

4.1 Tumor

4.1.1 Tumorgröße nach Hannoverklassifikation

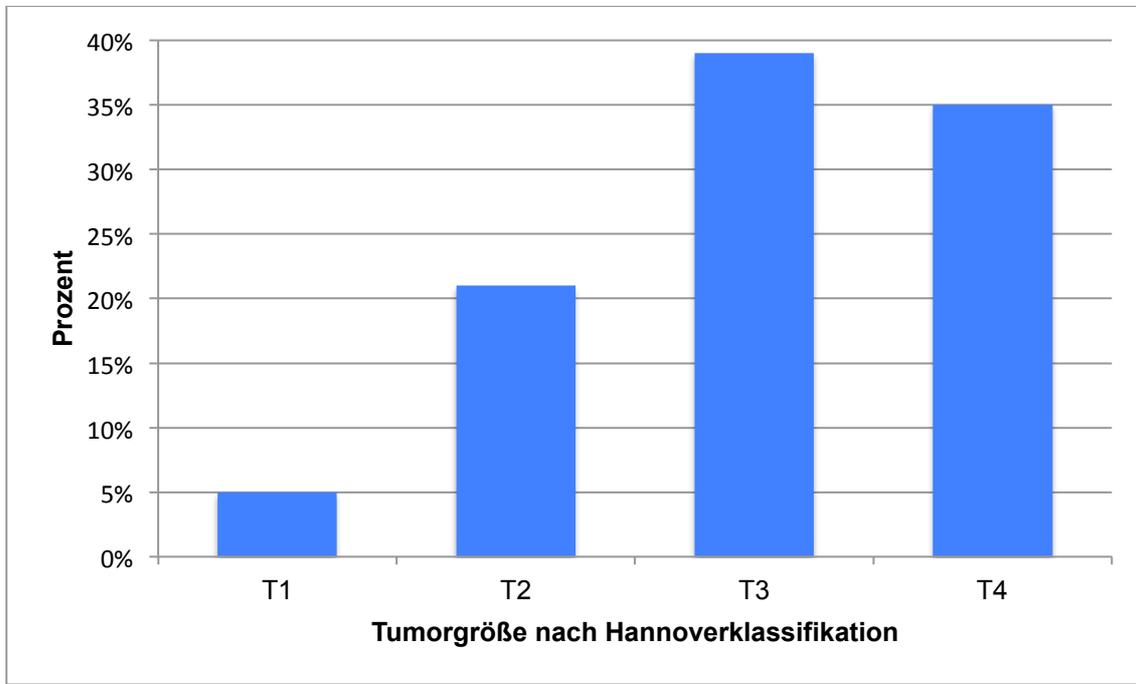


Abbildung 6: Tumorgröße nach Hannoverklassifikation

T1: komplett intrameatal gelegen; T2: intra- und extrameatal; T3: die cerebello-pontine Zisterne ausfüllend; T4: den Hirnstamm komprimierend.
N = 100. Anzahl s. Tabelle 1.

Tabelle 1: Tumorgröße nach Hannoverklassifikation

Tumorgröße	T1	T2	T3	T4	Summe
Patientenanzahl	5	21	39	35	100

Die Tumorgröße wurde anhand der präoperativen MRT-Bildgebung entsprechend der Hannoverklassifikation eingeteilt: Klasse T1, komplett intrameatal gelegen; Klasse T2, intra- und extrameatal; Klasse T3, die cerebellopontine Zisterne ausfüllend; Klasse T4, den Hirnstamm komprimierend³⁸. 5 Patienten hatten einen Tumor der Größe T1, 21 Patienten ein VS der Größe T2, 39 Patienten litten an einem Tumor der Größe T3 und 35 Patienten stellten sich mit einem VS der Größe T4 vor (s. Tabelle 1 u. Abbildung 6).

4.1.2 Ausdehnung des Tumors im Canalis acusticus internus (IAC)

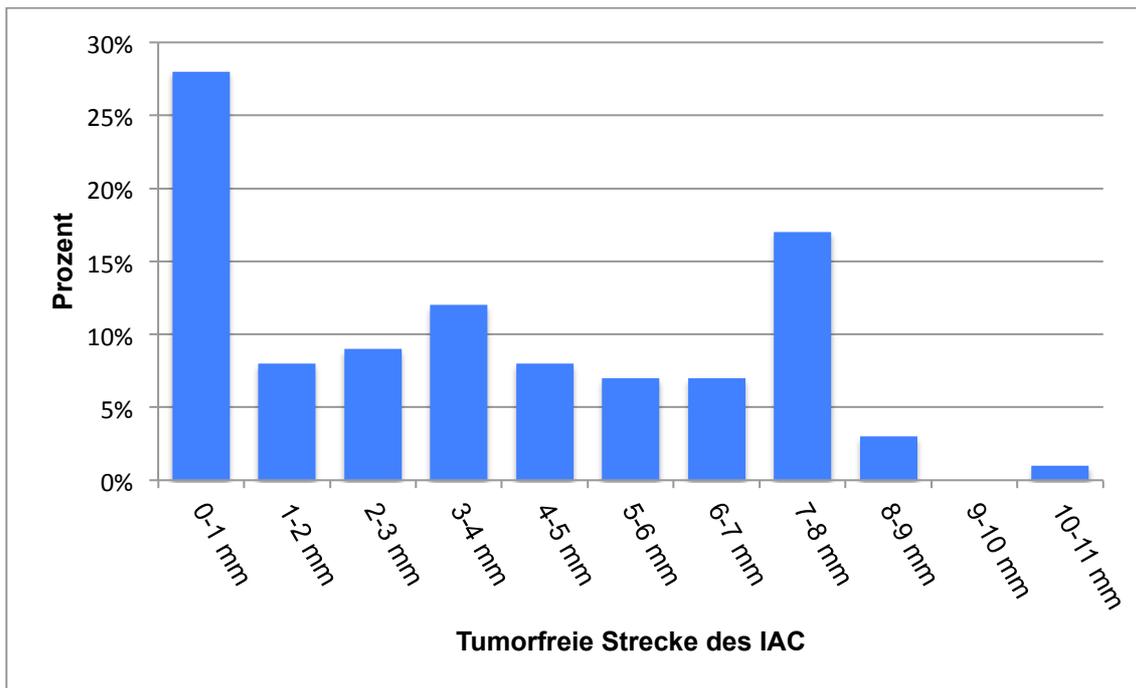


Abbildung 7: Ausdehnung des Tumors im IAC

Tumorfreie Strecke ab Fundus des IAC. Messung an der Hinterkante des IAC auf Höhe des maximalen Diameters des IAC. N = 87. Anzahl s. Tabelle 2.

Tabelle 2: Ausdehnung des Tumors im IAC

Tumorfreie Strecke [mm]	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
Anzahl	24	7	8	10	7	6
Prozent	28%	8%	9%	12%	8%	7%

Tumorfreie Strecke [mm]	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	Summe
Anzahl	6	15	3	0	1	87
Prozent	7%	17%	3%	0%	1%	100%

Die tumorfreie Strecke des IAC und somit die intrameatale Ausdehnung des VS wurde anhand der präoperativen MRT-Bildgebung in T2-Wichtung erhoben. In 28% der ausgewerteten Fälle füllte das VS den IAC komplett (0 -1 mm frei). Zwischen 1 mm und 7 mm tumorfreie Strecke lag der prozentuale Anteil der

jeweiligen 1mm-Klassen zwischen 7% und 12%. Mit 17% der Fälle war die Klasse 7-8 mm tumorfreie Strecke ein zweiter Häufigkeitsgipfel. Die Fälle mit einer tumorfreien Strecke größer 8 mm machten lediglich 4 % der Gesamtfälle aus (s. Tabelle 2 u. Abbildung 7).

4.2 Anatomie

4.2.1 Diameter des Canalis acusticus internus (IAC) und tumorbedingte Veränderungen

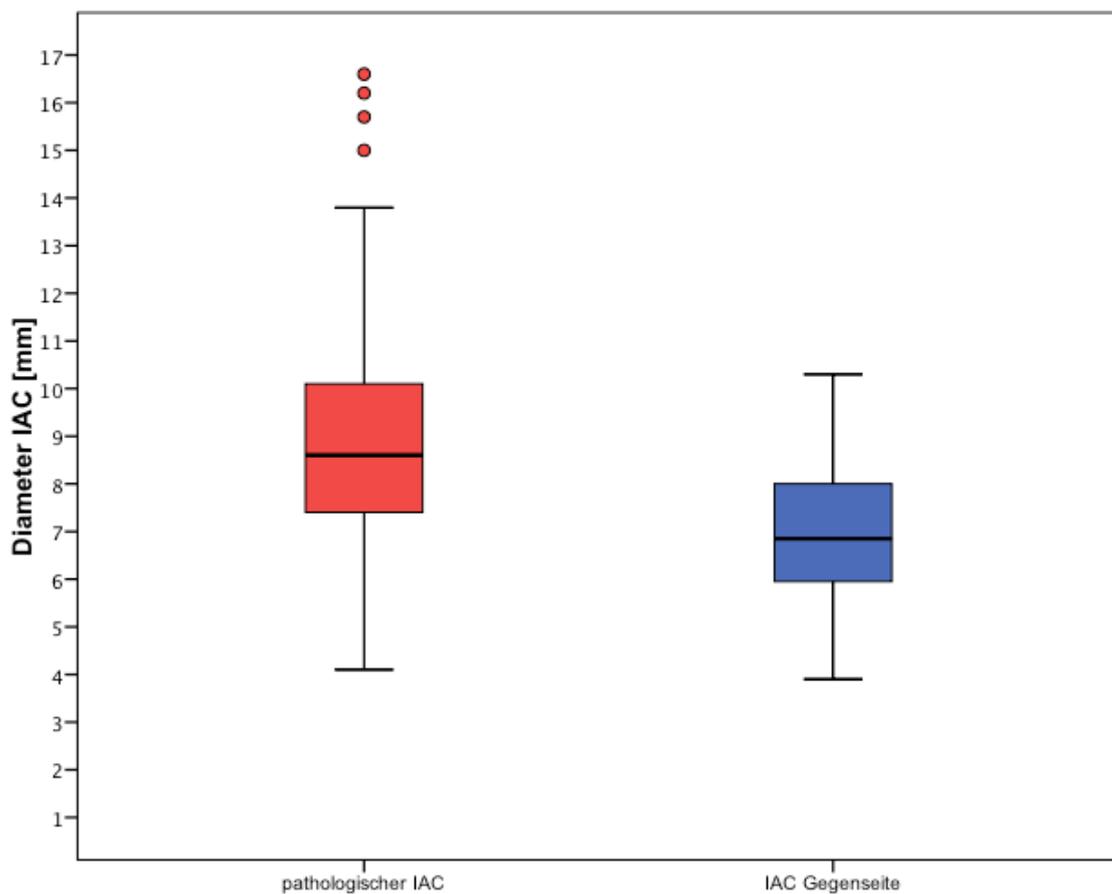


Abbildung 8: Diameter des IAC

Maximaler Diameter des IAC (s. Abbildung 1).
N = 100. Mittelwert, Standardabweichung, minimaler und maximaler Wert der jeweiligen Seite, s. Tabelle 3.

Tabelle 3: Diameter des IAC
SD = Standardabweichung.

Diameter IAC [mm]	pathologischer IAC	IAC Gegenseite
Mittelwert und SD	9,0 ± 2,4	7,0 ± 1,4
Minimaler Wert	4,1	3,9
Maximaler Wert	16,6	10,3

Der Diameter des IAC betrug im Mittel für die Seite, auf der das VS lokalisiert war, 9,0 mm, für die Gegenseite 7,0 mm (s. Tabelle 3 u. Abbildung 8). Es besteht ein sehr signifikanter Unterschied der Werte mit $T = 7,834$ und $p < 0,001$ im T-Test für abhängige Stichproben.

4.2.2 Länge des Canalis acusticus internus (IAC) und tumorbedingte Veränderungen

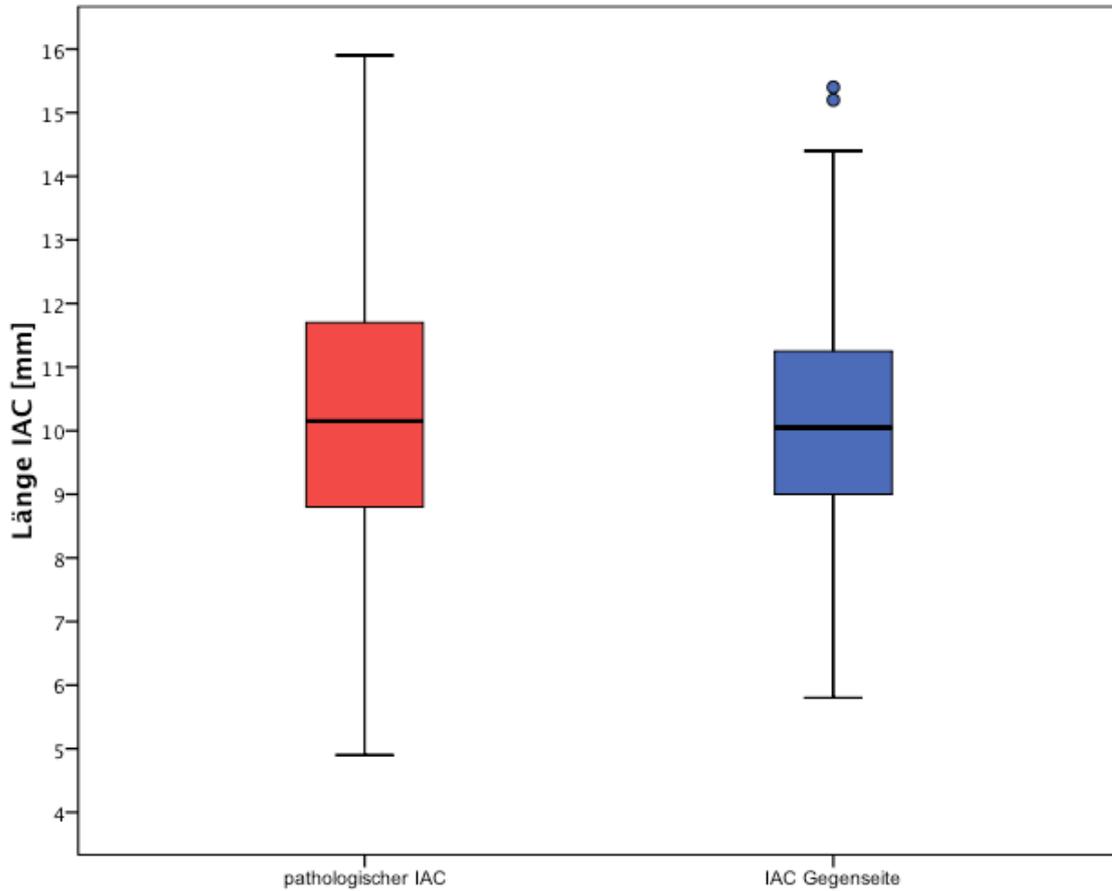


Abbildung 9: Länge des IAC

Länge des IAC, gemessen an der posterioren Wand auf Höhe des maximalen Diameters des IAC (s. Abbildung 1).

$N = 100$. Mittelwert, Standardabweichung, minimaler und maximaler Wert der jeweiligen Seite, s. Tabelle 4.

Tabelle 4: Länge des IAC

SD = Standardabweichung.

Länge IAC [mm]	pathologischer IAC	IAC Gegenseite
Mittelwert und SD	10,3 ± 2,0	10,3 ± 1,8
Minimaler Wert	4,9	5,8
Maximaler Wert	15,9	15,4

Die Länge des IAC war im Mittel für die pathologische Seite 10,3 mm, für die Gegenseite ebenfalls 10,3 mm (s. Tabelle 4 u. Abbildung 9). Ein signifikanter Unterschied besteht bei $T = -0,15$ und $p = 0,881$ im T-Test für abhängige Stichproben nicht.

4.2.3 Lage der Apertura externa (EA) und tumorbedingte topographische Veränderungen

4.2.3.1 Vertikale Distanz zwischen Canalis acusticus internus (IAC) und Apertura externa (EA)

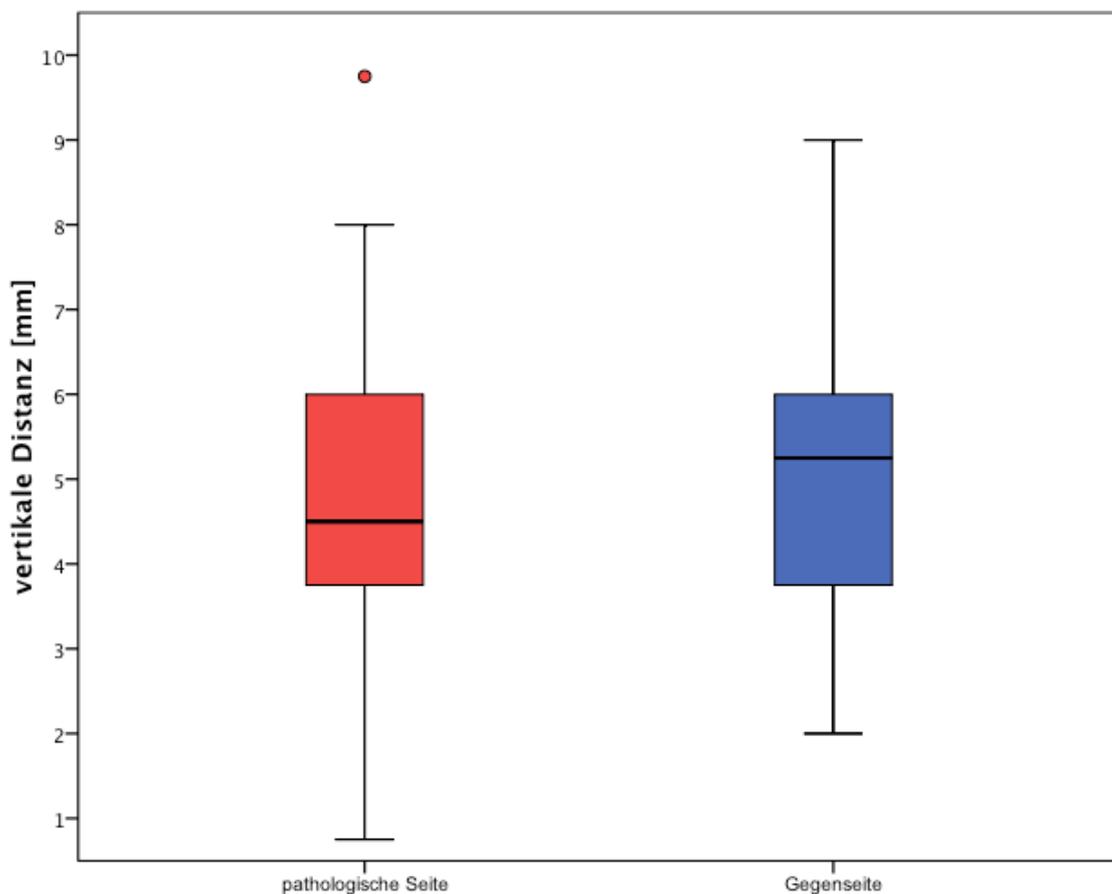


Abbildung 10: Vertikale Distanz EA zu IAC

Distanz zwischen der Oberkante des IAC und Oberkante der EA (s. Abbildung 3). N = 95. Mittelwert, Standardabweichung, minimaler und maximaler Wert der jeweiligen Seite, s. Tabelle 5.

Tabelle 5: Vertikale Distanz EA zu IAC
SD = Standardabweichung.

vertikale Distanz [mm]	pathologische Seite	Gegenseite
Mittelwert und SD	4,9 ± 1,6	5,2 ± 1,6
Minimaler Wert	0,75	2,0
Maximaler Wert	9,75	9,0

Die vertikale Distanz wurde anhand der Anzahl der Schnittebenen zwischen Oberkante des IAC und der Oberkante der EA erhoben. Auf der pathologischen Seite war diese Distanz 4,9 mm, auf der Gegenseite 5,2 mm (s. Tabelle 5 u. Abbildung 10). Ein signifikanter Unterschied besteht mit $T = -1,746$ und $p = 0,084$ im T-Test für abhängige Stichproben nicht.

4.2.3.2 Horizontale Distanz zwischen Canalis acusticus internus (IAC) und Apertura externa (EA)

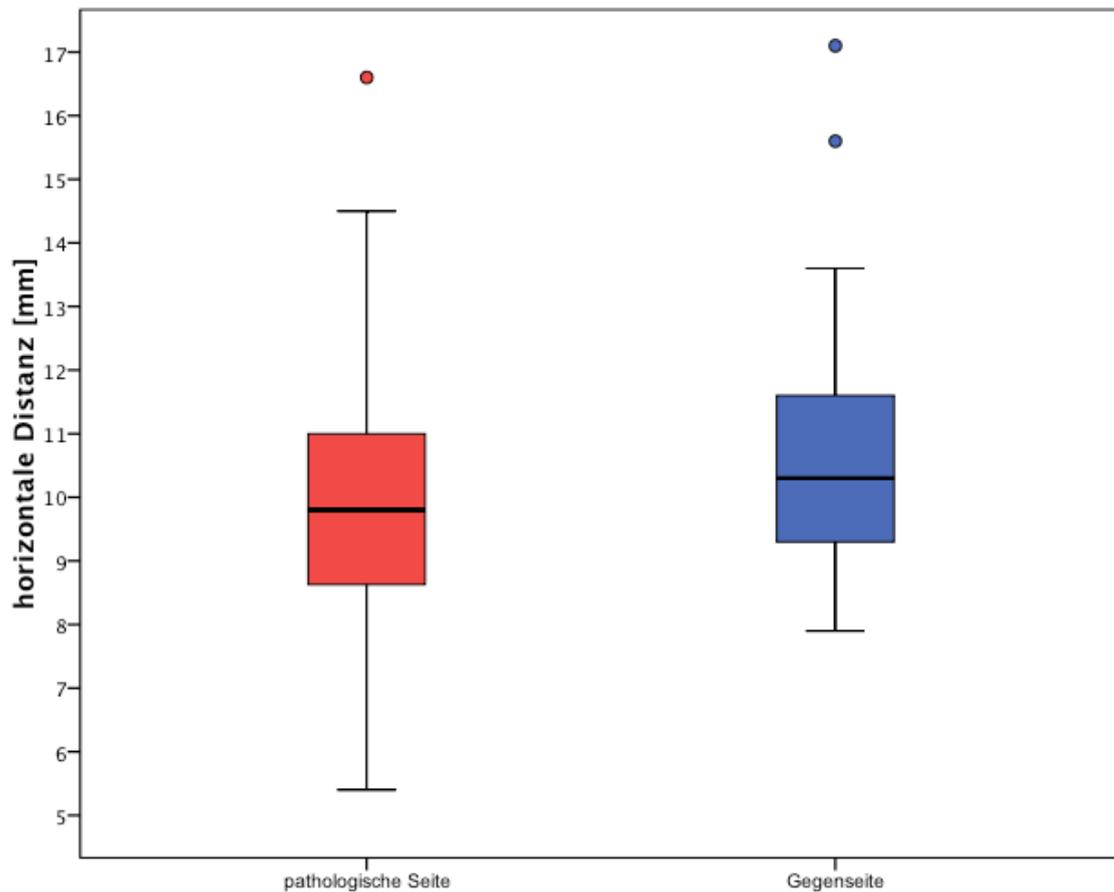


Abbildung 11: Horizontale Distanz EA zu IAC

Distanz zwischen virtueller Linie durch medialen Endpunkt der Hinterkante des IAC auf Höhe des maximalen Diameters des IAC und medialer Kante der EA (s. Abbildung 2).

N = 92. Mittelwert, Standardabweichung, minimaler und maximaler Wert der jeweiligen Seite, s. Tabelle 6.

Tabelle 6: Horizontale Distanz EA zu IAC

SD= Standardabweichung.

horizontale Distanz [mm]	pathologische Seite	Gegenseite
Mittelwert und SD	9,9 ± 2,0	10,6 ± 1,7
Minimaler Wert	5,4	7,9
Maximaler Wert	16,6	17,1

Um die horizontale Distanz zu messen, wurde eine virtuelle Linie in der sagittalen Ebene auf Höhe des maximalen Diameters durch den medialen Endpunkt der Hinterkante des IAC gelegt. In dem entsprechenden axialen Schnittbild wurde die Distanz zwischen dieser Linie und der medialen Kante der EA ermittelt. Auf der pathologischen Seite betrug die horizontale Distanz 9,9 mm, auf der Gegenseite 10,6 mm (s. Tabelle 6 u. Abbildung 11). Es besteht ein sehr signifikanter Unterschied der Distanzen mit $T = -3,562$ und $p = 0,001$ im T-Test für abhängige Stichproben.

4.2.4 Diameter der Apertura externa (EA)

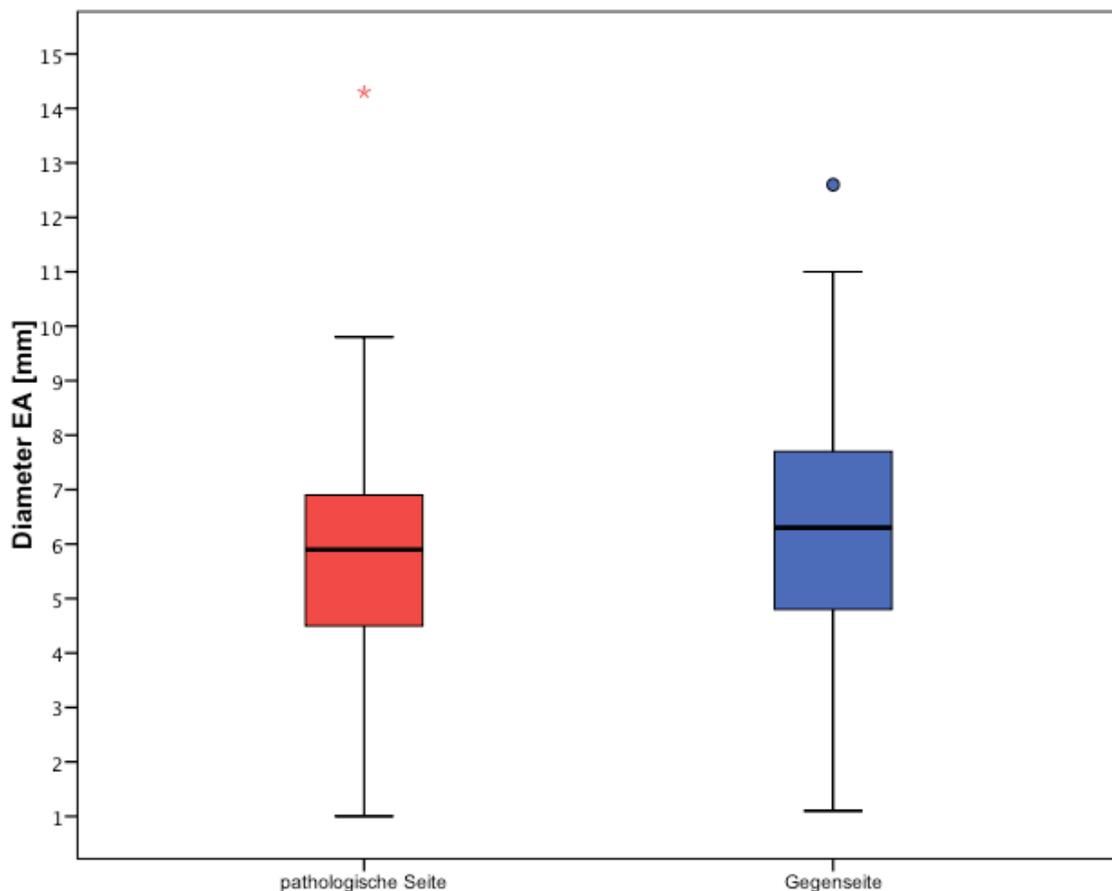


Abbildung 12: Diameter der EA

Maximaler Diameter der EA, gemessen im Frontalschnitt (s. Abbildung 3).
 $N = 77$. Mittelwert, Standardabweichung, minimaler und maximaler Wert der jeweiligen Seite, s. Tabelle 7.

Tabelle 7: Diameter der EA
SD = Standardabweichung.

Diameter EA [mm]	pathologische Seite	Gegenseite
Mittelwert und SD	5,8 ± 2,3	6,2 ± 2,3
Minimaler Wert	1,0	1,1
Maximaler Wert	14,3	12,6

Der Diameter der EA war im Mittel für die pathologische Seite 5,8 mm, für die Gegenseite 6,2 mm (s. Tabelle 7 u. Abbildung 12). Ein signifikanter Unterschied ist mit $T = -1,808$ und $p = 0,075$ im T-Test für abhängige Stichproben nicht gegeben.

4.2.5 Verlauf des Aquaeductus vestibularis (VA) im Verhältnis zur Apertura externa (EA)

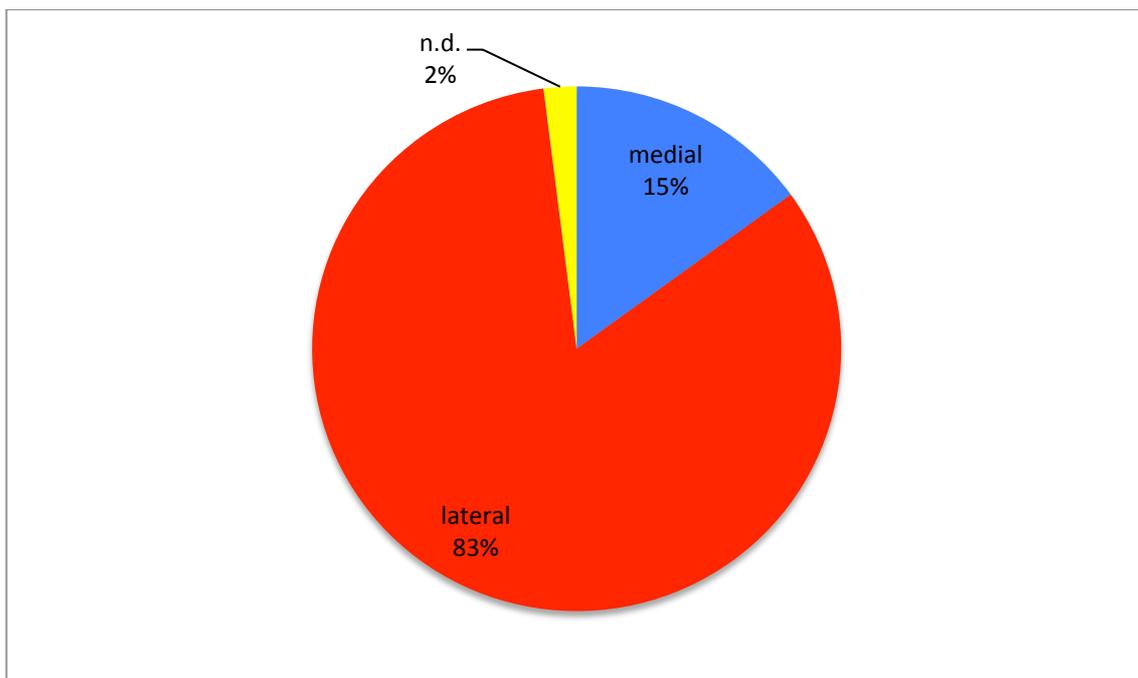


Abbildung 13: Verlauf des VA im Verhältnis zu EA

*Der Verlauf des VA wird in Bezug eine Referenzlinie (virtuelle Linie durch die mediale Kante der EA orthogonal auf eine virtuelle Referenzlinie durch beide CC – s. Abbildung 2) „medial“ (VA kreuzt Linie) bzw. „lateral“ (VA im gesamten Verlauf lateral der Linie) eingeteilt. N=100. Anzahl s. Tabelle 8.
n.d. = nicht definierbar*

Tabelle 8: Verlauf des VA im Verhältnis zu EA

Verlauf	medial	lateral	nicht definierbar	Summe
Anzahl	15	83	2	100

Der VA kreuzte in 15% der Fälle während seines Verlaufes vom Vestibulum zur EA eine virtuelle Linie, welche durch den medialen Rand der EA verläuft und orthogonal auf eine Referenzlinie durch beide CC steht. In 83% der Fälle verlief der VA komplett lateral dieser Linie. Bei 2% der Patienten konnte der Verlauf nicht erhoben werden (s. Tabelle 8 u. Abbildung 13).

4.3 Integrität der endolymphatischen Strukturen

4.3.1 Inzidenz chirurgisch verursachter Integritätsverletzung des Aquaeductus vestibularis (VA)

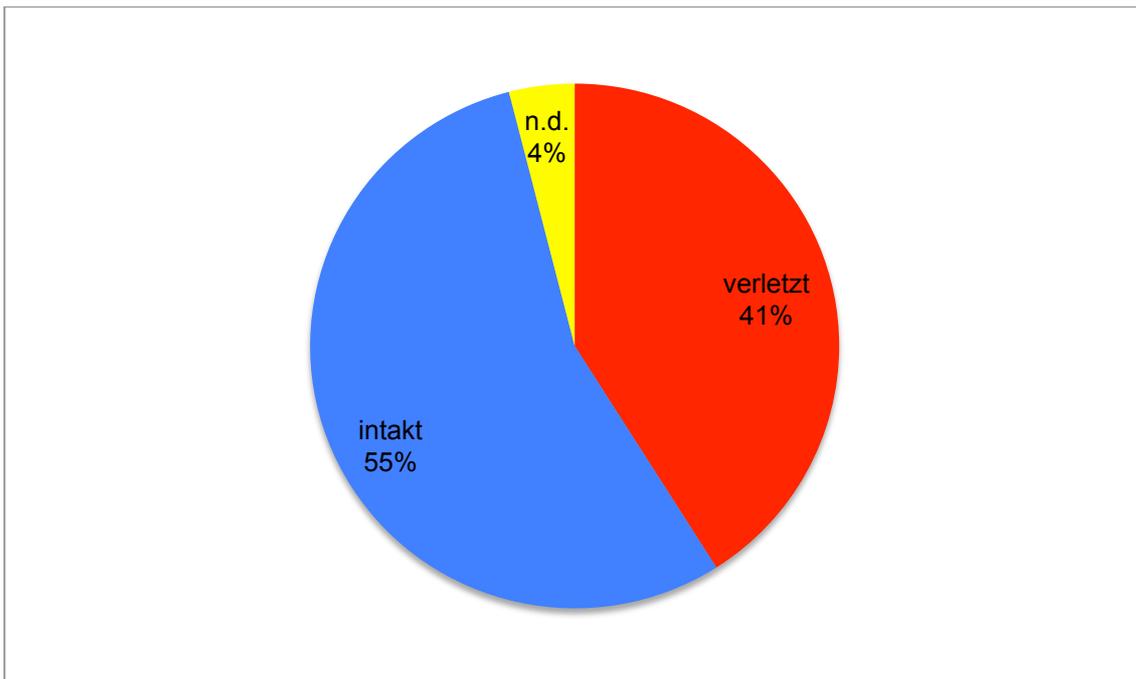


Abbildung 14: Inzidenz chirurgisch verursachter Integritätsverletzung des VA
 N=100. Anzahl s. Tabelle 9. n.d. = nicht definierbar.

Tabelle 9: Inzidenz chirurgisch verursachter Integritätsverletzung des VA

Aquaeductus vestibularis	verletzt	intakt	nicht definierbar	Summe
Anzahl	41	55	4	100

Der VA wurde durch die Operation bei 41% der Patienten verletzt. In 55% der Fälle war der VA postoperativ intakt und bei 4% der Patienten konnte die Integrität nicht festgestellt werden (s. Tabelle 9 u. Abbildung 14).

4.3.2 Lokalisation der Integritätsverletzung des Aquaeductus vestibularis (VA)

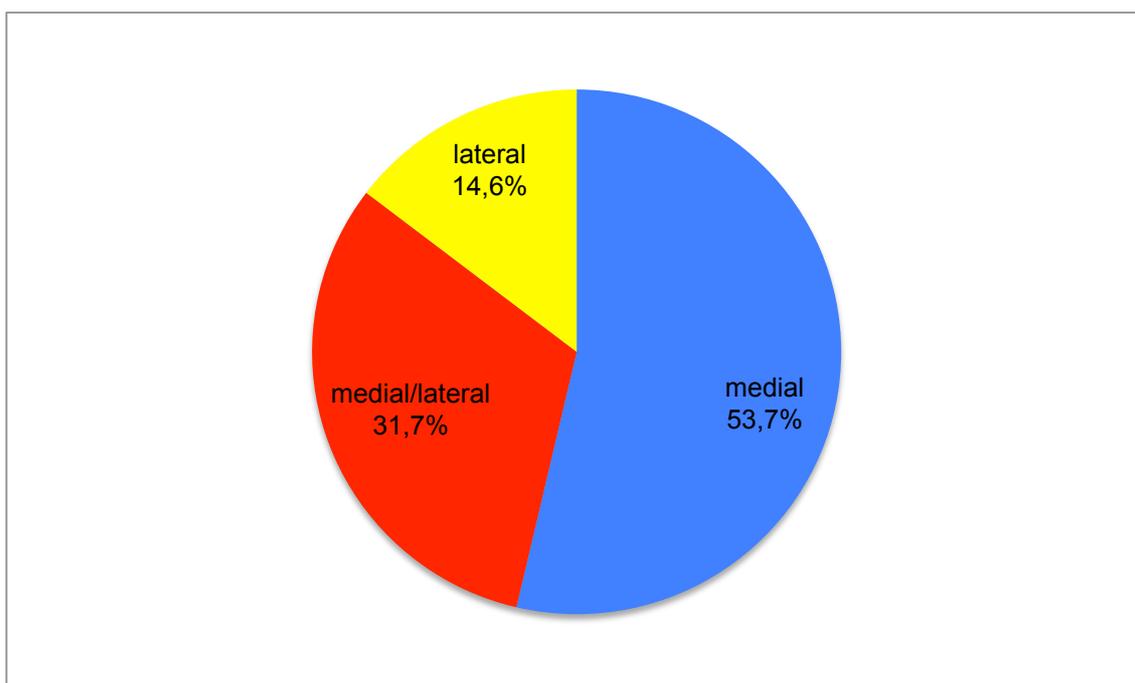


Abbildung 15: Lokalisation der Integritätsverletzung des VA

Lokalisation der Eröffnung in Bezug auf die Referenzlinie (virtuelle Linie durch CC der betroffenen Seite orthogonal auf eine virtuelle Referenzlinie durch beide CC – s. Abbildung 4) „medial“, „medial/lateral“ (Integritätsverletzung wird von der virtuellen Linie geschnitten) bzw. „lateral“.

N=41, Anzahl und Prozentwerte s. Tabelle 10.

Tabelle 10: Lokalisation der Integritätsverletzung des VA

Lokalisation	medial	medial/lateral	lateral	Summe
Anzahl	22	13	6	41
Prozent	53,7%	31,7%	14,6%	100%

Die Lokalisation der Integritätsverletzung des VA war bei 55% der Fälle medial der virtuellen Linie durch das ipsilaterale CC. In 31,7% der Fälle wurde die Integritätsverletzung durch die virtuelle Linie geschnitten (medial/lateral) und in

14,6% der Fälle befand sich die Integritätsverletzung lateral der virtuellen Linie (s. Tabelle 10 u. Abbildung 15).

4.3.3 Ausmaß der Integritätsverletzung des Aquaeductus vestibularis (VA)

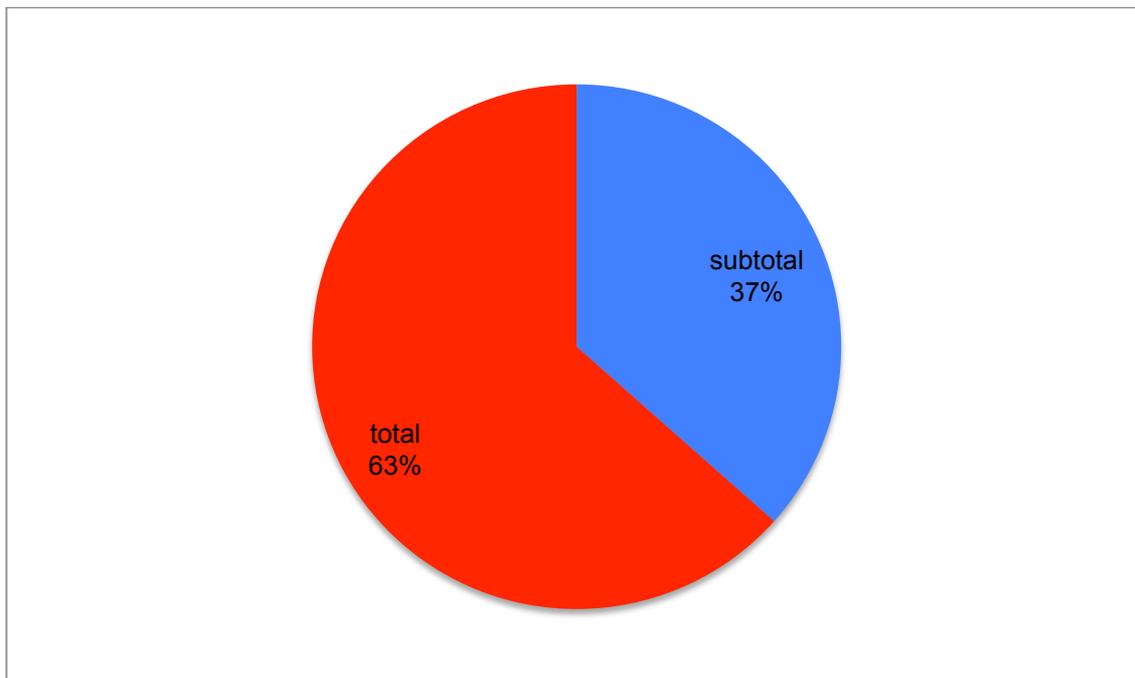


Abbildung 16: Ausmaß der Integritätsverletzung des VA

Ausmaß der Eröffnung, eingeteilt nach subtotal (laterale Wand des VA im gesamten Verlauf erhalten) und total (beide Wände des VA im Verlauf unterbrochen). N=41. Anzahl und Prozentwerte s. Tabelle 11.

Tabelle 11: Ausmaß der Integritätsverletzung

Eröffnung	subtotal	total	Summe
Anzahl	15	26	41
Prozent	36,6%	63,4%	100%

Der VA war bei 36,6% der Integritätsverletzungen subtotal eröffnet, d.h. die laterale Wand des VA war im gesamten Verlauf erhalten. In 63,4% der Fälle wurde der VA durch die Operation total eröffnet, d.h. beide Wände des VA waren in einem Teilstück des Verlaufes zwischen Vestibulum und EA unterbrochen (s. Tabelle 11 u. Abbildung 16).

4.3.4 Inzidenz chirurgisch verursachter Integritätsverletzung der Bogengänge

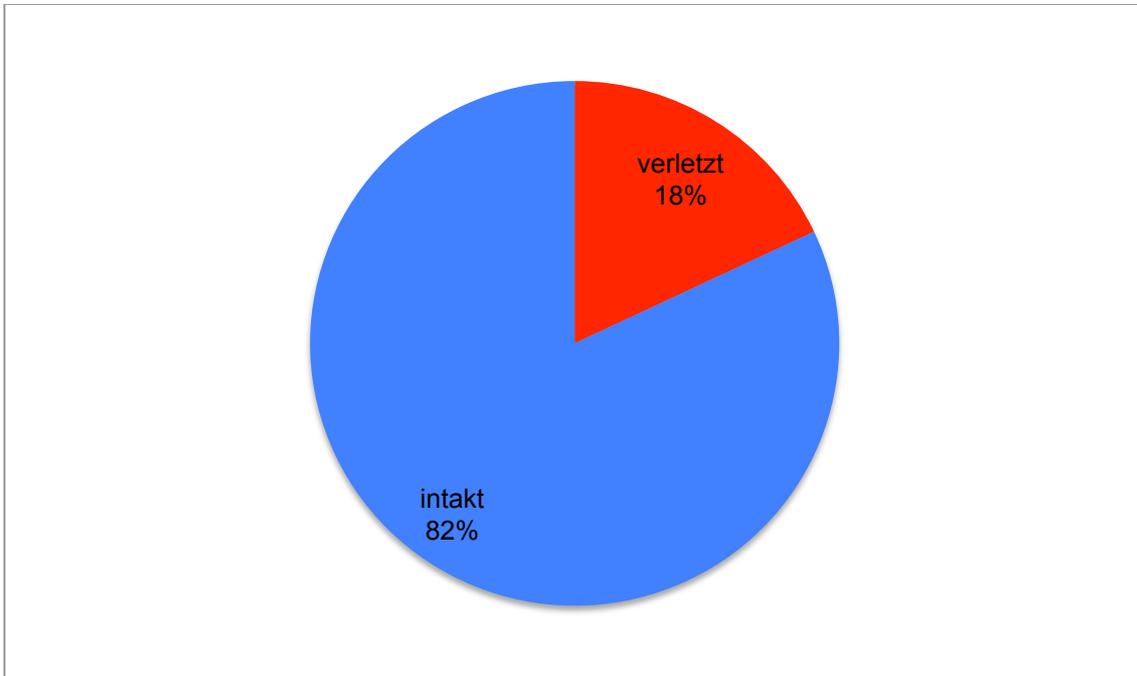


Abbildung 17: Inzidenz chirurgisch verursachter Integritätsverletzung der Bogengänge
Integrität der Bogengänge. Eine Verletzung der knöchernen Wände von Vestibulum, Canalis semicircularis posterior/ anterior/ lateralis wurde als „verletzt“ bewertet. N=100. Anzahl s. Tabelle 12.

Tabelle 12: Inzidenz chirurgisch verursachter Integritätsverletzung der Bogengänge

Bogengänge	verletzt	intakt	Summe
Anzahl	18	82	100

Die Bogengänge waren in 18% der Fälle postoperativ verletzt und in 82% der Fälle intakt (s. Tabelle 12 u. Abbildung 17). Eine Verletzung der knöchernen Wände von Vestibulum, Canalis semicircularis posterior/ anterior/ lateralis wurde als „verletzt“ bewertet.

4.3.5 Postoperative Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA) und der Bogengänge

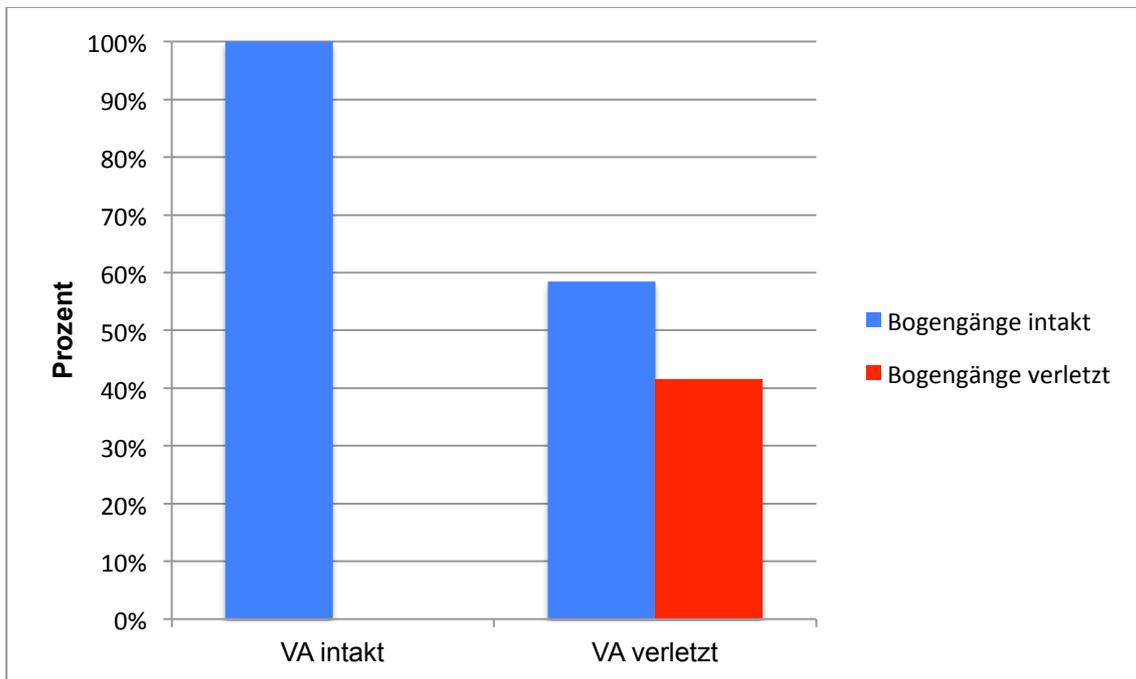


Abbildung 18: Postoperative Integrität des VA und der Bogengänge
N = 96. Kreuztabelle, s. Tabelle 13.

Tabelle 13: Postoperative Integrität des VA und der Bogengänge

		Integrität Bogengänge		Gesamt
		intakt	verletzt	
Integrität VA intakt	Anzahl	55	0	55
	% innerhalb VA intakt	100,0%	0%	100,0%
verletzt	Anzahl	24	17	41
	% innerhalb VA verletzt	58,5%	41,5%	100,0%
Gesamt	Anzahl	79	17	96
	% der Gesamtzahl	82,3%	17,7%	100,0%

Die Kreuztabelle zeigt die Integrität der Bogengänge in Abhängigkeit der Integrität des VA. War der VA postoperativ intakt, so waren 100 % der Bogengänge intakt. Bei einer Verletzung des VA durch die Operation, waren postoperativ 58,5 % der Bogengänge intakt, 41,5 % ebenfalls verletzt (s. Tabelle 13 u.

Abbildung 18). Die statistische Signifikanz ist mit $p < 0,001$ im Chi-Quadrat-Test gegeben. Mit Cramers V von 0,537 ($p < 0,001$) ist von einer starken Korrelation zwischen der Integrität des VA und der Integrität der Bogengänge auszugehen.

4.4 Operationstechnik

4.4.1 Parameter zur Spezifikation der Operationstechnik

Um die Operationstechnik zu spezifizieren wurden die folgenden Parameter erhoben (s. Tabelle 14):

- **Ausmaß der Eröffnung des Canalis acusticus internus**
Gefräste Strecke des IAC, welche sich aus der Differenz der präoperativen und postoperativen Länge des IAC ergibt (s. Abbildung 1).
- **Abstand der virtuellen Fräslinie zu Sinus sigmoideus**
Distanz zwischen virtueller Fräslinie entlang des gefrästen Felsenbeins und der medialen knöchernen Begrenzung des SS (s. Abbildung 5).
- **Winkel der virtuellen Fräslinie**
Winkel zwischen virtueller Fräslinie entlang des gefrästen Felsenbeins und virtueller Linie durch beide CC (s. Abbildung 5).

Tabelle 14: Übersicht der Parameter zur Spezifikation der Operationstechnik

Resektion: Ausmaß der Eröffnung des Meatus acusticus internus; N = 100.

Abstand: Abstand der virtuellen Fräslinie zu Sinus sigmoideus; N = 99.

Winkel: Winkel der virtuellen Fräslinie; N = 99.

SD = Standardabweichung.

	Minimaler Wert	Maximaler Wert	Mittelwert gesamt	Mittelwert	
				rechts	links
Resektion und SD [mm]	1,4	9,6	5,6 ± 1,8	5,3 ± 1,3	5,7 ± 1,4
Abstand und SD [mm]	4,9	17,8	9,8 ± 2,9	9,9 ± 3,0	9,8 ± 2,8
Winkel und SD [Grad]	99	122	111 ± 5	111,6 ± 5,4	110,8 ± 4,6

Die chirurgischen Parameter unterscheiden sich bezüglich der Seitenlokalisation (rechte bzw. linke Seite operiert) nicht, da die statistische Signifikanzprüfung durch T-Test mit $T = 1,782$ und $p = 0,485$ für das Ausmaß der Resektion des IAC, $T = -0,043$ und $p = 0,369$ für den Abstand der virtuellen Fräslinie zu SS sowie $T = -0,838$ und $p = 0,250$ für den Winkel der virtuellen Fräslinie ein nicht signifikantes Ergebnis liefert.

4.4.2 Tumorresektion

Tabelle 15: Tumorresektion

Resektion des Tumors, unterteilt in Totalresektion und Teilresektion.

	Totalresektion	Teilresektion	Summe
Anzahl	94	6	100

Die Resektion des Tumors konnte bei 94% der Patienten komplett durchgeführt werden. Bei 6% der Patienten fand eine Teilresektion des VS statt (s. Tabelle 15). Die Datenerhebung erfolgte anhand der OP-Berichte.

4.5 Hörvermögen

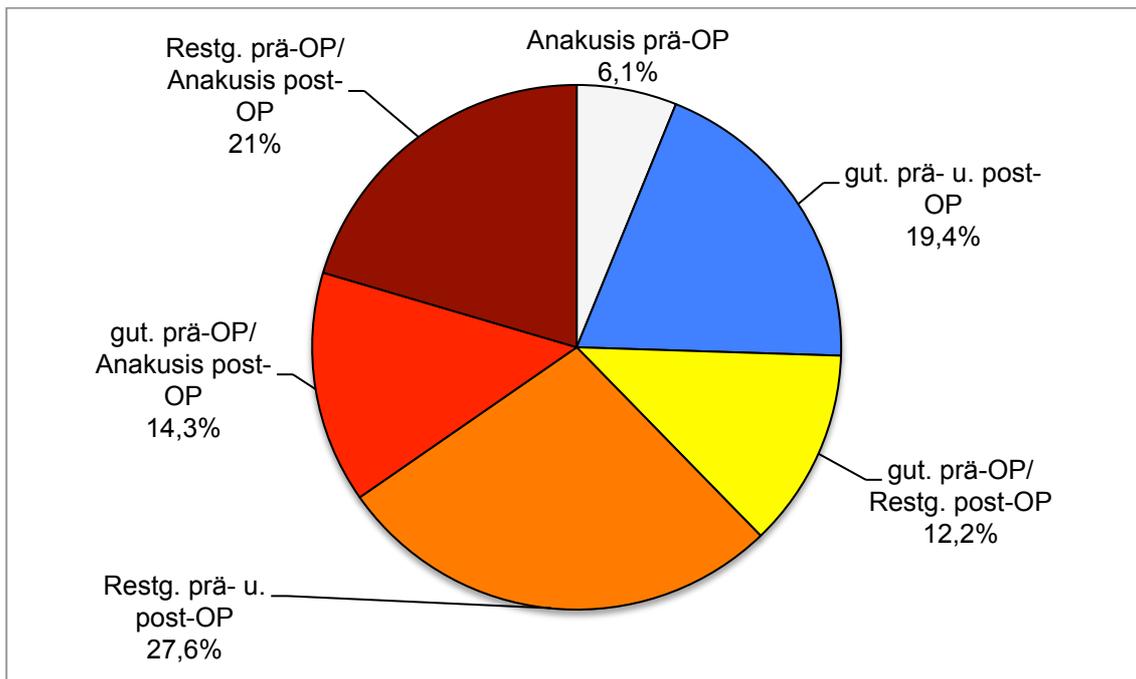


Abbildung 19: Hörvermögen

Unterschieden wird zwischen „gutes Hören“, „Restgehör“ und „Anakusis“. Die Patienten wurden in folgende Gruppen eingeteilt: Anakusis vor der Operation („Anakusis prä-OP“); gutes Hören prä- und postoperativ vorhanden („gut. prä- u. post-OP“); gutes Hören präoperativ, Restgehör postoperativ vorhanden („gut. prä-OP/ Restg. post-OP“); Restgehör prä- und postoperativ vorhanden („Restg. prä- u. post-OP“); gutes Hören präoperativ vorhanden, postoperativ Anakusis („gut. prä-OP/ Anakusis post-OP“); Restgehör präoperativ vorhanden, postoperativ Anakusis („Restg. prä-OP/Anakusis post-OP“).
N = 98. Anzahl und Prozent s. Tabelle 16.

Tabelle 16: Hörvermögen

	Anaku- sis prä- OP	gut prä- u. post- OP	gut. prä- OP/ Restg. post-OP	Restg. prä- u. post-OP	gut. prä- OP/ Anaku- sis post-OP	Restg. prä- OP/ Anaku- sis post-OP
N	6	19	12	27	14	20
%	6,1	19,4	12,2	27,6	14,3	21

Das Hörvermögen wurde jeweils bei der Erstuntersuchung bzw. den Folgeuntersuchungen von Ärzten der Universitätsklinik für Neurochirurgie dokumentiert. Unterschieden wurden: „gutes Hören“ vorhanden, d.h. der Patient hatte eine

Hörminderung von bis zu 40dB; „Restgehör“ vorhanden, dies bedeutete eine Hörminderung größer 40 dB und noch erhaltener Wahrnehmung von Tönen und Geräuschen; „Anakusis“, also vollkommener Hörverlust auf der betroffenen Seite. Der Anteil der Patienten mit präoperativer Anakusis betrug 6,1%. Sowohl prä- als auch postoperativ vorhandenes gutes Hören wiesen 19,4% der Patienten auf. Gutes Hören präoperativ und Restgehör nach der Operation fand sich bei 12,2% der Patienten. Prä- und postoperativ wiesen 27,6% der Patienten Restgehör auf. Präoperativ gutes Hören und Anakusis im Anschluß an die Operation hatten 14,3% der Patienten. Ein präoperatives Restgehör und postoperative Anakusis wurde bei 21% der Patienten festgestellt (s. Tabelle 16 u. Abbildung 19).

4.6 Relationen

Es erfolgte die Auswertung der erhobenen Parameter in Relation zum Status der Integrität des VA. Eine Auswertung der jeweiligen Parameter in Relation zum Integritätsstatus der Bogengänge wurde nicht durchgeführt. Ein statistischer Vergleich der Messwerte, bezogen auf den Status der Integrität des VA und der Bogengänge, ist nicht möglich, da es abhängige Stichproben sind und gemäß Kreuztabelle Tabelle 13 im Falle einer Bogengangsverletzung stets eine Integritätsverletzung des VA mit einher gegangen war, weshalb die erhobenen Messparameter die eines einzelnen Patienten und somit identisch sind. Eine denkbare Differenz der Mittelwerte einzelner Parameter, jeweils bezogen auf VA und Bogengänge, wäre durch die unterschiedlichen Fallzahlen entstanden. Statt dessen fand ein statistischer Vergleich zwischen jener Patientengruppe, in welcher lediglich der VA verletzt war und der Gruppe mit größerem Umfang der Integritätsverletzung, in welcher sowohl der VA als auch die Bogengänge verletzt waren, statt.

4.6.1 Tumorgröße und Diameter des Canalis acusticus internus (IAC)

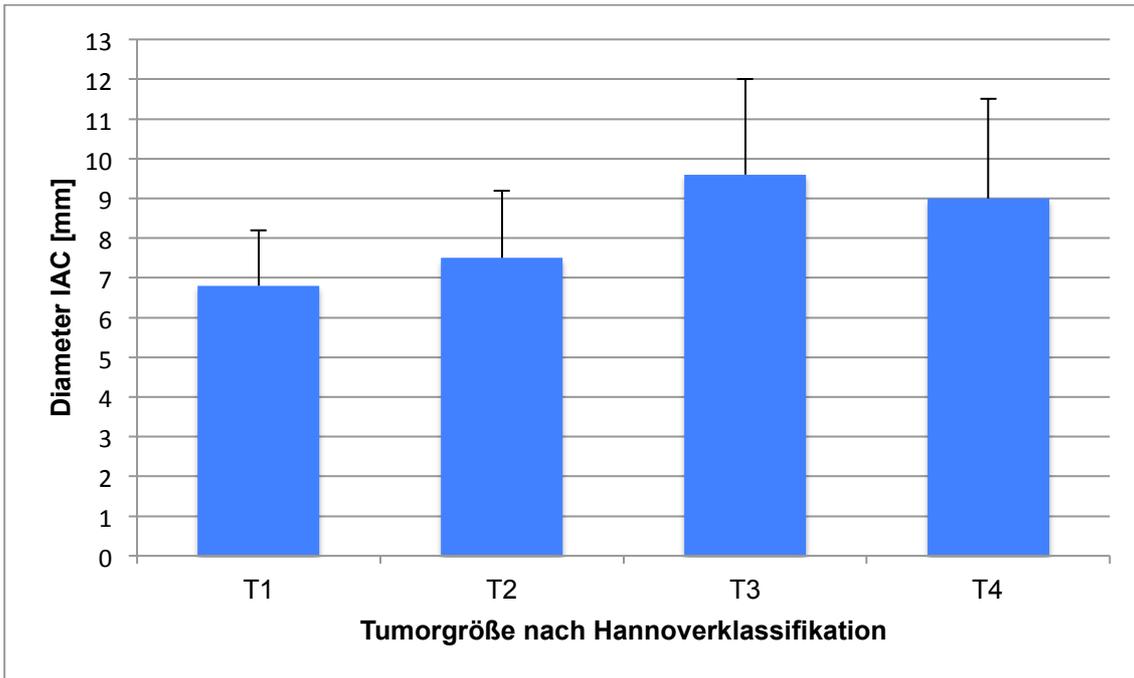


Abbildung 20: Tumorgröße und Diameter des IAC

Tumorgröße eingeteilt nach Hannoverklassifikation: T1: rein intrameatal gelegen; T2: intra- und extrameatal; T3: die cerebello-pontine Zisterne ausfüllend; T4: den Hirnstamm komprimierend. N = 100. Mittelwert, Standardabweichung, minimaler und maximaler Wert der jeweiligen Seite, s. Tabelle 17.

Tabelle 17: Tumorgröße und Diameter des IAC

SD = Standardabweichung.

Diameter IAC [mm]	T1	T2	T3	T4
Mittelwert und SD	6,8 ± 1,4	7,5 ± 1,7	9,6 ± 2,4	9,0 ± 2,5
Minimaler Wert	5,0	4,1	4,6	5,5
Maximaler Wert	8,6	11,9	16,2	16,6

Der mittlere Diameter des IAC betrug für die Tumorgröße T1 6,8 mm, für Tumorgröße T2 7,5 mm, für die Tumorgröße T3 9,6 mm und bei Tumoren der Größe T4 9,0 mm (s. Tabelle 17 u. Abbildung 20). Mit $p = 0,001$ in der univariaten Varianzanalyse besteht ein sehr signifikanter Unterschied der Mittelwerte.

4.6.2 Tumoreigenschaften und Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)

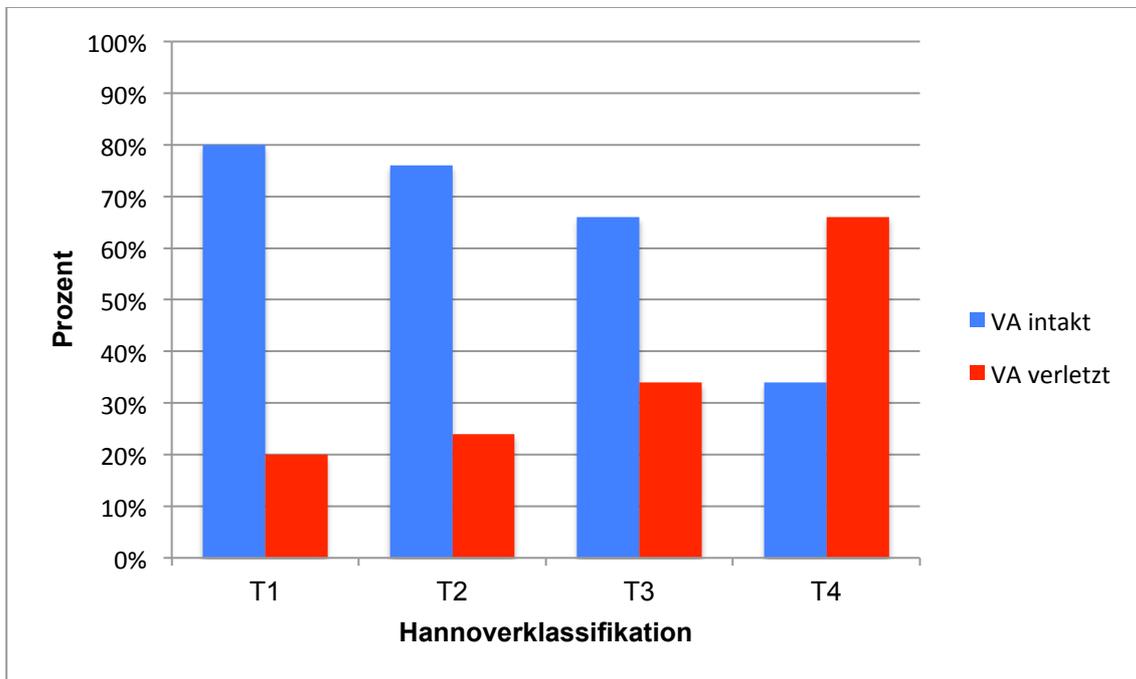


Abbildung 21: Tumorgröße und Integrität des VA

Tumorgröße eingeteilt nach Hannoverklassifikation: T1: komplett intrameatal gelegen; T2: intra- und extrameatal; T3: die cerebello-pontine Zisterne ausfüllend; T4: den Hirnstamm komprimierend.

Integrität des VA eingeteilt nach intakt und verletzt. N=96. Kreuztabelle, s. Tabelle 18.

Tabelle 18: Tumorgröße und Integrität des VA

		Integrität VA		Gesamt
		intakt	verletzt	
T1	Anzahl	4	1	5
	% innerhalb T1	80,0%	20,0%	100,0%
	% der Gesamtzahl	4,2%	1,0%	5,2%
T2	Anzahl	16	5	21
	% innerhalb T2	76,2%	23,8%	100,0%
	% der Gesamtzahl	16,7%	5,2%	21,9%
T3	Anzahl	23	12	35
	% innerhalb T3	65,7%	34,3%	100,0%
	% der Gesamtzahl	24,0%	12,5%	36,5%
T4	Anzahl	12	23	35
	% innerhalb T4	34,3%	65,7%	100,0%
	% der Gesamtzahl	12,5%	24,0%	36,5%
Gesamt	Anzahl	55	41	96
	% der Gesamtzahl	57,3%	42,7%	100,0%

Die Kreuztabelle zeigt die Integrität des VA in Abhängigkeit von der Tumorgröße nach Hannoverklassifikation. Bei der Operation von Tumoren der Größe T1 waren innerhalb dieser Gruppe 80% der VA intakt und 20% der VA wurden verletzt. Bei Tumorgröße T2 waren 76,2% der VA intakt und 23,8% der VA verletzt. In der Gruppe T3 lag die Prozentzahl der intakten VA bei 65,7%, die der Verletzten bei 34,3%. In der Tumorgröße T4 waren 34,3% der VA intakt und 65,7% verletzt (s. Tabelle 18 u. Abbildung 21). Mit $p < 0,001$ im Chi-Quadrat-Test ergibt sich statistische Signifikanz. Mit Cramers $V = 0,364$ ($p = 0,005$) kann von einer Korrelation zwischen Tumorgröße und Integrität des VA ausgegangen werden.

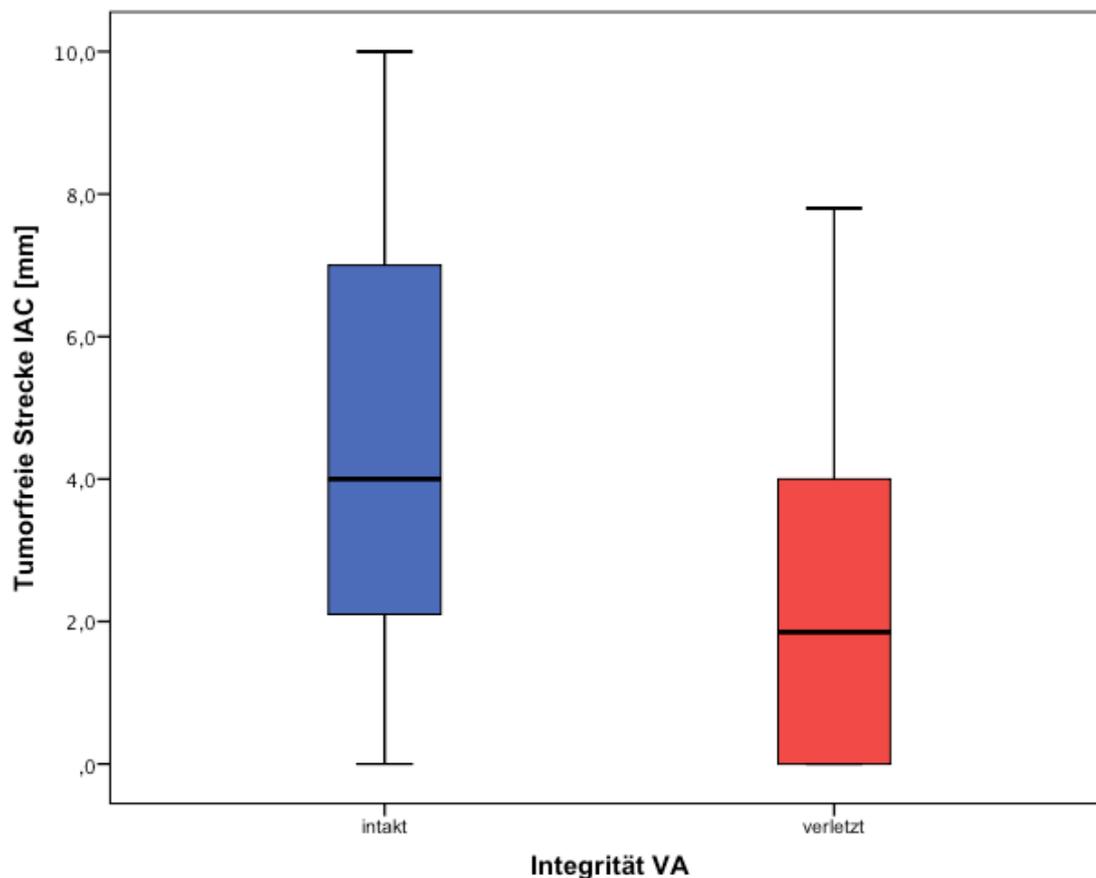


Abbildung 22: Tumorfremie Strecke des IAC und Integrität VA

*Tumorfremie Strecke ab Fundus des IAC. Messung an der Hinterkante des IAC auf Höhe des maximalen Diameters des IAC.
Integrität VA intakt: N=47; Integrität VA verletzt: N=36. Mittelwert, Standardabweichung, minimaler und maximaler Wert s. Tabelle 19.*

Tabelle 19: Tumorfremie Strecke des IAC und Integrität VA

SD = Standardabweichung.

Tumorfremie Strecke IAC [mm]	VA intakt	VA verletzt
Mittelwert und SD	4,4 ± 3,0	2,4 ± 2,7
Minimaler Wert	0	0
Maximaler Wert	10	7,8

Die tumorfremie Strecke des IAC, gemessen ab Fundus, betrug bei postoperativ intaktem VA im Mittel 4,4 mm. War der VA postoperativ verletzt, so war die tumorfremie Strecke im Mittel 2,4 mm, das VS reichte in den IAC weiter hinein als

bei postoperativ intaktem VA (s. Tabelle 19 u. Abbildung 22). Eine Prüfung der statistischen Signifikanz ergibt mit $T = 3,044$ und $p = 0,003$ im T-Test für unabhängige Stichproben ein sehr signifikantes Ergebnis.

Tabelle 20: Tumorfremie Strecke des IAC und Umfang der Integritätsverletzung
VA verletzt: N = 20; Bogengänge und VA verletzt: N = 17
SD = Standardabweichung

Tumorfremie Strecke IAC [mm]	VA verletzt	VA u. Bogengänge verletzt
Mittelwert und SD	2,7 ± 3,0	2,4 ± 2,6
Minimaler Wert	0	0
Maximaler Wert	7,7	7,8

Wurde durch die Operation lediglich der VA verletzt, so war die tumorfremie Strecke des IAC im Mittel 2,7 mm. Bei einer Verletzung von VA und Bogengängen betrug diese im Mittel 2,4 mm (s. Tabelle 20). Die Testung auf statistische Signifikanz ergibt mit $T = -0,265$ und $p = 0,793$ im T-Test für unabhängige Stichproben ein nicht signifikantes Ergebnis.

4.6.3 Tumorgröße und Hörvermögen

4.6.3.1 Tumorgröße und präoperatives Hörvermögen

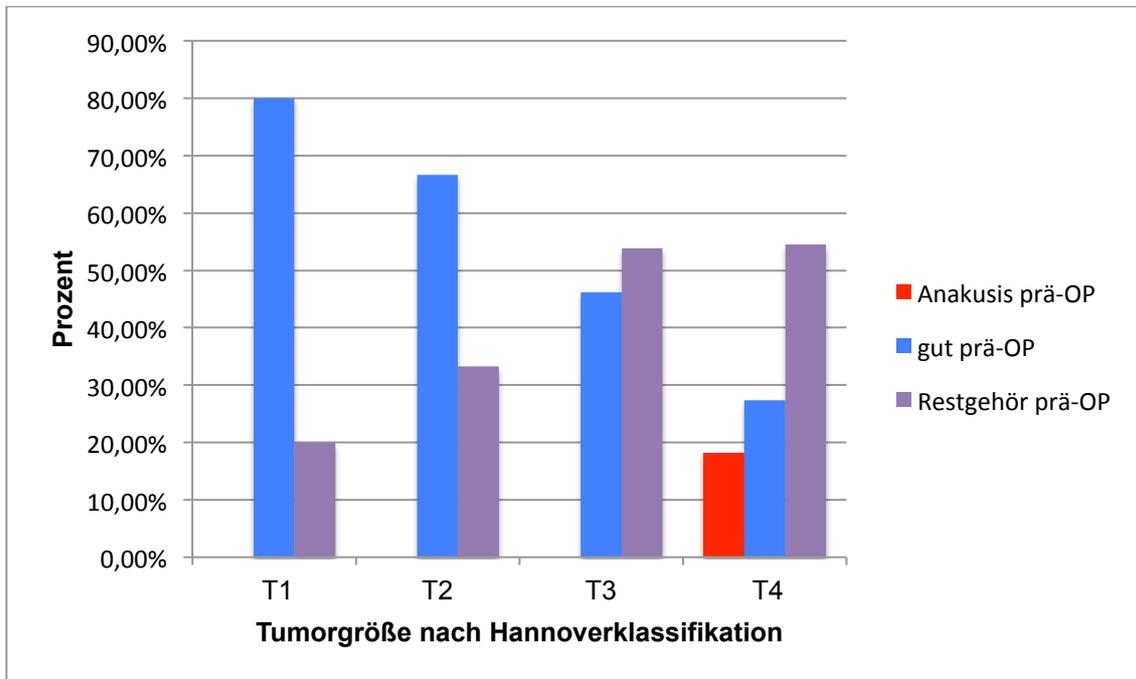


Abbildung 23: Tumorgröße und präoperatives Hörvermögen

Tumorgröße eingeteilt nach Hannoverklassifikation: T1: komplett intrameatal gelegen; T2: intra- und extrameatal; T3: die cerebello-pontine Zisterne ausfüllend; T4: den Hirnstamm komprimierend.

Unterschieden wird zwischen „gutes Hören“, „Restgehör“ und „Anakusis“.

Die Patienten wurden in folgende Gruppen eingeteilt: Anakusis vor der Operation („Anakusis prä-OP“), gutes Hörvermögen präoperativ („gut prä-OP“) und Restgehör präoperativ vorhanden („Restgehör prä-OP“).

N= 98. Kreuztabelle, s. Tabelle 21.

Tabelle 21: Tumorgröße und präoperatives Hörvermögen

		präoperatives Hörvermögen			Gesamt
		Anakusis prä-OP	gut prä-OP	Restgehör prä-OP	
T1	Anzahl	0	4	1	5
	% innerhalb T1	0,0%	80,0%	20,0%	100,0%
	% der Gesamtzahl	0,0%	4,1%	1,0%	5,1%
T2	Anzahl	0	14	7	21
	% innerhalb T2	0,0%	66,7%	33,3%	100,0%
	% der Gesamtzahl	0,0%	14,3%	7,1%	21,4%
T3	Anzahl	0	18	21	39
	% innerhalb T3	0,0%	46,2%	53,8%	100,0%
	% der Gesamtzahl	0,0%	18,4%	21,4%	39,8%
T4	Anzahl	6	9	18	33
	% T4	18,2%	27,3%	54,5%	100,0%
	% der Gesamtzahl	6,1%	9,2%	18,4%	33,7%
Gesamt	Anzahl	6	45	47	98
	% der Gesamtzahl	6,1%	45,9%	48,0%	100,0%

Die Kreuztabelle zeigt zur Darstellung des präoperativen Status das präoperative Hörvermögen in Abhängigkeit zur Tumorgröße. Eine präoperative Anakusis findet sich nur bei Tumoren der Größe T4, bei Tumoren der Größe T1 bis T3 ist stets Hörvermögen vorhanden. In der Gruppe der T1- Tumoren hatten 80% der Patienten präoperativ ein gutes Hörvermögen, 20% Restgehör. Bei einer Tumorgröße T2 konnten präoperativ 66,7% der Patienten gut hören, 33,3% wiesen ein Resthörvermögen auf. War die Tumorgröße T3, so war bei 46,2% der Patienten präoperativ gutes Hörvermögen vorhanden und bei 53,8% ein Resthörvermögen. Bei den Tumoren der Größe T4 lag in 18,2% der Fälle eine präoperative Anakusis vor, 27,3% der Patienten hatten ein gutes Hörvermögen und 54,5% ein Resthörvermögen (s. Tabelle 21). Die statistische Signifikanzprüfung ergibt mit $p = 0,003$ im Chi-Quadrat-Test ein sehr signifikantes Ergebnis.

4.6.3.2 Tumorgröße und prä- und postoperatives Hörvermögen

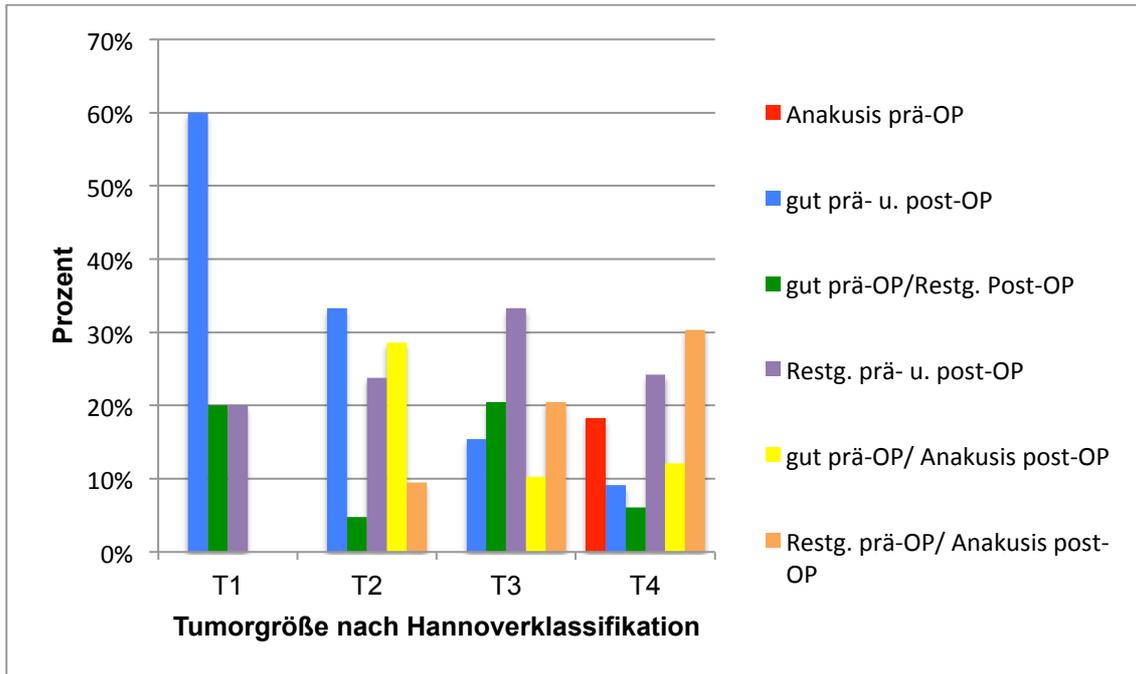


Abbildung 24: Tumorgröße und prä- sowie postoperatives Hörvermögen

Tumorgröße eingeteilt nach Hannoverklassifikation: T1: komplett intrameatal gelegen; T2: intra- und extrameatal; T3: die cerebello-pontine Zisterne ausfüllend; T4: den Hirnstamm komprimierend.

Unterschieden wird zwischen „gutes Hören“, „Restgehör“ und „Anakusis“.

Die Patienten wurden in folgende Gruppen eingeteilt: Anakusis vor der Operation („Anakusis prä-OP“); gutes Hören prä- und postoperativ vorhanden („gut. prä- u. post-OP“); gutes Hören präoperativ, Restgehör postoperativ vorhanden („gut. prä-OP/ Restg. post-OP“); Restgehör prä- und postoperativ vorhanden („Restg. prä- u. post-OP“); gutes Hören präoperativ vorhanden, postoperativ Anakusis („gut. prä-OP/ Anakusis post-OP“); Restgehör präoperativ vorhanden, postoperativ Anakusis („Restg. prä-OP/Anakusis post-OP“. N= 88. Kreuztabelle, s. Tabelle 22.

Tabelle 22: Tumorgröße und prä- sowie postoperatives Hörvermögen

		Hörvermögen					Gesamt	
		Ana- kusi- prä-OP	gut prä- u. post- OP	gut prä- OP/ Restg. post- OP	Restg. prä- u. post- OP	gut prä- OP/ Anaku- sis post- OP		Restg. prä- OP/ Anaku- sis post- OP
T1	Anzahl	0	3	1	1	0	0	5
	% innerhalb T1	0,0%	60,0%	20,0%	20,0%	0,0%	0,0%	100 %
	% der Ge- samtzahl	0,0%	3,1%	1,0%	1,0%	0,0%	0,0%	5,1%
T2	Anzahl	0	7	1	5	6	2	21
	% innerhalb T2	0,0%	33,3%	4,8%	23,8%	28,6%	9,5%	100 %
	% der Ge- samtzahl	0,0%	7,1%	1,0%	5,1%	6,1%	2,0%	21,4 %
T3	Anzahl	0	6	8	13	4	8	39
	% innerhalb T3	0,0%	15,4%	20,5%	33,3%	10,3%	20,5%	100 %
	% der Ge- samtzahl	0,0%	6,1%	8,2%	13,3%	4,1%	8,2%	39,8 %
T4	Anzahl	6	3	2	8	4	10	33
	% innerhalb T4	18,2%	9,1%	6,1%	24,2%	12,1%	30,3%	100 %
	% der Ge- samtzahl	6,1%	3,1%	2,0%	8,2%	4,1%	10,2%	33,7 %
Ge- sa- mt	Anzahl	6	19	12	27	14	20	98
	% der Ge- samtzahl	6,1%	19,4%	12,2%	27,6%	14,3%	20,4%	100 %

Die Kreuztabelle zeigt das Hörvermögen in Abhängigkeit zur Tumorgröße nach Hannoverklassifikation. Patienten mit Tumoren der Größe T1 bis T3 hatten präoperativ stets Hörvermögen. Bei Patienten mit Tumoren der Größe T1 konnten 60% dieser Gruppe prä- und postoperativ gut hören, 20% präoperativ gut und postoperativ mit Restgehör sowie 20% prä- und postoperativ mit

Restgehör. Eine postoperative Anakusis trat bei keinem Patienten mit Tumorgröße T1 auf. In der Gruppe der Patienten mit Tumorgröße T2 konnten 33,3% prä- und postoperativ gut hören. Ein präoperativ gutes Hörvermögen und postoperativ Restgehör hatten 4,8% dieser Gruppe. Prä- und postoperativ vorhandenes Restgehör fand sich bei 23,8% der Patienten mit T2-Tumoren. Eine postoperative Anakusis hatten 38,1% dieser Patientengruppe. Patienten mit Tumoren der Größe T3 konnten in 15,4% der Fälle prä- und postoperativ gut hören. Ein präoperativ gutes Hörvermögen und postoperatives Restgehör hatten 20,5% und 33,3% der Patienten hatten prä- und postoperativ Restgehör. Eine postoperative Anakusis war bei 30,8% der Patienten mit T3-Tumoren gegeben. In der Gruppe der Patienten mit T4-Tumoren wurde bei 18,2% bereits präoperativ eine Anakusis festgestellt. Prä- und postoperativ gut Hören konnten 9,1% dieser Patienten und ein präoperativ gutes Hörvermögen bei postoperativem Restgehör fand sich in 6,2% der Fälle. Prä- und postoperatives Restgehör wiesen 24,2% der Patienten mit T4-Tumoren auf. Eine postoperative Anakusis hatten 42,4% dieser Patientengruppe (s. Tabelle 22 u. Abbildung 24). Die statistische Signifikanzprüfung ergibt mit $p = 0,004$ im Chi-Quadrat-Test ein sehr signifikantes Ergebnis für die Resultate der Kreuztabelle (s. Tabelle 22).

4.6.4 Anatomische Gegebenheiten und Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)

4.6.4.1 Diameter des Canalis acusticus internus (IAC) und Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)

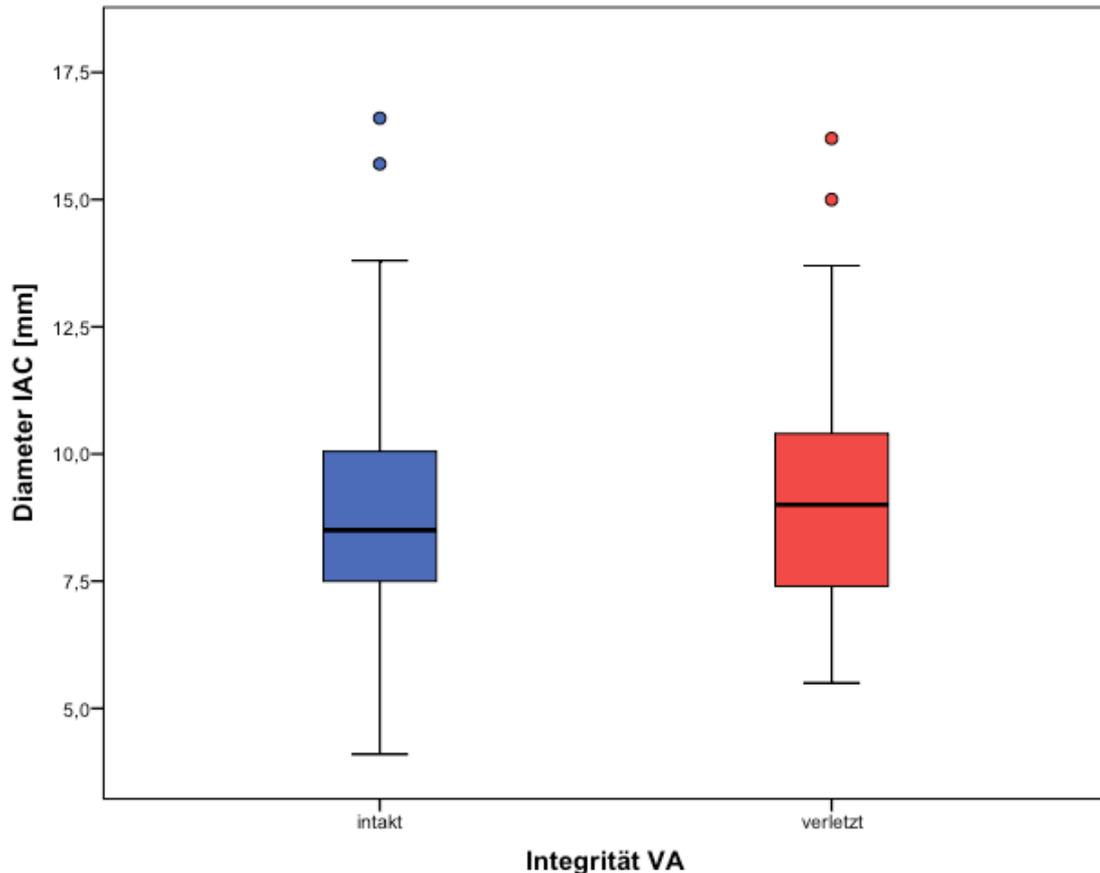


Abbildung 25: Diameter des IAC und Integrität VA

Maximaler Diameter des IAC (s. Abbildung 1). Integrität VA intakt: N=55; Integrität VA verletzt: N=41. Mittelwert, Standardabweichung, minimaler und maximaler Wert s. Tabelle 23.

Tabelle 23: Diameter des IAC und Integrität VA

SD = Standardabweichung.

Diameter IAC [mm]	VA intakt	VA verletzt
Mittelwert und SD	8,9 ± 2,5	9,2 ± 2,5
Minimaler Wert	4,1	5,5
Maximaler Wert	16,6	16,2

Der Durchmesser des IAC betrug bei postoperativ intaktem VA im Mittel 8,9 mm, war der VA verletzt, so war der Durchmesser im Mittel 9,2 mm (s. Tabelle 23 u. Abbildung 25). Ein signifikanter Unterschied besteht mit $T = -0,66$ und $p = 0,511$ im T-Test für unabhängige Stichproben nicht.

Tabelle 24: Durchmesser des IAC und Umfang der Integritätsverletzung
VA verletzt: N = 24; Bogengänge und VA verletzt: N = 18
SD = Standardabweichung

Diameter IAC [mm]	VA verletzt	VA u. Bogengänge verletzt
Mittelwert und SD	8,9 ± 2,5	9,5 ± 2,5
Minimaler Wert	5,7	5,5
Maximaler Wert	16,2	15

Im Falle eines postoperativ verletzten VA war der Durchmesser des IAC im Mittel 8,9 mm. Waren sowohl VA als auch Bogengänge verletzt, so war die mittlere Weite des IAC 9,5 mm (s. Tabelle 24). Ein statistisch signifikanter Unterschied ist mit $T = 0,811$ und $p = 0,422$ im T-Test für unabhängige Stichproben nicht gegeben.

4.6.4.2 Länge des Canalis acusticus internus (IAC) und Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)

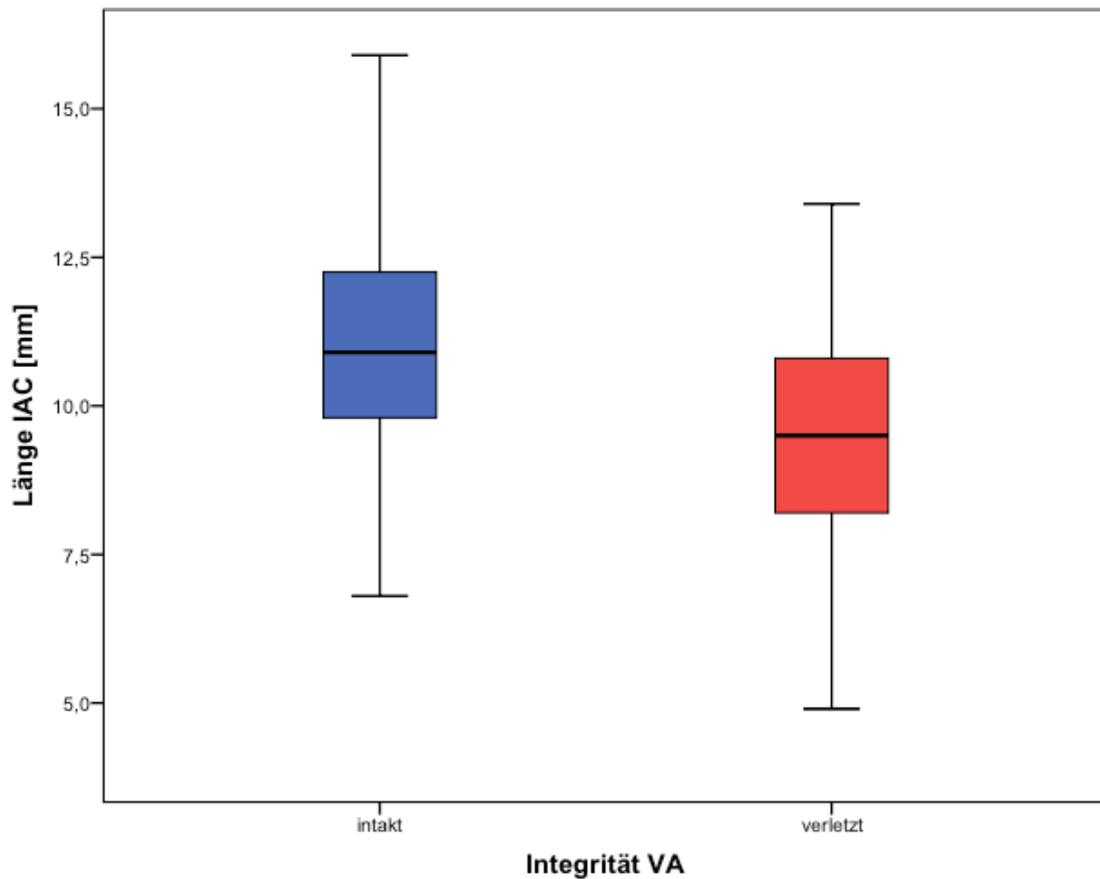


Abbildung 26: Präoperative Länge des IAC und Integrität VA

Präoperative Länge des IAC, gemessen an der posterioren Wand auf Höhe des maximalen Diameters des IAC (s. Abbildung 1). Integrität VA intakt: N=55; Integrität VA verletzt: N=41. Mittelwert, Standardabweichung, minimaler und maximaler Wert s. Tabelle 25.

Tabelle 25: Präoperative Länge des IAC und Integrität VA

SD = Standardabweichung.

Länge IAC [mm]	VA intakt	VA verletzt
Mittelwert und SD	11,0 ± 1,9	9,4 ± 1,8
Minimaler Wert	6,8	4,9
Maximaler Wert	15,9	13,4

War der VA postoperativ intakt, so betrug die Länge des IAC im Mittel 11,0 mm, bei postoperativ verletztem VA im Mittel 9,4 mm (s. Tabelle 25 u. Abbildung 26). Die Prüfung auf statistische Signifikanz ergibt mit $T = 4,283$ und $p < 0,001$ im T-Test für unabhängige Stichproben einen sehr signifikanten Unterschied.

Tabelle 26: Präoperative Länge des IAC und Umfang der Integritätsverletzung
VA verletzt: N = 24; Bogengänge und VA verletzt: N = 18
SD = Standardabweichung

Länge IAC [mm]	VA verletzt	VA u. Bogengänge verletzt
Mittelwert und SD	9,9 ± 1,6	8,5 ± 1,8
Minimaler Wert	7,1	4,9
Maximaler Wert	13,4	11,7

War postoperativ lediglich der VA verletzt, so betrug die präoperative Länge des IAC im Mittel 9,9 mm. Bei einer Verletzung von VA und Bogengängen war die präoperative Länge im Mittel 8,5 mm (s. Tabelle 26). Die Prüfung auf Signifikanz ergibt ein statistisch signifikantes Ergebnis mit $T = -2,633$ und $p = 0,012$ im T-Test für unabhängige Stichproben.

4.6.4.3 Lage der Apertura externa (EA) und Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)

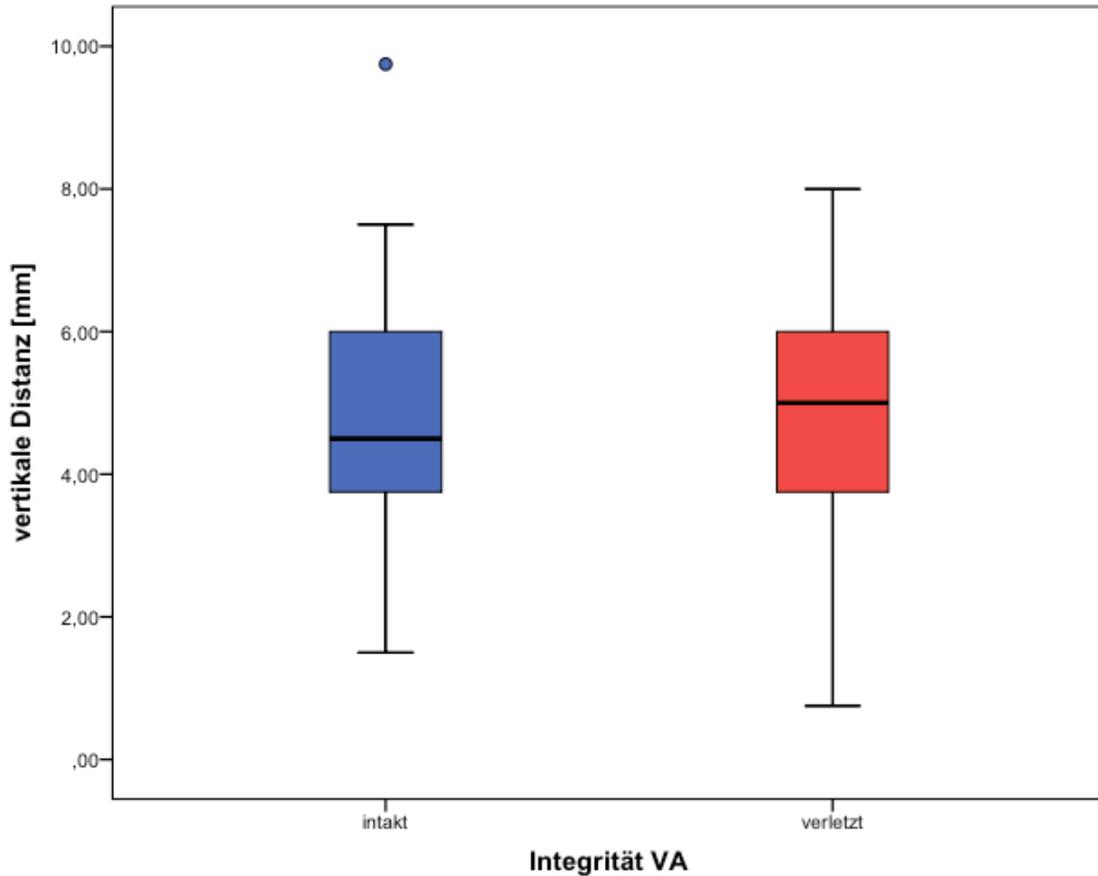


Abbildung 27: Vertikale Distanz EA zu IAC und Integrität VA
 Distanz zwischen der Oberkante des IAC und Oberkante der EA (s. Abbildung 3).
 Integrität VA intakt: N=55; Integrität VA verletzt: N=40. Mittelwert, Standardabweichung, minimaler und maximaler Wert s. Tabelle 27.

Tabelle 27: Vertikale Distanz EA zu IAC und Integrität VA
 SD = Standardabweichung.

Vertikale Distanz EA zu IAC [mm]	VA intakt	VA verletzt
Mittelwert und SD	4,9 ± 1,7	4,9 ± 1,6
Minimaler Wert	1,5	0,75
Maximaler Wert	9,75	8,0

Die vertikale Distanz der EA zum IAC betrug bei postoperativ intaktem VA im Mittel 4,9 mm. War der VA verletzt, so war die vertikale Distanz im Mittel ebenso 4,9 mm (s. Tabelle 27 u. Abbildung 27). Ein signifikanter Unterschied besteht mit $T = -0,074$ und $p = 0,941$ im T-Test für unabhängige Stichproben nicht.

Tabelle 28: Vertikale Distanz EA zu IAC und Umfang der Integritätsverletzung
 VA verletzt: $N = 15$; Bogengänge und VA verletzt: $N = 12$
 SD = Standardabweichung

Vertikale Distanz EA zu IAC [mm]	VA verletzt	VA u. Bogengänge verletzt
Mittelwert und SD	5,4 ± 1,3	4,8 ± 1,2
Minimaler Wert	3,0	3,0
Maximaler Wert	7,5	7,0

War der VA durch die Operation verletzt, so betrug die vertikale Distanz zwischen EA und IAC im Mittel 5,4 mm. Bei einer Integritätsverletzung von VA und Bogengängen war die mittlere Distanz 4,8 mm (s. Tabelle 28). Ein statistisch signifikantes Ergebnis ist mit $T = -1,503$ und $p = 0,141$ im T-Test für unabhängige Stichproben nicht gegeben.

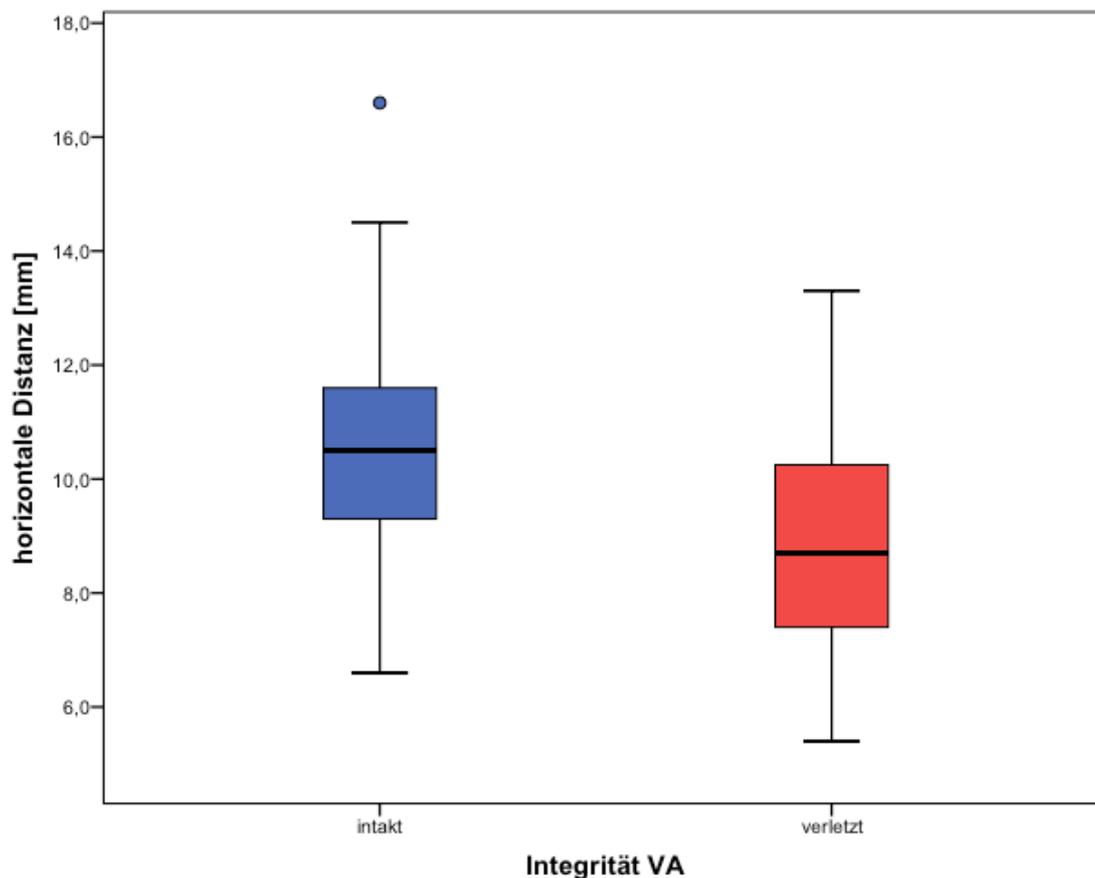


Abbildung 28: Horizontale Distanz EA zu IAC und Integrität VA

Distanz zwischen virtueller Linie durch medialen Endpunkt der Hinterkante des IAC auf Höhe des maximalen Diameters des IAC und medialer Kante der EA (s. Abbildung 2). Integrität VA intakt: N=54; Integrität VA verletzt: N=39. Mittelwert, Standardabweichung, minimaler und maximaler Wert s. Tabelle 29.

Tabelle 29: Horizontale Distanz EA zu IAC und Integrität VA

SD = Standardabweichung

Horizontale Distanz EA zu IAC [mm]	VA intakt	VA verletzt
Mittelwert und SD	10,6 ± 1,8	8,9 ± 1,9
Minimaler Wert	6,6	5,4
Maximaler Wert	16,6	13,3

Die horizontale Distanz zwischen EA und IAC war bei postoperativ intaktem VA im Mittel 10,6 mm, bei postoperativ verletztem VA im Mittel 8,9 mm

(s. Tabelle 29 u. Abbildung 28). Es besteht ein sehr signifikanter Unterschied mit $T = 4,307$ und $p < 0,001$ im T-Test für unabhängige Stichproben.

Tabelle 30: Horizontale Distanz EA zu IAC und Umfang der Integritätsverletzung
VA verletzt: N = 15; Bogengänge und VA verletzt: N = 12
SD = Standardabweichung

Horizontale Distanz EA zu IAC [mm]	VA verletzt	VA u. Bogengänge verletzt
Mittelwert und SD	9,4 ± 1,7	8,4 ± 2,0
Minimaler Wert	6,7	5,4
Maximaler Wert	13,3	12,1

Im Falle eines durch die Operation verletzten VA war die mittlere horizontale Distanz 9,4 mm. Bei verletztem VA und Bogengängen betrug diese im Mittel 8,4 mm (s. Tabelle 30). Ein statistisch signifikanter Unterschied besteht mit $T = -0,743$ und $p = 0,462$ im T-Test für unabhängige Stichproben nicht.

4.6.4.4 Diameter der Apertura externa (EA) und Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)

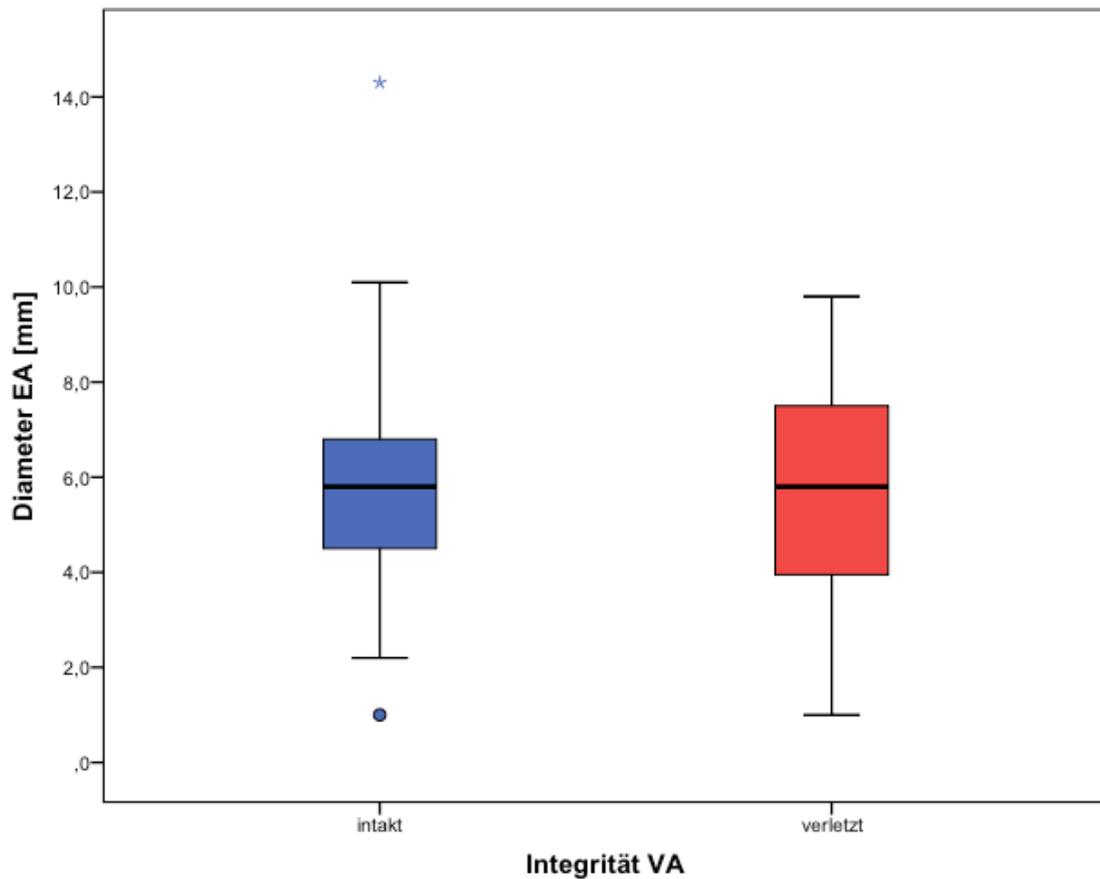


Abbildung 29: Diameter EA und Integrität VA

Maximaler Diameter der EA (s. Abbildung 3).

Integrität VA intakt: N=53; Integrität VA verletzt: N=28. Mittelwert, Standardabweichung, minimaler und maximaler Wert s. Tabelle 31.

Tabelle 31: Diameter EA und Integrität VA

SD = Standardabweichung

Diameter EA [mm]	VA intakt	VA verletzt
Mittelwert und SD	5,9 ± 2,3	5,6 ± 2,3
Minimaler Wert	1,0	1,0
Maximaler Wert	14,3	9,8

Der maximale Diameter der EA betrug bei postoperativ intaktem VA im Mittel 5,9 mm. Ist der VA postoperativ verletzt, so war der Diameter des EA im Mittel 5,6 mm (s. Tabelle 31 u. Abbildung 29). Es besteht mit $T = 0,405$ und $p = 0,687$ im T-Test für unabhängige Stichproben kein signifikanter Unterschied.

Tabelle 32: Diameter EA und Umfang der Integritätsverletzung
 VA verletzt: $N = 15$; Bogengänge und VA verletzt: $N = 12$
 SD = Standardabweichung

Diameter EA [mm]	VA verletzt	VA u. Bogengänge verletzt
Mittelwert und SD	6,3 ± 2,2	4,8 ± 2,4
Minimaler Wert	2,2	1,0
Maximaler Wert	9,8	8,6

Der mittlere Diameter der EA war bei postoperativ verletztem VA 6,3 mm. Waren sowohl VA als auch Bogengänge verletzt, so betrug der Diameter im Mittel 4,8 mm (s. Tabelle 32). Es liegt mit $T = -1,670$ und $p = 0,107$ im T-Test für unabhängige Stichproben kein signifikantes Ergebnis vor.

4.6.4.5 Verlauf des Aquaeductus vestibularis (VA) und Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)

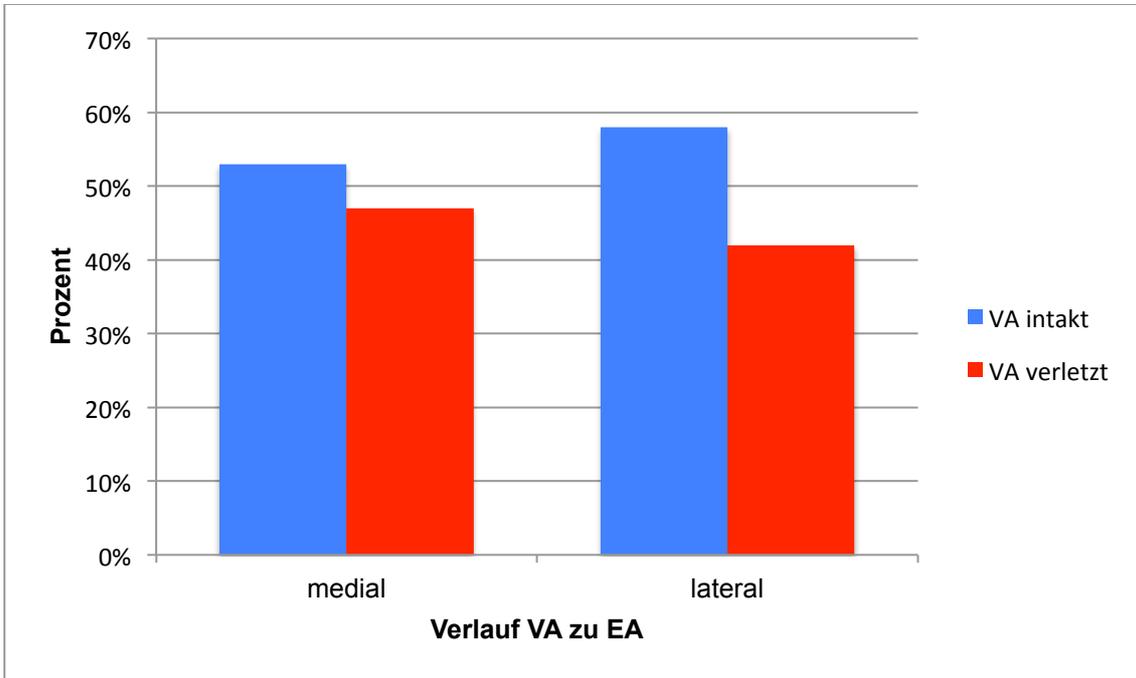


Abbildung 30: Verlauf VA zu EA und Integrität VA

Eine virtuelle Linie durch die mediale Kante der EA orthogonal auf eine virtuelle Referenzlinie durch beide CC. Der Verlauf des VA wird in Bezug auf diese Linie in „medial“ (VA kreuzt Linie) bzw. „lateral“ (VA im gesamten Verlauf lateral der Linie) eingeteilt (s. Abbildung 2). N = 96. Kreuztabelle, s. Tabelle 33.

Tabelle 33: Verlauf VA zu EA und Integrität VA

		Integrität VA		Gesamt
		intakt	verletzt	
Verlauf VA medial zu EA	Anzahl	8	7	15
	% innerhalb medial	53,3%	46,7%	100,0%
	% der Gesamtzahl	8,3%	7,3%	15,6%
lateral	Anzahl	47	34	81
	% innerhalb lateral	58,0%	42,0%	100,0%
	% der Gesamtzahl	49,0%	35,4%	84,4%
Gesamt	Anzahl	55	41	96
	% der Gesamtzahl	57,3%	42,7%	100,0%

Die Kreuztabelle zeigt die Integrität des VA postoperativ in Abhängigkeit vom Verlauf des VA zur EA. War der Verlauf des VA „medial“, so waren postoperativ 53,3% der VA intakt und 46,7% verletzt. Verließ der VA „lateral“ lag der Anteil

postoperativ intakter VA bei 58%, der verletzter VA bei 42% (s. Tabelle 33 u. Abbildung 30). Die Prüfung auf statistische Signifikanz ergibt mit $p = 0,736$ im Chi-Quadrat-Test ein nicht signifikantes Ergebnis.

4.6.5 Chirurgische Arbeitsweise und postoperative Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)

4.6.5.1 Ausmaß des Fräsens des Canalis acusticus internus (IAC) und postoperative Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)

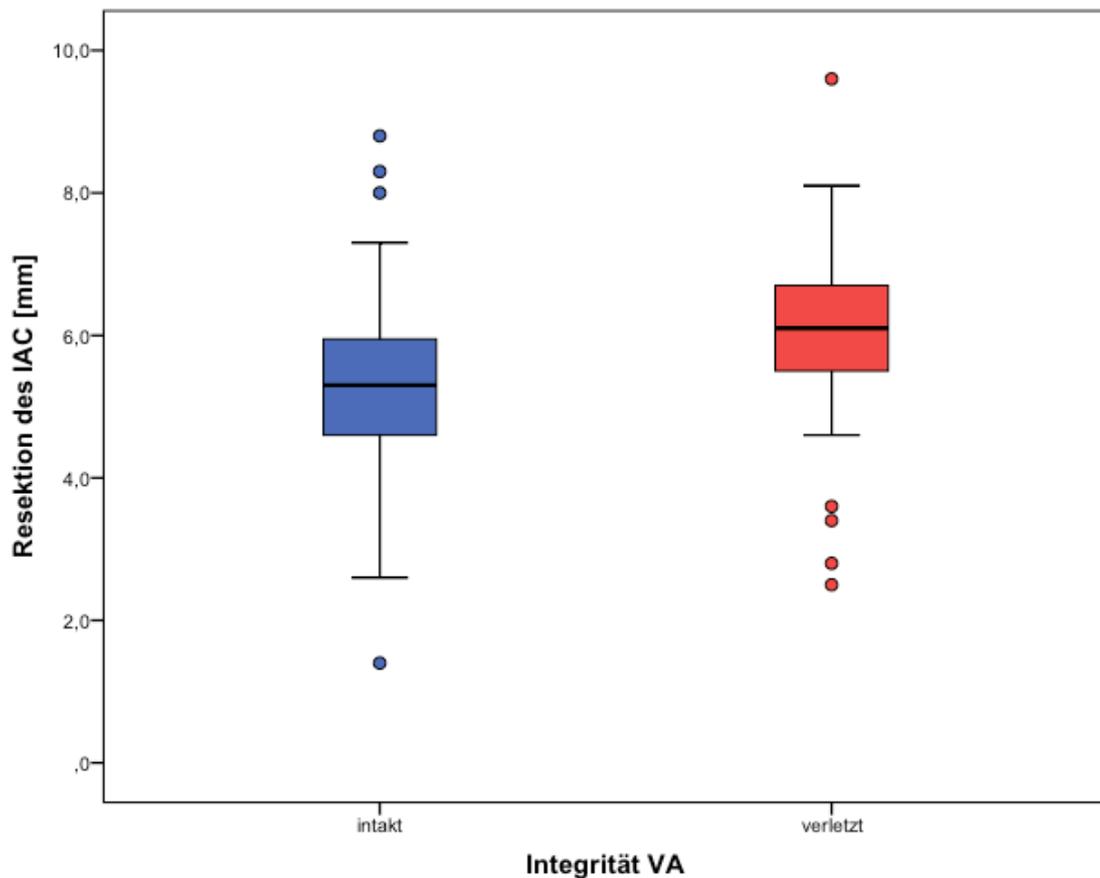


Abbildung 31: Ausmaß der Resektion des IAC und Integrität VA

Das Ausmaß der Resektion des IAC ist die gefräste Strecke des IAC, welche sich aus der Differenz der präoperativen und postoperativen Länge des IAC ergibt (s. Abbildung 1). Integrität VA intakt: $N=55$; Integrität VA verletzt: $N=41$. Mittelwert, Standardabweichung, minimaler und maximaler Wert s. Tabelle 34.

Tabelle 34: Ausmaß der Resektion des IAC und Integrität VA
SD = Standardabweichung.

Resektion des IAC [mm]	VA intakt	VA verletzt
Mittelwert und SD	5,3 ± 1,3	6,0 ± 1,4
Minimaler Wert	1,4	2,5
Maximaler Wert	8,8	9,6

Das Ausmaß des Abfräsens betrug bei postoperativ intaktem VA im Mittel 5,3 mm. Wurde der VA verletzt, so wurden im Mittel 6,0 mm reseziert (s. Tabelle 34 u. Abbildung 31). Mit $T = -2,540$ und $p = 0,013$ im T-Test für unabhängige Stichproben liegt ein statistisch signifikantes Ergebnis vor.

4.6.5.2 Abstand der Fräslinie zu Sinus sigmoideus (SS) und postoperative Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)

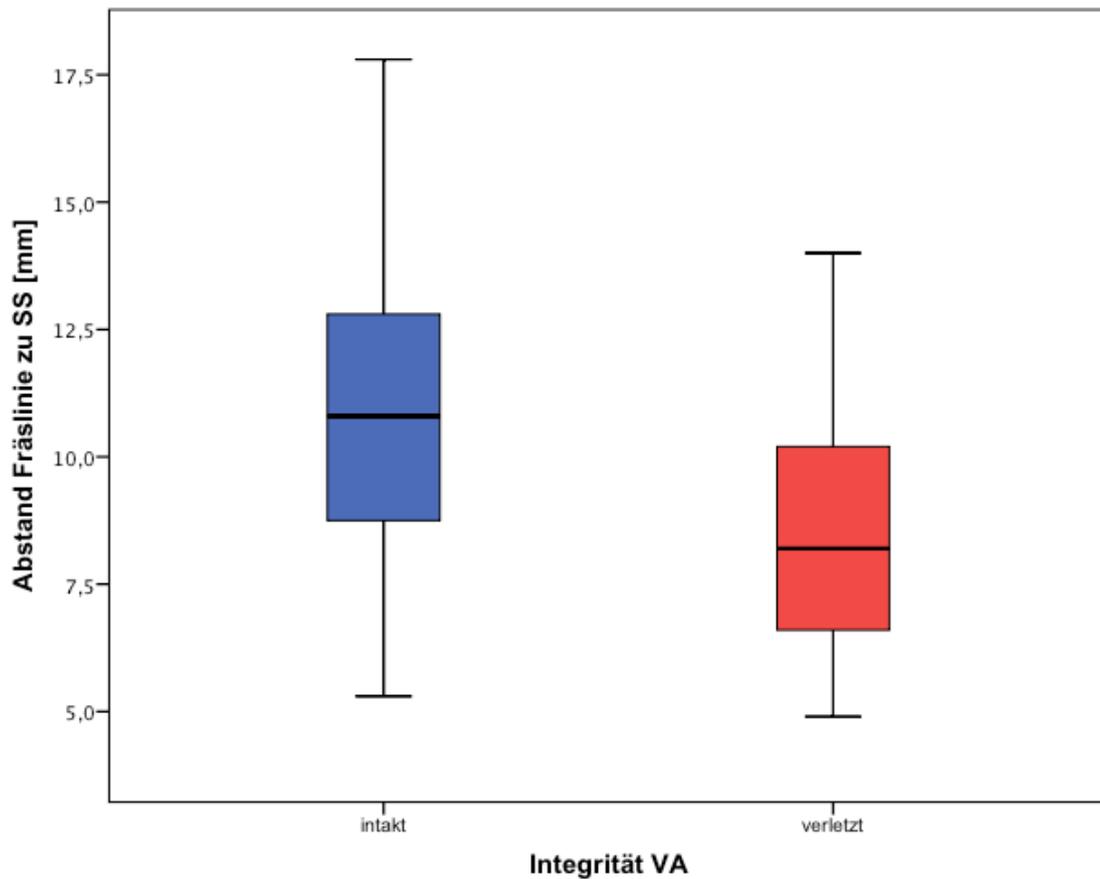


Abbildung 32: Abstand Fräslinie zu Sinus sigmoideus und Integrität VA

„Abstand“ ist die Distanz zwischen virtueller Fräslinie entlang des gefrästen Felsenbeins und der medialen knöchernen Begrenzung des Sinus sigmoideus (s. Abbildung 5). Integrität VA intakt: N=55; Integrität VA verletzt: N=41. Mittelwert, Standardabweichung, minimaler und maximaler Wert s. Tabelle 35.

Tabelle 35: Abstand Fräslinie zu Sinus sigmoideus und Integrität VA

„Abstand“ ist die Distanz zwischen virtueller Fräslinie entlang des gefrästen Felsenbeins und der medialen knöchernen Begrenzung des Sinus sigmoideus. SD = Standardabweichung.

Abstand [mm]	VA intakt	VA verletzt
Mittelwert und SD	10,8 ± 2,9	8,3 ± 2,2
Minimaler Wert	5,3	4,9
Maximaler Wert	17,8	14,0

Der Abstand zwischen der Fräslinie entlang des gefrästen Felsenbeins und dem medialen, posterioren Rand des SS betrug bei postoperativ intaktem VA im Mittel 10,8 mm. Ist der VA postoperativ verletzt, so war der Abstand im Mittel 8,3 mm (s. Tabelle 35 u. Abbildung 32). Die statistische Signifikanzprüfung mit dem T-Test für unabhängige Stichproben ergibt mit $T = 4,697$ und $p < 0,001$ ein sehr signifikantes Ergebnis.

4.6.5.3 Winkel der Fräslinie und postoperative Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)

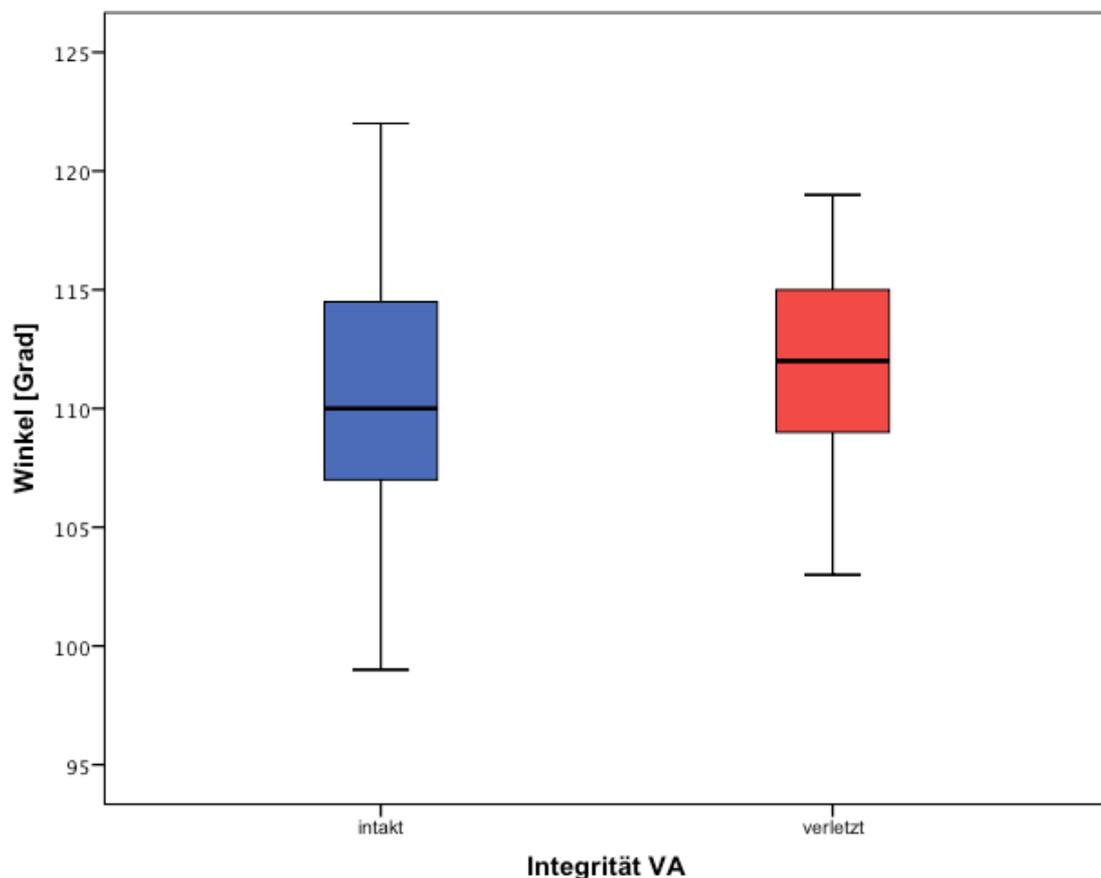


Abbildung 33: Winkel der Fräslinie und Integrität VA

Winkel zwischen virtueller Fräslinie entlang des gefrästen Felsenbeins und virtueller Linie durch beide CC (s. Abbildung 5). Integrität VA intakt: $N=55$; Integrität VA verletzt: $N=41$. Mittelwert, Standardabweichung, minimaler und maximaler Wert s. Tabelle 36.

Tabelle 36: Winkel der Fräslinie und Integrität VA
SD = Standardabweichung.

Winkel [Grad]	VA intakt	VA verletzt
Mittelwert und SD	110,6 ± 5,5	111,9 ± 4,2
Minimaler Wert	99	103
Maximaler Wert	122	119

Der Winkel der virtuellen Fräslinie in Bezug auf die virtuelle Referenzlinie durch beide CC war bei postoperativ intaktem VA im Mittel 110,6 Grad. War der VA postoperativ verletzt, betrug er im Mittel 111,9 Grad (s. Tabelle 36 u. Abbildung 33). Mit $T = -1,303$ und $p = 0,196$ im T-Test für unabhängige Stichproben liegt kein statistisch signifikantes Ergebnis vor.

4.6.6 Chirurgische Arbeitsweise und Lokalisation der Integritätsverletzung des Aquaeductus vestibularis (VA)

Die folgenden Tabellen 37 bis 39 zeigen die einzelnen Parameter der chirurgischen Arbeitsweise (Resektionsausmaß, Abstand und Winkel) für die jeweilige Lokalisation der Integritätsverletzung (medial, medial/lateral und lateral). Die Lokalisation wurde anhand einer virtuellen Linie durch das CC der betroffenen Seite, welche orthogonal auf eine virtuelle Referenzlinie durch beide CC steht, eingeteilt (s. Abbildung 4). In Bezug auf diese Linie ergaben sich die Lokalisationen „medial“, „medial/lateral“ (Integritätsverletzung wird von der virtuellen Linie geschnitten) bzw. „lateral“.

4.6.6.1 Eröffnungsausmaß des Canalis acusticus internus (IAC) und Lokalisation der Integritätsverletzung des Aquaeductus vestibularis (VA)

Tabelle 37: Lokalisation der Integritätsverletzung des VA und Eröffnungsausmaß IAC

Das Ausmaß der Eröffnung des IAC ist die gefräste Strecke des IAC, welche sich aus der Differenz der präoperativen und postoperativen Länge des IAC ergibt (s. Abbildung 1).

N = 41. SD = Standardabweichung.

Resektion des IAC [mm]	Lokalisation der Integritätsverletzung		
	medial (N=22)	medial/lateral (N=13)	lateral (N=6)
Mittelwert und SD	5,7 ± 0,9	6,3 ± 2,0	6,2 ± 1,1
Minimaler Wert	3,4	2,5	4,8
Maximaler Wert	6,7	9,6	8,1

Das Ausmaß der Eröffnung des IAC betrug bei einer medialen Lokalisation der Integritätsverletzung im Mittel 5,7 mm. War die Lokalisation medial/lateral wurden durchschnittlich 6,3 mm reseziert. Bei einer lateralen Lokalisation war das Mittel des Resektionsausmaßes 6,2 mm (s. Tabelle 37). Ein statistisch signifikanter Unterschied der Mittelwerte liegt mit $p = 0,424$ in der univariaten Varianzanalyse nicht vor.

4.6.6.2 Abstand der Fräslinie zu Sinus sigmoideus (SS) und Lokalisation der Integritätsverletzung des Aquaeductus vestibularis (VA)

Tabelle 38: Lokalisation der Integritätsverletzung des VA und Abstand Fräslinie zu SS
 „Abstand“ ist die Distanz zwischen virtueller Fräslinie entlang des gefrästen Felsenbeins und der medialen knöchernen Begrenzung des Sinus sigmoideus (s. Abbildung 5). N = 41. SD = Standardabweichung.

	Lokalisation der Integritätsverletzung		
Abstand [mm]	medial (N=22)	medial/lateral (N=13)	lateral (N=6)
Mittelwert und SD	8,8 ± 2,3	7,9 ± 2,2	7,5 ± 2,0
Minimaler Wert	5,7	5,3	4,9
Maximaler Wert	14	11,6	10,7

Der mittlere Abstand der virtuellen Fräslinie zum SS betrug bei medialer Lokalisation der Integritätsverletzung 8,8 mm. War die Integritätsverletzung medial/lateral so war der Abstand im Mittel 7,9 mm, bei lateraler Lokalisation 7,5 mm (s. Tabelle 38). Es ist mit $p = 0,378$ in der univariaten Varianzanalyse kein signifikanter Unterschied der Mittelwerte gegeben.

4.6.6.3 Winkel der Fräslinie und Lokalisation der Integritätsverletzung des Aquaeductus vestibularis (VA)

Tabelle 39: Lokalisation der Integritätsverletzung des VA und Winkel der Fräslinie
 Winkel zwischen virtueller Fräslinie entlang des gefrästen Felsenbeins und virtueller Linie durch beide CC (s. Abbildung 5). N = 41. SD = Standardabweichung.

	Lokalisation der Integritätsverletzung		
Winkel [Grad]	medial (N=22)	medial/lateral (N=13)	lateral (N=6)
Mittelwert und SD	112,2 ± 3,7	110,7 ± 5,1	113,3 ± 4,3
Minimaler Wert	105	103	108
Maximaler Wert	118	119	118

Der mittlere Winkel der virtuellen Fräslinie war bei medialer Lokalisation der Eröffnung 112,2 Grad. Wurde die Integritätsverletzung von der virtuellen Fräslinie geschnitten (medial/lateral) so betrug der Winkel im Mittel 110,7 Grad. Bei einer lateralen Lokalisation war der mittlere Winkel 113,3 Grad (s. Tabelle 39). Es gibt keinen statistisch signifikanten Unterschied der Mittelwerte bei $p = 0,393$ in der univariaten Varianzanalyse.

Die einzelnen Parameter der chirurgischen Arbeitsweise (Resektionsausmaß, Abstand und Winkel) für das jeweilige Ausmaß der Integrationsverletzung (subtotal und total) wurden nicht statistisch ausgewertet, da der Diameter des VA im Verhältnis zu den Messwerten der chirurgischen Parameter sehr gering ist.

4.6.7 Chirurgische Arbeitsweise und Umfang der Integritätsverletzung der endolymphatischen Strukturen

Im Folgenden wurden die chirurgischen Parameter zwischen der Patientengruppe, in welcher lediglich der VA verletzt war, und der Gruppe, in welcher sowohl der VA als auch die Bogengänge verletzt war, verglichen.

4.6.7.1 Ausmaß der Resektion des Canalis acusticus internus (IAC) und Umfang der Integritätsverletzung der endolymphatischen Strukturen

Tabelle 40: Ausmaß der Resektion des IAC und Umfang der Integritätsverletzung

*Das Ausmaß der Eröffnung des IAC ist die gefräste Strecke des IAC, welche sich aus der Differenz der präoperativen und postoperativen Länge des IAC ergibt (s. Abbildung 1). VA verletzt: N = 24; Bogengänge und VA verletzt: N = 18
SD = Standardabweichung*

Resektion des IAC [mm]	VA verletzt	VA u. Bogengänge verletzt
Mittelwert und SD	5,6 ± 1,2	6,3 ± 1,6
Minimaler Wert	2,5	2,8
Maximaler Wert	8,1	9,6

Wurde durch die Operation nur der VA verletzt, so war die im Mittel resezierte Strecke 5,6 mm. Bei einer Integritätsverletzung von VA und Bogengängen lag das Ausmaß der Resektion im Mittel bei 6,3 mm (s. Tabelle 40). Mit $T = 1,551$

und $p = 0,129$ im T-Test für unabhängige Stichproben liegt kein signifikantes Ergebnis vor.

4.6.7.2 Abstand der Fräslinie zu Sinus sigmoideus (SS) und Umfang der Integritätsverletzung der endolymphatischen Strukturen

Tabelle 41: Abstand Fräslinie zu Sinus sigmoideus und Umfang der Integritätsverletzung
„Abstand“ ist die Distanz zwischen virtueller Fräslinie entlang des gefrästen Felsenbeins und der medialen knöchernen Begrenzung des Sinus sigmoideus (s. Abbildung 5).

VA verletzt: $N = 24$; Bogengänge und VA verletzt: $N = 18$

SD = Standardabweichung

Abstand [mm]	VA verletzt	VA u. Bogengänge verletzt
Mittelwert und SD	8,9 ± 2,5	7,7 ± 1,7
Minimaler Wert	4,9	5,8
Maximaler Wert	14,0	11,6

Bei Integritätsverletzung des VA war der mittlere Abstand der Fräslinie zum SS 8,9 mm. Wurden sowohl VA als auch Bogengänge verletzt, so lag der mittlere Abstand bei 7,7 mm (s. Tabelle 41). Die Prüfung auf statistische Signifikanz ergibt mit $T = -1,902$ und $p = 0,064$ im T-Test für unabhängige Stichproben ein nicht signifikantes Ergebnis.

4.6.7.3 Winkel der Fräslinie und Umfang der Integritätsverletzung der endolymphatischen Strukturen

Tabelle 42: Winkel der Fräslinie und Umfang der Integritätsverletzung

Winkel zwischen virtueller Fräslinie entlang des gefrästen Felsenbeins und virtueller Linie durch beide CC (s. Abbildung 5). VA verletzt: $N = 24$; Bogengänge und

VA verletzt: $N = 18$

SD = Standardabweichung

Winkel [Grad]	VA verletzt	VA u. Bogengänge verletzt
Mittelwert und SD	113 ± 3,6	110,7 ± 4,7
Minimaler Wert	105	103
Maximaler Wert	118	119

Wurde operativ lediglich der VA verletzt, so war der Winkel der Fräslinie im Mittel 113 Grad. Bei einer Integritätsverletzung von VA und Bogengängen betrug dieser im Mittel 110,7 Grad (s. Tabelle 42). Ein statistisch signifikantes Ergebnis ist mit $T = - 1,831$ und $p = 0,075$ im T-Test für unabhängige Stichproben nicht gegeben.

4.6.8 Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA) und Hörvermögen

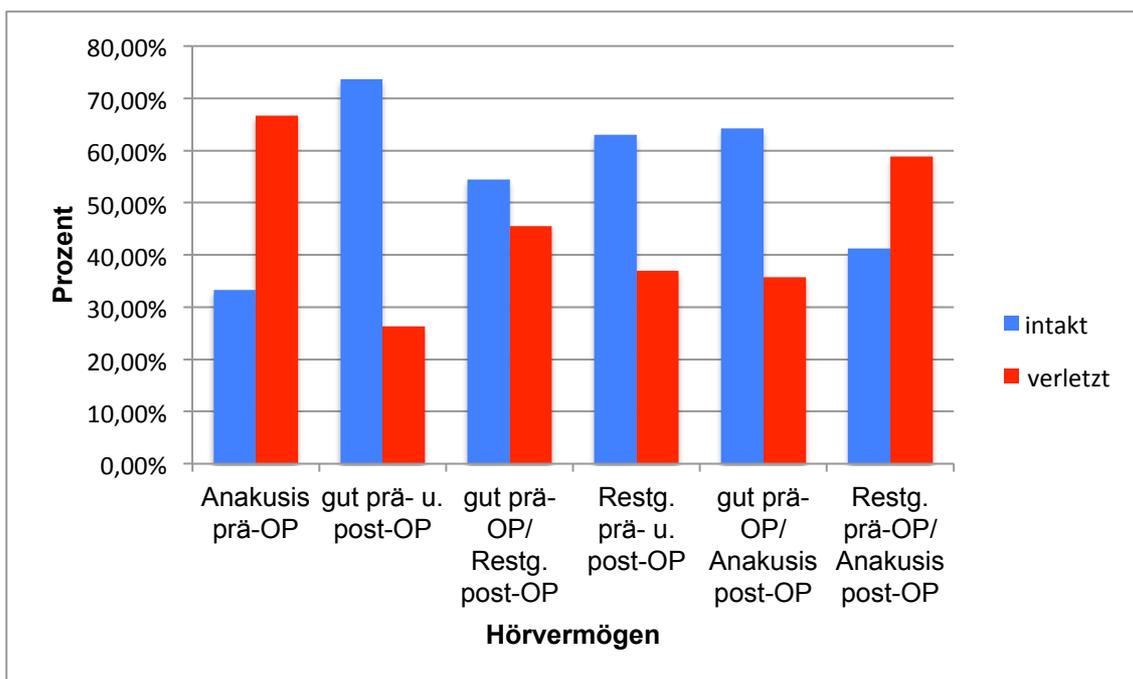


Abbildung 34: Prä- sowie postoperatives Hörvermögen und Integrität des VA

Prozentuales Verhältnis (N=88).

Unterschieden wird zwischen „gutes Hören“, „Restgehör“ und „Anakusis“.

Die Patienten wurden in folgende Gruppen eingeteilt: Anakusis vor der Operation („Anakusis prä-OP“); gutes Hören prä- und postoperativ vorhanden („gut. prä- u. post-OP“); gutes Hören präoperativ, Restgehör postoperativ vorhanden („gut. prä-OP/ Restg. post-OP“); Restgehör prä- und postoperativ vorhanden („Restg. prä- u. post-OP“); gutes Hören präoperativ vorhanden, postoperativ Anakusis („gut. prä-OP/ Anakusis post-OP“); Restgehör präoperativ vorhanden, postoperativ Anakusis („Restg. prä-OP/Anakusis post-OP“). Kreuztabelle, s. Tabelle 43.

Tabelle 43: Prä- sowie postoperatives Hörvermögen und Integrität des VA

Unterschieden wird zwischen „gutes Hören“, „Restgehör“ und „Anakusis“.
 Die Patienten wurden in folgende Gruppen eingeteilt: Anakusis vor der Operation („Anakusis prä-OP“); gutes Hören prä- und postoperativ vorhanden („gut. prä- u. post-OP“); gutes Hören präoperativ, Restgehör postoperativ vorhanden („gut. prä-OP/ Restg. post-OP“); Restgehör prä- und postoperativ vorhanden („Restg. prä- u. post-OP“); gutes Hören präoperativ vorhanden, postoperativ Anakusis („gut. prä-OP/ Anakusis post-OP“); Restgehör präoperativ vorhanden, postoperativ Anakusis („Restg. prä-OP/Anakusis post-OP“).

		Integrität VA		Gesamt
		intakt	verletzt	
Anakusis prä-OP	Anzahl	2	4	6
	% innerhalb Anakusis prä-OP	33,3%	66,7%	100%
	% der Gesamtzahl	2,1%	4,3%	6,4%
gut prä- u. post-OP	Anzahl	14	5	19
	% innerhalb gut prä- u. post-OP	73,7%	26,3%	100%
	% der Gesamtzahl	14,9%	5,3%	20,2%
gut. prä-OP/ Restg. post-OP	Anzahl	6	5	11
	% innerhalb gut prä-OP/ Restg. post-OP	54,5%	45,5%	100%
	% der Gesamtzahl	6,4%	5,3%	11,7%
Restg. prä- u. post-OP	Anzahl	17	10	27
	% innerhalb Restg. prä- u. post-OP	63,0%	37,0%	100%
	% der Gesamtzahl	18,1%	10,6%	28,7%
gut. prä-OP/ Anakusis post-OP	Anzahl	9	5	14
	% innerhalb gut prä-OP/ Anakusis post-OP	64,3%	35,7%	100%
	% der Gesamtzahl	9,6%	5,3%	14,9%
Restg. prä-OP/ Anakusis post-OP	Anzahl	7	10	17
	% innerhalb Restg. prä-OP/ Anakusis post-OP	41,2%	58,8%	100%
	% der Gesamtzahl	7,4%	10,6%	18,1%
Gesamt	Anzahl	55	39	94
	% der Gesamtzahl	58,5%	41,5%	100%

Die Kreuztabelle zeigt das Hörvermögen und die Integrität des VA. Hatten die Patienten bereits präoperativ eine Anakusis, so waren postoperativ 33,3% der

VA intakt und 66,7% der VA verletzt. Bei sowohl prä- als auch postoperativ vorhandenem gutem Hörvermögen waren 73,7% der VA intakt, 26,3% der VA verletzt. Bei präoperativ gutem Hören und postoperativen Restgehör wiesen 54,5% der Patienten intakte VA und 45,5% verletzte VA auf. Der VA war bei 63% der Patienten mit prä- und postoperativem Restgehör intakt, bei 37% dieser Gruppe verletzt. Bei präoperativ gutem Hören und postoperativer Anakusis waren 64,3% der VA intakt und 35,7% der VA verletzt. Ein präoperatives Restgehör und postoperative Anakusis ging mit einem Prozentsatz von 41,2% intakten und 58,8% verletzten VA einher (s. Tabelle 43 u. Abbildung 34). Die Prüfung auf statistische Signifikanz ergibt mit $p = 0,310$ im Chi-Quadrat-Test ein nicht signifikantes Ergebnis.

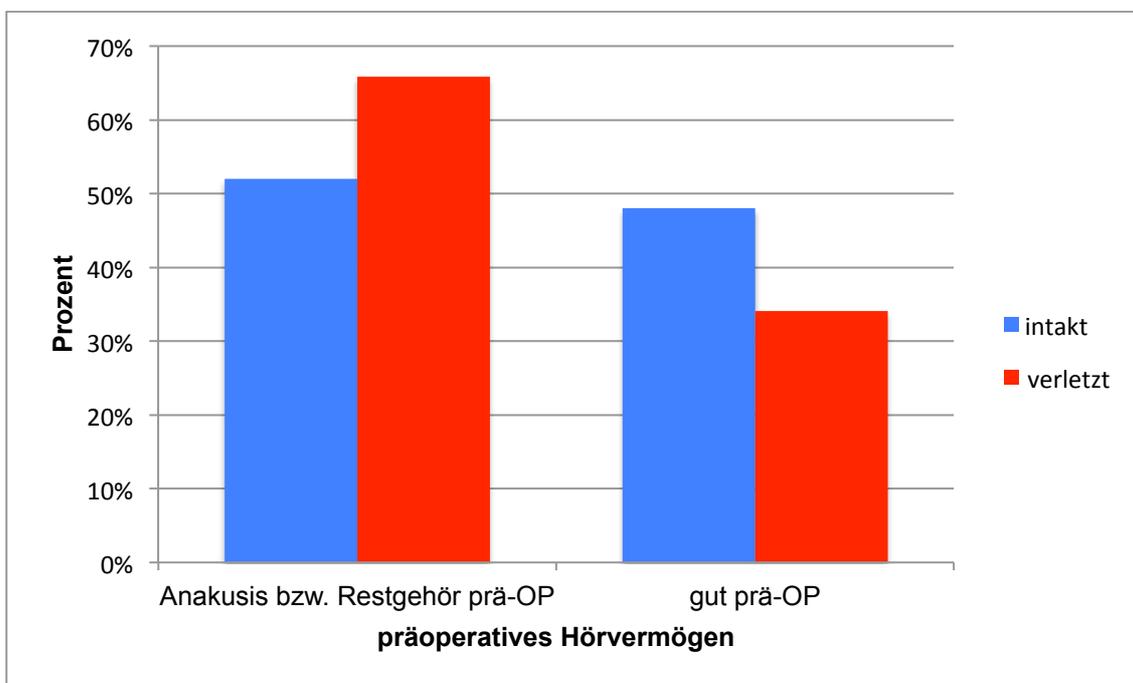


Abbildung 35: Präoperatives Hörvermögen und Integrität des VA

Prozentuales Verhältnis (N=94).

Unterschieden wird zwischen „gutes Hören“, „Restgehör“ und „Anakusis“.

Die Patienten wurden in folgende Gruppen eingeteilt: Anakusis oder Restgehör präoperativ („Anakusis bzw. Restgehör prä-OP“) und gutes präoperatives Hörvermögen („gut prä-OP“). Kreuztabelle, s. Tabelle 44.

Tabelle 44: Präoperatives Hörvermögen und Integrität des VA

Unterschieden wird zwischen „gutes Hören“, „Restgehör“ und „Anakusis“. Die Patienten wurden in folgende Gruppen eingeteilt: Anakusis oder Restgehör präoperativ („Anakusis bzw. Restgehör prä-OP“) und gutes präoperatives Hörvermögen („gut prä-OP“).

			Integrität VA		Gesamt
			intakt	verletzt	
Hören_VA Anakusis bzw. Restgehör	Anzahl		26	24	50
	% innerhalb von Hören_VA		52,0%	48,0%	100%
	% der Gesamtzahl		27,7%	25,5%	53,2%
gutes Hören	Anzahl		29	15	44
	% innerhalb von Hören_VA		65,9%	34,1%	100%
	% der Gesamtzahl		30,9%	16,0%	46,8%
Gesamt	Anzahl		55	39	94
	% innerhalb von Hören_VA		58,5%	41,5%	100%
	% der Gesamtzahl		58,5%	41,5%	100%

Die Kreuztabelle zeigt die Integrität des VA in Abhängigkeit des präoperativen Hörvermögens. Wiesen die Patienten präoperativ Anakusis oder Resthörvermögen auf, so war der VA postoperativ in 48% der Fälle verletzt und bei 52% der Patienten intakt. War das Hörvermögen präoperativ gut, so war der VA in 34,1% der Fälle postoperativ verletzt und in 65,9% der Fälle intakt (s. Tabelle 44 u. Abbildung 35). Die Prüfung auf statistische Signifikanz ergibt mit $p = 0,172$ im Chi-Quadrat-Test ein nicht signifikantes Ergebnis.

4.6.9 Ausmaß der Integritätsverletzung und funktionelles Hörvermögen

Um einen Bias durch die relativ geringe Fallzahl bezüglich dem Ausmaß der Integritätsverletzung zu vermeiden, wurde das Hörvermögen zusammengefasst: „gut. prä- u. post-OP“, „gut. prä-OP/ Restg. post-OP“ und „Restg. prä- u. post-OP“ entsprechen Hörvermögen prä- und postoperativ vorhanden („vorhanden prä- und postoperativ“); „gut. prä-OP/ Anakusis post-OP“ und „Restg. prä-OP/Anakusis post-OP“ bilden die Gruppe „vorhanden prä-OP/ Anakusis post-OP“.

Tabelle 45: Hörvermögen und Ausmaß d. Integritätsverletzung

Einteilung: Hören prä- und postoperativ vorhanden („vorhanden prä- und post-OP“); Hörvermögen präoperativ vorhanden, postoperativ nicht mehr vorhanden („vorhanden prä-OP/ Anakusis post-OP“).

		Hörvermögen		Gesamt
		vorhanden prä- u. post-OP	vorhanden prä-OP/ Anakusis post-OP	
subtotal	Anzahl	7	8	15
	% innerhalb subtotal	46,7%	53,3%	100,0%
	% der Gesamtzahl	20,0%	22,9%	42,9%
total	Anzahl	13	7	20
	% innerhalb total	65,0%	35,0%	100,0%
	% der Gesamtzahl	37,1%	20,0%	57,1%
Gesamt	Anzahl	20	15	35
	% der Gesamtzahl	57,1%	42,9%	100,0%

Die Kreuztabelle zeigt das Hörvermögen in Abhängigkeit von dem Ausmaß der Integritätsverletzung des VA. Bei einer subtotalen Integritätsverletzung konnten 46,7% der Operierten prä- und postoperativ Hören und 53,3% der Patienten hatten präoperativ ein vorhandenes Hörvermögen, welches postoperativ nicht mehr vorhanden war. Bei einer totalen Eröffnung des VA hatten 65% der Patienten sowohl prä- als auch postoperativ vorhandenes Hörvermögen, während 35% ein präoperativ vorhandenes Hörvermögen und postoperativ Anakusis aufwiesen (s. Tabelle 45). Ein statistisch signifikantes Ergebnis liegt mit $p = 0,278$ im Chi-Quadrat-Test nicht vor.

5 Diskussion

5.1 Patientenkollektiv

Der Vergleich der Geschlechts- und Altersverteilung des Patientenkollektivs der eigenen Studie mit den Daten anderer Studien zeigt eine große Übereinstimmungen (s. Tabelle 46), so dass von einem repräsentativen Patientenkollektiv ausgegangen werden kann.

Tabelle 46: Geschlechts- und Altersverteilung des Vestibularisschwannoms

CBTRUS = Central Brain Tumor Registry of the United States

LACCSP = Los Angeles County Cancer Surveillance Program

Studie	N	weiblich	männlich	Alter [Jahre] Mittelwert, min. und max.
Matthies ²³	962	54%	46%	46,3 (11,1 bis 87,6)
Propp (CBTRUS) ³²	200	50,5%	49,5%	55
Propp (LACCSP) ³²	417	52,8%	47,2%	52
Eigene Daten	100	55%	45%	44,6 (21 bis 71)

5.2 Tumor

5.2.1 Tumorresektion

Eine komplette Resektion des VS erfolgte bei 94% der Patienten (s. Tabelle 15). Dieser Prozentsatz liegt damit im Bereich von bisher berichteten Raten mit 87,2% - 98,5% Totalresektion des VS^{2,10,36,38,47}.

5.2.2 Tumorgröße nach Hannoverklassifikation

Die Verteilung der Größe des VS innerhalb unseres Patientenkollektivs zeigte, dass lediglich 5% der Tumoren intrameatal (Größe T1) gelegen waren. 95% der VS reichten über den IAC hinaus, wobei 74% große Tumoren (Größe T3 und T4) waren. Diese Daten entsprechen den Ergebnissen der Erhebung für Patienten mit einer anschließenden operativen Therapie von Matthies et al.²³ in großem Maße und decken sich weitestgehend mit den Resultaten von Samii et al.³⁶ (s. Tabelle 47). Obwohl in den letzten Jahren die Tumorgröße bei Diagnose

insgesamt abzunehmen scheint^{46,50,51}, liegt der Schwerpunkt der Größenverteilung bei den operativen Fällen deutlich bei den großen Tumoren. Auf diese Tatsache wiesen Matthies et al.²³ hin und sie zeigte sich auch in den Daten von Samii et al.³⁶. Denkbare Ursache könnte eine Selektion des Patientengutes durch die operative Therapie unserer Patienten zusammen mit der von Tan et al.⁴⁶ und Theodosopoulos et al.⁴⁹ beschriebenen Zunahme der Therapieoption des „wait-and-scan“ sein, so dass kleine Tumoren zunächst beobachtet und erst bei progredientem Wachstum operiert werden. Überdies erfolgte die Größeneinteilung unserer Erhebung anhand der präoperativen MRT-Bildgebung, wodurch evtl. vorhergehend diagnostizierte Tumorgößen nicht erfasst wurden.

Tabelle 47: Vergleich der Tumorgöße des Vestibularisschwannoms
T1: komplett intrameatal gelegen; T2: intra- und extrameatal; T3: die cerebello-pontine Zisterne ausfüllend; T4: den Hirnstamm komprimierend.

Studie	N	Tumorgöße			
		T1	T2	T3	T4
Matthies ²³	962	3%	17%	44%	36%
Samii ³⁶	200	11%	9%	34%	46%
Eigene Daten	100	5%	21%	39%	35%

5.2.3 Ausdehnung des Tumors im Canalis acusticus internus (IAC)

Der Tumor erreicht in 28% der Fälle den Fundus des IAC (s. Tabelle 2 u. Abbildung 7), wodurch die Resektion des VS erschwert wird^{14,42}. Eine zweite Häufung findet sich in einem Abstand von 7-8 mm ab Fundus, was u. U. dem Ursprungsort der meisten VS am N. vestibularis lateral des Übergangs von Glia- zu Schwannzellen⁵³ entsprechen könnte. In der Studie von Mohr et al.²⁷ erreichten 41% der VS den Fundus. Einen Bereich von 51% – 91% der Länge des IAC füllten 39% der VS und 20% lagen in einem Bereich zwischen 1% und 50% der Länge des IAC.

5.2.4 Tumorgröße und Diameter des Canalis acusticus internus (IAC)

Der Diameter des IAC war mit zunehmender Größe des VS weiter. Bei Patienten mit T1-Tumoren war der mittlere Diameter des IAC 6,8 mm, im Falle von VS der Größe T2 7,5mm und bei Patienten mit Tumoren der Größe T3 bzw. T4 im Mittel 9,6 mm bzw. 9,0 mm (s. Tabelle 17 u. Abbildung 20). Diese sehr signifikanten Ergebnisse unterstützen das bekannte Phänomen der Aufweitung des IAC durch das VS²⁴.

5.2.5 Tumorgröße und Hörvermögen

Das präoperative Hörvermögen der Patienten war bei kleinen Tumoren der Größe T1 in 80% der Fälle gut. Mit zunehmender Tumorgröße nahm der Anteil der präoperativ gut hörenden Patienten kontinuierlich auf 27,3% bei T4-Tumoren ab, während der Anteil der Patienten mit Restgehör von 20% bei Tumorgröße T1 auf 54,5% bei Tumorgröße T4 angestiegen ist. Eine präoperative Anakusis fand sich hingegen nur bei Tumoren der Größe T4 (s. Tabelle 21). Somit zeigt die statistisch signifikante Kreuztabelle, dass sich mit zunehmender Tumorgröße das präoperative Hörvermögen der Patienten verschlechtert.

Für das Hörvermögen der Patienten zeigte sich eine kontinuierliche Abnahme des Anteiles der Patienten mit prä- und postoperativ gutem Hörvermögen von 60% bei Tumoren der Größe T1 auf 9,1% bei T4-Tumoren. Patienten mit T1-Tumoren wiesen zudem postoperativ immer ein vorhandenes Hörvermögen auf, während ab Tumorgröße T2 postoperative Anakusis auftrat. Eine Verschlechterung des präoperativen Hörbefundes fand sich bei Patienten mit Tumoren der Größe T1 in 20% der Fälle, bei T2-Tumoren in 42,9% der Fälle, bei einer Tumorgröße T3 in 51,3% der Fälle und bei Tumoren der Größe T4 in 48,5% der Fälle (s. Tabelle 22 u. Abbildung 24). Diese statistisch sehr signifikanten Ergebnisse zeigen, dass mit zunehmender Tumorgröße das Risiko eines postoperativen schlechteren Hörvermögens bzw. das der postoperativen Anakusis ansteigt. Auch Rachinger et al.³³ fanden kleinere Tumorgrößen bei besserem Hörvermögen und geringere Tumorausmaße bei Patienten mit postoperativem Hörerhalt. Da sich mit zunehmender Tumorgröße das präoperative Hörvermögen signifikant verschlechtert (s. Tabelle 21) ist denkbar, dass der Operateur in Kenntnis

eines schlechten präoperativen Hörvermögens ein aggressiveres operatives Vorgehen gewählt hat. Unterstützt wird diese Hypothese durch den statistisch signifikanten Anstieg von Integritätsverletzungen des VA mit zunehmender Tumorgroße (s. Tabelle 18 u. Abbildung 21)

Die Tatsache der lediglich bei Patienten mit T4-Tumoren auftretenden präoperativen Anakusis zeigt, dass die mikrochirurgische Therapie eines im Frühstadium diagnostizierten VS die Chance auf einen Hörerhalt deutlich erhöhen.

5.2.6 Tumoreigenschaften und Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)

Die Integritätsverletzung des VA durch Operation steigt mit zunehmender Tumorgroße deutlich an (s. Tabelle 18 u. Abbildung 21). So wurden bei einer Tumorgroße T1 20% der VA verletzt, bei einer Tumorgroße T4 65,7% der VA. Dieses Ergebnis ist statistisch signifikant ($p < 0,001$). Bei einem großen Tumor besteht somit eine höhere Gefahr einer Integritätsverletzung des VA.

Die tumorfreie Strecke des IAC war in der Gruppe der postoperativ verletzten VA im Mittel signifikant kürzer als in der Gruppe der postoperativ intakten VA (s. Tabelle 19 u. Abbildung 22). Es ist also davon auszugehen, dass der VA eher verletzt wird, wenn das VS weit in den IAC hineinreicht oder sogar den Fundus erreicht. Trotz der Empfehlung die posteriore Wand des IAC nicht bis zum Fundus zu eröffnen^{15,48}, wird der IAC intraoperativ möglicherweise weiter eröffnet, um das Ziel der totalen Tumorsektion zu erreichen. Dadurch steigt das Risiko einer Integritätsverletzung an (s. 5.5.1).

5.2.7 Schlussfolgerung

Je größer das VS und je weiter der Tumor in den IAC hineinreicht, desto eher wird der VA durch die Operation verletzt. Des Weiteren steigt das Risiko einer postoperativen Hörminderung bzw. postoperativen Anakusis mit zunehmender Tumorgroße. Diese Eigenschaften sind anhand der präoperativen MRT-Bildgebung gut zu erheben und bei dementsprechenden Befunden in der Operationsplanung und Patientenaufklärung zu berücksichtigen.

5.3 Integrität der endolymphatischen Strukturen

5.3.1 Inzidenz chirurgisch verursachter Integritätsverletzung

Die Operation des VS über den retrosigmoidalen Zugang wurde unter standardisierten Bedingungen (s. 3.2) und durch einen Operateur, Prof. Dr. med. Marcos Tatagiba, durchgeführt. Die Inzidenz der chirurgisch verursachten Integritätsverletzung des VA lag in unserer Studie bei 41% (s. Tabelle 9 u. Abbildung 14). Sulman et al.⁴⁵ verletzten in ihrer anatomischen Studie den ED respektive das VA in 24% der untersuchten Felsenbeine (N = 22). Da die Eröffnung des IAC über den retrosigmoidalen Zugang an anatomischen Präparaten ohne Tumor und als simulierte Operationssituation ohne die reale Situation der Tumorentfernung erfolgte, ist die Aussagekraft dieser Daten für die tatsächliche Inzidenz der Integritätsverletzung kritisch zu betrachten. Hinzu kommt die relativ geringe Fallzahl von 22 Felsenbeinen. Auch unsere Daten repräsentieren lediglich die chirurgischen Ergebnisse eines erfahrenen Chirurgen an einem Haus. Durch die Erhebung der Daten anhand von Patienten mit VS und realen Operationen geben sie jedoch einen Anhalt für die Inzidenz der Integritätsverletzung des VA durch die Operation über den retrosigmoidalen Zugang.

Die Inzidenz der chirurgisch verursachten Integritätsverletzung der Bogengänge bzw. des Labyrinths war in den von uns untersuchten Fällen 18% (s. Tabelle 12 u. Abbildung 17). Tatagiba et al.⁴⁷ wiesen 1992 bei 189 „Ohren“ eine Integritätsverletzung des Labyrinths in 29,6% der operierten Felsenbeine anhand postoperativer CT-Bildgebung nach. Matthies et al.²⁴ fanden 1997 durch postoperative CT-Bildgebung heraus, dass bei 202 Patienten in 23,8% der Fälle der posteriore, bei 16,8% der laterale und bei 4,5% der superiore Bogengang eröffnet war. Die Inzidenzraten der operativen Integritätsverletzung der Bogengänge weichen demnach um max.11,6% voneinander ab und scheinen über die Jahre und mit der wachsende Expertise für die Operation des VS über den retrosigmoidalen Zugang abzunehmen.

Die bekannte anatomische Lage des VA in Relation zu den Labyrinthstrukturen^{21,28} und die hieraus resultierende größere Gefährdung wird mit den signifikanten Ergebnissen ($p < 0,001$) der Kreuztabelle (s. Tabelle 13 u.

Abbildung 18) bestätigt. War der VA postoperativ intakt, so sind auch 100% der Bogengänge intakt. Bei verletzten Bogengängen ist der VA nie intakt. Durch eine Schonung des VA und des ES kann folglich eine sichere Schonung der übrigen endolymphatischen Strukturen erreicht werden.

5.3.2 Lokalisation und Ausmaß der Integritätsverletzung des Aquaeductus vestibularis (VA)

Die Lokalisation der Integritätsverletzung des VA war in Bezug auf eine virtuellen Linie durch das CC der betroffenen Seite (s. Abbildung 4) in 85,4% der Fälle medial der Linie oder auf dieser lokalisiert (s. Tabelle 10 u. Abbildung 15). Da das CC die am weitesten medial gelegene der weiteren, relevanten Labyrinthstrukturen ist^{21,28}, bestätigt dies ebenfalls die anatomischen Lageverhältnisse (s. a. 5.3.1) und bekräftigt die Hypothese, dass mit der Schonung des VA eine Schonung sämtlicher endolymphatischer Strukturen zu erreichen ist.

Der VA wurde in 63,4% der Fälle komplett eröffnet (s. Tabelle 11 u. Abbildung 16). Durch die daraus resultierende Integritätsverletzung der gesamten knöchernen Umscheidung ist davon auszugehen, dass der ED sicher in seinem Verlauf unterbrochen wurde. Eine subtotale Eröffnung war bei 36,6% der Integritätsverletzungen des VA gegeben. Möglicherweise ist der ED in diesem Fall noch intakt. Ebenso denkbar ist aber eine Verletzung der Weichteilmembran oder eine funktionelle Schädigung des ED aufgrund des, durch das Fräsen entstandenen, Knochenstaubes.

5.4 Anatomie

5.4.1 Tumorbedingte Veränderungen der Anatomie

Um tumorbedingte Veränderungen der Anatomie im Bereich des Felsenbeines zu ermitteln, wurden jeweils die Messwerte der pathologischen und der gesunden Seite eines Patienten ausgewertet und der T-Test für abhängige Stichproben durchgeführt. Hierdurch wurden die beiden IAC intraindividuell verglichen. Der Durchmesser des IAC der betroffenen Seite ist statistisch signifikant ($p < 0,001$) weiter als jener der kontralateralen, gesunden Seite (s. Tabelle 3 u. Abbildung 8). Zwar sind intraindividuelle Unterschiede für den Durchmesser des IAC bekannt,

Papangelou³¹ beschreibt jedoch übereinstimmende Diameter des IAC in 57,8% der Fälle, bei Differenzen liegen diese in 90% der Fälle zwischen 0 - 1 mm und in 10% zwischen 1 - 2 mm. Auch Ebenius¹² berichtet bei 96% der untersuchten Schädelbasen über Differenzen von 0 mm und 1 mm. Die in unserer Studie gefundene mittlere Differenz von 2 mm zwischen der Seite, auf welcher das VS auftrat und der kontralateralen, gesunden Seite ist deutlich größer als die anatomisch beschriebene Seitendifferenz von üblicherweise 0 – 1 mm³¹. Demnach ist angesichts des signifikanten Ergebnisses von einer tumorbedingten Aufweitung des IAC auszugehen- ein auch von Matthies et al.²⁴ beschriebenes Phänomen.

Ebenso ist die horizontale Distanz zwischen EA und IAC (s. Abbildung 2) auf der pathologischen Seite statistisch signifikant ($p = 0,001$) verkürzt (s. Tabelle 6 u. Abbildung 11). Durch die Aufweitung des IAC ist die posteriore Wand des IAC der EA näher als auf der nicht betroffenen Seite. Die aus anatomischen Studien an tumorfreien Präparaten hervorgehenden Messwerte zur Lage der EA^{1,16,17,41} werden somit nicht der Tatsache gerecht, dass der Tumor die Anatomie verändert. Der Vergleich der Daten bisheriger Studien (s. Tabelle 48) ergibt, dass die Definition der Distanz zwischen IAC und EA je nach Erhebung differiert, insbesondere der Messpunkt an der EA. Die Variationsweite der Distanz zwischen IAC und EA beträgt beim Mittelwert 3,47 mm, für das Minimum 4,83 mm und für das Maximum 5,36 mm^{1,9,16,17,41}. Diese Variation ist wahrscheinlich den Unterschieden in der Definition und der messenden Person zuzuschreiben, zeigt jedoch die Notwendigkeit einer einheitlichen Definition der Messpunkte für die Anwendbarkeit der Ergebnisse in einem mikrochirurgischen Bereich.

In unserer Studie war der Messpunkt an der EA die mediale Kante, da die mediale Kante der EA unserer Meinung nach die relevante Struktur ist. Shimizu et al.⁴¹ fanden die oberste Begrenzung der EA in 33% der untersuchten Felsenbeine superior der Unterkante des IAC, in 15% auf Höhe der Unterkante und in 52% inferior der Unterkante. In unseren Daten war die vertikale Distanz zwischen Oberkante des IAC und Oberkante der EA (s. Abbildung 3) auf der betroffenen Seite in 75% der Fälle zwischen 0,75 mm und 6,0 mm, auf der Gegenseite in 75% der Fälle zwischen 2,0 mm und 6,0 mm (s. Abbildung 10 u.

Tabelle 5). McClay et al.²⁶ geben nach einer Literaturrecherche für die mittlere Höhe des IAC Werte von 3,7 mm bis 6,3 mm an. Damit liegen bei Shimizu et al.⁴¹ 48% der EA unmittelbar im Bereich des IAC und so im direkten OP-Feld. Für unsere Daten ist unter Berücksichtigung der Verteilung der vertikalen Distanz und der in der Literatur angegebenen mittleren Höhe ebenso von einer großen Anzahl direkt im Bereich des IAC liegender EA auszugehen. Folglich ist die EA häufig innerhalb des Fräsbereiches gelegen, so dass ein Fräsen des Felsenbeines nur medial der medialen Kante der EA möglich ist, ohne die EA und den ES zu verletzen. Die minimale horizontale Distanz zwischen medialer Kante der Hinterwand des IAC und EA beträgt in unserer Studie 5,4 mm. In der Konsequenz könnte anhand dieser Ergebnisse ein Bereich bis 5 mm ab medialer Kante der Hinterwand des IAC mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit sicher gefräst werden. Diese beobachtete Strecke unterstützen bisherige Empfehlungen für sichere Fräsbereiche von 5 mm¹⁷ bzw. 4 mm⁴¹.

Tabelle 48: Vergleich der Distanz IAC zu EA

PS = pathologische Seite; GS = Gegenseite.

Definitionen der Distanz zwischen IAC und EA:

Ammirati: posteriore Wand des IAC ↔ Zentrum der EA

Day: inferior-laterale Wand des IAC ↔ EA

Guerkink: posteriore Wand des IAC ↔ obere Kante der EA

Gupta: kürzeste Distanz posteriore Wand des IAC ↔ EA

Shimizu: posteriore Wand des IAC ↔ oberste Begrenzung der EA

Eigene Daten: s. Abbildung 2

Studie	Ammirati ¹ N = 10	Day ⁹ N=32	Guerkink ¹⁶ N = 100	Gupta ¹⁷ N = 83	Shimizu ⁴¹ N = 27	Eigene Daten N = 92	
						PS	GS
Mittelwert [mm]	13,36	12,72	10,7	9,89	10,6	9,9	10,6
Minimum [mm]	10	10,5	7	5,67	6,8	5,4	7,9
Maximum [mm]	18	15,5	19	13,64	18,67	16,6	17,1

Für die Länge des IAC ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen pathologischer Seite und der Gegenseite (s. Tabelle 4 u. Abbildung 9). Matthies et al.²⁴ kamen zu ähnlichen Ergebnissen mit einer mittleren Länge der

betroffenen Seite von 11,0 mm (eigene Daten: 10,3 mm) und 11,3 mm (eigene Daten: 10,3 mm) auf der Gegenseite. Somit weitet ein VS mit zunehmendem Wachstum den inneren Gehörgang auf, führt aber zu keiner Längenausdehnung.

Der Diameter der EA unterscheidet sich nicht signifikant auf der betroffenen Seite und der kontralateralen Seite (s. Tabelle 7 u. Abbildung 12). Ammirati et al.¹ haben einen Mittelwert von 3,83 mm (2 – 6 mm) gemessen. Diese Diameter sind geringer als die unserer Studie, wobei Ammirati et al.¹ mit N = 10 eine sehr kleine Fallzahl hatten. Lo et al.²¹ geben für den Diameter Werte zwischen 3 mm und 15 mm an, was mit unseren Daten weitestgehend übereinstimmt.

5.4.2 Lage und Verlauf des Aquaeductus vestibularis (VA) und Lage der Apertura externa (EA)

Der VA verläuft in 83% der Fälle lateral einer virtuellen Linie durch die mediale Kante der EA (s. Abbildung 2, Tabelle 8 u. Abbildung 13). Durch eine Identifizierung der EA, entweder präoperativ mittels HR-CT oder intraoperativ anhand des ES^{1,34}, und der Beschränkung des gefrästen Bereiches medial der EA, kann so von einem verminderten Risiko für die Integritätsverletzung des VA ausgegangen werden.

5.4.3 Anatomische Gegebenheiten und Integrität des Aquaeductus vestibularis (VA)

Der Diameter des IAC, die vertikale Distanz vom IAC zu der EA und der Diameter der EA unterschieden sich nicht signifikant zwischen der Patientengruppe mit postoperativ intaktem VA und jener mit verletztem VA (s. Tabelle 23 u. Abbildung 25, sowie Tabelle 27 u. Abbildung 27 und Tabelle 31 u. Abbildung 29). Bei postoperativ verletztem VA war der IAC im Vergleich präoperativ signifikant ($p < 0,001$) kürzer als wenn der VA intakt blieb (s. Tabelle 25 u. Abbildung 26). Zudem war bei größerem Umfang der Integritätsverletzung der endolymphatischen Strukturen der IAC präoperativ signifikant ($p = 0,012$) kürzer (s. Tabelle 26). Auch die horizontale Distanz zwischen IAC und der EA war bei verletztem VA signifikant ($p < 0,001$) geringer als bei intaktem VA (s. Tabelle 29 u. Abbildung 28). Ein kurzer IAC und eine geringe horizontale Distanz zwischen IAC

und EA erhöhen folglich das Risiko einer Integritätsverletzung des VA. Der Verlauf des VA hatte keinen erkennbaren Einfluss auf die postoperative Integrität des VA (s. Tabelle 33 u. Abbildung 30). Die Tatsache, dass in 83% der Fälle der VA lateral der medialen Kante der EA verläuft (s. 5.4.2), war während der Datenerhebung noch nicht bekannt, so dass eine bewusste Begrenzung des lateralen Fräsbereiches in Relation zur medialen Kante der EA noch nicht erfolgte. Zusätzlich ist anzumerken, dass eine Missachtung dieser Einschränkung des Fräsbereiches im Einzelfall geboten sein kann, um das Ziel der vollständigen Tumorresektion zu erreichen.

5.4.4 Schlussfolgerung

Empfehlungen für sichere Fräsbereiche, welche sich auf anatomische Studien stützen^{17,41}, ließen bisher die tumorbedingten Veränderungen der Anatomie außer Acht. Zudem sind definitive Angaben von Distanzen für derart variable anatomische Verhältnisse in einem mikrochirurgischen Bereich problematisch. Mindestwerte inklusive Sicherheitsabstand als Grenze für sicheres Fräsen zu definieren, ist in der Mehrzahl der Fälle nicht zielführend, um eine komplette Tumorresektion zu gewährleisten. Deshalb ist eine individuelle präoperative Bildgebung mittels HR-CT angebracht, welche sich auf die Lage der EA, den Verlauf des VA sowie die weiteren Labyrinthstrukturen konzentrieren sollte. Day et al.⁹ bescheinigen dem präoperativen CT hohen Nutzen und empfehlen ebenfalls eine präoperative Bildgebung. So wird sich bei einem Großteil der Patienten der Verlauf des VA lateral der EA befinden (s. 5.4.2), wodurch nach intraoperativer Identifizierung des ES^{1,34} und der EA das Felsenbein medial dieser Strukturen sicher gefräst werden kann.

5.5 Chirurgische Arbeitsweise und Integrität der endolymphatischen Strukturen

5.5.1 Ausmaß der Resektion des Canalis acusticus internus (IAC)

Bei postoperativ verletztem VA wurde eine signifikant ($p = 0,016$) größere Strecke des IAC eröffnet als bei intaktem VA (s. Tabelle 34 u. Abbildung 31). Das Risiko einer Integritätsverletzung endolymphatischer Strukturen scheint folglich

mit dem Ausmaß der Eröffnung des IAC anzusteigen. Bisherige Empfehlungen, den IAC nicht zu weit nach lateral zu eröffnen^{30,48} bzw. die Feststellung, dass eine gänzliche Eröffnung des IAC ohne Verletzung der Labyrinths kaum möglich ist¹¹, werden hierdurch bestätigt. Das Minimum des Resektionsausmaßes von 2,5 mm bei verletztem VA zeigt, dass schon sehr kurze Frässtrecken am IAC zur Verletzung des VA führen können. Ein daraus resultierender „sicherer Fräsbereich“ mit max. 2,5 mm ist in der Praxis nicht anwendbar, um eine ausreichende Resektion für das Gros der VS zu gewährleisten. Zudem ist dieser Wert halb so lang wie der aus den anatomischen Gegebenheiten resultierende „sichere Fräsbereich“ von 5 mm in der absoluten Mehrzahl der Fälle (s. 5.4.1). Bei Patienten mit verletztem VA und einem Resektionsausmaß < 5 mm verlief der VA bei 28,7% der Patienten medial der medialen Kante der EA (s. Tabelle 49), so dass die Integritätsverletzung aufgrund der anatomischen Bedingungen nicht vermieden werden konnte. Bei den verbleibenden 71,4% der Patienten mit lateralem Verlauf wurde möglicherweise posterior des IAC der Fräsbereich nach lateral erweitert, indem z.B. nach lateral konvex gefräst wurde. Vermeintlich sichere Bereiche können demnach trotzdem zu Integritätsverletzungen führen.

Tabelle 49: Verlauf des VA im Verhältnis zu EA bei Resektionsausmaß IAC < 5mm

Verlauf	medial	lateral	Summe
Anzahl	2	5	7
Prozent	28,6%	71,4%	100%

5.5.2 Abstand der Fräslinie zu Sinus sigmoideus (SS)

Bei postoperativ verletztem VA ist der Abstand der Fräslinie zum ipsilateralen SS sehr signifikant ($p < 0,001$) geringer als bei intakten Strukturen (s. Tabelle 35 u. Abbildung 32). Dies deckt sich mit den Ergebnissen aus 5.5.1, da ein größeres Ausmaß der Eröffnung des IAC mit einem geringeren Abstand der Fräslinie zum SS einhergeht. Mit einem maximalen Abstand von 14,0 mm bei verletztem VA, kann von einem sicheren Fräsen ausgegangen werden, insofern ein Abstand größer 15 mm zum ipsilateralen SS eingehalten wird.

5.5.3 Winkel der virtuellen Fräslinie

Der Winkel der virtuellen Fräslinie unterscheidet sich bei Patienten mit intaktem bzw. verletztem VA nicht signifikant (s. Tabelle 36 u. Abbildung 33). Die Vermutung, dass bei einem stumpferen Winkel der Fräslinie und somit weiter nach lateral reichendem Fräsbereich das Risiko einer Integritätsverletzung ansteigt, wurde somit nicht bestätigt.

5.5.4 Lokalisation der Integritätsverletzung des Aquaeductus vestibularis (VA)

Für die Lokalisation der Integritätsverletzung des VA in Relation zu den chirurgischen Parametern „Ausmaß der Eröffnung des IAC“, „Abstand der Fräslinie zum medialen Rand des SS“ und „Winkel der Fräslinie“ ergab die statistische Überprüfung keine signifikanten Ergebnisse (s. Tabelle 37, Tabelle 38 u. Tabelle 39).

5.5.5 Umfang der Integritätsverletzung

Die statistische Prüfung der Mittelwertsunterschiede der chirurgischen Parameter „Ausmaß der Eröffnung des IAC“, „Abstand der Fräslinie zum medialen Rand des SS“ und „Winkel der Fräslinie“ bei unterschiedlichem Umfang der Integritätsverletzung ergab kein signifikantes Ergebnis (s. Tabelle 40, Tabelle 41 u. Tabelle 42). Mit $p = 0,129$ bzw. $p = 0,064$ bzw. $p = 0,075$ liegen die Prüfergebnisse sehr nah am Signifikanzniveau, so dass diese Ergebnisse evtl. durch größere Fallzahlen statistisch signifikant abgesichert werden könnten.

5.5.6 Schlussfolgerung

Größeres Ausmaß der Eröffnung des IAC und geringer Abstand zum ipsilateralen SS beim Einführen der Fräse erhöhen das Risiko einer Integritätsverletzung des VA. Der Winkel der Fräslinie scheint in angewandten Rahmen keinen Einfluss auf das Verletzungsrisiko der endolymphatischen Strukturen zu haben. Aus dem Resektionsausmaß bzw. Abstand zum ipsilateralen SS abgeleitete Angaben für sicheres Fräsen sind aufgrund ihrer geringen bzw. großen Ausmaße im OP vermutlich nicht immer applizierbar, geben aber eine wichtige Hilfe und Orientierung bei der technischen Durchführung der Eröffnung des IAC. Eine individuelle Planung anhand präoperativer HR-CT-Bildgebung zur

Identifizierung der anatomischen Verhältnisse ist absolut notwendig, um eine Schonung der endolymphatischen Strukturen bei gleichzeitiger Komplettresektion des VS zu ermöglichen (s. auch 5.4.4). Falls das VS weit nach lateral innerhalb des IAC reicht und aufgrund der individuellen anatomischen Gegebenheiten eine Darstellung nicht möglich ist ohne die Innenohrstrukturen zu verletzen, so kann die Verwendung eines Endoskops zum erwünschten Ziel der schonenden Tumorresektion führen^{30,48}.

5.6 Hörvermögen

5.6.1 Erhalt des Hörvermögens

Bei präoperativ vorhandenem Hörvermögen („gutes Hören“ u. „Restgehör“) konnte in unserer Studie ein postoperativer Erhalt des Hörvermögens bei 63% der Patienten erreicht werden (s. Tabelle 16 u. Abbildung 19). Dieses Ergebnis liegt im oberen Bereich der bisher für den retrosigmoidalen Zugang berichteten Raten eines grundsätzlichen Erhaltes des Hörvermögens (zwischen 30,3% und 65%^{2,6,19,25,27,37,40,43,47}). Der präoperative Anteil von Patienten mit Anakusis liegt mit 6,1% im Bereich der von Tatagiba et al.⁴⁷ und Samii et al.³⁶ berichteten präoperativen Anakusis bei 6,1% bzw. 10% der Patienten.

5.6.2 Integrität der endolymphatischen Strukturen und Hörvermögen

Die Ergebnisse der Kreuztabelle für das Hörvermögen und die Integrität des VA (s. Tabelle 43) waren nicht statistisch signifikant. Auffallend ist, dass auch bei erhaltenem Hörvermögen operative Integritätsverletzungen des VA statt gefunden haben: z.B. bei prä- und postoperativen gutem Hörvermögen in 26,3% der Fälle. Eine Verletzung des VA bzw. des ES führt folglich nicht zwingend zu einem postoperativen Hörverlust. Tatagiba et al.⁴⁷ beschrieben bestehendes Hörvermögen trotz einer Verletzung des Labyrinths und gaben als mögliche Ursachen an: das Entstehen einer Abdichtung innerhalb der endolymphatischen Strukturen, z.B. durch den Kollaps der eröffneten Weichteilmembran⁴ oder durch Knochenstaub, welcher durch das Fräsen anfällt⁴⁷; das Vorliegen einer utriculo-endolymphatischen Klappe, welche einen Endolymphverlust der Cochlea verhindert¹⁸; das denkbare Vermögen des ES als dynamisches Organ die

Innenohrhomöostase wiederherzustellen⁴⁷. Diese Erklärungen können als mögliche Gründe auch für die Innenohrstrukturen ES und ED verwendet werden.

Des Weiteren trat auch bei intakten VA bzw. ED postoperative Anakusis auf: Patienten, welche präoperativ gut hörten und postoperativ einen Hörverlust hatten, wiesen in 64,3% der Fälle ein intaktes VA auf. Dies bestätigt, dass es neben der Verletzung endolymphatischer Strukturen zahlreiche weitere mögliche Ursachen eines Hörverlustes gibt⁴⁷. Die Unterbindung versorgender Gefäße, durch die Operation entstehender Zug am N. cochlearis, Abriss der Nervenfasern im Bereich der Neuralforamina des Fundus des IAC oder Hitze und Vibration aufgrund des Fräsens können ursächlich sein^{30,34,41,44,47}. Dennoch ist die Integritätsverletzung des VA respektive des ED eine evidenzbasierte potentielle Ursache einer Hörminderung bzw. eines Hörverlustes^{1,45} und kann zudem ursächlich für Morbus Meniere sein¹. Ein verzögerter Hörverlust kann zudem durch einen endolymphatischen Hydrops entstehen⁴⁵. Unsere Daten beziehen sich auf den direkten postoperativen Zeitraum. Ein Langzeit-Follow-up ist notwendig, um die mögliche verzögerte Beeinträchtigung des Hörens in der entsprechenden Patientengruppe zu erfassen. Darüber hinaus werden dem ES sekretorische, absorptive und immunologische Funktionen zugeschrieben²¹, womit er eine wichtige Rolle für die Homöostase des Innenohres zu spielen scheint^{1,41}. Somit ist, auch in Hinblick auf evtl. derzeit noch nicht vollständig verstandene Funktionen dieser Strukturen, die Schonung des VA bzw. ED und ES ein sinnvolles Ziel.

Die Kreuztabelle für das Ausmaß der Integritätsverletzung und das Hörvermögen (s. Tabelle 45) ergibt kein signifikantes Ergebnis. Es finden sich bei subtotaler und auch totaler Eröffnung des VA postoperativ sowohl ein erhaltenes Hörvermögen als auch ein Hörverlust. Die Vermutung, dass es bei einer subtotalen Eröffnung des VA möglicherweise zu keiner Integritätsverletzung des ED kommt, lässt sich hieraus nicht bestätigen.

Die Hypothese einer höheren Rate der Integritätsverletzung des VA bei präoperativ schlechtem Hörbefund und damit aggressiveren operativen Vorgehen im Vergleich zu präoperativ gutem Hörvermögen lässt sich durch die Kreuztabelle

für das präoperative Hörvermögen und die Integrität des VA (s. Tabelle 44) bei nicht signifikantem Ergebnis nicht bestätigen.

Bei Verdacht einer Verletzung der endolymphatischen Strukturen sollte auf keinen Fall der Sauger in dem Bereich eingesetzt und die Eröffnung umgehend mit Knochenwachs und vor OP-Ende mit einer Muskelplombe und Fibrinkleber versiegelt werden. Durch diese Maßnahme ist evtl. ein Hörerhalt möglich^{4,30,47}.

5.6.3 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse unserer Studie und bisheriger Erhebungen zeigen, dass der Erhalt des Hörvermögens bei mikrochirurgischer Entfernung eines VS über den retrosigmoidalen Zugang ein für viele Patienten erreichbares Ziel ist (s. 5.6.1). Trotz der in unseren Daten fehlenden Signifikanz für einen Zusammenhang zwischen Integritätsverletzung endolymphatischer Strukturen und einem sofortigen postoperativen Hörverlust ist die Schonung des VA respektive ED und ES sowie der weiteren Labyrinthstrukturen ein wichtiges und erreichbares Ziel der VS-Chirurgie vor allem vor dem Hintergrund eines möglichen verzögerten Hörverlustes im Falle einer Verletzung (s. 5.6.2).

6 Zusammenfassung

Heutzutage können Vestibularisschwannome über den retrosigmoidalen Zugang mit geringen Morbiditäts- und Mortalitätsraten entfernt werden. Dabei ist ein zentraler Schritt die Eröffnung des inneren Gehörgangs. Dies erfordert unter anderem die detaillierte Kenntnis der Strukturen des Felsenbeins, deren topographische Lage im Verhältnis zur Öffnung des inneren Gehörgangs durch den Tumor möglicherweise verändert wird. Eine besondere Bedeutung kommt dabei den endolymphatischen Innenohrstrukturen Ductus und Saccus endolymphaticus als Homöostaseorgane zu. Eine Verletzung dieser Strukturen kann ursächlich für einen Hörverlust sein.

Ziele dieser Studie waren die Beschreibung der anatomischen Verhältnisse und die Vermessung der Topographie relevanter Strukturen, um den inneren Gehörgang in der gesunden Situation sowie beim Vorliegen eines Vestibularisschwannoms zu erfassen. Dazu wurden mittels hochauflösender Computertomographie die anatomischen Gegebenheiten und das operative Vorgehen am Felsenbein von Personen mit einem einseitigen Vestibularisschwannom erfasst. Ein weiteres Ziel war die Erhebung der Inzidenz chirurgisch verursachter Integritätsverletzungen des endolymphatischen Systems, sowie die Untersuchung klinischer Parameter der Patienten.

Dadurch sollten Zusammenhänge zwischen Tumor bedingten Veränderungen der Anatomie, Operationsparametern und Integritätsverletzung der endolymphatischen Strukturen erkannt und hieraus möglicherweise Empfehlungen für eine, die endolymphatischen Strukturen schonende, Operationstechnik abgeleitet werden. Die Studie wurde prospektiv an einem repräsentativen Patientenkollektiv (n = 100) in der Universitätsklinik für Neurochirurgie Tübingen durchgeführt.

Der Diameter des Canalis acusticus internus war mit zunehmender Tumorgroße signifikant ($p = 0,001$) weiter und war auch im intraindividuellen Seitenvergleich auf der vom Vestibularisschwannom betroffenen Seite signifikant ($p < 0,001$) erweitert. Des Weiteren war die horizontale Distanz zwischen Canalis acusticus internus und der Apertura externa signifikant ($p = 0,001$) verkürzt. Damit konnte

eine tumorbedingte Aufweitung des Canalis acusticus internus und Veränderungen der anatomischen Gegebenheiten nachgewiesen werden.

Die Inzidenz von chirurgisch verursachten Integritätsverletzungen des Aquaeductus vestibularis und des darin verlaufenden Ductus endolymphaticus nach retrosigmoidaler Eröffnung des inneren Gehörgangs lag bei 41%. Eine Integritätsverletzung der Bogengänge wurde in 18% der Fälle beobachtet.

Eine Integritätsverletzung des Aquaeductus vestibularis war mit zunehmender Tumorgöße signifikant ($p < 0,001$) häufiger. Im Falle einer Integritätsverletzung waren sowohl die Länge des Canalis acusticus internus ($p < 0,001$) als auch die horizontale Distanz zwischen Canalis acusticus internus und der Apertura externa ($p < 0,001$) signifikant verkürzt. Außerdem wurde bei einer Integritätsverletzung ein signifikant größerer Anteil des Canalis acusticus internus eröffnet ($p = 0,013$) und der horizontale Arbeitsabstand zum Sinus sigmoideus war signifikant ($p < 0,001$) kürzer. Ein postoperativ erhaltenes Hörvermögen fand sich bei 63% der Patienten. Mit zunehmender Tumorgöße waren sowohl das präoperative Hörvermögen ($p = 0,003$) als auch der postoperative Hörerhalt ($p = 0,004$) signifikant schlechter. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Integritätsverletzung des Aquaeductus vestibularis und postoperativem Hörverlust konnte nicht nachgewiesen werden.

Definitive Empfehlungen für die Operationstechnik zur Schonung der endolymphatischen Strukturen in einem anatomisch derartig variablen mikrochirurgischen Bereich sind trotz der hilfreichen Studienergebnisse problematisch. Um eine komplette Tumorsektion unter Schonung der endolymphatischen Strukturen zu erreichen, sollte individuell eine präoperative hochauflösende Computertomographie durchgeführt werden, welche sich auf die Lage der Apertura externa, den Verlauf des Aquaeductus vestibularis sowie die weiteren Labyrinthstrukturen konzentriert. Darüber hinaus ist die Verwendung des intraoperativen Endoskops hilfreich, um möglichst eine langstreckige Eröffnung des inneren Gehörgangs zu vermeiden.

Literaturverzeichnis

1. Ammirati M, Spallone A, Feghali J, Ma J, Cheatham ML, Becker DP. The endolymphatic sac: microsurgical topographic anatomy. *Neurosurgery*. 1995;36(2):416-419.
2. Betchen SA, Walsh J, Post KD. Long-term hearing preservation after surgery for vestibular schwannoma. *J Neurosurgery*. 2005;102(1):6-9.
3. Briggs RJS, Fabinyi G, Kaye AH. Current management of acoustic neuromas: review of surgical approaches and outcomes. *Journal of Clinical Neuroscience*. 2000;7(6):521-526.
4. Canalis RF, Gussen R, Abemayor E, Andrews J. Surgical Trauma to the Lateral Semicircular Canal with Preservation of Hearing. *Laryngoscope May*. 1987;97(5):575-581.
5. Casselman J, Bensimon J. Bildgebung des Innenohrs. *Radiologe*. 1997;37:954-963.
6. Chee GH, Nedzelski JM, Rowed D. Acoustic Neuroma Surgery: The Results of Long-term Hearing Preservation. *Otol Neurotol*. 2003;24(4):672-676.
7. Ciric I, Zhao J, Rosenblatt S, Wiet R, O'Shaughnessy B. Suboccipital retrosigmoid approach for removal of vestibular schwannomas: facial nerve function and hearing preservation. *Neurosurgery*. 2005;56(3):560-570.
8. Davidson HC. Imaging evaluation of sensorineural hearing loss. *Semin Ultrasound CT MRI*. 2001;22(3):229-249.
9. Day JD, Kellog JX, Fukushima T, Giannotta SL. Microsurgical anatomy of the inner surface of the petrous bone: neuroradiological and morphometric analysis as an adjunct to the retrosigmoid transmeatal approach. *Neurosurgery*. 1994;34(6):1003-1008.
10. Di Maio S, Malebranche D, Westerberg B, Akagami R. Hearing Preservation After Microsurgical Resection of Large Vestibular Schwannomas. *Neurosurgery March*. 2011;68(3):632-640.

11. Domb GH, Chole RA. Anatomical Studies of the Posterior Petrous Apex with Regard to Hearing Preservation in Acoustic Neuroma Removal. *Laryngoscope November*. 1980;90(11):1769-1776.
12. Ebenius B. The Results of Examination of the Petrous Bone in Auditory Nerve Tumors. *Acta Radiologica [Old Series]*. 1934;15(3):284-290.
13. Gharabaghi A, Rosahl SK, Feigl GC, Liebig T, Mirzayan JM, Heckl S, Shahidi R, Tatagiba MS, Samii M. Image-guided lateral suboccipital approach: part 1- individualized landmarks for surgical planning. *Neurosurgery* 2008;62(3):18-23.
14. Gharabagi A, Samii A, Koerbel A, Rosahl SK, Tatagiba M, Samii M. Preservation of function in vestibular schwannoma surgery. *Neurosurgery*. 2007;60[ONS Suppl 1]:ONS-124-ONS-128; Comments ONS-127-ONS-128.
15. Gharabagi A, Samii A, Koerbel A, Rosahl SK, Tatagiba M, Samii M. Preservation of function in vestibular schwannoma surgery. *Neurosurgery*. 2007;60[ONS Suppl 1]:ONS-124-ONS-128.
16. Guerink N. Surgical Anatomy of the Temporal Bone Posterior to the Internal Auditory Canal: An Operative Approach. *Laryngoscope June*. 1977;87(6):975-986.
17. Gupta T, Gupta SK. Anatomical delineation of a safety zone for drilling the internal acoustic meatus during surgery for vestibular schwannoma by retrosigmoid suboccipital approach. *Clinical Anatomy*. 2009;22(7):794-799.
18. Jahrsdoerfer RA, Johns ME, Cantrell RW. Labyrinthine Trauma during Ear Surgery. *Laryngoscope October*. 1978;88(10):1589-1595.
19. Kemink JL, LaRouere MJ, Kileny PR, Telian SA, Hoff JT. Hearing Preservation Following Suboccipital Removal of Acoustic Neuromas. *Laryngoscope June*. 1990;100(6):597-602.
20. Koerbel A, Gharabagi A, Safavi-Abbasi S, Tatagiba M, Samii M. Evolution of vestibular schwannoma surgery: the long journey to current success. *Neurosurg Focus*. 2005;18(4):E10.

21. Lo WWM, Daniels DL, Chakeres DW, Linthicum FH, Jr., Ulmer JL, Mark LP, Swartz JD. The endolymphatic duct and sac. *AJNR Am J Neuroradiol.* 1997;18:881-887.
22. Lunsford LD, Niranjan A, Flickinger JC, Kondziolka D. Navigating change and the acoustic neuroma story: methods, outcomes, and myths. *Clin Neurosurg.* 2008;55:47-61.
23. Matthies C, Samii M. Management of 1000 Vestibular Schwannomas (Acoustic Neuromas): Clinical Presentation. *Neurosurgery* 1997;40(1):1-10.
24. Matthies C, Samii M, Krebs S. Management of Vestibular Schwannomas (Acoustic Neuromas): Radiological Features in 202 Cases-Their Value for Diagnosis and Their Predictive Importance. *Neurosurgery.* 1997;40(3):469-482.
25. Maw AR, Coakham HB, Ayoub O, Butler SR. Hearing preservation and facial nerve function in vestibular schwannoma surgery. *Clin Otolaryngol.* 2003;28:252-256.
26. McClay JE, Tandy R, Grundfast K, Choi S, Vezina G, Zalzal G, Willner A. Major and Minor Temporal Bone Abnormalities in Children With and Without Congenital Sensorineural Hearing Loss. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* June 1, 2002 2002;128(6):664-671.
27. Mohr G, Sade B, Dufour J-J, Rappaport JM. Preservation of hearing in patients undergoing microsurgery for vestibular schwannoma: degree of meatal filling. *JNeurosurgery.* 2005;102(1):1-5.
28. Nayak S. Segmental anatomy of the temporal bone. *Semin in Ultrasound CT MRI.* 2001;22(3):184-218.
29. Niranjan A, Flickinger JC. Radiobiology, principle and technique of radiosurgery. *Prog Neurol Surg.* 2008;21:32-42.
30. Ojemann RG. Retrosigmoid approach to acoustic neuroma (vestibular schwannoma). *Neurosurgery.* 2001;48(3):553-558.
31. Papangelou L. Study of the Human Internal Auditory Canal. *Laryngoscope April.* 1972;82(4):617-624.

32. Propp JM, McCarthy BJ, Davis FG, Preston-Martin S. Descriptive epidemiology of vestibular schwannomas. *Neuro Oncol.* 2006;8:1-11.
33. Rachinger J, Rampp S, Prell J, Scheller C, Alfieri A, Strauss C. Tumor origin and hearing preservation in vestibular schwannoma surgery. *J Neurosurg.* Jul 29 2011;(DOI: 10.3171/2011.7.JNS102092).
34. Rhoton AL, Jr. The cerebellopontine angle and posterior fossa cranial nerves by the retrosigmoid approach. *Neurosurgery.* 2000;47(3 Suppl):S93-S129.
35. Roser F, Tatagiba M. The first 50s: can we achieve acceptable results in vestibular schwannoma surgery from the beginning? *Acta Neurochirurgica.* 2010;152(8):1359-1365.
36. Samii M, Gerganov V, Samii A. Improved preservation of hearing and facial nerve function in vestibular schwannoma surgery via the retrosigmoid approach in a series of 200 patients. *J Neurosurg.* 2006;105:527-535.
37. Samii M, Matthies C. Management of 1000 Vestibular Schwannomas (Acoustic Neuromas): Hearing Function in 1000 Tumor Resections. *Neurosurgery.* 1997;40(2):248-262.
38. Samii M, Matthies C. Management of 1000 Vestibular Schwannomas (Acoustic Neuromas): Surgical Management and Results with an Emphasis on Complications and How to Avoid Them. *Neurosurgery* 1997;40(1):11-23.
39. Shao K-N, Tatagiba M, Samii M. Surgical Management of High Jugular Bulb in Acoustic Neurinoma Via Retrosigmoid Approach. . *Neurosurgery.* 1993;32(1):32-37.
40. Shelton C, Alavi S, Li JC, Hitselberger W. Modified Retrosigmoid Approach: Use for Selected Acoustic Tumor Removal. *American Journal of Otology September.* 1995;16(5):664-668.
41. Shimizu S, Tanaka R, Oka H, Fujii K. Risk of damage to the endolymphatic sac and duct during removal of the posterior meatal wall: an anatomic study. . *Neurosurgery.* 2006;59(ONS Suppl 4):ONS-435-ONS-440.

42. Silk PS, Lane JI, Driscoll CL. Surgical Approaches to Vestibular Schwannomas: What the Radiologist Needs to Know. *Radiographics*. 2009;29(7):1955-1970.
43. Strauss C, Bischoff B, Romstöck J, Rachinger J, Rampp S, Prell J. Hearing preservation in medial vestibular schwannomas. *J Neurosurg*. 2008;109:70-76.
44. Strauss C, Fahlbusch R, Romstock J, Schramm J, Watanabe E, Taniguchi M, Berg M. Delayed Hearing Loss after Surgery for Acoustic Neurinomas: Clinical and Electrophysiological Observations. *Neurosurgery*. 1991;28(4):559-564.
45. Sulman CG, Vecchiotti MA, Semaan MT, Lewin JS, Megerian CA. Endolymphatic duct violation during retrosigmoid dissection of the internal auditory canal: a human temporal bone radiographic study. *Laryngoscope*. 2004;114:1936-1940.
46. Tan M, Myrie OA, Lin FR, Niparko JK, Minor LB, Tamargo RJ, Francis HW. Trends in the management of vestibular schwannomas at Johns Hopkins 1997-2007. *Laryngoscope*. 2010;120(1):144-149.
47. Tatagiba M, Samii M, Matthies C, El Azm M, Schönmayr R. The significance for postoperative hearing of preserving the labyrinth in acoustic neurinoma surgery. *J Neurosurg*. 1992;77:677-684.
48. Tatagiba MMD, Matthies CMD, Samii MMD. Microendoscopy of the Internal Auditory Canal in Vestibular Schwannoma Surgery. *Neurosurgery*. 1996;38(4):737-740.
49. Theodosopoulos PV, Pensak ML. Contemporary management of acoustic neuromas. *The Laryngoscope*. 2011;121(6):1133-1137.
50. Tos M, Charabi S, Thomsen J. Incidence of vestibular schwannomas. *The Laryngoscope*. 1999;109(5):736-740.
51. Tos M, Stangerup S-E, Caye-Thomasen P, Tos T, Thomsen J. What Is the Real Incidence of Vestibular Schwannoma? *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 2004;130(2):216-220.

52. Whitmore RG, Urban C, Church E, Ruckenstein M, Stein SC, Lee JYK. Decision analysis of treatment options for vestibular schwannoma. *Journal of Neurosurgery*. 2011;114(2):400-413.
53. Xenellis JE, Linthicum, Fred H. Jr. . On the Myth of the Glial/Schwann Junction (Obersteiner-Redlich Zone): Origin of Vestibular Nerve Schwannomas. *Otology & Neurotology January*. 2003;24(1):1.

Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Professor Dr. med. Marcos Tatagiba für die Überlassung des Themas und die Bereitstellung der Ressourcen in seiner Abteilung.

Ganz besonders danke ich Herrn PD Dr. med. Florian Ebner für die Überlassung der Arbeit und die vielen Stunden der Unterstützung. Danke für all die Anregungen, motivierenden Worte, Problemlösungen und Verbesserungsvorschläge!

Herrn Dr. med. Bernhard Hirt danke ich für die Vermittlung der Arbeit sowie für die hilfreichen Gespräche.

Des Weiteren danke ich Herrn Dr. med. Sören Danz und den Mitarbeitern der Abteilung für Neuroradiologie für die Unterweisung in die radiologische Auswertung der Daten und den immer vorhandenen Arbeitsplatz.

Den Mitarbeitern der Klinik für Neurochirurgie danke ich für die freundliche Unterstützung bei der Datenakquise.

Zu guter Letzt gilt mein herzlicher Dank meinen Eltern für die Unterstützung in jeder Hinsicht während meines Medizinstudiums und dieser Promotion!